ИНСТРУКЦИЯ по МАГНИТО-РАЗВЕДКЕ

- НАЗЕМНАЯ МАГНИТНАЯ СЪЕМКА
- АЭРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА
- ГИДРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА

НЕДРА

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

УТВЕРЖДЕНА
Министерством геологии СССР
23 марта 1979 г.

ИНСТРУКЦИЯ ПО МАГНИТОРАЗВЕДКЕ

Наземная магнитная съемка
Аэромагнитная съемка
Гидромагнитная съемка

ЛЕНИНГРАД
«НЕДРА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1981

УДК 550.838

Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка)/М-во геологии СССР.— Л.: Недра, 1981.— 263 с.

Инструкция регламентирует производственные работы по наземной, автомагнитной, аэромагнитной и гидромагнитной съемкам и организации вариационной службы. В приложениях к ней приведены материалы справочного характера — формулы для решения прямой задачи магниторазведки, сведения об экспресс-методах решения прямой и обратной задач, формы документации, детальные описания техники выполнения некоторых методических приемов и др. Инструкция обобщает опыт передовых производственных предприятий, новейшие результаты научно-исследовательских работ в области магниторазведки, данные зарубежных исследователей.

Инструкция предназначена для исполнителей магниторазведочных работ в системе Мингео СССР.

Табл. 17, ил. 11, прил. 18, список лит. 94 назв.

И $\frac{20804-318}{043(01)-81}$ 96—81 1904050000

© Издательство «Недра», 1981

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изданная в 1963 г. «Техническая инструкция по магнитной разведке» [74] сыграла важную роль во внедрении передовых методов работы, способствовала повышению качества магнитных съемок и унификации их результатов. Последнее позволило получить сравнимые данные магниторазведки по всей территории СССР и, в частности, обеспечило возможность составления сводных карт магнитного поля как по отдельным регионам, так и для всей территории СССР в целом.

С тех пор в магниторазведке произошли коренные изменения. Появились новые модификации метода — автомобильная и гидромагнитная съемки. Гораздо шире применяются аэромагнитные съемки над акваториями и повысотные площадные аэромагнитные съемки. Поскольку за истекшее время были разработаны новые высокоточные приборы, традиционные варианты магниторазведки стали существенно иными, резко расширилась область применения метода. В частности, получены положительные результаты при поисках нефтегазоносных структур. Особенности новой аппаратуры и почти полное завершение мелко- и среднемасштабных съемок СССР обусловили повсеместный переход к крупномасштабным съемкам. Повышение точности магнитных измерений заставило считаться с такими видами помех, которые раньше не имели большого значения, например с короткопериодными магнитными вариациями. Это привело к существенному изменению методики магниторазведки, к разработке новых приемов и пересмотру смысла и правил выполнения традиционных операций полевых и камеральных работ Создание первой очереди всесоюзной опорной аэромагнитной сети и стабильность новой магниторазведочной аппаратуры заставили заново пересмотреть и уточнить приемы увязки данных магнитных съемок. Совершенно новые возможности и проблемы возникли в связи с внедрением ЭВМ. Появилась необходимость в более строгой метрологической основе магниторазведки, а также в уточнении терминологии и повышении общей культуры работы.

Новая инструкция по магниторазведке учитывает эти изменения и опирается на коллективный опыт советских геофизиков, а также на ряд достижений зарубежной практики. При ее составлении были использованы разработки научно-производственных объединений «Союзгеофизика» и «Севморгео» (применение радиогеодезии в магниторазведке, магнитные съемки над акваториями), Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья — СНИИГГИМС, Западного геофизического треста — ЗГТ, Красноярского и Якутского территориальных геологических управлений — КТГУ и ЯТГУ (фотопривязка в аэромагнитной съемке, аэро- и наземные съемки с приборами высокой точности, применение ЭВМ для обработки результатов измерений магнитного поля), Всесоюзного геологического института — ВСЕГЕИ (вопросы магнитной картографии), Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР — ИЗМИРАН и многих других научно-исследовательских и производственных организаций.

В 1970—1978 гг. Всесоюзный институт разведочной геофизики научно-производственного объединения «Геофизика» (ВИРГ НПО «Геофизика») и

Казахский филиал ВИРГ совместно с группой производственных предприятий (ЗГТ, КТГУ, ЯТГУ и др.) выполнили ряд специальных исследований в области методики, техники и теории высокоточной магниторазведки. В частности, разрабатывались такие важные вопросы, как учет магнитных вариаций, методика увязки материалов наземных, а также аэромагнитных съемок, способы оценки погрешности съемок; был выполнен сравнительный анализ различных методических приемов. При этом все выводы прошли массовую проверку в производственных масштабах и обсуждались широким кругом специалистов. Результаты этих коллективных исследований также учтены в новой инструкции.

В процессе ее составления коллектив авторов тщательно изучил многочисленные фондовые материалы геологических предприятий, отечественную и зарубежную литературу, материалы всесоюзных, региональных и зарубежных семинаров по вопросам магниторазведки, школ передового опыта.

В отношении характера изложения материала за образец была взята инструкция 1963 г. [74], сохранены и ее положения, которые не потеряли значения до настоящего времени. Вместе с тем новая инструкция, основанная на последних результатах научных исследований и на обобщении опыта ведущих геологических организаций, накопленного в 70-х годах, содержит ряд принципиально новых положений, часть которых еще не освещалась в литературе.

Отличается она и по структуре. Так, в новой инструкции нет разделов по комплексным аэрогеофизическим съемкам, по подготовке карт магнитного поля к изданию и некоторых других. Зато дополнительно введены разделы, которые либо совсем отсутствовали в инструкции 1963 г., либо были изложены в ней недостаточно полно. Это параграфы, посвященные службе времени, учету магнитных вариаций, применению квантовых и протонных магнитоизмерительных приборов, увязке наземных, а также аэромагнитных съемок, использованию всесоюзной опорной аэромагнитной сети, автомагнитной съемке, измерению градиентов магнитного поля, особенностям двухгоризонтной магнитной съемки, применению фотопривязки и радиогеодезии и гидромагнитной съемке.

Нетрадиционные, а также не описанные или недостаточно описанные в литературе вопросы и методические приемы составители рассматривают с повышенной детальностью, в том числе на конкретных примерах и с изложением соответствующих справочных материалов. В связи с этим расширено количество приложений. Так, в приложениях помещены детальные описания способов увязки результатов измерений магнитного поля, справочные сведения о вариациях магнитного поля, дополнительные указания по работе с радиогеодезическими средствами плановой привязки и с разными типами аэромагнитометров, даны сведения о решении прямой задачи магниторазведки, об экспресс-методах интерпретации магнитометрических данных, о магнитных обсерваториях, приведены рациональные формы документации и другие материалы.

Выполнение указаний по технике и методике работ, которые даны в основном тексте, а также в тексте, набранном с отступом *, или в приложениях, одинаково обязательно. При этом в некоторых случаях инструкция допускает несколько вариантов выполнения отдельных операций, например несколько способов учета вариаций δT и способов увязки аэромагнитных данных, предоставляя исполнителям право выбора оптимальных вариантов для конкретных условий работ.

Правила техники безопасности, изложенные в специализированных инструкциях [38, 58], здесь не рассматриваются. Точно так же в данной инструкции не дублируются указания по настройке, проверке приборов и по технике работы с ними, имеющиеся в технической документации к аппаратуре. Если в документах, прилагаемых к приборам предприятиями-изготовителями, имеются методические рекомендации, противоречащие изложенным

---

* Дополнительные указания и справочные материалы.

здесь правилам, исполнители обязаны руководствоваться положениями данной инструкции.

Согласно требованиям метрологической службы технические характеристики магнитометрической аппаратуры даны здесь в нанотесла — долях единицы магнитной индукции в СИ (1 нТл $=10^{-9}$ Тл). В остальных случаях в соответствии с теорией намагниченных тел, которая построена на магнитостатических представлениях о магнитном поле, используется внесистемная единица напряженности магнитного поля гамма (10^{-5} Э). В вакууме 1 гамма численно равна 1 нТл.

Данная инструкция составлена в лаборатории магниторазведки ВИРГ НПО «Геофизика» под руководством Ю. С. Глебовского и Г. С. Васюточкина с привлечением ряда ведущих специалистов различных предприятий Мингео СССР. В ее составлении участвовали: Г. С. Васюточкин (ВИРГ) — § 2, 3, 13—23, 27—30, 39—53, 61—66, прил. 2, 4—10, 18; Ю. С. Глебовский (ВИРГ) — § 1, 4—12, 24—38, 67—120, 122—137, прил. 11, 15, 16; Г. К. Жиров (КазВИРГ) — § 54—60; А. М. Малявкин (НПО «Севморгео») — § 126, 138—141; А. Н. Мишин (ВИРГ) — § 24—26; В. П. Пак (КазВирг) — § 54—60; Е. В. Пасхин (НПО «Союзгеофизика») — § 104—116, прил. 16; Н. Н. Ржевский (НПО «Севморгео») — § 126, 138—141; В. Н. Соколов (ВИРГ) — прил. 17; О. Н. Соловьев (НПО «Союзгеофизика») — § 138—141; В. С. Цирель (ВИРГ) — § 89—91, прил. 11—13; Ю. М. Эринчек (ВИРГ) — § 104—116, 121, прил. 11, 16.

При подготовке окончательного варианта текста учтены замечания и предложения в отзывах, полученных от специалистов НПО «Союзгеофизика» и «Севморгео», ВСЕГЕИ, ЛО ИЗМИРАН, ЯТГУ, Новосибирского ГУ, ЗГТ, Северо-Енисейской геофизической экспедиции КТГУ и других организаций.

Научная редакция всего текста выполнена Ю. С. Глебовским и В. Е. Никитским.

Окончательный текст инструкции был рассмотрен и одобрен комиссией в составе: В. Е. Никитский (председатель), Г. С. Васюточкин, Т. В. Герхен, Ю. С. Глебовский, О. Н. Соловьев, В. И. Федюк. Инструкция согласована с начальником Управления геофизических работ Мингео СССР В. Ю. Зайченко, начальником отдела этого управления В. А. Ерховым и утверждена заместителем министра геологии СССР Ю. Г. Эрвье.

С момента выхода настоящей инструкции действие инструкции 1963 г. прекращается, за исключением помещенного в ней прил. 2 («Инструкция по составлению и подготовке к изданию карт аномального магнитного поля масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000»).

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Магниторазведка — метод решения геологических задач, основанный на изучении земного магнитного поля, а также магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых. Существуют несколько модификаций магнитных съемок и измерений, входящих в состав магниторазведки.

1. Площадные и маршрутные съемки геомагнитного поля:

а) наземные (пешеходные и автомобильные);

б) воздушные (аэромагнитные);

в) надводные (гидромагнитные).

2. Измерения геомагнитного поля в буровых скважинах (скважинная магниторазведка) *.

3. Изучение магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых *:

а) палеомагнитные исследования образцов горных пород;

б) магнитный каротаж;

в) изучение магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых по их образцам и непосредственно на геологических обнажениях.

Магниторазведка — элемент общего комплекса геолого-геофизических работ, хотя некоторые геологические задачи она может решать самостоятельно. Другие виды геолого-геофизических работ могут выполняться одновременно с ней или с разрывом во времени. Так, аэромагнитная съемка часто ведется одновременно с аэрогамма-спектрометрической съемкой или аэроэлектроразведкой с одного самолета (вертолета). Наземная магнитная съемка может сопровождаться одновременными с ней геофизическими, например гравиметрическими, работами по одной и той же или отличающейся сети наблюдений. Магнитные измерения в скважинах, как правило, ведутся совместно с иными видами каротажа и скважинной геофизики. Выбору рационального комплекса методов посвящены специальные исследования и руководства; в данной инструкции эта проблема не рассматривается.

Магниторазведка может применяться на всех этапах геологоразведочного процесса и решает в различном сочетании с другими методами широкий круг задач от мелкомасштабного геологического районирования и металлогенического прогнозирования до крупномасштабных поисков и разведки, а также эффективно используется в процессе эксплуатации месторождений. В связи с повышением точности магнитных съемок за последние годы резко расширилась область их применения. Стало возможным изучение слабомагнитных объектов, в том числе некоторых типов осадочных пород и структур осадочного комплекса. В табл. 1 приведены некоторые сведения о задачах, решаемых современной наземной и аэромагнитной съемкой в благоприятных геолого-геофизических условиях.

Повышение точности и уменьшение инерционности аэромагнитометров привело к нецелесообразности ведения мелкомасштабных наземных съемок. В настоящее время наземные съемки в масштабе мельче 1 : 10 000 выполняются редко — в условиях, когда применение аэромагнитной съемки затруднено (например, в горных районах).

---

* В настоящей инструкции не рассматриваются.

ТАБЛИЦА 1. **ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ МАГНИТНОЙ СЪЕМКИ ПРИ БЛАГОПРИЯТНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Геологические задачи	Решаемые задачи
Помощь геологическому картированию	Возможно определение границ не только сильномагнитных, но и осадочных и других весьма слабомагнитных пород [магнитная восприимчивость $\varkappa = (10 \div 15) \cdot 10^{-6}$ ед. СГСМ] и даже разделение пород с одинаковыми $\varkappa$, если они отличаются направлением естественной остаточной намагниченности J_n или характерными неоднородностями, создающими мелкие аномалии от 1 гаммы и выше
Картирование разрывных дислокаций	Выделение и трассирование разломов, сбросов, линий надвигов и т. п., если они вызывают аномалии 1,5—5 гамм. Изучение микротектоники пород
Поиски осадочных рудных месторождений	При поисках бокситов подтверждена возможность выявления слабомагнитных разностей, которые раньше не удавалось обнаружить магниторазведкой. Можно обосновано предполагать, что магнитная съемка с квантовыми приборами поможет при прямых и косвенных поисках лимонитов, сидеритов, фосфоритов и марганцевых руд, а также карстовых полостей, к которым приурочены некоторые осадочные руды
Поиски россыпных месторождений	При наличии ферромагнетиков в тяжелой фракции россыпей даже обычной съемкой иногда удавалось выявлять концентрации золота. Достигнутая с квантовыми магнитометрами точность измерений расширяет возможности метода в аналогичных условиях
Картирование рудоконтролирующих факторов	Часто удается выделять зоны гидротермальной и иной переработки пород (участков развития контактово-метасоматических явлений, березитизации, метаморфизма), которые ранее не отмечались съемкой, выявлять и прослеживать границы слабомагнитных интрузий и тектонические линии, создающие аномалии 1,5—5 гамм
Прямые поиски слабомагнитных рудных месторождений в типично рудных районах (гидротермальные и некоторые иные месторождения)	Известны случаи, когда и магниторазведка средней точности уверенно отмечала полиметаллические и другие месторождения немагнитных руд, обычно не являющиеся для этого метода объектами прямых поисков (за счет примесей ферромагнетиков — пирротина и магнетита). Опыт применения квантовой аппаратуры для решения таких задач уже показал, что с повышением точности съемки число таких месторождений, отмечающихся в магнитном поле, возрастает

ТАБЛИЦА 2. **МАГНИТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ**

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

ТАБЛИЦА 3. **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СИМВОЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МАГНИТОРАЗВЕДКЕ**

Обозначение	Физическая величина или понятие
T и T	Вектор и модуль вектора геомагнитного поля
Z и H	Модуль вертикальной и горизонтальной составляющей геомагнитного поля
D	Магнитное склонение
I	Магнитное наклонение
Приставка Δ (например, ΔZ)	Изменение элементов земного магнетизма в пространстве (приращение)
Приставка δ (например, δZ)	Изменение элементов земного магнетизма во времени
J и J	Вектор и модуль вектора намагниченности горной породы или ее образца
$\mathbf{J}_i$ и J_i	Вектор и модуль вектора индуктивной намагниченности
$\mathbf{J}_n$ и J_n	Вектор и модуль вектора естественной остаточной намагниченности горных пород
$\varkappa$	Объемная магнитная восприимчивость вещества или горной породы
N	Коэффициент размагничивания (коэффициент формы)
n	Отсчет по шкале магнитометра (число делений)
ε	Цена деления шкалы магнитометра
A	Азимут астрономический
A_m	Азимут магнитный
КП	Контрольный пункт
КМ	Контрольный маршрут
СМ	Секущий маршрут
РМ	Рядовой маршрут площадной съемки
ОМ	Опорный маршрут
СВМ	Связующий маршрут
ПМ	Повторный маршрут
РЧМ	Расчетный маршрут
ОС	Опорная сеть
СОС	Специальная опорная сеть
ВОС	Всесоюзная опорная сеть
АФА	Аэрофотоаппарат
МВС	Магнитная вариационная станция
СПУ	Самолетное переговорное устройство
РГП	Радиогеодезический курсопрокладчик
$H_{\text{бар}}$	Барометрическая высота
$H_{\text{ист}}$	Истинная высота (расстояние до поверхности земли)
ЗЛП	Заданная линия полета
ФЛП	Фактическая линия полета

цией (синонимы — абсолютный вектор геомагнитного поля, полное мгновенное значение поля и т. п.) закреплено традиционное для магниторазведки буквенное обозначение T. Обозначения и символы, применяемые в магниторазведке, приведены в табл. 3.

Принципы наименования приборов

§ 3. Приборы, предназначенные для измерения магнитного поля, называются *магнитометрами*. В узком значении понятия магнитометрами называют приборы с подвесными постоянными магнитами, основанные на силовом действии магнитного поля на магнит

В системе Госкомитета СССР по стандартам для различения приборов по типу измеряемой магнитной величины принято пользоваться названиями единиц измерения. При таком подходе *тесламетрами* называют приборы для измерения магнитной индукции, а *веберметрами* — потока магнитной индукции.

Приборы, используемые в магниторазведке для измерения модуля вектора магнитной индукции или составляющих этого вектора, а также для измерения их приращений, в настоящей инструкции именуются *магнитометрами.* Конкретное назначение прибора находит отражение в его развернутом наименовании (например, ΔZ-магнитометр, магнитовариационная станция для измерения вариаций T).

По условиям использования магнитометры делятся на:

— *наземные магнитометры* — для измерений на суше или на другой твердой неподвижной поверхности (ледяной покров на акватории);

— *автомобильные магнитометры* — разновидность наземных магнитометров, установленных на движущемся автомобиле, где и производятся измерения;

— *аэромагнитометры* — для измерений с самолета или вертолета во время полета над земной поверхностью;

— *морские магнитометры* — для измерений в водной среде или с плавающего объекта;

— *шахтные магнитометры* — для измерений в горных выработках;

— *скважинные магнитометры* — для измерений в буровых скважинах.

По принципу действия измерительного преобразователя геофизические магнитометры, измеряющие магнитную индукцию, делятся на оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые.

Оптико-механическими называются магнитометры с магнитной системой (иглой, подвесным магнитом и т. п.), изменяющей свое положение в зависимости от магнитного поля.

Феррозондовыми называются магнитометры, в которых измерение магнитного поля основано на особенностях намагничивания ферромагнитных тел (сердечников из магнитомягкого железа) во внешнем поле.

Протонные магнитометры основаны на явлении прецессии магнитных моментов протонов (ядер атомов водорода) в магнитном поле.

Квантовыми называются магнитометры, действующие на основе явления оптической ориентации атомов в парах щелочных металлов или гелия.

Другие терминологические сведения см. в прил. 2.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

§ 4. Основанием для проектирования является установленное вышестоящей организацией геологическое задание. Назначением проекта является определение методики, техники и организации магниторазведочных и связанных с ними вспомогательных работ, которые необходимо осуществить для выполнения геологического задания, а также обоснование исходных данных для составления сметы. В проектах должны предусматриваться наиболее рациональная методика и организация работ, обеспечивающие выполнение геологических заданий с минимальными затратами средств и времени. Вспомогательные виды работ (например, фотопривязка, радиогеодезическое или вариационное обеспечение) рассматриваются в разделах единого проекта; составление самостоятельных проектов по таким работам не допускается. Проект должен быть предельно кратким и содержать только те сведения, которые необходимы для выполнения указанных выше задач проектирования.

При составлении проектов необходимо руководствоваться данной инструкцией, приказами вышестоящих организаций *, методическими указаниями по выполнению отдельных видов работ, справочниками укрупненных сметных норм (СУСН) и другими официальными документами. Инструкции и методические указания в проектах не цитируются (приводятся только ссылки).

Проект состоит из двух частей — геолого-методической и производственно-технической — и оформляется соответственно в двух томах в раздельных переплетах.

§ 5. На начальном этапе проектирования необходимо собрать и проанализировать сведения, которые определяют конкретные задачи, организацию, технику, методику, стоимость и эффективность проектируемых работ.

Так, по району работ изучают сведения о его геолого-геофизической изученности, о геологическом строении (включая геологические результаты предшествующих геофизических работ), о магнитных свойствах горных пород и полезных ископаемых, о наличии и особенностях топографических карт, аэрофотосъемочных материалов и геодезических знаков на местности, о физико-географических особенностях района — его орогидрографии, залесенности, климате, дорогах, населенных пунктах, аэродромах и т. п., о ближайших магнитных обсерваториях (координаты, удаленность от участка, аппаратура обсерваторий).

В зависимости от вида проектируемых работ дополнительно изучаются:

---

* Основным документом, определяющим порядок проектирования геологоразведочных работ в системе Мингео СССР, является «Инструкция по проектированию геологоразведочных работ», утвержденная приказом министра геологии СССР № 36 от 29 января 1975 г. и согласованная со Стройбанком СССР.

— для аэромагнитной съемки — вероятное количество летных дней за сезон, наличие и характер ориентиров на местности, основной и запасные аэродромы;

— для гидромагнитной съемки и аэромагнитной съемки над акваториями — сведения о конфигурации береговой линии, батиметрические данные, сведения об островах и морских течениях, о донных пробах и магнитных свойствах пород дна;

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

§ 6. Геолого-методическая часть проекта состоит из следующих разделов:

1) геологическое задание;

2) географо-экономическая характеристика района работ;

3) обзор, анализ и оценка ранее проведенных работ;

4) геологическая, гидрогеологическая и геофизическая характеристика объекта работ;

5) методика и объемы проектируемых работ;

6) подсчет ожидаемого прироста (перевода) запасов (в проектах на магниторазведочные работы этот раздел необходим только в тех случаях, когда их результаты влияют непосредственно на подсчет запасов).

Ниже указано содержание разделов геолого-методической части проекта магниторазведочных работ.

Геологическое задание. Приводится утвержденное вышестоящей организацией геологическое задание, послужившее основанием для составления проекта (программы).

Географо-экономическая характеристика района работ. Указываются географическое и административное положение района работ, пути сообщения и расстояния до ближайших железнодорожных станций, пристаней, аэродромов, шоссейных магистралей; ближайшие районные центры и населенные пункты; возможность использования различных видов транспорта. Кратко освещаются орогидрография района работ, климатические условия, обнаженность, залесенность, заболоченность, условия проходимости местности. Здесь же в зависимости от характера района и вида проектируемых магниторазведочных работ приводятся данные о ближайших магнитных обсерваториях, ожидаемое число летных дней за сезон, наличие и характер ориентиров для фотопривязки, сведения об аэродромах и временных посадочных площадках для съемочного самолета, батиметрические данные. Все перечисленное дается в объеме, необходимом и достаточном для обоснования методики проектируемых работ, их объемов, норм их выполнения и поправочных коэффициентов к нормам времени, зарплате и т. п. В разделе также приводятся экономические характеристики района, влияющие на организацию и выполнение планируемых работ.

Обзор, анализ и оценка ранее проведенных работ. Освещаются степень изученности объектов (геологической, геофизической), обеспеченность работ топографическими картами и аэрофотоматериалами, изученность физических свойств горных пород и полезных ископаемых, наличие геодезических знаков на местности. В зависимости от вида планируемых работ здесь же могут быть даны сведения о буровых работах или о наличии донных проб. Приводится краткий аналитический обзор ранее выполненных магниторазведочных работ, указываются их объемы и дается оценка их результатов.

Геологическая, гидрогеологическая и геофизическая характеристика объекта работ. Кратко излагаются данные по стратиграфии, тектонике, магматизму, вулканизму, полезным ископаемым, а в случае необходимости о гидрогеологии

объекта работ. Приводятся и анализируются сведения о физических свойствах пород и полезных ископаемых, результаты геофизических (прежде всего магниторазведочных) работ, суждения о геологической природе установленных аномалий и типов магнитных полей. На основании анализа комплекса геолого-геофизических данных, полученных в предыдущие годы, обосновываются конкретные задачи проектируемых работ.

Методика и объемы проектируемых работ. На основе изложенного в предыдущих разделах с учетом опыта работ на аналогичных объектах формулируются все задачи, необходимые для выполнения геологического задания, и определяется последовательность их выполнения. Указывается ожидаемая геологическая эффективность работ. Выбираются способы решения указанных задач, методика работ, определяются их объемы, сроки, необходимая аппаратура, оборудование, а для аэромагнитной съемки — тип самолета (вертолета). При работе с новой аппаратурой или по новой методике, а также с целью выявления возможности применения магниторазведки при решении новых для данного региона геологических задач намечаются опытные работы, необходимость, состав и продолжительность которых должны быть тщательно обоснованы. В этом разделе следует обосновать выбор сети наблюдений магнитного поля (масштаб съемки, направление маршрутов, высота съемочных полетов, расстояния между точками измерений), выбор способа увязки результатов измерений магнитного поля, плановой и высотной привязки и (или) методики наземных топографических работ, способа учета вариаций и других источников помех, указать организацию службы времени; здесь же должны быть перечислены и мотивированы вспомогательные наземные наблюдения, вспомогательные виды съемочных полетов, их объемы; должны быть приведены сведения о масштабах и объемах детализационных съемок, о поверках и полевых проверках параметров приборов, о содержании и объемах камеральных работ в поле и в камеральный период, о их методике; нужно указать масштабы и виды отчетных графических материалов, проектную точность съемки, данные о порядке и способах оценки качества всех видов работ. Полезно указать условия, при которых съемка должна прекращаться, например при появлении интенсивных вариаций, значительной «болтанки», ветра со скоростью, превышающей 12 м/с (если аэромагнитометр имеет выпускную гондолу) и др.

§ 7. Производственно-техническая часть проекта обычно составляется специализированными проектно-сметными подразделениями геологических предприятий, а при их отсутствии — силами организации, исполняющей работы.

Производственно-техническая часть опирается на данные, приведенные в первой части проекта, на действующие нормативные документы (укрупненные комплексные расценки, СУСН, временные нормы и др.) и определяет организацию, технологию, технические средства, объемы и сроки выполнения, а также стоимость всех элементов и видов работ для всех этапов выполнения задания — от проектирования до утверждения окончательных отчетов по выполненным работам. Она включает вводный раздел («общая часть»), разделы посвященные проектированию, подготовительному периоду, полевому периоду (с самостоятельными подразделениями по всем видам основных и вспомогательных, в том числе лабораторных и опытно-методических, топографических, картографических и других работ), камеральным работам и отчетности. Эта часть проекта должна определять практическое осуществление запланированных работ и исчерпывающе обосновывать смету.

Здесь, в частности, рассматриваются:

— территориальное размещение партии (отряда);

— организация заблаговременного завоза в район работ горючего, оборудования, материалов и продуктов питания;

— снабжение партии (отряда) электроэнергией, водой, горючим, продуктами питания;

— транспортировка к месту базирования партии (отряда) и обеспечение транспортом на месте работ;

— организация связи;

— объемы всех видов работ *;

— особенности работ и факторы, влияющие на производительность труда; затраты времени на ремонтные и регламентные работы, на переезды от участка к участку, перебазировку магнитных вариационных станций и перебазировку съемочных самолетов, на подлеты от аэродрома к участку работ (при выполнении аэромагнитной съемки);

— выбор категории трудности по видам и участкам работ;

— структура и состав партии (отряда);

— перечень приборов, оборудования, снаряжения, материалов и транспортных средств;

— необходимое для выполнения задания машинное время (при работе с ЭВМ);

— командировки, консультации, экспертизы;

— техника безопасности, санитария и гигиена труда, обеспечение противопожарной безопасности, вопросы сохранения окружающей среды, затраты на вырубку леса и возмещение потрав;

— технико-экономические показатели;

— сроки выполнения всех видов работ;

— виды отчетности и сроки ее представления.

§ 8. Вспомогательным и сопутствующим видам геолого-геофизического комплекса должны соответствовать отдельные разделы проекта.

Так, в разделе о радиогеодезических работах приводятся:

— техническое задание с указанием объектов и требуемой точности привязки, отчетной документации, времени работ;

— сведения о районе и его картографической изученности, определяющие организацию, методику и качество плановой привязки;

— методика работ; в частности, рассматриваются выбор пунктов установки базисных и ретрансляционной станций, выбор способа определения координат антенн этих станций, границы рабочей зоны системы при избранном варианте размещения базисных станций, допустимая погрешность их привязки и необходимая точность радиогеодезических измерений, организация контроля и приемки работ в полевой период, перечень геодезических и картографических материалов, подлежащих сдаче по окончании работ;

— производственно-технические показатели работ, расчеты, план организационных мероприятий; в том числе должны быть приведены расчет потребности в инженерно-техническом персонале, рабочих и транспорте, сроки и график выполнения геодезических и радиогеодезических работ, наименование и количество требующейся аппаратуры, инструментов, оборудования и полевого снаряжения.

Проект сопровождается схемой геодезической привязки базисных станций.

Раздел, посвященный фотопривязке, должен содержать следующие сведения:

— о картографическом обеспечении и наличии материалов аэрофотосъемки, о качестве карт и фотосхем;

— о наличии ориентиров на карте и местности района, о его рельефе;

— о высоте и масштабе аэромагнитной съемки, направлении профилей, методе залета площади (огибание рельефа, съемка на постоянной барометрической высоте);

---

* Объемы магнитной съемки указываются как в физических единицах, так и в единицах площади.

— об имеющейся аппаратуре для производства аэрофотосъемки и об оборудовании полевой лаборатории, с обоснованием выбора типа аэрофотоаппарата.

На основании этих исходных данных в проекте на фотопривязку нужно определить и обосновать:

— рациональную методику аэрофотосъемки, в частности необходимость фотокаркасов, тип привязки (одиночные снимки, серии, непрерывная фотосъемка), точность привязки;

— объемы аэрофотосъемочных работ и необходимость дополнительных затрат летного времени;

— организацию, сроки работ, состав исполнителей; перечень отчетной документации;

— потребное количество аэрофотоматериалов (пленки, бумаги, химикалиев).

§ 9. При проектировании аэромагниторазведки необходимо учитывать, что средняя съемочная скорость самолета АН-2 с выпускной гондолой снижается до 150—160 км/ч; если действующие в период проектирования нормы исходят из иных скоростей съемочных полетов, обязательно введение поправочных коэффициентов. Такие же поправочные коэффициенты вводят и при работе с другими самолетами (вертолетами), скорости которых отличаются от принятых при составлении СУСН.

При использовании протонных и квантовых аэромагнитометров, не имеющих регистрации в виде, пригодном для обработки на ЭВМ, или когда такая обработка невозможна по организационным причинам, нужно предусматривать увеличение объема камеральных работ примерно в 1,5 раза по сравнению с их объемом при съемке феррозондовыми приборами, что связано с гораздо большей информативностью результатов измерений и необходимостью выполнения дополнительных операций обработки.

При выполнении магнитных съемок в зимнее время предусматривается снижение производительности на 10 % и соответствующее увеличение полевого периода и затрат летных часов съемочных самолетов.

При аэромагнитной съемке необходимо предусматривать от 10 до 20 летных часов на опробование аппаратуры в начале полевого сезона, для калибровки высотомера, изучения или компенсации девиации, пробных вылетов с целью определения качества сигнала и качества записи поля, а также для дополнительных проверок после устранения возможных неисправностей аппаратуры в течение полевого сезона.

§ 10. Проект должен иметь оглавление, опись приложений и список литературы и фондовых материалов, использованных при его составлении. К тексту проекта необходимы следующие приложения: а) графические — обзорная карта района в мелком масштабе, геологическая карта в масштабе работ или близком к нему, карта геофизической изученности района; б) текстовые — список аппаратуры, оборудования и материалов, протоколы согласования работ, рецензии, протоколы научно-технического совета (НТС), копии договоров и проектно-сметная документация на работы, выполняемые сторонними организациями.

К проекту обязательно прилагается календарный план и смета, составленная на основании действующих положений и справочников укрупненных сметных норм.

Расходы на виды работ, не предусмотренные в справочниках, определяются специальными расчетами, которые прилагаются к смете. Так, в сметах должны быть учтены дополнительные расходы на вариационную службу при работе с квантовыми и протонными приборами в высоких широтах, увеличение стоимости съемок с радиогеодезической привязкой, расходы на опытные работы и др.

Проект на магниторазведочные работы должен иметь рецензию геофизика. Защита проекта происходит на НТС предприятия-исполнителя.

В процессе выполнения задачи, предусмотренной плановым заданием, начальник партии (отряда) имеет право отступить от проекта, если это способствует снижению стоимости, улучшению качества и геологической

эффективности работ или сокращению срока выполнения задания, однако все отступления от проекта должны быть согласованы с вышестоящими организациями.

1.2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

§ 11. Для производства магниторазведочных работ организуются партии или отряды — самостоятельные или входящие в состав комплексных геофизических или геологических экспедиций или партий.

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

Начальник аэромагниторазведочной партии (отряда) или вышестоящая организация по его представлению должны заблаговременно осуществить следующие подготовительные мероприятия: оформить разрешение контрольных органов на право производства аэромагнитной съемки с аэрофотопривязкой, заключить договор с соответствующим подразделением гражданской авиации на выполнение аэромагнитной съемки, сделать заявку на получение топографичсских карт необходимых масштабов, заказать материалы аэрофотосъемки района работ, принять меры по организации временных посадочных площадок, а также по заброске горюче-смазочных материалов для авиаотрядов и для передвижных электростанций, укомплектовать партию (отряд) кадрами, материалами, приборами и вспомогательным оборудованием, произвести медосмотр и инструктаж состава исполнителей по технике безопасности.

Перед началом полевых работ начальник партии (отряда) обязан:

— обеспечить ремонт, поверку и паспортизацию аппаратуры, а при выполнении аэромагнитных работ — переоборудование самолета, установку приборов на самолете и летные испытания аппаратуры;

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

— организовать базы партии (отряда) на месте работ; обеспечить помещения для жилья, камеральных работ, фотолаборатории, обеспечить хранение горюче-смазочных материалов, оборудования и снаряжения, материалов и продовольствия;

— организовать отправку сотрудников на место работ и доставку магнитных вариационных станций на точки их базирования;

— наладить деловой контакт и обмен информацией с местными территориальными геологическими организациями, с геологическими и геофизическими партиями, работающими в районе съемки;

— уведомить местные советские и партийные органы о плане намеченных работ;

— довести до сведения каждого сотрудника партии (отряда) содержание проекта работ и избранные варианты методики выполнения съемки.

Подготовка к полевым радиогеодезическим измерениям должна в себя включать:

— выбор пунктов установки и установку наземных радиостанций, определение координат мачт-антенн наземных радиостанций, выбор пунктов исходной радиогеодезической привязки;

— подготовку радиогеодезических планшетов, вычисление условных координат точек проектных маршрутов съемки; подготовку курсограмм для осуществления активного способа вождения летательного аппарата по съемочным маршрутам;

— установку набортной радиогеодезической аппаратуры и проверку готовности радиогеодезической системы к измерениям;

— выполнение проверочного радиогеодезического рейса.

Начальник радиогеодезической партии (отряда) должен заблаговременно оформить в органах Государственной инспекции электросвязи СССР разрешение на работу радиопередающих радиостанций в районе геофизи-

ческих работ. Работа радиостанций без указанных разрешений категорически запрещается.

При применении любых модификаций магниторазведки перед началом регулярных работ рекомендуется проверка всей аппаратуры на месте работ в реальных условиях эксплуатации (магнитовариационных станций — на месте их расстановки, морских приборов — на движущемся судне и т. д.). Одновременно проверяется работа вспомогательных приборов и оборудования: электростанций, средств связи и т. п.

1.3. СЛУЖБА ВРЕМЕНИ

§ 12. В состав службы времени входит:

а) синхронизация работы всех приборов, участвующих в съемке (МВС, магнитометры, аэромагнитометры, высотомеры, средства плановой привязки и др.), а также привязка к шкале времени всех записей операторов (выполненных на лентах регистраторов и в специальных журналах);

б) исключение влияния неравномерной развертки лент регистраторов;

в) систематическая проверка приборов и приспособлений, используемых в службе времени (часы, хронометры, отметчики времени и др.).

В средних широтах синхронизация МВС с магнитометрами и аэромагнитометрами необходима с точностью до 5 с в обычные и до 1—2 с в возмущенные дни. *В высоких широтах всегда нужна синхронизация до 1—2* с.

Все результаты измерений должны быть приведены к московскому времени. Для этого, используя радиостанцию «Маяк», необходимо:

— для приборов, имеющих кварцевые часы, выполнять сверку с радиосигналами точного времени после каждого включения прибора;

— для приборов, имеющих нестабилизированные отметчики времени, производить периодическую сверку с радиосигналами через интервал, обеспечивающий заданную точность синхронизации; смещение меток времени между поверками считается линейным;

— для случаев, когда шкала времени определяется по часам или хронометрам, выполнять сверку всех используемых часов и хронометров по радио с интервалом, зависящим от постоянства хода часов и заданной точности синхронизации.

Если ход часов или отметчика времени равен Δt, с/ч, то при заданной точности синхронизации P, с, частота поверок часов или отметчиков времени τ (интервал контроля) должна определяться по формуле

$$\tau = P/\Delta t.$$

Так, если точность синхронизации задана равной 10 с, а ход часов составляет 10 с/ч, то поверки нужны через интервал 1 ч.

Учитывая, что поверки времени по радио чаще чем 1 раз в час затруднительны, нужно применять часы и отметчики времени с малым и притом линейным ходом (хронометры, полухронометры, отдельные экземпляры обычных часов).

Для приема радиосигналов времени на рабочем месте бортоператора используется самолетное переговорное устройство, которое подключается перед поверкой к радиоприемнику самолета.

Исключение неравномерного хода лент регистраторов осуществляется частыми метками времени, которые могут быть не предусмотрены техническими условиями на прибор и обеспечиваются исполнителями.

Данные фотопривязки при аэромагнитной съемке синхронизируются с записью аэромагнитометра с помощью меток моментов экспозиций, фиксируемых непосредственно на аэромагнитограмме; кроме того, на снимках фиксируется изображение часов. При наличии других приборов (например, при комплексной аэрогеофизической съемке) необходимо иметь синхронные метки времени на всех регистраторах, причем их интервал определяется неравномерностью хода лент и для обычных отечественных многопараметровых регистраторов должен быть в пределах 1—5 мин.

В некоторых многопараметровых регистраторах пишущие устройства (перья и цифропечатающие узлы) расположены со взаимным смещением по оси магнитограммы. Это смещение должно учитываться при обработке результатов измерений магнитного поля во избежание систематической рассинхронизации записей.

Все записи, относящиеся к приемке сигналов времени, проверке и сверке часов, должны строго документироваться на лентах приборов и (или) в журналах операторов. В ряде случаев целесообразно иметь в каждом отряде специальный журнал, в котором регистрируются все мероприятия, относящиеся к службе времени.

1.4. УЧЕТ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ

§ 13. Для измерения вариаций элементов земного магнитного поля используются следующие вариационные станции:

— оптико-механические (СМВ-2М, ИЗМИРАН-4);
— квантовые (МВС, КМ-5);
— протонные (АМВС).

Метрологические показатели и технические характеристики применяемых вариационных станций сведены в прил. 3.1.

При обслуживании наземных магнитных съемок для учета вариаций помимо автоматических вариационных станций в некоторых случаях (например, при разбивке опорной сети) могут использоваться обычные магнитометры, обязательно того же типа и класса точности, что и прибор, с которым выполняются съемки.

Кроме излагаемых в заводских инструкциях по эксплуатации правил наладки станций и обращения с ними в ходе их использования необходимо также следовать указаниям настоящей инструкции по размещению станций на пункте их установки и оборудованию пунктов.

Выбор места установки магнитовариационных станций

§ 14. При выполнении высокоточных и прецизионных наземных съемок с модульными (квантовыми) магнитометрами необходимо учитывать возможность неидентичного протекания вариаций в сопоставляемых пунктах за счет разнонаправленности полного геомагнитного вектора. Если угол между полными векторами на участке съемки и в месте расположения МВС достигает 1°, вариация H-составляющей амплитудой около 50 гамм (рядовой случай для средних широт) зарегистрируется в сравниваемых пунктах с разницей до 1,5 гаммы в максимуме вариации. Поэтому при высокоточных и прецизионных модульных измерениях на участке работ и в месте установки МВС целесообразно определение абсолютных значений элементов земного магнетизма (и в первую очередь вертикальной составляющей) для оценки однонаправленности полных геомагнитных векторов. Не допускается установка МВС поблизости от мощных статических магнитных масс, даже при полной их неподвижности, так как локальное поле, создаваемое этими массами, может существенно отклонить геомагнитный вектор от естественного направления.

При разведке сильномагнитных объектов, съемке вблизи уже открытых месторождений магнитных руд, а также при проведении высокоточных и прецизионных съемок в районах аномальных значений магнитного поля вариационные станции не должны устанавливаться в эпицентрах интенсивных аномалий.

Окончательная установка каждой МВС для систематических наблюдений вариаций осуществляется *после* проведения рекогносцировочной съемки с полевыми магнитометрами (М-27, М-27М, М-33 и др.) в месте предполагаемой установки МВС на площади не менее 25×25 м^2 (по радиальным маршрутам или прямоугольной сети).

Размещение магнитовариационной станции ИЗМИРАН-4

§ 15. Магнитовариационная станция ИЗМИРАН-4 устанавливается в специально оборудованной землянке размером не менее 250×150×200 см или в наземном строении той же вместимости. В обычной палатке устанавливать станцию нельзя, так как необходимое условие вариационных наблюдений любого типа — обеспечение минимальности температурных изменений в непосредственном окружении станции (2—3 °С при любых суточных перепадах температуры).

При оборудовании помещения обеспечивается его полная светонепроницаемость. Пульт управления станцией, сухие батареи и вспомогательный инвентарь, необходимый для настройки, градуировок и текущего ремонта станции, размещаются на расстоянии полной длины кабеля, идущего от пульта к корпусу станции.

Вокруг места расположения землянки вбиваются колья с предупредительными щитами. Между кольями натягивается веревка, препятствующая случайному проникновению животных (или транспорта) к месту расположения землянки.

При установке станции в наземном строении (сарай, дом, сборное сооружение) деревянный пол снимается, и столик станции размещается на глиняном или земляном полу. Необходима прихожая (тамбур), изолирующая основное рабочее помещение от тепловых колебаний при входе и выходе оператора. В прихожей устанавливаются источники питания, пульт управления и складывается вспомогательный инвентарь. В строении никто не должен жить или работать (подразумеваются работы, не связанные с обслуживанием станции), чтобы перемещение магнитных предметов не вносило помех в магнитограммы. В нем не должно быть больших масс железа (железная крыша, железобетонная арматура), особенно подвижных. Чугунная плита, дверцы и вьюшки в печке на расстоянии 3 м и более от станции не влияют на процесс регистрации при условии их неподвижности. Любые железные предметы передвигать нельзя.

Землянка или строение, где предполагается установить станцию, должны быть удалены от проезжих дорог на 60 м, от пешеходных дорог и тропинок на 20 м.

Обслуживание станции ИЗМИРАН-4

§ 16. Погрешности измерения вариаций элементов геомагнитного поля станцией ИЗМИРАН-4 можно разделить на два класса:

— погрешности определения цены деления;

— погрешности за счет непостоянства нулевой (базисной) линии.

Погрешность определения цены деления обусловлена:

— нелинейностью шкалы миллиамперметра, входящего в комплект станции;

— неопределенностью измерения градуировочного тока;

— погрешностью определения диаметра градуировочного кольца на домике магниточувствительной системы;

— погрешностью измерения градуировочного импульса на ленте регистратора.

Нелинейность шкалы прибора и погрешность определения диаметра градуировочного кольца вносят малозначимый вклад (менее 1 %) в суммарную погрешность, и этими факторами допустимо пренебречь.

Относительная погрешность определения градуировочного тока не должна превышать 2 %. Выполнение этого требования обеспечивается:

— подключением в циклах особо ответственных измерений внешних миллиамперметров с диапазоном показаний шкалы 0—3 мА;

— систематической (не менее 3 раз за полевой сезон) сверкой рабочего миллиамперметра с прибором типа М-82 класса точности 0,5 (выполняется оператором МВС).

Относительная погрешность измерения градуировочного импульса на ленте регистратора не должна превышать 1 %, что обеспечивается:

— подбором такого градуировочного тока, при котором расстояние между кривой вариаций и градуировочной меткой на ленте не менее 50 мм;

— увеличением продолжительности градуировочного импульса в среднем до 3 мин.

При наличии помех или высоком уровне короткопериодных колебаний (КПК) в момент подачи градуировочного импульса погрешность его определения может резко возрасти. Такие градуировочные характеристики, как правило, признаются недостоверными и бракуются.

У станции ИЗМИРАН-4 цена 1 мм записи обнаруживает изменчивость во времени. Поэтому автоматически подаваемые градуировочные импульсы дополняются ручной градуировкой, отвечающей всем сформулированным выше требованиям. На 8-часовом цикле необходимо выполнить не менее трех (в начале, середине и конце цикла) ручных градуировок увеличенной длительности.

Непостоянство базисной линии записи (нулевой линии, нуля станции) определяется влиянием компонент вариаций, ортогональных к измеряемой, а также непостоянством окружающей станцию температуры. Эти факторы сказываются при особо точных наблюдениях вариаций. Близким к оптимальному режимом использования станции ИЗМИРАН-4 является режим паспортной и более высокой чувствительности (0,5—0,8 нТл/мм) при стабилизации окружающей температуры до 2—3 °С.

Смена отснятой ленты и установка на барабан регистратора чистой ленты производятся в полной темноте. Транспортировка отснятой ленты на фотообработку допускается *только* в герметически закрытом светонепроницаемом контейнере.

Установка и обслуживание магнитовариационной станции СМВ-2М

§ 17. Станция устанавливается в палатке площадью не менее 4 м² и высотой не менее 1,8 м либо в фанерной (или досчатой) будке или освобожденном от магнитных предметов доме (сарае). Пульт управления устанавливается на расстоянии полной длины соединительного кабеля от корпуса станции в двухместной палатке или в хорошо защищенном от дождя деревянном или дюралевом контейнере, закрепляемом на вкопанном поблизости от станций столбе. Место установки СМВ-2М ограждается кольями с предупредительными щитами. При размещении в населенном пункте станция должна быть удалена от ближайших жилых домов и дорог с интенсивным движением транспорта на расстояние не менее 60 м.

Штатив станции устанавливается на вбитые в землю колья диаметром 45—70 мм и длиной от 200 до 400 мм (в зависимости от характера грунта). Установка штатива со станцией на полу жилого или вспомогательного помещения не разрешается.

Оператор, обслуживающий СМВ-2М обязан ежедневно:

— не менее 3 раз в сутки осуществлять ручную градуировку;

— систематически контролировать напряжение накала на осветителе станции;

— контролировать положение уровней станции;

— вести рабочий журнал (прил. 1.14).

Вариограммы без предъявления соответствующих им журнальных записей считаются недействительными (бракуются).

Оформление вариограмм станций ИЗМИРАН-4 и СМВ-2М

§ 18. Вариограммы на фотобумаге, полученные при регистрации вариаций станциями ИЗМИРАН-4 и СМВ-2М, перед оформлением выдерживаются под прессом в течение срока, достаточного для полного их разглаживания. Все вариограммы независимо от вида носителя информации о вариациях (фото-, электротермическая или диаграммная бумага) оформляются едино-

образно, в строгом соответствии с записями в рабочем журнале оператора:

— в начале ленты указываются место и дата регистрации вариаций, а также местное время начала измерительного цикла (с точностью, соответствующей принятому масштабу времени);

— возле каждой очередной метки времени (пробела) над базисной линией надписывается время; если метки приходятся на целые часы суток, минуты не указываются;

— возле каждой очередной градуировочной метки указывается значение силы тока в градуировочном импульсе и расстояние от градуировочной метки до кривой хода вариаций, предварительно измеренное линейкой; по значению постоянной градуировочного кольца, силе тока и расстоянию в миллиметрах рассчитывается цена 1 мм записи (в нанотеслах на миллиметр); полученное значение записывается на ленте возле градуировочной метки.

Подготовка к работе и обслуживание квантовой магнитовариационной станции типа МВС

§ 19. Для систематического контроля за функционированием счетной схемы и электронного блока, работающего на измерительный преобразователь (датчик) станции, на пункте установки МВС должны быть осциллограф с диапазоном частот от 20 Гц до 50 МГц, электронный частотомер (Ч3-34 или всех последующих марок), тестер (ампервольтомметр).

Питание всего комплекта МВС при отсутствии электросети обеспечивается бензоэлектрическим агрегатом АБ-1/230 с распределительной колодкой на пять розеток. Для систематического контроля времени необходим радиоприемник (любого класса).

Блок питания МВС, электронно-счетный блок, пульт управления, регистратор (Н-349 или КСП-04) и перфоратор устанавливаются в закрытом помещении (балок, времянка, шестиместная палатка) на заранее оборудованные стеллажи (столы). Вспомогательное оборудование хранится в этом же помещении. Тренога с измерительным преобразователем (датчиком) МВС устанавливается в отдельном (сухом) помещении на расстоянии полной длины соединительного кабеля. Палатки освобождаются от металлических колец крепления. Рекомендуется ставить преобразователь МВС в деревянную будку, собранную без магнитных гвоздей. Во избежание сырости в будке (или палатке) настилается пол. В отличие от оптико-механических МВС преобразователь квантовой МВС на треноге может устанавливаться на полу будки (или на земле, без предварительного забивания кольев).

При эксплуатации квантовой МВС на каждые 100 ч записи необходимы 200 м диаграммной бумаги и 7200 м телеграфной ленты. Для хранения записей нужны контейнеры с секциями.

Оставлять инвентарь и посторонние предметы в будке треноги с преобразователем нельзя. Соединительный кабель прокладывается в строгом соответствии с требованиями техники безопасности; вокруг будки (времянки) с преобразователем выставляются колья и предупредительные щиты.

МВС обслуживается инженером-оператором. Включение станции должно опережать начало съемочных работ на 1,5—2 ч (начальный интервал недостоверных показаний МВС после ее включения длится до 1—1,5 ч).

Оператор МВС обязан:

— не менее 2 раз в течение рабочего цикла (смены) осуществлять градуировку;

— систематически записывать на диаграммной ленте уровень поля (абсолютные значения) по показаниям светового табло с последующим переводом записанного набора цифр в гаммы;

— контролировать время МВС по сигналам точного времени, поступающим с радиоприемника, и обеспечивать нанесение дополнительных меток времени не реже чем через 10 мин;

— фиксировать на ленте переключения диапазонов, а в случае сдвига записи к краю ленты своевременно включать калиброванный импульс смещения;

— внимательно следить за постоянством контрольных параметров, в особенности за стабильностью питающего станцию напряжения;

— наблюдать за приближением транспорта, повозок и людей к месту расположения МВС и фиксировать на ленте (бумаге) регистратора моменты проникновения внешних источников помех в зону мешающего воздействия на МВС;

— записывать на бумаге регистратора моменты резкого изменения погоды (начало грозы, снегопада и т. п.).

Основным источником сведений о ходе обслуживания квантовой МВС является диаграммная лента регистратора. Ведение отдельного журнала при работе с данной станцией необязательно.

Оформление каждого начала и каждого конца ленты следует выполнять по прил. 1.9.

Содержание и организация работ по учету вариаций при наземной съемке

§ 20. При высокоточных и прецизионных съемках, а также при крупномасштабных съемках в условиях слабомагнитных пород *обязателен* систематический учет вариаций.

В каждой магниторазведочной партии предусматривается организация группы, ведущей наблюдения вариаций — вариационного отряда, состоящего как минимум из трех человек при двух МВС. Если наземная магнитная съемка выполняется небольшим отрядом, вариационная группа не выделяется в качестве самостоятельной единицы, а наблюдения вариаций ведутся работниками, назначаемыми из состава съемочного отряда. Вариационный отряд обеспечивает ежедневное сменное (или круглосуточное) наблюдение вариаций с целью их исключения из полевых магнитных наблюдений.

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

Работа вариационного отряда, обслуживающего наземные съемки в течение полевого сезона, может быть разделена на три этапа.

§ 21. При высокоточной и прецизионной съемке на первом этапе, предшествующем развертыванию съемочных наблюдений на выбранном участке, решаются следующие задачи:

— оценка уровня промышленных магнитных помех в районе наблюдений;

— оценка однородности поля естественных геомагнитных вариаций;

— определение количества магнитовариационных станций, необходимых для обслуживания всех съемочных приборов партии;

— выбор места для установки МВС, оборудование помещений для МВС, установка и настройка станций.

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

При выполнении съемки одиночным прибором оценка уровня промышленных помех и оценка однородности поля также могут не проводиться предварительно, а сама МВС максимально приближается к съемочному прибору (устанавливается на участке). В случае невозможности установки МВС на участке на расстоянии прямой видимости от съемочного прибора на первом этапе выполняется несколько циклов синхронных наблюдений вариаций по-

левым магнитометром в стационарном положении и МВС длительностью от 2 до 5 ч, обязательно в дневное время. При проведении этих сверочных циклов условия измерений вариаций обоими приборами должны быть совершенно одинаковыми (жесткая фиксация на пунктах установки, защищенность от дождя, ветра и вибрации). База (расстояние между МВС и магнитометром на участке) считается определенной правильно, если среднее квадратическое расхождение между показаниями прибора и МВС на полном цикле синхронной регистрации вариаций не превосходит удвоенного среднего квадратического отклонения результата измерения для полевого магнитометра (паспортного значения). Если результаты сверочных циклов свидетельствуют о невыполнении этого требования, станция переносится на новое место и циклы синхронного измерения вариаций повторяются.

При ведении высокоточной и прецизионной наземной съемки несколькими приборами, работающими одновременно на разных участках, обязательно изучается однородность поля вариаций на всем планшете работ *. Если район съемки находится недалеко (до 50 км) от города, рабочего поселка или в зоне действия крупных одиночных промышленных объектов (горно-обогатительный комбинат, ГЭС, электрифицированная железнодорожная линия и т. п.), производится оценка интенсивности, градиента и размеров зоны влияния индустриальных магнитных помех, а также определение времени суток, соответствующего максимальному (минимальному) уровню излучаемого поля помех. На основании собранных материалов оценивается возможность одновременного обслуживания одной магнитовариационной станцией *всех* съемочных приборов (всех участков). По этим же материалам выбирается также конкретный способ синхронизации отсчетов на съемочном приборе с показаниями МВС (взятие отсчетов по часам, по радиосигналу, по отмашке, взятие серии отсчетов на каждой точке профиля с целью последующего сопоставления коротких отрезков хода вариаций по характерным точкам). Учету вариаций существенно помогают густые, надежно выполненные опорные сети.

Съемки в районах, заведомо свободных от промышленных магнитных помех (тайга, тундра, труднодоступное высокогорье и т. п.), как правило, не требуют столь тщательного исследования однородности поля вариаций. При отсутствии промышленных помех (которые в большинстве случаев легко опознаются на вариограмме любого элемента геомагнитного поля, т. е. как на компонентных, так и на модульных вариограммах) съемки с проектным значением средней квадратической погрешности 6—10 гамм обслуживаются *одной* магнитовариационной станцией на удалении участка от нее до 100 км ** (в средних широтах); в исключительных случаях для указанной погрешности съемок при выходе МВС из строя допускается исправление наблюдений за вариации по данным обсерваторских наблюдений, если расстояние между участком работ и обсерваторией не более 150 км (см. перечень обсерваторий СССР, прил. 18). Предельные расстояния между магнитовариационными станциями и точками магнитных измерений для разных геомагнитных широт и погрешностей съемки приведены в табл. 4.

В неосвоенных и малолюдных районах Дальнего Востока и Крайнего Севера, предположительно свободных от промышленных помех, работы по изучению однородности поля вариаций *обязательны*, если участки съемок примыкают к океаническому побережью или удалены от него на расстояние до 50 км, а также в зонах сочленения крупных геологических структур и геологических разломов.

---

* Предварительное изучение горизонтальных градиентов поля вариаций рекомендуется при съемках любой заданной точности и в любых широтах, так как это позволяет убедиться в отсутствии промышленных помех и вариационных аномалий.

** Словосочетание «радиус действия МВС» следует исключить. Область примерно одинаковых вариаций вблизи точки стояния МВС образует не круг, а прямоугольник с длинной стороной вдоль параллели. Отношение сторон прямоугольника меняется с широтой и в зависимости от спектра вариаций.

ТАБЛИЦА 4. ПРЕДЕЛЬНАЯ УДАЛЕННОСТЬ МВС ОТ ТОЧЕК НАЗЕМНЫХ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НЕВОЗМУЩЕННЫЕ ДНИ В РАЙОНАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВНЕ ВАРИАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ И ПРИ ОТСУТСТВИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕХ

Точность съемки	Наибольшие допустимые расстояния от вариационных станций до пунктов наземных измерений магнитного поля, км	
	Высокие геомагнитные широты	Средние и низкие геомагнитные широты
Пониженная	100	300
Средняя	50	100
Высокая и прецизионная	Расстояния определяются только на основе экспериментального изучения пространственных градиентов δT на данном участке съемки, но не должны превышать 10 км в высоких и 25 в низких и средних широтах	

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

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

а) масштаба и задач съемок;

б) географического положения (особенно широты) района съемки;

в) уровня магнитной активности в год проведения работ;

г) сезона года съемок;

д) технических характеристик съемочных приборов и применяемых МВС.

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

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

Учет вариаций во время магнитных бурь при наземной съемке

§ 23. Если в момент непосредственного измерения вариаций имеется доступ к показаниям МВС (цифропечать, табло с цифровыми индикаторами, аналоговая запись на бумаге, не требующая фотообработки), то в первые

же часы бури начальником вариационного отряда или руководителем партии принимается решение о прекращении или продолжении работ по съемке. В наиболее ответственных ситуациях МВС со скрытой регистрацией должна дублироваться более грубым (оценочным) прибором с визуальным отсчетом показаний.

Если наблюдения на участке решено продолжать, то в период протекания магнитной бури вводится предельный режим синхронизации времени МВС с часами съемочных приборов, о чем операторы на участках немедленно уведомляются любыми доступными средствами сигнализации: по радио, ракетами или через посыльного.

Предельный режим синхронизации характеризуется:

— максимально осуществимым увеличением скорости развертки регистратора МВС;

— переходом на измерительный цикл минимальной продолжительности;

— подачей внеочередных, дополнительных меток времени, обеспечивающих более точную, чем обычно, привязку измеренных вариаций во времени;

— неотлучным пребыванием оператора возле обслуживаемой МВС.

Получив сигнал о введении предельного режима синхронизации оператор на участке:

— обеспечивает привязку рабочих отсчетов во времени с погрешностью не более 1 с;

— в сомнительных случаях, когда показания прибора, неподвижно стоящего на точке, непрерывно меняются, берет серию из 4—10 отсчетов, фиксируя время их взятия с погрешностью до 1 с.

— при любом удобном случае (контрольные сигналы времени, принятые по радио) выверяет часы съемочного прибора.

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

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

Учет вариаций δT при аэромагнитной съемке

§ 24. Учет вариаций магнитного поля обязателен во всех широтах, при любых заданных точностях аэромагнитной съемки и на всех съемочных маршрутах, но в зависимости от магнитной широты, определяющей интенсивность и сложность вариаций, и заданной точности съемки содержание вариационного обслуживания существенно меняется. По особенностям учета вариаций можно выделить три пояса — низких, средних и высоких геомагнитных широт. К поясу высоких широт относится вся область, лежащая севернее южной границы авроральной зоны *. Пояс средних широт простирается к югу от указанной линии до магнитной параллели 30° (рис. 1).

При выборе способа учета вариаций необходимо иметь в виду, что, в отличие от наземных съемок, аэромагниторазведка охватывает большие площади, в связи с чем возможна неидентичность вариаций в разных частях района съемки (погрешности за счет вертикального градиента δT при отсутствии интенсивных вариаций малы и с ними можно не считаться). В средних и южных широтах существенное влияние пространственных градиентов наблюдается в основном в районах вариационных аномалий **; в высоких же широтах значительные горизонтальные градиенты δT наблюдаются чаще, и там допустимо ис-

---

* Под авроральной зоной подразумевается область в интервале геомагнитных широт $55 \leqslant \Phi \leqslant 75°$.

** Районы аномального развития вариаций, связанного с высокой электрической проводимостью земной коры, наличием глубинных токов или другими причинами. Частный случай вариационных аномалий — так называемые береговые эффекты вблизи береговой линии океанов и их окраинных морей.

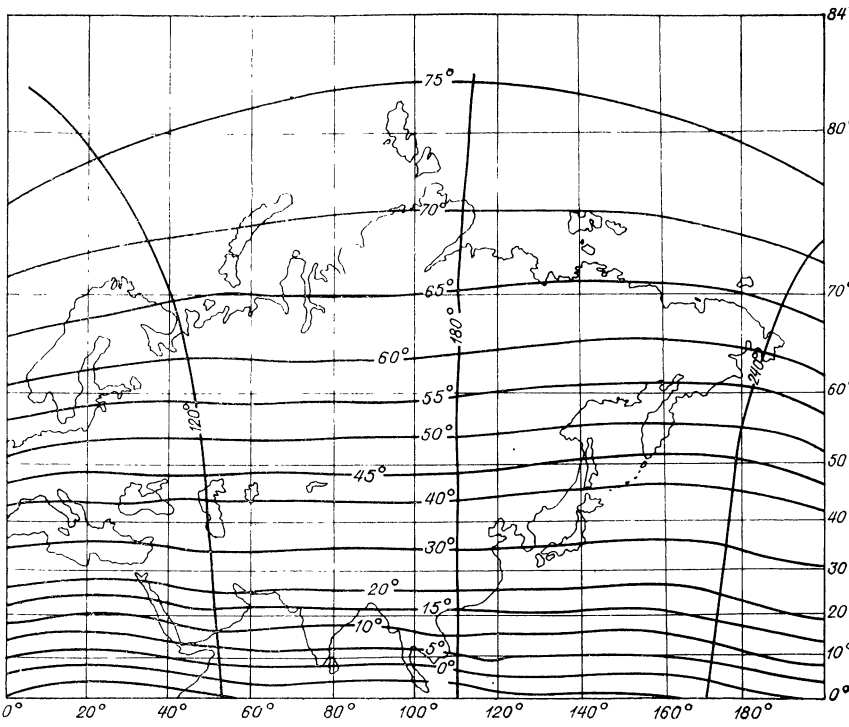


Рис. 1. Схематическая карта геомагнитных координат.

пользование только таких способов учета вариаций, которые позволяют избавляться от влияния пространственных градиентов δT.

Рекомендуется применять нижеследующие виды вариационного обеспечения.

1. *Учет вариаций по одной МВС.* Этот способ предполагает, что вариации в точке стояния МВС и на всех маршрутах съемки одинаковы.

2. *Применение групп МВС.* Поправки внутри треугольника, образованного тремя МВС, рассчитываются в предположении, что вариации между всеми МВС меняются линейно. Для этого способа, позволяющего учесть линейные изменения δT в пространстве, разработана методика, упрощающая расчет поправок (прил. 7).

3. *Использование внутренней увязки (увязки рядовых маршрутов съемки) по обычным опорным сетям для частичного учета вариаций.* Увязка по ОС помимо других погрешностей измерений магнитного поля исключает линейную часть вариаций, происходивших во время съемки на рабочих маршрутах в интервалах между точками пересечения их с опорными маршрутами.

4. *Исключение вариаций с помощью специальных опорных сетей.* Эти сети отличаются повышенной густотой (плотностью) опорных маршрутов (межмаршрутный интервал 3—10 км).

5. *Использование одиночных или групп МВС в комбинации с учетом вариаций по опорным сетям.*

Во время магнитных бурь аэромагнитные съемки любой точности вести нельзя. Результаты съемок, полученные в периоды магнитных бурь, выбраковывают и полеты по соответствующим маршрутам повторяют. Съемки вы-

сокой точности недопустимо выполнять также при крупных бухтообразных возмущениях, характерных для высоких широт. В связи с этим в аэромагнитных партиях желательно иметь какую-либо МВС с видимой записью или вести наблюдения за изменениями магнитного поля во времени с помощью стационарно установленного полевого магнитометра, что при наличии радиосвязи с самолетом позволяет избежать бесполезной затраты летного времени.

§ 25. Принимая во внимание возможности и ограничения разных способов учета вариаций и изменение характера самих вариаций в зависимости от геомагнитной широты района работ, руководствуются нижеследующими правилами.

В высоких широтах, где вариации интенсивны, имеют сложный спектр и высокие часто нелинейные пространственные градиенты, при выполнении аэромагнитных съемок средней и высокой точности допустимы только сложные методы учета вариаций, а именно:

— по группам МВС в комбинации с обычными опорными сетями;

— по специальным опорным сетям с расстояниями между ОМ от 3 до 10 км в комбинации с одиночными МВС;

— по группам МВС без опорных сетей, если увязка по опорным сетям невозможна в связи с высокими градиентами ΔT *.

При выполнении съемок пониженной точности учет вариаций возможен по одиночным МВС и обычным опорным сетям (с расстоянием между опорными маршрутами, превышающими 10 км); высокая точность (средняя квадратическая погрешность съемки меньше 5 гамм) при этом способе учета δT в высоких широтах на больших площадях практически недостижима (см. табл. 5).

В средних и низких геомагнитных широтах методику учета δT также определяют запроектированная средняя квадратическая погрешность съемки и возможность применения опорных сетей для увязки:

— при съемке пониженной точности (§ 70) допустимо ограничиться учетом вариаций с помощью увязки рядовых маршрутов по обычным опорным сетям (без МВС); если используются другие варианты увязки, вариации нужно учитывать по одиночным МВС;

— в процессе съемок средней точности учет вариаций следует выполнять, комбинируя ввод поправок по одной МВС с увязкой по обычным опорным сетям; при отсутствии опорных сетей достаточно использовать одиночные МВС, но надежность учета вариаций при этом уменьшается;

— съемки высокой точности требуют применения одиночных МВС и опорных сетей повышенной плотности (желательно, чтобы расстояния между опорными маршрутами не превышали 10 км); если создание надежных опорных сетей невозможно, то большие участки съемки следует разбить на фрагменты площадью не более 50 тыс. км^2 и выполнять съемку на них по очереди, устанавливая МВС вблизи центра каждого из них.

§ 26. Необходимо учитывать также нижеприведенные сведения и рекомендации.

1. Наиболее ответственные виды работ — на опорных, связующих, секущих и расчетных маршрутах, при повысотных и детализационных съемках, а при изучении слабых аномалий на всех маршрутах — следует осуществлять при минимальной интенсивности δT; если при выполнении этих видов работ экипаж съемочного самолета не был оповещен о появлении интенсивных вариаций, съемку нужно повторить при более спокойных вариациях.

2. Если вариации учитываются с помощью МВС в комбинации с увязкой по опорным сетям, то поправки, рассчитанные по вариограммам, зафиксированным вариационными станциями, обязательно вводятся в результаты аэромагнитной съемки на рядовых маршрутах (до увязки РМ с опорной сетью). В графики ΔT по опорным и связующим маршрутам введение по-

---

* О создании опорных сетей и условиях, когда их использование для увязки допустимо, см. § 84—87.

ТАБЛИЦА 5 **ДОПУСТИМЫЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ УЧЕТА ВАРИАЦИИ И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫМИ СТАНЦИЯМИ ПРИ РАБОТЕ С ГРУППАМИ МВС**

Широты	Способы учета δT	Расстояния между ОМ, км	Допустимая площадь участка, тыс. км², при погрешности учета δT		Предельное расстояние между магнитовариационными станциями, км, при погрешности учета, δT	
			до 1 гаммы (средняя квадратическая погрешность съемки 1—5 гамм)	до 2—3 гамм (средняя квадратическая погрешность съемки 5—10 гамм)	до 1 гаммы (средняя квадратическая погрешность съемки 1—5 гамм)	до 2—3 гамм (средняя квадратическая погрешность съемки 5—10 гамм)
Высокие	Одна МВС + СОС	3—10	1—5	5—30	—	—
	Одна МВС + ОС	10—30	1—2	3—10	—	—
	Одна МВС + ПМ	—	1	2—5	—	—
	Три МВС	—	—	—	50	100—150
Средние	Одна МВС	5—10	50	—	—	—
	Одна МВС + ОС	10—30	15—30	30—100	—	—
	Одна МВС + ПМ	—	10	20—50	—	—
	ОС без МВС	10—30	—	50	—	—
	СОС без МВС	5—10	2—15	—	—	—

Примечания. 1. Указанные площади относятся к прямоугольникам с отношением сторон примерно 1×1,5 (длинная сторона по параллели). 2. Данные приведены для съемок, выполняемых в невозмущенные или слабовозмущенные периоды при размещении МВС примерно в центре участка работ и путевой скорости съемочного самолета около 150 км/ч.

правок за вариации по МВС также обязательно (до их взаимной увязки, превращающей совокупность этих маршрутов в опорную сеть) *.

3. В высоких широтах съемки лучше вести в летний период (в средних и низких широтах интенсивность вариаций несущественно меняется в разные сезоны года). В течение суток как для средних, так и для высоких широт наиболее благоприятен интервал с 7 до 11 ч местного (декретного) времени, в течение которого вероятность появления интенсивных вариаций и КПК минимальна; в высоких широтах наиболее интенсивные вариации наблюдаются в период с 19 до 6 ч.

4. При наличии на съемочном участке городов, поселков и промышленных предприятий, наиболее ответственные виды работ целесообразно вести тоже в ранние утренние и в вечерние часы, а лучше всего в общевыходные дни, когда уровень промышленных помех снижается. В районах развития

* Поправки по МВС в графики ΔT опорных и рядовых маршрутов не вводятся только при съемке средней точности в средних и низких широтах и в некоторых случаях аэромагнитной съемки над акваториями, когда учет вариаций ведется только по опорным сетям без МВС. При этом строго обязательно выполнение указаний, приведенных в пункте 1.

промышленных помех увязка рядовых маршрутов по густым опорным сетям может существенно улучшить учет переменных магнитных полей.

5. Магнитовариационные станции должны выбираться в соответствии с типом аэромагнитометра. Так, при работе с феррозондовыми приборами следует применять оптико-механические МВС; вариационное обеспечение съемок с квантовыми аэромагнитометрами выполняется только с помощью квантовых МВС. Использование вместо МВС наземных (пешеходных) магнитометров допустимо только при съемках средней и пониженной точности, а в высоких широтах запрещается вообще. При работе с вариационными станциями должны выполняться приведенные в предыдущих параграфах правила службы времени и выбора стоянок МВС. При работе с одиночной МВС рекомендуется размещать ее в центре участка съемки. Если работы ведутся вблизи крупных акваторий или над ними, нужно относить МВС из зоны возможного проявления береговых эффектов. В районах сложного геологического строения, особенно при наличии мощных разломов и пород высокой проводимости, целесообразно до съемок проверить отсутствие вариационных аномалий. Если они будут выявлены, то независимо от широты участка съемки надежное исключение вариаций может быть обеспечено только с помощью увязки рядовых маршрутов по опорной сети, при создании которой опорные маршруты должны выполняться в периоды, когда вариации δT минимальны.

Координаты МВС при работе с группами вариационных станций должны определяться с погрешностью, равной погрешности плановой привязки аэромагнитных данных. Для этого обычно устанавливают станции в точках с ориентирами, показанными на картах, или переносят на карты положение МВС с аэроснимков (по тем правилам, которые используются в процессе фотопривязки ориентиров).

При интерполяции вариационных поправок в процессе выполнения высокоточных аэромагнитных съемок с использованием групп МВС желательно соблюдать дополнительное требование — примерной колинеарности геомагнитных векторов во всех пунктах, где расположены МВС. Для этого следует устанавливать МВС в точках с примерно одинаковыми значениями углов склонения D и наклонения I. Выбору пунктов установки МВС могут помочь карты изоклин и изогон, в меньшей степени карты $(\Delta T)_a$; в намеченных пунктах желательно определять абсолютные значения элементов земного магнетизма, например, с применением векторных магнитометров. Желательно, чтобы расхождения углов (как склонения, так и наклонения) в пунктах установки МВС были не более 1°.

Если увязка рядовых маршрутов выполняется по опорной сети, то выбор начального отсчетного уровня на вариограммах при работе с одиночными МВС не имеет существенного практического значения; допустим произвольный выбор нуля для каждого вылета. Однако при работе с квантовыми и протонными МВС во всех случаях, и особенно при отсутствии опорных сетей, рекомендуется в течение всего полевого сезона отсчитывать ординаты δT для определения поправок от одного и того же абсолютного уровня.

В тех случаях, когда учет вариаций ведется по группам МВС, строгое определение начальных уровней для всех станций желательно, но обычно невозможно. Практически выбор начального уровня для каждой вариационной станции при работе с группами МВС выполняется указанными ниже способами.

Если в течение всего полевого периода вариационные станции работали непрерывно, то в качестве нулевого отсчетного уровня принимают среднее за сезон значение магнитного поля. В этом случае снятые с лент МВС значения T следует осреднить за весь период наблюдений по часовым или получасовым интервалам для получения графика среднего суточного хода за период съемки *. Линия, параллель-

* График среднего суточного хода имеет вид неправильной косинусоиды.

ная нулевой линии этого графика и отсекающая по обе стороны равные площади, соответствует среднесезонному значению T в пункте, где расположена МВС (уровень нулевой возмущенности). При расчете поправок за вариации по записям трех МВС вариации отсчитывают от полученных таким образом уровней.

При работе с оптико-механическими вариационными станциями определение полного значения T для отсчетного уровня можно выполнить либо протонными магнитометрами, либо приборами типа М-18, М-27М и М-15 путем передачи значений соответственно Z- и H-составляющих магнитного поля от магнитной обсерватории с последующим вычислением T. Контрольные измерения с помощью таких дополнительных приборов позволяют выявлять и исключать нестабильности работы МВС во времени (дрейф, изменения нулевой линии в связи с регулировками и др.).

Некоторые типы МВС (например, квантовые выпуска 1973—1978 гг.) недопустимо использовать для непрерывных круглосуточных наблюдений в течение всего полевого сезона. Они включаются только на отрезки времени, когда выполняются съемочные полеты. Начальные (нулевые) уровни вариограмм выбираются при этом отдельно для каждого дня либо по участкам вариограмм, соответствующим спокойному магнитному полю, либо путем осреднения вариаций за период наблюдения. В последнем случае за отсчетный уровень принимается линия, отсекающая на графике δT по обе стороны одинаковые площади. Оба способа не дают точных результатов, и связанные с этим погрешности можно исключить только увязкой исправленных за вариации графиков ΔT рядовых маршрутов по опорным сетям.

Работа с группами МВС возможна при разном их расположении по отношению к участку (рис. 2). В варианте *а* с тремя МВС последние расставляются так, чтобы образовать описанный треугольник вокруг участка *АБВГ*; в варианте *б* четыре *МВС* расположены по углам участка и дают возможность рассчитывать вариации по четырем треугольникам, один из которых (*АБГ*) заштрихован. В варианте *а* расстояния между станциями больше, чем в варианте *б*, и вероятность появления погрешностей за счет нелинейности пространственных градиентов δT выше (рис. 2, *в*). В варианте *б* возможно возникновение сложных перекосов за счет неточного определения начальных уровней

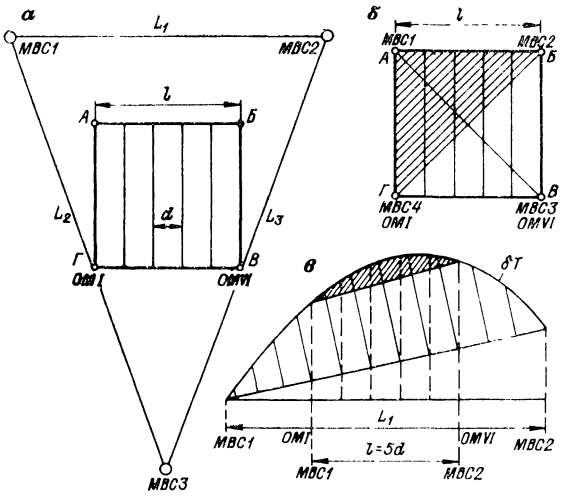


Рис. 2. Различные варианты расстановки МВС при учете вариаций в высоких широтах.

на вариограммах; эти перекосы исключаются увязкой исправленных за вариации графиков ΔT рядовых маршрутов по опорным сетям.

Если съемки ведутся на больших планшетах, всю площадь нужно разделить на прямоугольники с соотношением сторон 1 : 2—1 : 1,5 (длинная сторона ориентирована в широтном направлении), по углам которых поочередно размещать четыре МВС. После завершения съемки на одном прямоугольнике, вариационные станции перемещают на соседний, отрабатывается вторая площадка и так далее. При этом расстояния между станциями при съемках пониженной точности не должны превышать 200—250 км, при средней точности — 100—150 км; для высокоточных съемок дистанция более 50 км недопустима (табл. 5).

Применение групп МВС допустимо лишь в случае, когда проекция источника геомагнитного возмущения на поверхность геоида располагается *вне* треугольника, образованного линиями, соединяющими три МВС. Если проекция источника возмущения попадает внутрь треугольника, отделяя одну МВС от двух остальных, способ учета вариаций по показаниям трех МВС неприменим. На практике этот случай опознается по противофазности вариаций хотя бы для одной пары МВС.

В варианте с четырьмя МВС поправки для любой точки участка могут определяться на выбор по двум треугольникам, а для точки пересечения диагоналей — по четырем (рис. 2, *б*); если вычисленные по разным треугольникам поправки не совпадают, это указывает или на наличие нелинейных градиентов вариаций, или (и) на неправильный выбор отсчетных уровней.

Записи со значительным сдвигом фаз не могут быть использованы для расчета поправок. Если сдвинутые по фазе вариации имеют большую амплитуду и возможные за счет сдвига фаз погрешности превышают половину заданной погрешности съемки, соответствующую съемку повторяют (полностью или частично).

6. Скорость движения (развертки) ленты аналоговых регистраторов МВС существенно влияет на точность учета вариаций по МВС. Для аэромагнитных съемок пониженной точности допустима развертка в пределах 60—90, для средней точности — 120—360 мм/ч; для съемок высокой точности в высоких и средних широтах соответственно в пределах 1200—1800 и 600—1200 мм/ч.

7. Основным критерием оценки качества работ вариационной службы является погрешность съемки. В зависимости от запроектированной точности съемки, методики учета вариаций и геомагнитной широты на основе анализа статистических сведений о вариациях δT и их изменчивости в пространстве установлены предельно допустимые площади работ и расстояния между вариационными станциями, указанные в данном и предыдущем параграфах. Совокупность этих данных представлена в табл. 5.

1.5. ДОКУМЕНТАЦИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОЛЕВЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ РАБОТ

§ 27. Перед началом полевого периода начальники партий (отрядов) устанавливают перечень, а также порядок оформления и прохождения всех полевых документов применительно к специфике выполняемых работ, руководствуясь конкретными указаниями данной инструкции и общими принципами оформления документации, изложенными в данном разделе.

Так, обязательными полевыми документами наземной съемки являются: 1) журналы полевых визуальных наблюдений; 2) схемы участка работ, выполненные в процессе наблюдений; 3) топографические материалы по участку работ, необходимые для построения точных геофизических карт и позволяющие найти, а также восстановить сеть наблюдений на местности; 4) журнал увязки опорной сети.

Для аэромагнитной съемки соответствующий перечень содержит: 1) аэромагнитограммы; 2) бортовые журналы штурмана и бортоператоров; 3) копии

полетных заданий; 4) первичные полевые материалы плановой привязки (в зависимости от способа привязки — аэрофильмы, фазограммы, курсограммы); 5) карты фактических линий полетов; 6) результаты увязки опорных сетей или повторных маршрутов в графической и табличной форме; 7) кривые (графики) девиационных поправок; 8) результаты полевой обработки повысотных съемок.

Кроме того, общими и для наземной и для аэромагнитной съемок являются следующие обязательные полевые документы: 1) дневник начальника партии (отряда); 2) аппаратурный журнал; 3) полевая документация вариационной службы (вариограммы, журналы оператора МВС); 4) журналы учета полевых материалов; 5) расчеты погрешности съемок.

Дополнительными полевыми документами могут быть: 1) журналы полевых вычислительных работ; 2) первичная графика по материалам наблюдений; 3) материалы геологических наблюдений партии, выписки и выкопировки из геолого-геофизических отчетов; 4) документация по физическим свойствам пород и полезных ископаемых; 5) барограммы, записанные в полете, или ленты профилографа.

§ 28. А. Оформление полевых материалов должно обеспечить правильную обработку и использование полученных результатов без необходимости привлечения непосредственных исполнителей работ для пояснений и дополнений, а также обеспечить личную ответственность исполнителей за представленные ими материалы. В связи с этим документы должны иметь все относящиеся к ним пояснительные данные, а также должны заполняться четко и единообразно и иметь подписи исполнителей.

В прил. 1 приведены стандартные формы полевых и бортовых журналов, наклеек к аналоговым записям и журналов регистрации полевых материалов, которых следует придерживаться.

Стандартные формы документации полевых и камеральных работ, в том числе рекомендованные данной инструкцией, желательно изготовлять типографским способом или на множительной аппаратуре обязательно на плотной бумаге, обеспечивающей четкость записи и долговременную сохранность документов.

Во всех документах полевых наблюдений исполнители должны указывать те условия или изменения условий работы, которые могут сказаться на качестве результатов: данные о погоде, «болтанке», промышленных помехах, об особенностях работы приборов и т. п. Должны отмечаться такие действия операторов, как переход на иной масштаб записи или цену деления прибора, должны выделяться контрольные метки и т. п. Если в процессе работ запись получилась неразборчивой, исполнители расшифровывают ее и дублируют четким почерком.

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

Б. Все полевые журналы (наземных съемок, топографических работ, оператора МВС, отбора образцов горных пород и др.) должны иметь на титульном листе адрес и наименование организации, обращение о возврате утерянного журнала по указанному адресу, сведения о виде работ и об использованной аппаратуре (тип, номер), название или номер участка, номера маршрутов, обнажений или скважин, к которым относится журнал, номер журнала, дату начала и окончания записей в нем, фамилии начальника партии (отряда) и исполнителя данных работ. Листы журнала должны быть пронумерованы. На первой странице журнала дается перечень нестандартных условных обозначений, сокращений и терминов с разъяснениями их значений.

Перед началом наблюдений каждого дня (смены) должны быть указаны дата, фамилия наблюдателя, название участка, номер маршрута (профиля), при необходимости должна быть зарисовка, схема или выкопировка из плана или карты. В журналах отбора образцов горных пород должны быть краткие данные о месте отбора и о вещественном составе отобранного материала. Перед началом работ начальник партии (отряда) записывает задание на день или на этап работ с краткими техническими указаниями, например о сети

съемки. В начале и в конце наблюдений (а в случае необходимости и в процессе измерений) должно быть указано время, а также сведения о режиме работы аппаратуры и проверке ее стабильности.

В каждом журнале необходимо оглавление. В конце журнала должны быть приведены объемы работ по каждому их виду, включая объем контрольных наблюдений. Для зарисовок и схем в журналы вклеивают листы миллиметровки.

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

Каждый исполнитель нумерует свои журналы в хронологическом порядке. По окончании полевых работ журналы нумеруют сквозной нумерацией *всей партии (отряда)*.

Журналы наземных магнитных съемок должны иметь графы для предварительной обработки данных. Результаты рядовых наблюдений, измерений при создании опорной сети и контрольных заносятся в разные журналы. На месте работ наблюдатель должен записать номер профиля, начальную точку наблюдений, направление движения, а затем номер каждой очередной точки и результат измерения. При маршрутной съемке вместо номера точки можно фиксировать ее расстояние от предыдущей или от начала маршрута. В журнал следует записывать также время измерения и температуру в момент взятия отсчета (время всегда только московское). Измерения на опорных точках в соответствующем журнале записывают в хронологическом порядке с точным наименованием или номером опорной точки. Если не ведется отдельного журнала службы времени, то ежедневно в графе «Примечания» должна отмечаться сверка часов по радио или по контрольным часам. В графе «Примечания» должно быть зафиксировано расположение характерных ориентиров, резко выраженных форм рельефа, горных выработок, встреченных на маршруте, с указанием данных, позволяющих обеспечить их нанесение на план съемки (азимут, расстояние, а в случае необходимости и зарисовка).

В. Любые результаты автоматической и полуавтоматической регистрации на бумажных или магнитофонных лентах должны иметь порядковый номер, дату, время начала и конца измерений, наименование пункта или участка и маршрута, номер прибора, данные градуировок, масштаб записи (если он регулируется), данные о диапазонах и другие сведения, необходимые для обработки.

Если характер записи таков, что все сведения могут быть приведены на самой ленте (аналоговые записи аэромагнитометров и МВС), то в начале каждой ленты следует наклеивать стандартную форму, предусматривающую все необходимые данные. Образцы таких форм приведены в прил. 1.7—1.9 и 1.13. Во избежание перемотки и излишнего износа записей аналогичные наклейки полезно иметь и в конце ленты. Снаружи рулона указывают номер ленты или, что более удобно, наклеивают специальный штамп, что обеспечивает быстрый отбор нужных материалов. На узких бумажных и магнитофонных лентах записывают только номер, дату и ставят подписи; остальные сведения приводят в специальном журнале по порядку номеров. Все вынужденные перерывы регистрации данных должны быть зафиксированы с указанием причин и мер их устранения.

Г. Топографические материалы должны отвечать требованиям соответствующих инструкций с учетом § 40—41 и 92—116.

Д. Коробки с аэрофильмами и контактной печатью должны иметь наклейки, позволяющие определять дату, участок и маршруты, к которым относятся аэрофильмы или контактная печать. На первом и последнем кадре аэрофильма простым карандашом или тушью надписывают дату, номера пер-

вого и последнего кадра, номер участка, маршруты и другие сведения, нужные для использования фильма. Здесь же подписываются аэрофотосъемщик или штурман, выполняющие фотопривязку. Сами кадры должны быть занумерованы зеркальным шрифтом.

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

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

З. Журнал регистрации полевых материалов должен фиксировать поступление, качество, количество и взаимосвязь дополняющих друг друга документов (например, наличие соответствующих аэромагнитограмм, вариограмм, аэрофильмов и бортовых журналов).

И. Первичная графика результатов полевых измерений должна быть ориентирована по странам света (карты, схемы), оформлена с указанием даты, участка, номеров точек наблюдений и профилей (маршрутов), типа и номера съемочного прибора, масштаба изображения, использованных условных обозначений. Обязательны подписи составителей (геофизиков, топографов, радиогеодезистов, фотограмметристов) и руководителя работ. На графиках и картах нужно указать полевые журналы или ленты автоматической записи, которые использованы при составлении данного графического материала.

К. Фотосхемы должны быть наклеены на картон прямоугольной формы; на свободных участках или на обороте указывают номер схемы, масштаб фотосхемы, номер каркасного маршрута и участок работ; должна быть подпись исполнителя.

Дополнительные конкретные требования к оформлению документов указаны в разделах инструкции по видам работ.

§ 29. Начальники экспедиций (партий, отрядов), уполномоченные ими лица и представители вышестоящих организаций систематически проверяют качество всех видов работ на всех этапах и оформление полевых и камеральных материалов. Проверка качества осуществляется путем просмотра документации, а также с помощью выборочных контрольных измерений, контрольных полетов, расчетов, построений и другими подобными способами. Постоянно проверяется соответствие работ проекту и правилам данной инструкции. Материалы оценивают по четырехбалльной системе. Результаты проверок регистрируют в журнале проверки качества работ, который оформляется и заполняется по произвольной форме и служит основой для актирования или выбраковки результатов. Журнал хранится у руководителя подразделения.

По окончании полевых работ комиссия, назначенная приказом руководителя предприятия (управления, треста, института, территориальной экспедиции), принимает полевые материалы по акту и дает им дифференцированную и общую оценку в присутствии исполнителей. Помимо полевых материалов и их описи комиссии предъявляются проект или программа работ и другие документы и справки по ее требованию.

Принимая и оценивая материалы комиссия учитывает:

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

— качество первичных полевых материалов; при этом оценивается качество ведения полевой документации в соответствии с требованиями данной инструкции, правильность методики полевых наблюдений (соответствие проекту и инструкции), объем контрольных определений и погрешность измерений, контроль состояния аппаратуры, состояние систематической проверки полевых материалов руководством партии (отряда) в течение полевого сезона;

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

Акт приемки полевых материалов представляется на утверждение руководству предприятия. Оценки полевых материалов принимаются во внимание при защите отчета на научно-техническом совете предприятия.

§ 30. После защиты окончательного отчета полевые материалы и результаты камеральных работ передаются по описи на хранение в архивы или фонды предприятия. Хранению подлежат перечисленные ниже документы *.

А. Материалы наземной съемки:

1) журналы записи полевых наблюдений и ленты цифровой регистрации отсчетов магнитометра;
2) журналы обработки полевых наблюдений;
3) вариограммы и результаты их обработки;
4) топографические журналы и схемы расположения участков работ с нанесенной на них сетью наблюдений;
5) графики приращений составляющих магнитного поля на миллиметровке;
6) журнал регистрации полевых документов.

Б. Материалы аэромагнитной съемки:

1) журналы регистрации полевых документов;
2) все виды лент регистрации магнитного поля и распечатки с них на ЭВМ;
3) штурманские бортовые журналы и схемы залета площади, карты фактических линий полетов;
4) графики магнитного поля на миллиметровках, включая графики повторных, секущих, опорных, повысотных, контрольных, расчетных и других специальных маршрутов;
5) каталог данных количественной интерпретации;
6) первичные материалы по измерению вариаций и результаты их обработки (вариограммы, перфоленты и др.);
7) материалы по поверкам и градуировкам приборов;
8) журналы и схемы увязки.

В. Материалы гидромагнитной съемки:

1) магнитограммы;
2) вариограммы и результаты их обработки;
3) миллиметровки с графиками магнитного поля;
4) карты маршрутов наблюдений;
5) журнал регистрации полевых материалов.

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

Порядок передачи материалов в архивы и фонды определяется правилами, действующими на предприятии, где выполнялись работы.

Материалы должны храниться в надлежащих условиях.

1.6. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ В ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ ОТЧЕТАХ

§ 31. Основной и обязательной формой графического представления результатов площадных и маршрутных аэро- и наземных магнитных съемок в окончательных отчетах являются карты графиков и изолиний аномального

---

* О фотопривязке и радиогеодезии см. в соответствующих разделах.

магнитного поля *. При аэромагнитной съемке обязательно также представление карт фактических линий полета в масштабе съемки, на которых точки привязки (ориентиры) показывают кружками. При выполнении съемок высокой точности дополнительно к указанным материалам рекомендуется представление цифровых карт и (или) альбомов крупномасштабных графиков всех или избранных маршрутов (профилей) съемок (§ 33).

Кроме этого в отчетах могут быть другие карты и графики магнитного поля и карты результатов его геологической интерпретации, если они упоминаются в отчете и дополняют или иллюстрируют его текст (например, карты и графики полных значений T, карты и графики различных трансформант поля, карты изоглубин возмущающих тел, цифровые карты).

Масштаб основных отчетных карт геомагнитного поля может не соответствовать масштабу съемки, однако желательно, чтобы указанные масштабы по возможности совпадали.

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

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

§ 32. Оформление карт магнитного поля в окончательных отчетах полевых партий (отрядов) и карт магнитного поля, предназначенных к изданию, должно быть унифицировано. При оформлении карт графиков и изолиний $(\Delta T)_a$ и Z_a в масштабах 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 для отчетов и издания следует руководствоваться инструкцией [29]. При подготовке к изданию карт аномального магнитного поля $(\Delta T)_a$ и Z_a масштабов 1 : 50 000 и 1 : 25 000 оформление карт выполняется по специальной инструкции [28]. Во всех остальных случаях необходимо исходить из требований данной инструкции.

§ 33. Графики для альбомов крупномасштабных графиков могут иметь горизонтальный масштаб крупнее масштаба отчетной карты, но кратный ему. То же допускается для графиков детальных, повысотных и расчетных маршрутов, а также при специальных построениях, предназначенных для количественной интерпретации аномалий.

Вертикальный масштаб графиков выбирается в зависимости от интенсивности и характера поля, но, как правило, не должен быть крупнее чем 1 мм$=m_1$, где m_1 — средняя квадратическая погрешность съемки (§ 135). Более крупный вертикальный масштаб разрешается в отдельных случаях при изучении слабых аномалий с амплитудой, близкой к погрешности съемки, например если эти слабые аномалии коррелируются между маршрутами; такие построения обычно целесообразны только для участков спокойного, слабоменяющегося поля в областях развития осадочных пород.

При построении карт графиков вертикальный масштаб последних должен обеспечить четкое представление о характере поля вдоль маршрутов и о корреляции полей между маршрутами. Недопустимо сложное, «нечитаемое» пересечение графиков. Желательно, чтобы в пределах участка (планшета) вертикальный масштаб графиков был одинаков; если характер поля таков, что

---

* Карты изолиний и графиков аномального магнитного поля не заменяют друг друга и не могут быть заменены никакими другими видами изображения аномального поля, его трансформант, или полных значений измеряемой компоненты. Только в отчетах об аэромагнитных съемках с полетами «по горизонталям» представление карт графиков $(\Delta T)_a$ — в данном случае синтетических — не обязательно; карты изолиний могут не представляться лишь в том случае, когда отсутствует надежная межпрофильная корреляция (§ 34). Прилагаемые к отчетам карты графиков и изолиний должны отражать всю информацию о магнитном поле, полученную при площадной съемке участка; запрещается представлять неполные карты графиков, например с пропуском каждого второго графика, а также карты изолиний, соответствующие таким неполным исходным данным.

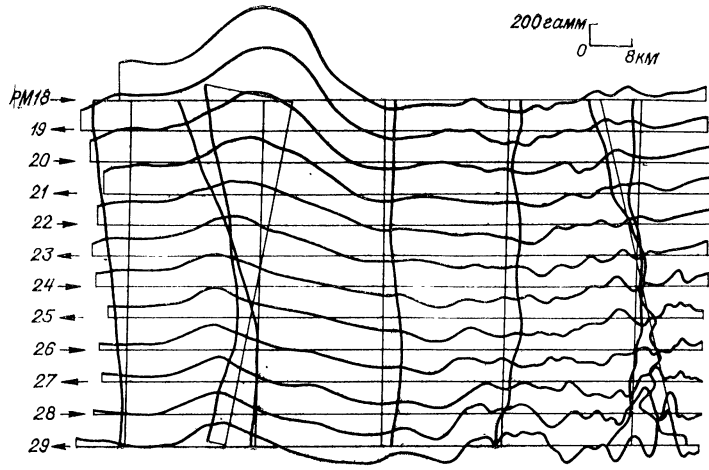


Рис. 3. Лист альбома крупномасштабных графиков ΔT (фрагмент карты), где масштаб расстояний в направлении, перпендикулярном к маршрутам, увеличен в 5 раз.

это невозможно или нецелесообразно, то необходимо составлять врезки для отдельных участков в более крупном или более мелком масштабе (в зависимости от конкретных условий). На карту графиков обязательно наносят опорные и секущие маршруты. В начале и в конце каждого маршрута стрелкой показывают ориентиры и указывают номера маршрутов и крайних ориентиров. Полезно, если это не мешает восприятию карты, наносить точками или крестиками все ориентиры.

Нулевой линией графиков на картах графиков являются линии полетов; они должны точно соответствовать фактическим линиям полета (ФЛП), установленным по данным фотопривязки или радиогеодезии. В точках, где направление ФЛП меняется, линии самих графиков должны иметь разрывы или пересечения. Не допускается искусственное спрямление ФЛП.

Если используется аэромагнитометр, в котором мерой магнитного поля является частота сигнала, поступающего из измерительного блока прибора, то отсчеты на регистрирующих устройствах выполняются дискретно и с опозданием, которое зависит от типа прибора, но в первом приближении равно $(0{,}6 \div 0{,}7)\tau$, где τ — интервал времени между отсчетами. При работе с такими аэромагнитометрами графики магнитного поля следует сдвигать вдоль линии полета в сторону, обратную движению самолета, на отрезок, равный линейному эквиваленту времени запаздывания с учетом средней путевой скорости съемочного самолета (вертолета) *.

Альбомы графиков рекомендуется строить в виде «карт графиков неравномерного масштаба». При этом сохраняют взаимное расположение концов маршрутов, а расстояния между маршрутами, снятые с карты, увеличивают в несколько раз, чтобы уменьшить взаимные наложения соседних графиков (рис. 3).

§ 34. При составлении карт изолиний магнитного поля необходимо руководствоваться нижеследующими рекомендациями.

---

* Смещение l_τ при путевой скорости $v_п$ и интервале между отсчетами τ примерно равно $l_\tau = 0{,}7\, v_п \tau$. Так, если $v_п = 50$ м/с, $\tau = 2$ с, то $l_\tau = 70$ м.

Интервал между изолиниями должен обеспечить хорошую читаемость карты; он выбирается с учетом интенсивности аномальных полей и характера искомых возмущающих объектов. В случае необходимости изолинии можно проводить через прогрессивно возрастающие интервалы. Минимальный допустимый интервал основных изолиний равен $2{,}5\,m_1$, где m_1 — средняя квадратическая погрешность съемки. Разрешается проводить промежуточные (дополнительные) изолинии.

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

Для участков сложного магнитного поля, где сеть выполненных маршрутов (профилей) съемки не обеспечивает надежной межмаршрутной корреляции*, карты изолиний не представляются. Если такой участок занимает лишь часть площади карты, то на карте изолиний выделяют границы некоррелирующихся полей и внутри этих границ приводят графики магнитного поля по маршрутам.

Для участков очень сложных варьирующих полей, когда масштаб карты не позволяет представить их ни в виде изолиний, ни в виде графиков, допустимо выделить такие участки контуром и горизонтальной штриховкой с обозначением осей отдельных аномалий; для заштрихованных участков составляются отдельные карты более крупного масштаба.

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

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

При существенно неравномерной сети маршрутов для суждения о достоверности изолиний в разных частях карты рекомендуется изображать линии полетов с помощью коротких штрихов длиной 2—4 мм, пересекающих изолинии.

Если представляется нераскрашенный вариант карты изолиний, то для улучшения ее читаемости полезно показывать направление убывания поля с помощью штрихов, аналогичных бергштрихам на топографических картах.

Если карты изолиний ΔT или ΔZ построены по материалам, которые исправлены на нормальный градиент по картам нормального магнитного поля $T_н(Z_н)$, на карты следует нанести не менее двух изолиний нормального поля с указанием организации-составителя карты $T_н(Z_н)$ и соответствующей эпохи. То же необходимо на всех картах $(\Delta T)_а$ или $Z_а$. Если изолинии $T_н(Z_н)$ нанести сложно (слишком мал

* Это нередко случается при выполнении съемок в некоторых районах поля сибирских траппов, над лавовыми покровами, реже над породами глубинной фации метаморфизма.

участок), значения $T_н(Z_н)$ указывают по углам планшета в виде цифр. В зарамочном оформлении нужно указать принятые значения векового хода и по каким материалам они получены.

§ 35. Указанные в § 31 карты аномального магнитного поля не обязательно должны строиться так, чтобы их нулевые изолинии или нулевые (отсчетные) уровни их графиков соответствовали уровню нормального поля Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН). Если при этом карта неудобна для интерпретации, так как значения $(\Delta T)_а$ или $Z_а$ целиком оказываются положительными или отрицательными, то нулевой (отсчетный) уровень карт нужно изменить так, чтобы на графиках поля нулевые линии отсекали по обе стороны примерно равные площади *. Если такая корректировка необходима, то ее осуществляют только путем параллельного перемещения нулевой линии относительно первоначальной на отрезок, кратный выбранному интервалу изолиний. Смещение нулевой линии должно быть зафиксировано в зарамочном оформлении карты. Необходимость такой корректировки нулевого уровня в каждом конкретном случае определяется руководством партии (отряда), отмечается и мотивируется в отчете. Такое изменение отсчетного уровня допустимо только, если карта охватывает территорию, не превышающую площади листа топографической карты масштаба 1 : 1 000 000.

Если увязка рабочих маршрутов (РМ) выполняется по опорной сети (ОС), то средний уровень магнитного поля может быть определен заранее (до увязки РМ) по опорным маршрутам и придан графикам ΔT опорной сети. Это позволяет без дополнительных операций получить в результате увязки РМ и ОС графики ΔT рабочих маршрутов, отнесенные к рациональному уровню. В тех случаях, когда внутренняя увязка осуществляется по повторным маршрутам, выбор окончательного уровня возможен только по РМ после завершения их увязки.

§ 36. При построении и использовании вспомогательных графических материалов необходимо, в частности, учитывать нижеследующее.

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

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

— для интерпретаторов они дают более четко границы геологических тел;

— такие карты свободны от линейного фона (влияния крупных региональных аномалий и нормального градиента);

— графики градиентов поля, не теряя информативности, меньше перекрещиваются на картах, чем графики ΔT или $(\Delta T)_а$.

Особенности *карт остаточных аномалий*:

— при их построении исключаются погрешности увязки, влияние неучтенных длиннопериодных вариаций, девиации;

— в зависимости от выбора радиуса осреднения карты позволяют выделить аномалии с различными спектральными характеристиками, что важно, например, при районировании по характеру магнитного поля;

— остаточные аномалии зависят не только от радиуса осреднения и геологического строения района работ, но и от того, как выполнялась съемка (тип и режим работы магнитометра, высота полета, система залета площадей при аэромагнитной съемке, масштаб съемки

---

* Карты магнитного поля при таком выборе отсчетного уровня изображают аномалии относительно среднего поля участка и, следовательно, имеют четкий геолого-геофизический смысл.

и т. д.); поэтому надежный геологический анализ таких карт для целей геологического районирования возможен только в том случае, когда исходные материалы получены в одинаковых условиях (сопоставимы).

Выбирать радиус осреднения допускается на основе как спектрального анализа магнитных полей, так и последовательных пробных построений с привлечением опорных геологических данных (разрезов, карт).

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

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

Пересчеты магнитного поля в верхнее или нижнее полупространство ненадежны, если плотность сети наблюдений не соответствует сложности магнитного поля (сеть слишком редка), а также в краевых частях участков съемки и при существенном изменении высот съемочных полетов (огибание рельефа, съемки в горах).

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

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

3. Цифровые карты поля или его трансформант следует строить в тех случаях, когда графическое представление материала осложнено или связано с потерей части информации. Цифры рационально выполнять цветной тушью в соответствии с раскраской, принятой для карт изолиний (§ 37). Участки сложных полей, где с помощью цифр не удается надежно отразить форму аномалий (восстановленные по цифрам графики поля непригодны для количественной интерпретации), должны быть выделены на площади карты, и в зарамочном ее оформлении следует дать соответствующие разъяснения.

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

Любые графики (идущие в отчет или построенные на миллиметровке) должны иметь вертикальный и горизонтальный масштаб, содержательные за-

головки и подписи исполнителей и контролирующих лиц, а при использовании условных обозначений — соответствующую легенду.

Раскраска карт и графиков магнитного поля выполняется в соответствии с инструкцией [28] гаммой оттенков красного и синего цвета; допустима замена на комбинацию коричневого и зеленого цветов. Области «нормального» (близкого к нулевому значению) поля на картах изолиний в обоих случаях разрешается закрашивать желтым цветом, если это существенно повышает наглядность материала.

1.7. ОТЧЕТНОСТЬ

§ 38. Результаты полевых и камеральных работ партии (отряда) оформляются в виде окончательного отчета, который должен содержать исчерпывающие сведения о проведенных работах. Примерный план отчета следующий *.

Введение.

Глава I. Общие сведения о районе работ.

Глава II. Геолого-геофизическая характеристика района.

Глава III. Работа полевой партии за отчетный период, аппаратура, методика и техника полевых работ.

Глава IV. Обработка и интерпретация материалов.

Глава V. Результаты работ.

Заключение.

Во Введении должны быть сведения о целевом назначении работ и конкретных геологических задачах, о плане и его фактическом выполнении, отступлениях от проекта и их причинах, о составе партии; указываются авторы и доля их участия в составлении отчета.

В главе I приводятся общие сведения о географическом и административном положении участка работ, его координаты, площадь, номенклатура планшетов, характеристика топоосновы и материалов аэрофотосъемки, сведения о путях сообщения, об орогидрографии, аэродромах, а также другие характеристики района, необходимые для суждения об условиях работ и в связи с содержанием последующих глав. Здесь же должны быть приведены сведения о магнитных вариациях в рассматриваемом районе.

Глава II должна состоять из трех параграфов: геолого-геофизическая изученность; геологическое строение района; физические свойства пород. В § 1 в хронологическом порядке дается обзор геологических и геофизических работ, проведенных на данной территории, с анализом тех работ, которые имеют непосредственное отношение к решению поставленных задач; особое внимание должно быть уделено методике и результатам магниторазведочных работ. В § 2 нужно описать геологическое строение района по новейшим данным с учетом конкретных задач, поставленных перед партией. В § 3 анализируются физические, и прежде всего магнитные, свойства горных пород и руд.

В главе III следует изложить задачи, поставленные перед партией, рассмотреть ход и особенности выполнения работ, примененную методику исследований — указать масштаб съемки, направление маршрутов, порядок нумерации участков, маршрутов, пунктов наблюдений, магистралей, способ разбивки сети и привязки маршрутов к местности, описать методику увязки, способы учета вариаций и другие специфические вопросы, касающиеся методики работ. Здесь же приводят характеристику аппаратуры, данные о погрешности съемки, оценку качества полевых материалов и технико-экономические показатели.

В главе IV нужно подробно описать приемы обработки геофизических материалов и введения поправок, обосновать выбор масштаба отчетной графики, изложить методику интерпретации материалов, методику составления

* Нумерация глав отчета условна; возможно включение дополнительных разделов в соответствии с правилами, установленными в предприятии-исполнителе и в общих директивных указаниях МингеоСССР.

отчетных карт и геолого-геофизических разрезов, а также указать точность их построения.

В главе V дается описание и анализ полученных результатов, их геологическая трактовка, уточняется геологическое строение района, намечаются участки, перспективные на поиски полезных ископаемых и даются рекомендации по проведению дальнейших работ. При составлении этой главы необходимо учитывать результаты других геофизических, а также горно-буровых работ, проведенных на данной площади.

В Заключении кратко формулируются результаты работ, оценивается их геологическая эффективность и народнохозяйственное значение, приводятся рекомендации по дальнейшему изучению данной площади и методические выводы.

Для последующего использования результатов работ необходимо, чтобы все элементы методики полевых, камеральных работ и интерпретации, равно как и выводы по результатам работ были четко обоснованы и разъяснены в тексте отчета.

Кроме основного текста в отчет включаются: аннотация или реферат, оглавление, список текстовых и графических приложений, текстовые приложения, рецензии, протоколы защиты отчета, список использованной литературы, акт комиссии по приемке полевых материалов, список первичной документации, переданной в фонды, а в случае необходимости и каталоги значений физических величин (например, магнитных свойств пород) и каталоги глубин возмущающих тел по результатам интерпретации.

К отчету прикладываются графические приложения, необходимые для обоснования выводов и иллюстрации отдельных положений отчета, а именно:

1) окончательный графический материал, указанный в § 31;
2) необходимые геологические карты;
3) схемы топографической привязки (наземная съемка);
4) некоторые графические приложения, включаемые в текст отчета в виде рисунков (обзорная карта работ, примеры результатов расчетов магнитных аномалий, вариационные кривые магнитных свойств пород и т. д.).

Первый экземпляр отчета, графика которого оформляется в виде калек или типографским способом, отсылается во Всесоюзный геологический фонд (ВГФ). Общее число экземпляров отчета и остальные адреса обязательной рассылки определяются обычными правилами, установленными для предприятия-исполнителя *.

Отчет должен иметь две рецензии: геологическую и геофизическую; он рассматривается на научно-техническом совете предприятия. Списание затрат на выполненные работы производится учреждением по получении извещения из ВГФ о принятии отчета.

Кроме окончательного отчета магниторазведочные партии (отряды) представляют квартальные, годовые и промежуточные (предварительные) отчеты в соответствии с правилами, установленными вышестоящими организациями.

---

* На предприятиях различных типов они не совпадают.

2. НАЗЕМНАЯ МАГНИТНАЯ СЪЕМКА

2.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1.1. МАСШТАБЫ, ГУСТОТА СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ И ТОЧНОСТЬ СЪЕМОК

§ 39. Наземные магнитные съемки различаются по:
— способам подготовки и расположению точек наблюдений на местности;
— масштабам;
— точности;
— измеряемым характеристикам геомагнитного поля;
— способу транспортировки съемочного прибора в процессе измерений на местности;
— геологическому назначению.

По способам подготовки и расположению точек (пунктов) наблюдений на местности съемки подразделяются на площадные и маршрутные. Площадные съемки выполняются по профилям предварительно разбитой сети наблюдений (геодезическими средствами или полуинструментально). Маршрутные съемки имеют сугубо вспомогательное значение, определяемое конкретной геологической задачей, и выполняются, как правило, без тщательной привязки измерений на местности и с невысокой точностью.

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

$$M = 1/a.$$

Для каждого масштаба установлены пределы допустимых расстояний между точками наблюдений на рабочих профилях (табл. 6); масштаб отчетных карт обычно соответствует масштабу съемки; при этом межпрофильное расстояние укладывается в 1 см карты.

Разделение наземных магнитных съемок по точности производится по значению погрешности показаний съемочного прибора и значению среднего квадратического отклонения результатов измерений поля, вычисленного по разностям прямых и повторных (контрольных) измерений на профиле (табл. 7).

Наземные съемки делятся на съемки абсолютных значений (под абсолютными здесь понимаются полные мгновенные значения соответствующих элементов геомагнитного поля) и съемки приращений элементов земного магнетизма — ΔZ, ΔH, ΔD, ΔT,— отсчитываемых относительно условного нулевого уровня. Непосредственно для геологического истолкования результатов съемок абсолютные значения не обязательны.

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

По геологическому назначению выделяют съемки картировочно-поисковые, поисково-разведочные, разведочные (детализационные) и специального назначения.

Картировочно-поисковые наземные магнитные съемки проводятся для решения задач крупномасштабного геологического картирования — выявления магнитных пород, в частности интрузий и эффузивов, областей скарнирования и контактовых изменений, тектонических структур, областей проявления гидротермальных процессов, а также для прямых и косвенных поисков

ТАБЛИЦА 6. КЛАССИФИКАЦИЯ НАЗЕМНЫХ МАГНИТНЫХ СЪЕМОК ПО МАСШТАБУ

Масштаб съемки	Категория масштаба	Расстояние между профилями, м	Расстояние между точками наблюдений, м
1 : 100 000	Средний	1000	100—200
1 : 50 000	Крупный	500	50—100
1 : 25 000	»	250	20—50
1 : 10 000	»	100	10—25
1 : 5000	»	50	5—20
1 : 2000	»	20	5—10
1 : 1000	»	10	2—5

ТАБЛИЦА 7. КЛАССИФИКАЦИЯ НАЗЕМНЫХ СЪЕМОК ПО ТОЧНОСТИ *

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

* На практике дополнительно выделяют съемки со средней квадратической погрешностью не более 1 гаммы, которые принято именовать прецизионными.

рудных месторождений. Поскольку косвенные поиски основаны на выявлении рудоконтролирующих факторов, противопоставление картировочных и поисковых задач недопустимо. Картировочно-поисковые магнитные съемки ведутся в масштабах 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000 обычно при средней точности.

Поисково-разведочные магнитные съемки проводятся для выявления рудных тел и детального изучения геологических границ и рудоконтролирующих факторов на относительно небольших участках (до 10 км^2), а также при выяснении масштабов оруденения, положения, размеров и формы рудных тел с целью получения исходных данных для проектирования горных и буровых разведочных работ. Выполняются в масштабах 1 : 10 000, 1 : 5000 и 1 : 2000 при обеспечении средней и высокой точности.

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

К съемкам специального назначения относятся микромагнитная съемка, измерения градиентов магнитного поля, наблюдения на интерпретационных профилях и специальные исследования на участках аномального поля (метод подмагничивания и др.). Такие съемки, как правило, прецизионного класса

точности проводятся в масштабе 1 : 1000 и крупнее по специально рассчитанной сети.

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

Приведенные характеристики различных видов съемки соответствуют наиболее часто встречающимся условиям и задачам. Возможны исключения. Точность при проектировании съемок в конечном итоге определяется не видом и масштабом работ, а интенсивностью ожидаемых аномалий, масштабы же — размерами и формой аномалий.

2.1.2. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

§ 40. Все виды топографо-геодезических работ выполняются на основе утвержденного технического проекта (топографо-геодезического раздела геофизических работ). Последний составляется на основе геологического задания. Как правило, геодезическая и топографическая основы создаются специализированными подразделениями.

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

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

Система координат, в которой создаются геодезическая и топографические основы, регламентируется соответствующими инструкциями и согласовывается с органами Государственного геодезического надзора.

Главной геодезической основой геологоразведочных работ являются государственные геодезические сети (триангуляция и полигонометрия 1, 2, 3 и 4 классов, нивелирование I, II, III и IV классов), создаваемые Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Исходными пунктами для создания геодезической основы разведочных, а также поисковых и поисково-разведочных работ в масштабах 1 : 10 000 и крупнее являются пункты геодезических сетей сгущения (триангуляция и полигонометрия 1 и 2 разрядов, техническое нивелирование), развиваемых в необходимых случаях в дополнение к государственной геодезической сети. Геодезические сети сгущения развиваются от пунктов высших классов (разрядов) путем вставки отдельных пунктов, фигур, систем треугольников или полигонов. Технические характеристики геодезических сетей приведены в работе [51].

Исходным материалом для создания топографических основ при поисковых и поисково-разведочных работах масштабов 1 : 10 000 и мельче служат государственные топографические карты масштабов 1 : 10 000 и мельче. При съемках в масштабе 1 : 5000 и крупнее (исключая поиски и разведку нефтяных и газовых месторождений) топографические основы создаются следующими методами:

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

При геологосъемочных, поисковых и поисково-разведочных работах (исключая поиски и разведку нефтяных и газовых месторождений) масштаб топографической основы должен соответствовать масштабу отчетной карты. При предварительной и детальной разведках масштаб топоосновы определяется по табл. 8.

ТАБЛИЦА 8. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ**

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

ТАБЛИЦА 9. **СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА, М, ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОСНОВ МАСШТАБА 1 : 5000 И КРУПНЕЕ**

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

При поисках и разведке месторождений нефти и природного газа (исключая эксплуатационные площади) применяются топографические основы масштабов 1 : 100 000 — 1 : 25 000 в платформенных областях и 1 : 25 000 — 1 : 10 000 в складчатых и солянокупольных областях. Крупномасштабные (1 : 5000 и крупнее) топографические съемки выполняются только при достаточном техническом обосновании необходимости проведения этих работ.

Сечение рельефа для топографической основы масштаба 1 : 10 000 применяется то же, что и для государственных топографических карт этого масштаба. Для топографических основ масштаба 1 : 5000 и крупнее применяются сечения рельефа, указанные в табл. 9.

§ 41. Топографо-геодезическое обеспечение наземных магниторазведочных работ предусматривает:

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

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

— съемку рельефа местности и определение высот характерных точек;

— оформление результатов топографо-геодезических работ.

Топографические карты, используемые при съемках среднего и крупного масштаба (1 : 100 000 — 1 : 5000) должны удовлетворять следующим дополнительным условиям:

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

— для определения высот карта должна быть высококачественной, что устанавливается инструментальной выборочной проверкой на местности в про-

цессе работ, а уровень, к которому отнесены высотные отметки, помещенные на карте, должен быть известен;

— предельная погрешность положения горизонталей на карте должна быть менее $^2/_3$ предельной допустимой погрешности определения высоты пунктов наблюдений, установленной в магниторазведочной части проекта работ.

Съемки масштаба 1 : 1000 и крупнее (съемки специального назначения) могут проводиться при наличии близкой по масштабу топографической карты района, например 1 : 5000 или 1 : 10 000. В отдельных случаях, особо оговариваемых в проекте, съемки специального назначения могут проводиться и при наличии более мелкой топографической основы.

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

— разбивку профилей и пунктов наблюдений на местности;

— разбивку магистралей;

— закрепление пунктов наблюдений на местности;

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

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

— закрепление выявленных в результате съемки перспективных аномальных зон.

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

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

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

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

Точки наблюдений (пикеты) нумеруются. При единственной магистрали на участке пикетам, находящимся на магистрали, присваиваются нулевые

номера. По одну сторону магистрали все пикеты получают номера *без* знака, по другую — со знаком минус. Номер, присваиваемый пикету,— это число, показывающее удаление пикета от магистрали в метрах. Например, пикет с номером 75 находится на расстоянии 75 м от магистрали. Такой порядок нумерации удобен при сгущении наблюдений или детализации аномалий. При нескольких магистралях на участке съемки нулевые номера получают пикеты *центральной* магистрали *.

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

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

Пункты наблюдений при площадной съемке, как правило, располагаются по прямолинейным профилям. Отдельные пункты могут при необходимости быть перемещены по профилю или сдвинуты вбок с линии профиля, что должно быть отражено в пикетном журнале. Отклонение профилей от прямолинейности и смещение отдельных точек допускается в случаях, когда необходимо:

— избежать участков, неблагоприятных для проведения наблюдений (болота, карьеры, скальные выступы);

— избежать излишних потрав посевов или не предусмотренной проектом рубки просек;

— обойти здания (или другие строения), оказавшиеся на линии профиля;

— совместить профили наблюдений с профилями ранее выполненных работ или с профилями других геофизических методов разведки.

В общем случае допустимые отклонения действительных съемочных линий и пунктов наблюдений от проектных регламентируются табл. 10, характеризующей погрешности определения координат геофизических наблюдений

ТАБЛИЦА 10. ТРЕБОВАНИЯ К ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ НАЗЕМНОЙ МАГНИТНОЙ СЪЕМКЕ

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

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

* В случае необходимости наращивания участков или при большем трех числе магистралей допускается иная система нумерации точек и самих магистралей.

относительно исходных пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения.

Плановое положение точек маршрутной магнитной съемки определяется со средней квадратической погрешностью 0,8 мм в масштабе отчетной карты в равнинных районах и 1,0 мм для горных. Высоты точек магнитных наблюдений определяются согласно проекту работ.

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

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

При маршрутной магнитной съемке с опознаванием пунктов наблюдений по карте наблюдения проводятся, как правило, по дорогам, просекам, тропам или рекам с визуальной привязкой пунктов наблюдений к ориентирам, имеющимся на местности и на карте. Составляется абрис маршрута.

При разбивке сети и размещении пунктов для проведения наземных наблюдений необходимо учитывать удобство установки приборов и легкость нахождения пунктов. При небрежном выполнении накопок или разметке сети колышками неподходящих размеров, а также при невыполнении расчистки местности возле пунктов наблюдений там, где это требуется для быстрого обнаружения пункта наблюдений, соответствующая часть топографических работ по разбивке сети может быть забракована и предъявлена к переделке.

Разбивку сети участка и контроль этого вида топографических работ рекомендуется завершить до начала магнитных съемок. Привязка магниторазведочных наблюдений к опорной геодезической сети также должна по возможности опережать магниторазведочные наблюдения или проводиться одновременно с ними. Прекращать работы на участке можно только после выполнения необходимых объемов привязочных работ.

Контрольные пункты и выбранные (несколько) точки опорной сети наземной магнитной съемки, начальные и конечные точки магистралей принимаются в качестве постоянных (долговременных) пунктов геодезической основы. Они привязываются к постоянным предметам или долговременным ориентирам местности в соответствии с требованиями к привязке пунктов геодезической сети. В отдельных случаях — при проведении съемок специального назначения или опытно-методических работ, не требующих составления отчетной карты,— объем, целесообразность и допуски привязочных работ определяются и кратко обосновываются требованиями проекта (программы).

На отработанном участке обязательно устанавливается деревянный или каменный столб, при закладке которого должна быть учтена необходимость его сохранности в течение 10 лет. На нем несмываемой масляной краской указываются: номер или иной условный маркер участка, год производства работ и организация, выполнившая съемку участка и установку столба. Вместо надписи непосредственно на столбе допускается установка на нем металлической пластины с надписью указанного содержания.

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

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

Для построения отчетных карт изготовляется топографическая основа с облегченной ситуацией, характер которой устанавливается в зависимости от назначения карты, особенностей района и сложности магнитного поля. Топографическая ситуация может дополнить данные магниторазведки (связь

с геоморфологией) и позволяет судить о расположении аномалий по отношению к дорогам, рекам, населенным пунктам. Вместе с тем она не должна мешать изображению магнитного поля, и поэтому обоснование выбора необходимой и достаточной топографической ситуации на отчетных картах должно быть приведено в отчете партии (отряда).

2.1.3. ОБЩИЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ С ПРИБОРАМИ

§ 42. Для проведения наземных магнитных съемок применяются следующие приборы:

1) ΔZ-магнитометры М-27, М-27М, М-18, М-23 — оптико-механические;
2) ΔT-магнитометры М-20, М-32, ПМ-5, G-806, G-816 — протонные;
3) ΔT-магнитометр М-33 — квантовый.

Технические и эксплуатационные характеристики, которые следует учитывать при выборе и определении возможностей аппаратуры, приведены в прил. 3.2 и 3.3 *.

В качестве вспомогательного средства измерений — *меры*, используемой для градуировки магнитометров в полевых условиях,— применяются градуировочный комплект КГ-1 (кольца Гельмгольца) и мера магнитной индукции ММИ-1 (прил. 3.6).

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

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

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

2. Оператор не должен иметь при себе магнитных предметов, могущих повлиять на отсчеты прибора.

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

4. Если в процессе работы на маршруте были допущены случайные нарушения правил обращения с прибором (сильный толчок, резкий поворот оптико-механического магнитометра при дезарретированной системе, рывок кабеля питания в комплекте квантового или протонного магнитометров), а также при замене источников питания на профиле в ходе съемки у протонных и квантовых магнитометров в рабочем журнале оператора ** делается соответствующая запись. Показания прибора и его работоспособность проверяются при этом на ближайшей опорной точке несколькими (около 10) измерениями. При работе без опорной сети производится повторение наблюдений на 2—3 ближайших точках. Любые другие явления или факты, способные влиять на точность измерений, также должны быть зарегистрированы.

5. На всех точках участка съемки прибор следует устанавливать на одной и той же высоте, чтобы результаты измерений были однородны и сравнимы друг с другом, что особенно важно для аномальных участков.

---

* Технические характеристики устаревшего и снятого с производства магнитометра пониженной точности М-2 вместе с указаниями по его эксплуатации приведены в инструкции [74].

** Или на ленте АЦПУ квантовых магнитометров.

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

7. На каждой точке оператор заносит в рабочий журнал (прил. 1.1) номер пикета и показания прибора (без перевода в единицы магнитного поля). При точном учете вариаций — дополнительно и время (часы и минуты при съемках с оптико-механическими магнитометрами, часы, минуты и секунды — при съемках с квантовыми). При прецизионных съемках с приборами, имеющими температурный коэффициент,— еще и температуру по термометру магнитометра.

2.1.4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РЯДОВЫХ И ВЫСОКОТОЧНЫХ СЪЕМОК

§ 44. Важнейшими элементами процесса наземной магнитной съемки являются:

1) разбивка опорной сети и определение опорных значений магнитного поля (§ 46, прил. 9);

2) выполнение основного объема магниторазведочных работ — рядовых наблюдений на местности (§ 39—43, 63—66);

3) приведение всех измеренных значений на местности к единому (условному или абсолютному) уровню по опорным значениям (§ 47);

4) оценка достоверности выявленных съемкой аномалий (прил. 8) и дополнительные наблюдения на расчетных профилях;

5) систематическое ведение необходимой полевой документации (§ 27—30).

Контрольные пункты

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

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

В качестве опорного значения поля для последующего приведения к нему как к условному нулевому уровню принимается среднемесячное значение

поля на КП, представляющее собой среднее арифметическое ряда значений, принятых за среднесуточные. При невозможности многократного наблюдения поля на КП в течение суток в качестве среднесуточного принимается значение, определяемое единожды в сутки, но в одно и то же время (предпочтительнее рано утром или в вечерние часы) по серии из 10 последовательных показаний.

Опорные сети

§ 46. Опорные сети разбиваются на местности при высокоточных и прецизионных съемках. Служат для приведения всех измеренных значений на местности к единому условному или абсолютному уровню и для исключения возможности накопления погрешностей наблюдений на рядовых пунктах съемки. Требования к пунктам опорной сети изложены в прил. 9.

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

Приведение к единому уровню значений поля на всем участке съемки придусматривает нижеследующие действия.

1. При равномерном размещении опорных пунктов на местности:
— получение опорных значений в узлах опорной сети;
— увязку их между собой;
— приведение рядовых значений к уровню опорной сети.
2. В магистральном варианте:
— получение опорных значений на магистралях;
— рядовую съемку;
— увязку магистралей по превышениям поля в опорных точках на рядовых пересекающих магистрали профилях;
— приведение рядовых значений к уровню опорной сети (магистралей).

Увязка съемки по опорной сети

§ 47. При наличии опорной сети, уравненной независимо от значений на рядовых маршрутах по способам В. В. Попова, узлов или решением нормальных уравнений (см. прил. 9), наблюдения на местности должны удовлетворять следующим требованиям:

— каждый рядовой профиль начинают на одном из узлов опорной сети (ОС);

— рядовые наблюдения ведутся непрерывно и каждые 1,5—2 ч замыкаются на ближайшем к последнему из рядовых наблюдений узле опорной сети;

— узел ОС, замыкающий интервал непрерывных наблюдений, может находиться непосредственно на профиле наблюдений (внутри или на границах профиля) или в стороне от него на небольшом расстоянии (в 2—5 мин хода);

— при достаточно густой сети узловых точек на рядовом профиле может быть 2 узла ОС или более; при сравнительно редкой сети между двумя последовательными замыканиями на опорные значения может быть пройдено несколько рядовых профилей;

— для приборов с предполагаемым монотонным смещением нуля все рядовые значения n_k в промежутке между начальным и конечным замыканиями на опорную сеть исправляются за уровень и за монотонный уход нуля. Увязанное значение в произвольной точке k этого промежутка определяется выражением

$$n_{k\,\text{ув}} = n_k - (n_{\text{ряд}\,A} - n_A) - k\,\frac{(n_{\text{ряд}\,Б} - n_Б) - (n_{\text{ряд}\,A} - n_A)}{m},$$

где m — число точек рядовых наблюдений между двумя последовательными

заходами на опорную сеть; $n_{\text{ряд }А}$ — измеренное при отработке *рядового* профиля значение поля в начальном узле опорной сети; $n_А$ — увязанное и фиксированное здесь опорное значение поля (в системе опорной сети); $n_{\text{ряд }Б}$ — измеренное значение поля в конце непрерывного интервала рядовых наблюдений на замыкающей этот интервал опорной точке; $n_Б$ — собственное увязанное значение в данной опорной точке. Операция исключения монотонного смещения нуля может выполняться и графически;

— наблюдения с приборами, не имеющими монотонного смещения нуля (например, с протонными G-816 или М-32), увязываются с опорными значениями по формуле

$$n_{k\,\text{ув}} = n_k - \frac{(n_{\text{ряд }А} - n_А) + (n_{\text{ряд }Б} - n_Б)}{2}.$$

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

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

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

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

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

Процесс взаимной увязки двух магистралей с использованием связующих их отрезков рядовых профилей иллюстрируется прил. 10.

После приведения магистральных значений к единому уровню отрезки рядовых профилей между точками их пересечения с соседними магистралями увязываются как интервалы между двумя опорными точками. При съемке с прибором, имеющим заметное смещение нуля во времени, увязанное значение во внутренней произвольной точке интервала $n_{k\text{ув}}$ определяется графически или по формуле

$$n_{k\,\text{ув}} = n_k - (n_{\text{ряд }А} - n_А) - k\,\frac{(n_{\text{ряд }Б} - n_Б) - (n_{\text{ряд }А} - n_А)}{m},$$

где $n_А$ и $n_Б$ — принятое за окончательное значение поля в точке пересечения профиля, содержащего приводимый интервал, с первой магистралью и со второй.

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

$$n_{k\,\text{ув}} = n_k - \frac{(n_{\text{ряд }А} - n_А) + (n_{\text{ряд }Б} - n_Б)}{2}.$$

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

2.1.5. ИЗМЕРЕНИЯ НА РАСЧЕТНЫХ ПРОФИЛЯХ

§ 48. Съемки на расчетных профилях выполняют в тех случаях, когда результаты рядовых измерений в заданном для данного участка масштабе по имеющимся профилям недостаточны для надежной интерпретации выявленных аномалий.

Это бывает, например, при подсечении аномалии под острым углом или если центр аномалии оказался между профилями. Иногда это диктуется необходимостью существенно поднять точность наблюдений и сгустить сеть пунктов измерений. Сами объекты для постановки работ на расчетных профилях выбираются по совокупности геолого-геофизических критериев с обязательным привлечением результатов предварительной интерпретации материалов рядовой магнитной съемки. Обычно объектом исследования являются четкие аномалии. В тех случаях, когда в геологически перспективных зонах выявляются слабые аномалии, целесообразность дополнительных работ следует оценить на основе расчета уровня достоверности γ слабых аномалий. Конкретное значение γ, достаточное для принятия решения о проведении дополнительных наблюдений по расчетным профилям, принимается техническим руководителем партии или начальником отряда с учетом решаемой геологической задачи и условий работ. Данной инструкцией это достаточное значение γ не нормируется.

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

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

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

1) наблюдения выполняют в невозмущенные дни и преимущественно в ранние утренние часы или после 18 ч местного времени;

2) производится точный учет вариаций (с магнитовариационной станцией или с использованием второго полевого магнитометра);

3) на профилях, проложенных по сильно пересеченной местности с резкими формами рельефа (овраги, крутые склоны и т. п.), учитывают влияние рельефа местности;

4) используют наиболее точную аппаратуру; все наблюдения выполняют с обязательной остановкой прибора (измерительного преобразователя) на пунктах профиля.

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

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

Если по расчетному профилю имеются обнажения, то со всех обнажений собирают образцы горных пород для определения их магнитных свойств.

Обнажения и точки отбора образцов привязывают к сети наблюдений и тщательно фиксируют эти сведения в полевом журнале. При недостаточном количестве обнажений по расчетному профилю при залегании искомых объектов на глубине 4—5 м полезно вскрыть их горными работами.

2.1.6. ОСОБЕННОСТИ НАЗЕМНОЙ МАГНИТНОЙ СЪЕМКИ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

§ 49. В связи с трудностями точной установки по уровням оптико-механических магнитометров (М-18, М-23, М-27, М-27М) съемку в горах и на осыпях целесообразно вести квантовыми (М-33) или протонными (М-32, G-816) магнитометрами.

При разбивке сети для съемки в горах, на осыпях или сильно пересеченной местности (овраги, балки) на предназначенных к очередной отработке профилях перед началом наблюдений выставляются вехи, облегчающие ориентацию оператора и отыскивание им пикетов. Проложение профилей наблюдений прямо вверх («в лоб») на крутых склонах (с углами наклона более 40°) и осыпях запрещается.

При съемке с квантовыми или протонными магнитометрами в условиях особо сложного пересеченного рельефа, а также при значительной залесенности горных склонов допускается размещение всего съемочного комплекта у одного лица (оператора). Ввиду значительного возрастания разброса показаний и предельной погрешности результата наблюдения с приближением измерительного преобразователя к пульту управления прибором (до 5—8 гамм) точность съемки понижается. Поэтому качество съемки на профилях, отработанных с преобразователем, находящимся у оператора, оценивается отдельно.

Если в процессе измерений на горных склонах или осыпях измерительный преобразователь переносится по профилю на расстоянии соединительного кабеля от оператора, необходима защита кабеля от рывков и растяжений, для чего к штанге с преобразователем и к пульту управления следует прикрепить немагнитный гибкий трос (или прочную веревку) блокировки длиной, меньшей, чем длина электрического кабеля.

Во избежание искажающего влияния форм рельефа на результаты измерений точки наблюдений по возможности следует располагать не ближе 2,5—3 м к краям обрывов, воронок, горных выработок и к местам резкого перегиба рельефа (скальные выступы).

Учет рельефа в ходе выполнения высокоточных и прецизионных съемок обязателен при:

а) меридиональном расположении профилей, идущих вкрест склона, если крутизна склона не менее 25°, а средняя намагниченность пород на участке более $15 \cdot 10^{-6}$ ед. СГСМ.

б) наличии многочисленных перегибов рельефа (всхолмленность), даже если углы наклона рельефа меняются не слишком резко (5—10°);

в) наблюдениях на участках с многочисленными и обширными горными выработками (отвалы, шурфы, канавы) и в карьерах.

Съемки в заболоченных районах следует проводить магнитометрами, не требующими точной установки по уровням (квантовыми или протонными).

При съемках в жаркую погоду (при температурах свыше 35 °С) с квантовыми магнитометрами возрастает вероятность отказа приборов; возможно временное (обратимое) увеличение порога нечувствительности преобразователя. Кроме того, при высоких температурах возможен перегрев и потеря емкости аккумуляторов типа СЦ.

В ходе съемки при температурах свыше 35° нужно увеличить объем контрольных операций и проверок, и в первую очередь проверок уровня сигнала и порога нечувствительности, с занесением в журнал результатов операций. При работе в автоматическом режиме регистра-

ции наблюдений на АЦПУ следует систематически дублировать печать измеренных значений визуальными отсчетами по световому табло. Каждые 1—1,5 ч нужно контролировать тестером напряжение на аккумуляторных банках — на каждой в отдельности. Ввиду того что ухудшение работы узлов прибора в очень жаркую погоду может проявляться в виде ускоренного против обычного смещения нуль-пункта, необходимо дополнительно контролировать это смещение, для чего отрезки профиля между точками опорной сети разбиваются на меньшие отрезки, отрабатываемые по цикловой методике. По эксплуатационной инструкции квантовые и протонные магнитометры не требуют исправления показаний за температуру. Однако если в паспорте прибора указан температурный коэффициент (дополнительная температурная погрешность), то при значительном повышении температуры (40° и более) следует вести также учет температуры во время съемки для последующего исправления результатов показаний.

К числу факторов, осложняющих съемку, относятся также помехи — нестационарные (вариации геомагнитного поля, промышленные магнитные и электромагнитные наводки) и стационарные. Последние возникают вследствие засоренности участка металлоломом и прочими отходами горно-разведочных работ или при резкой дифференциации намагниченности пород приповерхностной части разреза или почв.

Учету и исключению из наблюдений поддаются не все переменные магнитные или электромагнитные помехи. Геомагнитные вариации, даже весьма интенсивные (как, например, в авроральной зоне), со скоростью изменения поля до первых гамм в секунду в принципе при наземной съемке всегда поддаются исключению. С этой целью при большом градиенте вариаций во времени применяется методика исключения вариаций «по характерным точкам», для чего в ходе съемки на каждой точке берется не один, а несколько (не менее пяти) отсчетов через строго одинаковые временные интервалы (от 5 до 10 с). Полученные наблюдения выносят на короткий график, отражающий ход геомагнитных вариаций за время измерений на данной рядовой точке. Одновременно вариации регистрируются магнитовариационной станцией. При исправлении наблюдений на участке за вариации на вариограмме МВС по времени взятия серии отсчетов на профиле отыскиваются отрезки, на которых ход вариаций совпадает по форме и амплитуде с соответствующими короткими графиками, построенными для каждой рядовой точки наблюдений. После исправления значений на пикете за вариации в качестве свободного от влияния вариаций значения берется среднее по всей группе пяти (или более) исправленных значений.

Для применения рекомендуемого способа необходимо убедиться в идентичности протекания вариаций в пункте расположения МВС и на участке работ. Полезно расположить МВС непосредственно на самом участке съемки. Аналогично исправляются наблюдения при импульсных промышленных магнитных помехах. Методика сопоставления коротких графиков эффективна для точной привязки во времени импульсных (ступенчатых) смещений магнитного поля, после чего даже при большой амплитуде таких смещений они однозначно исключаются из наблюдений на профиле.

При необходимости выполнения съемок вблизи от электролиний, действующих рудников и промышленных центров наблюдения переносятся на ночное время, когда уровень помех резко падает *. Для ночных съемок применяются магнитометры с автоматической регистрацией измеренных значений. Пикеты на участке ночных съемок должны быть светлыми и хорошо заметными. Ночные работы проводятся лишь после дополнительного инструктажа по технике безопасности с учетом местных условий.

* Магнитные помехи даже на окраинах крупных городов уменьшаются после полуночи в 5—10 раз.

Электромагнитные наводки, не влияющие на работу оптико-механических магнитометров, могут привести к возрастанию процента брака при наблюдениях с квантовыми и полностью лишить работоспособности протонные магнитометры, которые наименее помехоустойчивы. Следует принимать в расчет возможность наводок в радиочастотном диапазоне (100—500 кГц). При значительной мощности излучения волн в этом диапазоне на участке работ квантовые магнитометры также могут полностью отказывать без видимых внешних причин. Поэтому в таких условиях рекомендуется иметь простейшие индукционные индикаторы электромагнитных наводок в радиочастотном диапазоне или вести съемку более грубыми оптико-механическими магнитометрами.

Стационарные магнитные помехи, как правило, не вызывают отказов съемочного прибора, но существенно влияют на точность и эффективность съемки. Для ослабления помех этого рода нужно удалить измерительный преобразователь съемочного прибора от дневной поверхности, что осуществимо лишь при работе с квантовыми и протонными магнитометрами. Преобразователь крепится на немагнитной штанге или деревянной рейке на высоте примерно 2,5—3 м от земли, что в большинстве случаев оказывается эффективным. Если в целом стационарный фон невелик, то каждое значительное отклонение от средних (ожидаемых) значений поля на профиле подлежит проверке и детализации с целью последующей отбраковки в случае малой протяженности аномалии.

При работе в районах многолетней мерзлоты следует учитывать, что подземные жильные льды могут создавать аномалии на поверхности земли амплитудой до 15—30 гамм со средним радиусом корреляции 5—10 м.

2.1.7. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ СЪЕМКИ

§ 50. Этап полевой обработки данных наземной съемки делится на четыре основных подэтапа.

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

2. Преобразование непосредственно полученных в ходе съемки отсчетов или показаний прибора в значения физической величины, объективно характеризующей распределение стационарного магнитного поля на участке работ. На этом подэтапе осуществляются перевод отсчета в именованную величину (требуется применительно к оптико-механическим магнитометрам), введение поправок за температуру, вариации и смещение нуля, приведение к уровню опорных значений, привязка к абсолютному уровню (если это предусмотрено проектом и при необходимости), исправление данных за нормальный горизонтальный градиент.

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

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

На втором подэтапе для квантовых и протонных магнитометров обработка начинается непосредственно с введения поправок в измеренные на профиле значения, так как результат измерения в этих прибо-

рах выводится на АЦПУ или цифровое табло прямо в нанотеслах. Эти же магнитометры, как правило, не требуют и введения температурных поправок, и результаты измерений в первую очередь исправляются за вариации. Для этого момент начала работ на участке отмечается на вариограмме МВС. Значение поля на вариограмме в этот момент времени принимается за условный нулевой уровень. Времена всех очередных наблюдений на местности играют роль абсцисс на вариограмме, и соответствующие им ординаты — отклонения кривой вариаций от условного нулевого уровня — принимаются в качестве искомых поправок в наблюденные на местности значения. Значение каждой очередной поправки в гаммах получается в результате умножения каждой очередной ординаты вариограммы на цену деления диаграммной бумаги в стандартной разграфке или в пересчете на 1 мм (например, если вариации записаны на фотобумаге). Поправка за вариации вводится с противоположным знаком. Рекомендуется графическое исправление наблюдений за вариации. Требования к синхронизации времен съемочного прибора и МВС и к службе времени при учете вариаций изложены в § 12.

Все оптико-механические магнитометры имеют паспортизованный температурный коэффициент. Исправление наблюдений за температуру t для этих приборов *предшествует* введению поправок за вариации. Поправка рассчитывается по формуле

$$\Delta = -\tau(t - t_0),$$

где τ — температурный коэффициент со своим знаком; t_0 — температура в момент начального наблюдения на исходной для данного дня опорной точке участка.

Знак поправки противоположен знаку температурного коэффициента.

Исправление данных за смещение нуля осуществляется одновременно с приведением рядовых значений к уровню опорных и рассмотрено в § 47.

Привязка к абсолютному уровню необходима в случае, когда требуется составление сводной карты магнитного поля по материалам съемок на смежных участках, выполнявшихся в разные сроки, а специальная увязка опорных сетей или КП этих съемок не выполнена. Такая привязка осуществляется путем передачи данных из ближайшего пункта государственной сети абсолютных значений с последующим введением поправки за вековые вариации (прил. 6). Крупномасштабные, высокоточные и прецизионные съемки, занимающие небольшие площади, приводятся к абсолютному уровню только в особых случаях.

Поправка за нормальный градиент обязательна при значительных линейных размерах участка (5 км и более), а также на малых (до 1 км) участках, если съемки прецизионные, а разрез слабомагнитный, т. е. если амплитуды аномалий не превосходят единиц и первых десятков гамм. Для исправления результатов за нормальный градиент пользуются картами нормального поля измеряемого геомагнитного элемента ближайшей к сезону работ геомагнитной эпохи. Об издании и наличии соответствующих карт следует запрашивать ИЗМИРАН или государственные магнитные обсерватории (прил. 19). Ввиду малости изменения поля за счет горизонтального градиента на участках ограниченных размеров поправка вводится по одному из направлений, соответствующему наибольшему градиенту.

Исправление рядовых наблюдений за перечисленные факторы ведется в отдельном журнале полевых вычислительных работ (§ 27—28) или при наличии достаточного числа граф в рабочем журнале. Исправление опорных значений выполняется в специальном журнале увязки опорных значений (§ 46, прил. 9).

В итоговой, выделенной графе журналов выписываются исправленные значения поля. Они используются на следующем подэтапе полевой обработки данных при построении графиков и плана графиков (о планах графиков см. § 33). Оформление графики рассмотрено в § 37. Горизонтальный мас-

штаб обычно равен шагу съемки в 1 см или двум шагам съемки в 1 см. Вертикальный масштаб выбирается из расчета округленная итоговая погрешность съемки (§ 33) в 1 мм. Допускается и более крупный масштаб — среднее квадратическое отклонение результата измерений (инструментальная погрешность) в 1 мм. На каждом графике слева от составителя должен быть юг (при меридиональном профиле) или запад, справа — север или восток. Расстояние между нулевыми линиями графиков на сводном плане графиков должно быть таким, чтобы план был удобен для работы, и выбирается так, чтобы по возможности избежать наложения полей соседних или близких графиков.

На этом же этапе намечаются представляющие интерес аномалии. Подготовка их к интерпретации требует сглаживания — числового или графического (прил. 5).

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

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

Рекомендуются числовые алгоритмы знакопеременных сумм и обратных вероятностей (прил. 5) и простейшие алгоритмы кросс-корреляционного анализа. Количественная интерпретация осуществляется только после исправления, приведения к единому уровню и сглаживания данных и выполняется после оценки надежности выявленной аномалии (прил. 8). Основным определяемым параметром на этапе полевой интерпретации является глубина до верхней кромки (или центра) вызывающего аномалию объекта. Простейший оценочный способ — метод полумаксимума; из более точных экспресс-методов минимально трудоемкими являются методы Петерса — Голуб, Эйлера и В. Э. Волка. Результаты полевых количественных расчетов могут фиксироваться непосредственно на графике (плане графиков).

§ 51. В камеральный период производят построение уточненных планов (карт) графиков измеренного элемента геомагнитного поля, составление отчетных карт изолиний, вычисление элементов залегания создающих аномалии объектов и их намагниченности, составление геолого-геофизических разрезов и тектонических схем с учетом имеющихся данных бурения и других геолого-геофизических исследований, а также составление вспомогательных карт (трансформаций) или карт градиентов магнитного поля, схем распределения магнитных свойств горных пород на участке съемок и т. п. Объем и содержание работ камерального периода устанавливаются проектом в зависимости от характера, условий и задач съемки. Карты изолиний составляются по обычным правилам (§ 34).

Количественным расчетам при камеральной обработке предшествует введение поправок за рельеф (если это необходимо). Оно осуществляется на ЭВМ, например, по программам «Рельеф-2», «Вертикаль» и «Контакт».

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

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

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

ТАБЛИЦА 11. **ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ И УСЛОВИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Определяемая величина	В каких условиях используется
I. Среднее квадратическое отклонение σ результата измерения (при неизвестном истинном значении измеряемой величины): а) при равноточных измерениях б) при неравноточных измерениях	При выполнении ряда последовательных измерений на КП, в узле опорной сети или на стенде
II. Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего серии измерений $\sigma_{ср}$	При оценке погрешности значения, принимаемого за действительное и приписываемого узлу опорной сети или КП
III. Вес результата измерения p	—
IV. Средняя квадратическая погрешность σ результата, оцениваемая на основании двойных равноточных наблюдений (измерений): а) при случайном характере значений Δ_i	При оценке сходимости результатов на выбранной совокупности контрольных точек (профиле, отрезке профиля) в идентичных рабочих условиях с одним и тем же равноценным по точности прибором. Служит первичной характеристикой (мерой) качества измерений на местности (качества съемки)

Формула (словесное определение) и обозначения	Примечание
а) $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}{n-1}}$, где Δ_i — разность между i-м результатом измерения и средним арифметическим серии; n — число измерений в серии	Это равенство называют формулой Бесселя. Применяется для оценки качества измерения при неизменяющихся значениях измеряемой величины
б) $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2 p_i}{n-1}}$, где p_i — вес i-го результата измерения	Является обобщением предыдущей формулы
$\sigma_{ср} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, где σ — среднее квадратическое отклонение результата измерения; n — число измерений в серии	Оценка по данной формуле выполняется при небольшом n (первые десятки)
Отвлеченное число, обратно пропорциональное квадрату среднего квадратического отклонения результата измерения (см. пункт I): $p = c/\sigma^2$, где c — произвольный постоянный множитель	Другие способы определения веса (например, веса приращения поля — через длину отрезка между точками) оговариваются особо. При вычислении веса достаточно двух значащих цифр
а) $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}{2n}}$, где $\Delta_i = l_i' - l_i''$ — разность значений i-ой пары; $l_1', l_2', \ldots, l_i', \ldots, l_n'$ и $l_1'', l_2'', \ldots, l_i'', \ldots, l_n''$ — исходный и повторный ряды измеренных значений; n — число измерений в каждом ряду	

Определяемая величина	В каких условиях используется
б) при наличии или в предположении наличия систематической составляющей в ряду разностей Λ_i	При оценке погрешности измерения вариаций, если используются результаты последовательных и синхронизованных измерений вариаций двумя независимо работающими МВС При оценке погрешности результата по контрольным наблюдениям на профиле с возможно изменившейся высотой (или ориентацией) съемочного прибора
V. Средняя квадратическая погрешность σ среднего $l_{i\,ср}$ по результатам двойных равноточных измерений	—
VI. Средняя квадратическая погрешность результата измерения с весом, равным единице (сокращенно средняя квадратическая погрешность единицы веса) μ	Имеется совокупность точек, в каждой из которых определено среднее квадратическое отклонение результата измерения σ_k ($k = 1, 2, \ldots, r$); вес k-й точки вычисляется по формуле $p_k = \mu^2/\sigma_k^2$

2.1.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛЕВЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ РАБОТ

§ 52. Контроль качества работ выполняется с учетом § 29. Основным средством определения качества съемки являются контрольные измерения на местности в рабочих условиях. Объем контрольных наблюдений определяется главным образом масштабом и задачами съемки, предусматривается проектом, но в любом случае не должен быть ниже 5 %, а при опытно-методических съемках — не ниже 10 %.

Недопустимо проведение контрольных наблюдений на профиле или площади с существенно облегченными условиями работы (спокойное поле, отсут-

Формула (словесное определение) и обозначения	Примечание
б) $\sigma = \sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i'^2}{2(n-1)}}$ $\left(\sum_{i=1}^{n} \Delta_i \neq 0\right)$; $\Delta_i' = \Delta_i - \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}{n}$	Например, если при повторных измерениях измерительный преобразователь разворачивается на 180°
$l_{i\,\text{ср}} = \dfrac{l_i' + l_i''}{2}$; $\sigma = \dfrac{1}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2/n}$ или $\sigma = \dfrac{1}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i'^2/(n-1)}$ (при наличии систематической составляющей) Обозначения те же, что в пункте IV	
Вспомогательная величина, которой пользуются для задания масштаба измерения произвольных весов: $\mu = \sqrt{c}$, где c — постоянная формулы, определяющей вес результата измерения	Обычно единичный вес приписывается точке с наибольшей σ или точке с однократным измерением поля

ствие характерных для отрабатываемого участка факторов помех и т. п.). Недопустимо также выполнение контрольного хода сразу же по завершении рядового. Как правило, контрольные наблюдения выполняются другим оператором * через несколько дней после проведения рядовых. Также недопустим и слишком большой разрыв во времени между рядовыми и контрольными наблюдениями (возможно существенное изменение рабочих условий).

* Действие этого положения не распространяется на экспериментальные наблюдения с лабораторными и другими не выпускаемыми серийно макетами и образцами, где может не найтись другого квалифицированного оператора.

Определение качества наземных магниторазведочных работ производится с учетом:

— важнейших числовых характеристик результатов наблюдений, рассчитываемых по данным повторных измерений, по материалам сравнения рядовых и контрольных измерений или сравнения параллельных рядов измерений (например, регистрации вариаций двумя МВС);

— итоговой погрешности съемки;

— соответствия полевой рабочей документации требованиям настоящей инструкции по порядку ее ведения и оформления;

— качества камеральной и предварительной обработки данных;

— качества отчетных графических материалов;

— полноты решения поставленных проектом задач и геологических результатов магнитной съемки.

§ 53. Итоговой характеристикой качества съемки считается погрешность увязанных результатов наблюдений. Указание ее значения в отчете о полевых работах должно обязательно сопровождаться разъяснениями относительно методики вычислений самой результирующей погрешности и ее составляющих. В частных случаях, например при маршрутной съемке или при оценке погрешности наблюдений на интерпретационном профиле, достаточно определения погрешности отдельного измерения по результатам двойных равноточных измерений на профиле. Формулы, необходимые для расчетов составляющих суммарной погрешности с указанием ситуаций их пригодности, сведены в табл. 11.

Механическое использование формул табл. 11 в неподходящих условиях, а также отступление от приводимых здесь наименований составляющих погрешностей недопустимо. Необходимо помнить, что научно обоснованной формулы для определения суммарной погрешности магнитной съемки на местности в общем случае не выработано, и суждение о качестве работ будет тем правильнее, чем конкретнее названы условия наблюдений, характер измеряемых величин и чем строже выдержаны наименования, раскрывающие характер и значимость рассчитываемых составляющих погрешности *.

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

1. Определяется средняя квадратическая погрешность значений в узлах опорной сети по формуле Бесселя (табл. 11).

2. Рассчитывается средняя квадратическая погрешность увязанных взаимных превышений *на единицу веса* μ.

При увязке по способу В. В. Попова μ определяется из формулы

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

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

---

* Это требование связано с необходимостью упорядочить терминологию и обеспечить правильное применение формул в столь важном вопросе, как расчет погрешностей съемки. В этой области наблюдался разнобой в терминологии и даже в применении тех или иных формул. Сказанное относится и к аэромагниторазведке.

При увязке по способу узлов для определения μ пользуются другой формулой:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_1^2 p_i}{n-k}},$$

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

3. Рассчитывается средняя квадратическая погрешность увязанных взаимных превышений с весом p_i*:

$$m_i = \mu/\sqrt{p_i}.$$

4. От средней квадратической погрешности взаимного превышения на отдельном звене (связи) переходят к средней квадратической погрешности *увязанного* значения поля в узле опорной сети $\sigma_{о.\,с}$:

$$\sigma_{о.\,с} \cong 0{,}8m.$$

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

5. По результатам контрольных измерений на контрольном профиле съемки или на секущем маршруте вычисляется средняя квадратическая погрешность рядовых наблюдений по формуле для двойных равноточных измерений с предполагаемой систематической составляющей (формула IV б табл. 11).

6. $\sigma_{ряд}$ и $\sigma_{о.\,с}$ должны удовлетворять неравенству

$$\sigma_{о.\,с} < \sigma_{ряд} \leqslant (2 \div 2{,}5)\,\sigma_{о.\,с}.$$

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

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{о.\,с}^2 + 2\sigma_{ряд}^2}.$$

В принципе оценка σ не учитывает влияния систематической погрешности и представляет собой суммарную погрешность съемки *по недостатку*, т. е. всегда меньше действительной суммарной погрешности, не имеющей в данной инструкции аналитического выражения.

В случае увязки наблюдений взаимным уравниванием магистральных и рядовых наблюдений в качестве показателя, равноценного по смыслу σ, т. е. итоговой оценке погрешности съемки, используется средняя квадратическая погрешность результата по разности двойных равноточных измерений. Для вычисления σ на участке съемки выполняют секущий контрольный ход через опорные точки — по одной с каждой магистрали. В промежутке между соседними опорными точками контрольный профиль должен проходить через рядовые точки планшета. Перед проведением этого хода весь планшет полностью увязывают по методике, рассмотренной в § 46 и 47. Пройденный ход приводят к уровню увязанных значений планшета по формулам, указанным в § 47. Далее определяют разности (с нулевой суммой) между увязанными

---

* При производстве съемки следует обеспечить равновеликость весов на звеньях (связях) опорной сети, чтобы рассчитанная μ представляла собой единую, обобщенную характеристику погрешности взаимных превышений.

рядовыми и увязанными контрольными значениями * в каждой точке хода. Итоговая оценка погрешности σ определяется равенством

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

8. Погрешность планового положения, возникающая при наземных съемках лишь в случае безостановочного движения по профилю с магнитометром М-33 или при съемках с автомобиля, определяется в соответствии с указаниями § 59.

2.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ НАЗЕМНОЙ СЪЕМКИ

2.2.1. АВТОМОБИЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СЪЕМКА

§ 54. Автомобильная магнитная съемка является разновидностью наземной магниторазведки и применяется в степных и пустынных районах с относительно сглаженными формами рельефа, доступных для проезда автомобильного транспорта. При автомагнитной съемке измерения производятся в движении в условиях девиационного влияния автомобиля с постоянным интервалом между точками наблюдений.

Наблюдения в автомагнитном варианте применяются для:

а) производства площадных магнитных съемок в масштабах от 1 : 25 000 до 1 : 2500 или комплексных гамма-магнитных съемок;

б) оперативной детализации магнитных аномалий, выявленных при картировочно-поисковых съемках (воздушных или наземных);

в) выполнения специализированных измерений — маршрутных исследований, микромагнитных и повысотных съемок и т. п.

Постановка геологических задач, выбор участков, масштаба съемки и направления маршрутов определяются общими положениями, выработанными для наземной магниторазведки.

Комплектование автомагнитного отряда

§ 55. Автомагнитная съемка, как правило, ведется специализированным отрядом. Полевой отряд комплектуется следующей измерительной аппаратурой и оборудованием:

а) автомобильной магнитной станцией (прил. 3.4);

б) магнитометром наземной съемки типа М-33 для выполнения наблюдений в недоступных для проезда местах и детализационных наблюдений;

в) магнитовариационной станцией, регистрирующей вариации T с погрешностью менее 0,5—1 нТл;

г) портативной электростанцией типа УД-2 с зарядным агрегатом;

д) набором радиоизмерительных приборов, предназначенных для профилактического осмотра и выявления мелких неисправностей станции (осциллограф типа С1-49, звуковой генератор типа ЗГ-12, тестер, испытатель транзисторов, магазин емкостей и др.).

При проектировании автомагнитной съемки необходимо предусматривать профилактические работы с автомагнитометром в течение 3—4 рабочих дней ежемесячно.

---

* Если $\sum_{i=1}^{n} \Delta_i \neq 0$, то разности Δ_i исправляют последовательно на $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta^i$ и результирующие разности с уже нулевой суммой подставляют в указанную формулу.

Топографическое обеспечение автомагнитной съемки

§ 56. Полная автоматизация измерений, обеспечивающая постоянство интервала между наблюдениями (5 или 10 м) исключает необходимость расстановки пикетов по профилю в полном объеме. В зависимости от масштаба и вида съемки используются следующие виды топографического обеспечения: а) работа по заранее подготовленной сети, б) съемка с использованием топопривязчика.

Съемка по заранее подготовленной сети предусматривает разбивку каркаса магистралей с последующим вешением профилей. Этот вид работ применяется при постановке специализированных площадных автомагнитных съемок масштаба 1 : 10 000 и крупнее.

Погрешности, возникающие за счет неточности работы спидометра автомобиля, могут быть сведены до приемлемых значений за счет уменьшения расстояния между магистралями, где производится точная координатная привязка наблюдений (реперная отметка на ленте).

Максимально допустимые расстояния между соседними магистральными ходами на участке съемки не должны превышать 2 км при масштабе съемки 1 : 10 000, 1 км при 1 : 5000 и 0,5 км при 1 : 2000.

Требование к качеству вешения профилей должно определяться условием, чтобы из каждой точки профиля просматривались как минимум две вехи, расположенные в створе профиля. Для своевременного выявления случаев выведения съемочного маршрута на соседний профиль каждая веха должна иметь порядковый номер и номер профиля. При работе на участках, имеющих разбивку пикетажа, реперные отметки помимо магистралей рекомендуется приводить к пикетам не реже чем через 100—200 м. При проведении маршрутных наблюдений закрепление точек на местности ведется с интервалом не реже чем через 1000 м.

Съемка с использованием топопривязчика ведется при более мелких масштабах работ.

Рекомендуются топопривязчики типа ТМГ-ГАЗ-69, обеспечивающие проложение на местности заданного направления с параллельным определением координат положения автомобиля. При работе с ТМГ магистрали прокладывают с интервалом 5 км. Движение автомобиля с топопривязчиком всегда начинается с опорной точки на магистрали. Автомобиль с автомагнитометром движется вслед за топопривязчиком. Принципиально осуществимо и совместное размещение ТМГ и автомагнитометра на одном автомобиле ГАЗ-69.

Применение этого способа привязки наблюдений на местности ограничивается невозможностью обеспечения равномерности съемочной сети. Поэтому при крупномасштабных высокоточных автомагнитных съемках использование топопривязчика недопустимо.

Техника съемочных работ

§ 57. На подготовительном этапе проверяются надежность закрепления основных блоков комплекта, функционирование электронного блока и опросно-регистрирующих узлов. Работоспособность автомагнитометра в целом сначала проверяется на КП. Последний выбирается вблизи лагеря на горизонтальной площадке в спокойном магнитном поле. Учитывая, что погрешность установки магниточувствительного преобразователя над центром КП обычно составляет $\pm 0{,}2$ м, при работе с протонным автомагнитометром градиент поля на КП не должен превосходить 10 гамм/м. Проверка станции на КП выполняется при работающем двигателе автомобиля. После проверочных операций на КП приступают к проверке станции в движении. Вблизи лагеря в характерном для съемочного участка магнитном поле разбивается эталонный марш-

рут длиной 1,5—2 км, условия проезда на котором типичны для участка работ.

На эталонном маршруте в первую очередь контролируется проявление помех микрофонного типа и принимаются меры к их устранению. Наблюдают влияние других факторов помех, сказывающихся в движении. Проверка автомагнитометра на ходу заканчивается многократным (3—4 раза) заездом эталонного маршрута в режиме автоматического измерения поля и подсчетом средней квадратической погрешности наблюдений по серии повторных измерений. При удовлетворительных результатах проверки станция считается готовой к работе.

Перед началом съемочных работ и во всех случаях, когда возможно изменение магнитного поля автомобиля (замена двигателя или прицепа), проводят определение относительных и абсолютных девиационных поправок.

Относительная девиационная поправка — это разность между измерениями в точке при двух курсах автомобиля, один из которых принят за исходный. Введение относительных поправок обеспечивает приведение всех измерений, выполненных при различных азимутах движения автомобиля, к единому условному уровню, отличающемуся от истинного на постоянное значение.

Абсолютная девиационная поправка представляет собой разность между истинным значением поля в данной точке (в фиксированный момент времени) и значением, измеренным автомагнитометром при заданном курсе в тот же момент (за вычетом вариаций).

Определение относительных и абсолютных девиационных поправок производится на упомянутом выше КП. Для полного выявления азимутальных девиационных поправок обычно вполне достаточно произвести измерения на 12 азимутах через 30°. Истинное значение магнитного поля на КП определяется с помощью автомагнитометра, демонтированного с автомобиля (или до установки магнитометра на прицеп). При работе с квантовым автомагнитометром все измерения выполняются при ориентации магниточувствительного преобразователя в оптимальном положении.

Любые измерения с помощью квантового автомагнитометра можно производить только после выведения его в нормальный рабочий режим. Время самопрогрева станции должно быть зафиксировано на ленте.

Работа прибора в режиме автомагнитометра выполняется при погрешности отсчитывания 1 нТл. Рядовая съемка начинается с одного из опорных пикетов. При площадных съемках отработка профилей производится по системе «змейка». Начало и конец каждого профиля должны сопровождаться соответствующими записями на ленте с указанием номера профиля пикета, азимута профиля и времени. Числовые массивы двух профилей обязательно должны разделяться «холостой» протяжкой ленты. В процессе съемки оператор следит за режимом работы аппаратуры, за прямолинейностью движения по профилю и делает реперные отметки в момент прохождения опорного или магистрального пикета. В случае появления сомнительных показаний (выбросы, потеря корреляции поля и т. д.) съемка прекращается и производится оперативный контроль режимов станции и повторяемости показаний на одной точке или небольшом отрезке профиля при повторном его заезде. Убедившись в нормальной работоспособности станции, съемку можно продолжать.

Измерения на интерпретационных профилях выполняются строго на пикетах с включением прибора «от руки». После окончания съемки лента оформляется оператором и сдается в камеральную группу. На обратной стороне ленты записывают ее номер, дату съемки, наименование участка, номера отработанных профилей (и пикетов), номера автомобиля и прицепа, номер станции, фамилии оператора и водителя. Лента сдается руководителю работ, который просматривает ее, делает необходимые замечания, принимает к сведению выполненный объем и делает на ленте отметку о ее принятии.

Учет вариаций геомагнитного поля

§ 58. При проектировании автомагнитных съемок с погрешностью не более 10 гамм учет вариаций геомагнитного поля является обязательным. Для регистрации вариаций T партия, выполняющая автомагниторазведочные работы, должна располагать магнитовариационной станцией, инструментальная погрешность которой не выше инструментальной погрешности эксплуатируемого автомагнитометра. Допускается использование вариограмм ближайшей магнитной обсерватории, если съемка ведется в местности, свободной от промышленных помех, а обсерватория отстоит не далее 100 км от участка работ.

Применение опорной сети для учета вариаций при выполнении автомагниторазведочных работ можно рекомендовать лишь в исключительных случаях. При этом следует строго следить, чтобы точки опорной сети располагались в спокойном магнитном поле (допустимый градиент не более 0,2—0,5 гамма/м). Опорную сеть обычно разбивают перед рядовой съемкой, лучшим временем для создания опорных маршрутов является утреннее (6—9 ч) или вечернее (после 18 ч).

Качество автомагнитной съемки

§ 59. Оценивается двумя показателями: погрешностью измерений магнитного поля и погрешностью планового положения точек измерений. В качестве итоговой оценки погрешности съемки (измерений поля) используется средняя квадратическая погрешность результата по разностям двойных измерений, полученных при повторном заезде контролируемого профиля. В подсчет квадратической погрешности включаются точки, расположенные в характерном для участка съемки магнитном поле (градиент не более 0,5 гамма/м). При этом во внимание принимается систематическая погрешность, характеризующая погрешность учета поправок. Погрешность планового положения характеризует собой топографическую погрешность съемки в метрах. Оценивается по смещению между характерными особенностями графиков магнитного поля при прямом и обратном заезде маршрута. Объем контрольных наблюдений должен распределяться равномерно по площади участка и составлять не менее 5 % общего объема съемочных работ.

Обработка материалов

§ 60. В камеральный период выполняются:

а) первичная обработка лент;

б) построение графиков и плана графиков приращений T;

в) введение поправок за девиацию, вариации и нормальный градиент;

г) построение карты магнитного поля;

д) оценка качества съемки.

Отчетные материалы автомагнитной съемки (обязательные) — план графиков (или карты изолиний ΔT), графики интерпретационных профилей и геологическая схема, составленная на основе геологических материалов с учетом результатов съемки и данных количественной интерпретации.

2.2.2. МИКРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА

§ 61. Под микромагнитной съемкой понимают особо точные, или прецизионные, измерения приращений ΔZ или ΔT на небольшой площади, гарантирующие уверенное выделение слабых (10 гамм и менее) аномалий. Микромагнитная съемка используется как средство геолого-петрографических исследований неглубоко (до 10 м) залегающих пород или приповерхностной части геологического разреза. Метод применим в условиях, когда:

а) отсутствуют резко выраженные аномалии посторонних источников, не связанные с магнитностью и структурой изучаемого комплекса пород;

б) рельеф дневной поверхности ровный;

в) известно, что почвенный слой, кора выветривания и вышележащие приповерхностные образования практически немагнитны и не создают сколько-нибудь заметных аномалий, маскирующих аномальное поле изучаемого комплекса, если только сами приповерхностные образования не являются предметом изучения.

Микромагнитная съемка применяется при решении следующих задач:

а) выявление линии контакта пород, над которыми средние значения измеряемого элемента магнитного поля (ΔZ или ΔT) примерно одинаковы;

б) определение преимущественных направлений трещиноватости или рассланцевания пород;

в) изучение флюидальных текстур в эффузивных породах, закрытых рыхлыми образованиями малой мощности;

г) изучение остаточной намагниченности изверженных пород;

д) изучение метасоматических изменений пород;

е) определение направления седиментации молодых осадочных отложений.

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

Наблюдения элементов геомагнитного поля при микромагнитной съемке выполняются по равномерной сети 2×2 м, 3×3 м, 5×5 м на квадратных площадках размером 10×10 м², 25×25 м² или 50×50 м². Площадки микромагнитной съемки в пределах одного участка единообразно ориентируются относительно магнитного меридиана или другого направления, выбранного в качестве отсчетного. Для измерений используется высокостабильная аппаратура, предпочтительнее протонная или квантовая (G-816, М-32, М-33), реже обычные ΔZ-магнитометры (М-18, М-23, М-27, М-27М).

Все измерения на съемочных площадках выполняются при обязательной одновременной регистрации вариаций наблюдаемого элемента магнитного поля с соблюдением всех требований, предъявляемых к вариационной службе при высокоточных и прецизионных наземных магнитных съемках. При значительном уровне переменных помех учитываются и выполняются соответствующие положения инструкции, приведенные в § 22. Для учета влияния температуры и смещения нуль-пункта съемочного прибора наблюдения осуществляются по цикловой методике. На площадке или неподалеку от нее выбирается контрольный пункт (КП) с многократно измеренным значением наблюдаемого элемента поля. Если съемка ведется оптико-механическими или феррозондовыми магнитометрами, то один цикл составляет от 10 до 30 точек измерения по схеме КП — РТ1 — РТ2 —...—РТk — КП, где РТ — рядовая точка площадки, а k — количество точек в цикле. С использованием быстродействующего квантового магнитометра М-33 и протонных приборов М-32 и G-816 все наблюдения на площадке укладываются в один цикл, который начинается и заканчивается на КП.

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

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

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

2.2.3. ИЗМЕРЕНИЕ ГРАДИЕНТОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

§ 62. В магниторазведке под градиентами геомагнитного поля обычно понимают производные скалярной функции по заданным направлениям, т. е. понятие «градиент» отождествляется с понятием «составляющая вектора градиента»*. На практике вместо направленных производных приходится оперировать с конечными разностями значений какого-либо элемента земного магнетизма. Эти разности определяются по одному из множества горизонтальных направлений или по вертикали и приводятся к единице расстояния делением измеренной разности на длину базы — интервала между точками пространства, для которых сравниваются значения геомагнитного элемента. Значение «градиента», понимаемого в определенном выше смысле, приписывается точке пространства, находящейся в середине базы.

На современном уровне технической оснащенности магниторазведки реальны лишь измерения градиентов модуля геомагнитного вектора. Их обозначают T_x', T_z' или $\partial T/\partial x$, $\partial T/\partial z$. Наиболее целесообразны измерения вертикального градиента T**. Фактически при градиентных наблюдениях определяется разность значений модуля, и она измеряется в тех же единицах, что и сам модуль (в гаммах). Разность значений поля, приведенная к базе 1 м, измеряется в гаммах на метр.

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

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

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

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

Искомыми объектами геологического происхождения на малых глубинах могут быть, в частности, дайки, разрозненные «останцы» сильномагнитных пород в слабомагнитных интрузивах, неглубоко залегающие россыпи с заметным содержанием магнитной фракции, тектонические нарушения высших порядков (оперяющие разломы), ма-

---

* Градиент — это вектор, характеризующий скорость изменения физического поля. Составляющие этого вектора — частные производные скалярной функции по направлениям координатных осей, т. е. величины, получающие значение в результате предельного перехода при устремлении интервала изменения аргумента к нулю.

** Карты вертикальных градиентов поля легче «читаются», чем карты горизонтальных градиентов, а графики легко интерпретируются, например, по формуле Эйлера.

ломощные зоны минерализации. Наблюдения вертикального градиента при выявлении перечисленных объектов ведутся по квадратной (или прямоугольной) сети с шагом по профилю, равным 2,5—5 м, и расстоянием между профилями не более 10 м.

В более распространенных случаях, когда ожидаемые аномальные эффекты в поле ΔT достигают по амплитуде 50—500 гамм и протяженность аномальной зоны в полумаксимуме интенсивности находится в пределах 20—100 м, наблюдения вертикального градиента ведутся только в дополнение к съемке самого геомагнитного элемента (модуля) с целью разделения сложных аномалий, а также на расчетном профиле, проведенном через эпицентр аномалии, где используются при совместной интерпретации ΔT и $(\Delta T)_z'$ [ΔZ и $(\Delta Z)_z'$] на основе формулы Эйлера (см. прил. 5), позволяющей найти глубину верхней кромки тела или центра магнитных масс объекта либо вынести предварительное суждение о форме искомого объекта. В любом случае измерения градиентов с шагом реже 20 м нецелесообразны.

Съемки градиентов в средних широтах с той же погрешностью, что и погрешность съемки геомагнитного элемента, вообще имеют вспомогательное значение и, как правило, уместны лишь при решении особо мотивированных конкретно поставленных поисковых задач в четко определенных условиях.

Факторами, препятствующими постановке градиентометрических наблюдений, являются:

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

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

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

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

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

Иногда целесообразны измерения приближенных значений градиентов (конечных разностей), выполняемые путем последовательного (неодновременного) измерения значений геомагнитного элемента в двух точках. Такие наблюдения возможны с портативными квантовыми (М-33) и протонными (М-32, G-816) модульными магнитометрами. Искомая разность получается посредством косвенных измерений. При определении приближенного значения вертикального градиента измерения модуля выполняются на каждой точке последовательно на двух уровнях, причем отсчеты на верхнем и нижнем уровнях должны производиться с разницей во времени не более 15 с.

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

Определение градиентов по результатам последовательных разновысотных наблюдений модуля неприменимо в высоких широтах. В средних широтах оно правомочно лишь в спокойные дни, K-индекс которых не более 3 (см. прил. 6). Поэтому при определении градиентов косвенными неодновременными измерениями необходимым дополнением к рабочему журналу является официальный документ, характеризующий магнитную активность (K-индекс) в часы наблюдений. Такой документ может быть выдан ближайшей к месту работ магнитной обсерваторией. Если одновременно с косвенными измерениями градиента вариационный отряд магниторазведочной партии ведет регистрацию вариаций, оценка магнитной активности производится начальником вариационного отряда и оформляется протоколом произвольной формы. Справка обсерватории или протокол вариационного отряда являются необходимыми приложениями, без которых материалы косвенных (неодновременных) определений градиентов считаются недействительными.

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

2.3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ НАЗЕМНОЙ МАГНИТНОЙ СЪЕМКИ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Картировочно-поисковые съемки

§ 63. Проводятся для решения задач крупномасштабного геологического картирования и выявления рудоконтролирующих факторов; для прослеживания контактовых зон, тектонических линий, разломов неглубинного заложения, оконтуривания зон развития крупных магматических комплексов или зон интенсивного метаморфизма, магнитных даек, эффузивно-осадочных толщ, а в некоторых случаях — элементов тектоники осадочных формаций и локальных геологических структур; реже используются для прямых поисков магнитных объектов. Выполняются в масштабах 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000.

Картировочно-поисковые съемки производятся по инструментально и полуинструментально разбитой сети наблюдений, а также в виде маршрутов с опознаванием пунктов наблюдений на топографической карте. Направление маршрутов и рядовых профилей площадной съемки устанавливается вкрест преимущественного простирания пород. Расстояния между маршрутами и точками наблюдений на маршрутах (профилях) определяются масштабом съемок (табл. 6). Как правило, картировочно-поисковые съемки требуют средней или высокой точности наблюдений (табл. 7).

Детализация выявленных аномалий в интервалах с высокими горизонтальными градиентами значений измеряемой величины обычно выполняется двукратным сокращением шага наблюдений. При изометрическом характере детализируемых аномалий допускается проведение нескольких промежуточных профилей. Если на участке запроектирована поисково-разведочная съемка, детализационные наблюдения при картировочно-поисковой съемке

сводятся к минимуму (выполняются лишь на узких, вызывающих сомнение в их достоверности аномалиях).

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

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

По результатам картировочно-поисковых наземных съемок составляются карты приращений элементов магнитного поля [Z_a, $(\Delta T)_a$ или H_a] в графиках и изолиниях в соответствии с требованиями инструкции [28]. Эти карты впоследствии приводятся к абсолютному магнитному уровню с указанием эпохи приведения.

Поисково-разведочные съемки

§ 64. Проводятся для детального изучения рудоконтролирующих факторов и непосредственного выявления на местности рудных тел, определения их положения и формы, а впоследствии — для уточнения размеров и обнаружения более мелких особенностей основного и сопутствующих рудных тел. Результаты этих съемок служат основой для проектирования горных и буровых работ на месторождении и обязательно учитываются при подсчете запасов.

Поисково-разведочные съемки проводятся на основе ранее выполненных геофизических или геологических съемок, установивших перспективность участка или прямые признаки оруденения. Масштаб поисково-разведочных съемок крупный (1 : 10 000, 1 : 5000, 1 : 2000), точность съемки средняя и высокая (табл. 7). Все измерения на местности проводятся по инструментально разбитой сети наблюдений, привязанной к геодезическим знакам.

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

Поисково-разведочная съемка проводится в пределах одного небольшого планшета (до 10 км^2).

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

С целью уточнения морфологии аномалий, а также на аномалиях, вызывающих сомнения в их достоверности, или предположительно искусственного происхождения, проводятся детализационные наблюдения с двукратным уменьшением шага съемки и заданием промежуточных профилей. Объем детализационных работ на стадии поисково-разведочных съемок

должен быть выше, чем при картировочно-поисковых съемках (до 20 %). Сеть наблюдений на участке детализации, как правило, равномерна. Основной отчетный документ, как и в случае картировочно-поисковых съемок,— карта приращений измеренного элемента магнитного поля. Приведение к абсолютному уровню не обязательно, но может в зависимости от решаемой геологической задачи предусматриваться проектом.

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

Разведочные (детализационные) съемки

§ 65. Проводятся в основном для уточнения структуры рудных полей, изучения флангов месторождений, а также для уточнения деталей, ответвлений и параметров обнаруженных рудных тел путем количественной интерпретации аномалий, выявленных с высокой точностью с определением глубины до верхней, а в некоторых случаях и нижней кромки тел, угла падения (тел или контактов), намагниченности объектов, предварительной оценки запасов и т. д. Масштабы разведочных съемок — 1 : 2000, 1 : 1000; по точности съемки высокоточные и прецизионные (кроме работ на сильномагнитных рудах). Выполняются на основе инструментально проложенной сети. В некоторых случаях требуют проведения работ по учету рельефа Сеть — прямоугольная, равномерная, при необходимости квадратная. Детализация аномалий определяется комплексом решаемых разведочной съемкой задач; допускается в отдельных случаях не только двукратное, но и четырехкратное сгущение шага съемки. Основной отчетный документ — карта приращений поля без привязки ее к абсолютному уровню. Интерпретационные профили могут выполняться, однако вся съемка ведется так, чтобы качество материала в пределах всего планшета обеспечивало точную интерпретацию данных и выявление слабых аномалий (при необходимости с использованием методик числовой фильтрации).

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

Магниторазведка при решении частных задач геологического картирования и проверке аэромагнитных аномалий

§ 66. В дополнение к крупномасштабным высокоточным съемкам (1 : 5000, 1 : 2000) или вместо них могут проводиться прецизионные съемки, отличающиеся привлечением всех имеющихся средств, обеспечивающих предельное снижение погрешности съемки (1 гамма и ниже), максимальную конкретизацию формы аномалий и наивысшую точность плановой привязки съемочных маршрутов и аномальных участков на местности.

Прецизионные съемки выполняются в масштабе 1 : 1000 и крупнее (предельная густота сети наземных, в том числе и микромагнитных, съемок 2×2 м). Наблюдения ведутся с квантовыми (реже протонными) магнито-

* Намечаемой начальником отряда или техническим руководителем партии.

метрами с обязательным введением всех поправок и тщательнейшей увязкой наблюдений по опорным значениям. В зависимости от поставленной задачи основным отчетным документом является карта магнитного поля или карта графиков, графики с геологическими разрезами.

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

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

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

В случаях, когда наземные проверочные наблюдения предназначаются и для интерпретационных расчетов (оценки глубин, элементов залегания, намагниченности), маршруты отрабатываются в соответствии с требованиями к измерениям на расчетных профилях (см. § 48). При необходимости совместной интерпретации значений поля на двух уровнях (на поверхности земли и аэромагнитной съемки) и оценки скорости затухания аномалий для суждения о природе аномального объекта наземный маршрут (маршруты) намечают параллельно ближайшему из маршрутов аэросъемки.

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

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

3. АЭРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА

3.1. АППАРАТУРА

§ 67. Для производства аэромагнитных работ необходимы следующая аппаратура и оборудование: 1) аэромагнитометры; 2) барометрические и радиовысотомеры; 3) радиогеодезические системы и аэрофотоаппараты; 4) аэронавигационные приборы; 5) магнитовариационные станции (МВС); 6) наземный агрегат электрического питания самолетной аппаратуры и бензоэлектрические агрегаты АБ-1/230 для питания квантовых МВС; 7) оборудование фотолаборатории; 8) электро- и радиоизмерительная аппаратура и лабораторное оборудование для настройки, проверки, ремонта основных приборов; 9) радиоприемники для приема сигналов времени.

Технические характеристики отечественных аэромагнитометров приведены в прил. 3.5 и 3.7*. Характеристики МВС, аэрофотоаппаратов и радиогеодезических систем, применяемых в аэромагниторазведке, даны в прил. 3.1, 3.9 и 3.10.

При выборе аэромагнитометра необходимо, в частности, учитывать нижеследующее.

1. Феррозондовые приборы в состоянии обеспечить выполнение только съемок средней точности (§ 70). Масштаб записи их регистраторов относительно мелок (2 нТл/мм и мельче), они имеют существенный дрейф [$\pm(5\div10)$ нТл/ч], регистрируют лишь относительные изменения поля (ΔT). Результаты измерений ΔT, выполненные с использованием аэромагнитометров АМ-13 и АММ-13 в полях с большими градиентами, могут быть заметно искажены за счет инерционности прибора. Преимуществом большинства отечественных феррозондовых приборов является то, что в их конструкции предусмотрено крепление гондолы с преобразователем на киле самолета. Это важно, когда съемка выполняется в сложных условиях (зимой, в горах, на малых высотах и др.).

2. Протонные аэромагнитометры отличаются высокой стабильностью и пригодны для измерения полного значения T. Могут применяться для съемок высокой и средней точности. Отсчеты T (ΔT) выдаются дискретно, у большинства аэромагнитометров не чаще чем через 1 с. Дрейф практически отсутствует.

3. Квантовые аэромагнитометры являются наиболее точными приборами для измерений ΔT. При измерении полного значения T они несколько уступают протонным за счет так называемых сдвигов, совокупность которых приводит к погрешности до $\pm(5\div10)$ нТл. Их отличает также высокое быстродействие. Высокая точность достигается при работе с выпускной гондолой, однако наличие гондолы ограничивает область применения квантовых аэромагнитометров (недопустимы работы на высотах ниже 100 м и при детальном огибании

---

* Поскольку ядерные приставки к АМ-13 сейчас почти не применяются, сведения о них в приложениях не приведены; в случае необходимости их использования следует обратиться к инструкции [74] и специальной литературе.

рельефа). Цезиевые квантовые преобразователи не могут применяться при температурах выше +30 °С. Дрейф квантовых приборов немонотонный, имеет вид плавных колебаний с амплитудой до 0,3 нТл.

В комплекты аэромагнитометров не входит измерительная лабораторная аппаратура стандартных типов, необходимая для их проверки, настройки и ремонта. Перечень такой аппаратуры приведен в прил. 3.8.

Запись истинных высот выполняется на регистраторах аэромагнитометров, к которым должен быть подсоединен радиовысотомер (§ 117). Помимо табельного барометрического высотомера на борту съемочного самолета полезно иметь точный барограф.

Для наземной проверки, прогрева и настройки аэромагнитометров должно быть обеспечено аэродромное питание 27 В постоянного тока.

§ 68. До установки аэромагнитометров на самолет (вертолет) они должны быть проверены в лабораторных условиях вдали от источников магнитных помех.

Самолет (вертолет) должен быть предварительно подготовлен под установку аппаратуры по специальным чертежам и техническим условиям, согласованным с главным конструктором самолета (вертолета) и с Министерством гражданской авиации; подготовку летательного аппарата проводят специалисты авиаотрядов.

При оборудовании места первого бортоператора (геофизика) предусматривается установка щитка со следующей аппаратурой и приспособлениями: 1) двухстрелочным барометрическим высотомером; 2) прибором-указателем истинных высот радиовысотомера (ПРВ); 3) авиационными часами; 4) гнездами или розеткой для подсоединения паяльника; 5) гнездами или розеткой для подсоединения переносной лампы; 6) переключателем питания прибора от бортсети к наружному агрегату; 7) индикатором дистанционного компаса для определения курса.

Барометрический высотомер подсоединяется к статической камере наружного приемника давлений с помощью трубки стандартного диаметра.

Рядом с рабочим местом первого бортоператора должна быть лампа освещения на гибкой или коленчатой штанге. У рабочего места второго бортоператора (аэрофотосъемщика) смотровое окно должно быть оборудовано блистером, а если производится не только фотопривязка, но и обычная площадная фотосъемка на больших высотах, то на самолете должен быть установлен радиовысотомер больших высот и статоскоп. Все приборы, установленные на самолете, должны быть синхронизированы между собой. Самолетное переговорное устройство должно соединять пилота и (или) штурмана с обоими бортоператорами.

Установка съемочной аппаратуры и результаты опробования системы автоматического тросоруба оформляются двусторонним актом представителей геологической организации и авиаотряда.

§ 69. Перед началом полевых работ установленная на самолет аппаратура тщательно проверяется на аэродроме в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей. При этом аппаратура питается от аэродромной сети 27 В.

Подлежат проверке наличие сигнала, отписка контрольных меток и все элементы записи на регистраторе. Проверки осуществляются во всех предусмотренных режимах (при различных продолжительности цикла измерения, чувствительности или отсчетной единице, записи грубой и точной шкал и т. д.). При этом обязательно проверяются возможные пределы регулировки питающих напряжений, не приводящие к сбоям контрольных режимов, и общая стабильность работы аэромагнитометров. Проверяется функционирование всех вспомогательных систем аппаратуры: маркера или временной отметки, системы

отметок ориентиров или момента фотосъемки, нумератора ориентиров, схемы записи высоты полета и т. д.

Для проверки аппаратуры, работающей в выпускном варианте, необходимо отнести гондолу от самолета на длину кабеля и установить ее горизонтально на высоте 30—40 см над землей на неметаллической подставке без железных гвоздей; при этом кабель питания и кабель, соединяющий гондолу с самолетом, должны быть по возможности удалены друг от друга; наименьшая помеха достигается при взаимно перпендикулярном расположении этих кабелей.

В случае высокого уровня помех нужно попытаться установить их источник; для этого необходим хотя бы кратковременный переход на питание от аккумуляторов самолета путем отключения от борта самолета кабеля источника наземного питания. Если при этом уровень помех резко снижается, то следует проверить надежность заземления корпуса самолета и экспериментально подобрать место заземления. Если и это не поможет, необходим переход на двухпроводную систему питания.

Когда вся аппаратура начнет работать безотказно, производят контрольную запись магнитного поля в течение 2—3 ч. Для квантовых приборов необходима более тщательная наземная проверка: выполняют одновременную регистрацию вариаций всеми наличными квантовыми приборами в одном месте в течение 4—8 ч; при этом проверяется устойчивость их работы и сходимость показаний по всем каналам на всех регистраторах (расхождение записей ΔT двух приборов не должно превышать 0,4 нТл). Такие совместные «прогоны» важны, так как градуировочных колец к квантовой аппаратуре не придается.

Затем осуществляется проверка работы аэромагнитометра от двигателя (бортовой сети) самолета.

На завершающей стадии проверки аппаратуры необходимо осуществить пробный полет, во время которого выполняется следующее.

Изучается постоянство показаний аэромагнитометров. Для этого обычно используют ежегодно один и тот же «эталонный» маршрут, магнитное поле которого хорошо изучено. Желательно, чтобы не менее 10 км этого маршрута было в поле с градиентами менее 50 гамм/км. Результаты многократных повторных залетов на эталонный маршрут сравниваются. Если запись не содержит дефектов (флюктуации, сбои и т. п.) и сопоставление среднего квадратического расхождения повторных графиков ΔT с возможной погрешностью за счет плановой привязки приемлемо для данного типа прибора, считают, что аэромагнитометр готов к эксплуатации.

Изучается неизменность показаний прибора при включении и выключении электросистем самолета (радиокомпас, радиовысотомер, электроподогревные устройства) и средств радиосвязи, а также влияние режимов работы мотора самолета и флюктуаций напряжения в бортовой сети.

Проверяется и регистрируется девиация. Определение девиации обязательно для всех типов аэромагнитометров. Девиационные поправки измеряются в дальнейшем снова (2—3 раза за сезон) и дополнительно во всех случаях, когда они могут измениться: при смене деталей, расположенных в гондоле, при замене или перепайке трос-кабеля, при монтаже на самолете какого-либо нового оборудования. В связи с возможным изменением девиации на съемочном самолете в процессе съемки запрещается попутная перевозка магнитных грузов (бочек и т. п.).

Для изучения девиации необходимо: а) наличие четкого издали заметного ориентира посредине выбранного участка; б) спокойное магнитное поле, особенно в районе центрального ориентира; градиент поля на расстоянии возможных смещений самолета не должен превышать цены 1 мм записи в режиме наиболее точных измерений (в крайнем случае допускается увеличение высоты полета при изучении девиации до 1—2 км); в) на-

личие четких ориентиров вокруг центрального для обеспечения точных полетов по восьми курсам. Необходимо 8 раз пересечь центральный ориентир по маршрутам через 45°, причем каждый из них проходят дважды — вперед и в обратном направлении, а затем повторяют начальный маршрут (для линейного разброса возможной нестабильности измерений). Учет вариаций в это время обязателен; желательно выполнение измерений в часы, когда вариации минимальны. Длина маршрутов 5—10 км. Доворотьі в радиусе 1000 м от центрального ориентира запрещаются. Списывать девиацию при полете по кругу или квадрату не разрешается *.

При наличии компенсатора помех девиация компенсируется по методике, описанной в прил. 12.

Для приборов с выпускной гондолой исследуется влияние раскачки гондолы. Раскачку гондолы можно обеспечить за счет незначительных кренов самолета; при этом не должен меняться характер записи поля. Появление на записи колебаний типа синусоиды свидетельствует о неполадках в приборе, например в ориентирующем устройстве. Установление и устранение причин этих неполадок выполняется в наземных условиях.

Проверяется запись радиовысотомера и совместная работа аэромагнитометра с аэрофотоаппаратом (или с системой радиогеодезической привязки).

3.2. ВИДЫ АЭРОМАГНИТНЫХ СЪЕМОК И СЪЕМОЧНЫХ МАРШРУТОВ

§ 70. Аэромагнитные съемки подразделяются по задачам на *съемки геологического назначения* и *специальные*.

Специальные съемки — работы по созданию всесоюзной и региональных опорных сетей для внешней увязки (увязки карт), по изучению нормального магнитного поля, векового хода и т. п. Методика этого вида аэромагнитных работ (за исключением некоторых сведений о правилах выполнения опорных сетей внешней увязки) в данной инструкции не рассматривается.

Аэромагнитные съемки геологического назначения в свою очередь подразделяются на *маршрутные* и *площадные*.

Маршрутные съемки используются обычно для рекогносцировки района работ, выбора ЗЛП для опорных маршрутов и фотокаркасов, выбора стоянок МВС и радиогеодезических станций, проверки приборов.

Площадные съемки — основной вид аэромагнитных работ. Они выполняются по системе параллельных прямолинейных маршрутов, расположенных на равном расстоянии друг от друга **. Только в горных районах допускаются более сложные системы залета площадей, в том числе по криволинейным маршрутам (§ 125).

Площадные аэромагнитные съемки принято подразделять на несколько видов.

1. По геологическому назначению — на геокартировочные и поисково-картировочные.

Геокартировочными называют мелко- и среднемасштабные съемки (§ 73), предназначенные для геологического районирования и в помощь мелкомасштабному геологическому картированию. С их помо-

---

* График девиации строится в прямоугольных координатах. По оси абсцисс наносят магнитные курсы с учетом угла сноса, по оси ординат — значения ΔT, полученные в точке пересечения маршрутов.

** Практически выполнение этих требований определяется способом вождения самолета по ЗЛП. Предельно допустимое отклонение от заданного межмаршрутного расстояния d равно $0{,}5d$. Если отклонение больше, в межмаршрутном интервале нужно проложить дополнительный маршрут.

щью выявляются, прослеживаются и исследуются крупные и средние по размерам геологические объекты, проявляющиеся в магнитном поле. Полученные материалы используются для составления сводных мелкомасштабных карт. Они же способствуют локализации поисковых работ, выявляя региональные рудоконтролирующие факторы, а также структуры и комплексы пород, определяющие поиски нерудных полезных ископаемых.

Поисково-картировочные съемки выполняются в крупных масштабах (1 : 50 000 и крупнее), помогают крупно- и среднемасштабному геологическому картированию, выявляют факторы, контролирующие распределение полезных ископаемых, а в тех случаях, когда полезные ископаемые непосредственно создают магнитные аномалии (например, в связи с парагенетической ассоциацией с ферромагнитными минералами), используются для прямых поисков

2. По масштабам — на крупно-, средне- и мелкомасштабные (§ 73).

3. По средней квадратической погрешности съемок m_1 (§ 135) — на съемки пониженной ($m_1>15$ гамм), средней ($m_1=5\div15$ гамм) и высокой ($m_1<5$ гамм) точности *.

4. По системе залета площадей — на съемки с полетами на постоянной барометрической высоте, с детальным сгибанием рельефа и с огибанием генеральных форм рельефа, а также с залетом площадей по особым правилам, разработанным для горных районов (§ 125).

5. По высоте полетов H — на съемки, выполняемые на малых ($H<100$ м), средних ($H=100\div300$ м) и больших ($H>300$ м) высотах.

Различают также общую (или основную) площадную съемку, покрывающую весь район работ, и детализационную, относительно более крупномасштабную, которую используют в процессе основной съемки с целью получения дополнительной геологической информации на небольших участках планшета.

Способы выполнения площадных съемок существенно меняются в зависимости от условий работ (акватории, суша, низкие, средние и высокие широты, равнинные и горные районы и т. д.), применяемой аппаратуры (феррозондовые, протонные, квантовые аэромагнитометры), а также от того, как применяется аэромагниторазведка — самостоятельно или в комплексе с другими аэрогеофизическими методами (использование комплексных аэрогеофизических станций).

§ 71. Маршруты аэромагнитной съемки ** подразделяются на основные или рядовые маршруты площадной съемки (РМ) и вспомогательные. Последние включают в себя маршруты:

— расчетные (РЧМ), предназначенные специально для количественной интерпретации аномалий;

— повысотные или погоризонтные, служащие для изучения изменений магнитного поля в вертикальной плоскости для интерпретации аномалий и подбора оптимальных высот полетов;

— опорные (ОМ), примерно ортогональные к РМ, с которыми выполняется внутренняя увязка рядовых маршрутов (§ 83—86); ОМ — важнейший элемент опорных сетей (ОС);

— связующие (СВМ) — вспомогательные маршруты опорных сетей, которые необходимы, если ОС осуществляются в виде системы замкнутых полигонов (§ 86); непосредственно с ними РМ не увязываются;

— повторные (ПМ) — маршруты, на которых съемка выполняется несколько раз; сокращением ПМ условно принято обозначать короткие повторные маршруты, расположенные на участке съемки или вблизи его гра-

* При работе с материалами прежних лет нужно учитывать, что до издания данной инструкции подразделение съемок по точности было иным (при средней точности $m_1=10\div30$ гамм, при высокой точности $m_1<10$ гамм).

** Правила их выполнения см. в § 85, 87 и 120.

ниц, служащие для внутренней увязки результатов аэромагнитных измерений в тех случаях, когда создание опорных сетей нерационально (§ 84);

— контрольные (КМ) — вид повторных маршрутов; располагаются на подлете к участку и используются в основном для проверки работы аппаратуры в начале и конце каждого съемочного полета, а также иногда для *грубой предварительной* увязки результатов аэромагнитных измерений магнитного поля;

— секущие * (СМ) — маршруты, пересекающие рядовые примерно под углом 45°; используются только для определения средней квадратической погрешности съемки (§ 135).

3.3. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА РАБОТ

3.3.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАБОТ

§ 72. В задачу площадной аэромагнитной съемки помимо конкретных геологических задач, предусмотренных проектом работ, должно входить получение точных карт магнитного поля, которые являются важнейшим средством для извлечения геологической информации и нужны для составления сводных магнитных карт. Информация о магнитном поле должна быть *однородной*, т. е. такой, чтобы результаты съемок в разных частях участка можно было сопоставлять (сравнивать) для анализа изменений поля в пространстве. В связи с этим методика съемок в пределах участка работ партии (отряда) должна быть одинаковой **.

Общая технологическая схема выполнения аэромагнитной съемки приведена в табл. 12.

3.3.2. МАСШТАБЫ ПЛОЩАДНЫХ СЪЕМОК, ВЫСОТЫ ПОЛЕТОВ, СИСТЕМЫ ЗАЛЕТА ПЛОЩАДЕЙ, НАПРАВЛЕНИЕ И ДЛИНА МАРШРУТОВ

§ 73. Для площадных съемок, выполняемых с помощью прямолинейных параллельных маршрутов, масштаб M принято определять по формуле ***

$$M = 1/(100d),$$

где d — дистанция между маршрутами, измеренная в метрах.

Так, при межмаршрутном расстоянии 10 000 м съемка имеет масштаб 1 : 1 000 000.

Для съемок со сложной, в том числе криволинейной, сетью маршрутов

$$M = \frac{L}{100\,000S} = \frac{l}{100\,000},$$

где L — общее количество километров рядовых маршрутов на участке съемки площадью S км^2; l — плотность съемки, т. е. среднее количество километров рядовых маршрутов, приходящихся на 1 км^2 площади съемки.

Общая длина L определяется по карте как сумма проекций истинных траекторий полетов самолета по рядовым съемочным маршрутам на гори-

---

* На участке прямоугольной формы выполняются по диагоналям участков и в связи с этим обычно именуются диагональными секущими маршрутами.

** Это правило желательно выполнять и в пределах границ однотипных по внутреннему строению геологических провинций, что важно для обеспечения высокой эффективности интерпретации сводных карт магнитного поля.

*** Понятие о масштабах аэромагнитной съемки условно.

ТАБЛИЦА 12 **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАБОТ АЭРОМАГНИТНОЙ ПАРТИИ (СОСТАВ РАБОТ И ИХ ОБЫЧНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ)**

Этапы работ аэромагнитной партии	Основные элементы (состав) работ	Параграфы данной инструкции или документы, которыми следует руководствоваться исполнителям
I. Организационный период на основной базе партии	1. Проектирование работ	§ 4—10
	2. Проверка, ремонт, настройка, метрологическая поверка и (или) взаимная сверка синхронных записей приборов (аэромагнитометров и МВС)	§ 68 и 69 и указания в документах, прилагаемых к приборам заводом-изготовителем
	3. Установка съемочной аппаратуры на самолет (вертолет)	§ 68; по чертежам и техническим условиям, согласованным с МГА СССР
	4. Пробный полет для проверки работы всех приборов в реальных условиях эксплуатации	§ 69 и 110
II. Организационный период на месте работ	1. Контрольная проверка и сверка приборов после транспортировки	§ 69
	2. Подготовка к съемке (расстановка МВС, обеспечение радиосвязи между отрядами и др.)	§ 12, 24—26 и др.
III. Полевой период	1. Рекогносцировочный полет для изучения района работ и уточнения методики съемки	§ 69 и 110
	2. Изучение и компенсация девиации (компенсация — при жестком креплении гондолы аэромагнитометра)	§ 69, прил. 12
	3. Повысотные съемки над типичными геологическими объектами для уточнения высот съемочных полетов	§ 71 и 120
	4. Маршрутная аэрофотосъемка для получения фотокаркасов или подготовка к радиогеодезической привязке	§ 96 и 109
	5. Основные маршрутные или площадные аэромагнитные съемки для получения геологической информации:	
	— маршрутные съемки	§ 119
	— площадные основного масштаба	§ 72—82 и 122—126
	— площадные детализационные	§ 120
	— расчетные маршруты	§ 120
	— расчетные повысотные маршруты (задаются на аномалиях, выявленных площадной съемкой)	§ 120

Этапы работ аэромагнитной партии	Основные элементы (состав) работ
III. Полевой период	6. Вспомогательные съемки: — для внутренней увязки (опорные или повторные маршруты) — для внешней увязки (съемка на увязочных маршрутах или перекрытиях участков, увязка с существующими внешними опорными сетями или создание новых внешних опорных сетей) — для определения погрешности съемки (диагональные секущие маршруты) 7. Работы, выполняемые в процессе съемки: — работа летно-подъемной группы (вождение самолета по заданным маршрутам, предполетная подготовка, работа во время и после полета) — плановая привязка (с помощью аэрофотосъемки или радиогеодезических систем) — высотная привязка — учет вариаций (по одиночным МВС, группам МВС, по опорным сетям или на основе комбинации средств учета) — служба времени 8. Операции для приведения результатов съемки к среднегодовому уровню 9. Камеральные работы в поле
IV. Камеральный период	1. Обработка данных плановой и высотной привязки 2. Обработка измерений девиации 3. Обработка данных вариационного обеспечения съемок 4. Увязка средств увязки (опорных сетей или повторных маршрутов) 5. Обработка данных, полученных на рядовых маршрутах — перевод записей поля в масштаб расстояний, прямое введение поправок, внутренняя увязка, приведение к избранному отсчетному (нулевому) уровню [получение ΔT или $(\Delta T)_a$]

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Этапы работ аэромагнитной партии	Основные элементы (состав) работ	Параграфы данной инструкции или документы, которыми следует руководствоваться исполнителям
IV. Камеральный период	6. Построение карт и графиков магнитного поля	§ 31—37 и 134
	7. Определение погрешности съемки и погрешности карт	§ 135—137
	8. Внешняя увязка для построения сводных карт	§ 89—91
	9. Интерпретация результатов съемки	Прил. 4 и 5

зонтальную плоскость; вспомогательные и детализационные работы при подсчете не учитываются.

Для съемки параллельными маршрутами масштабы, вычисленные по обеим формулам, совпадают.

В нормальный ряд масштабов аэромагнитных съемок входят масштабы: 1 : 2 500 000, 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Первые три масштаба в последнее время применяются только для съемок над акваториями; в отдельных случаях над акваториями разрешен также масштаб 1 : 2 000 000. Работы в промежуточных масштабах не разрешаются. Масштабы мельче 1 : 200 000 считаются мелкими, масштабы 1 : 200 000 и 1 : 100 000 именуют средними, причем масштаб 1 : 100 000 применяется редко. Остальные масштабы принято считать крупными. Съемки с межмаршрутными интервалами 100 м (масштаб 1 : 10 000) рекомендуется выполнять только при наличии радиогеодезических средств плановой привязки.

В неизученных районах нужно последовательно укрупнять масштабы в соответствии с нормальным рядом, но не подряд, а пропуская один очередной масштаб. Так, например, после масштаба 1 : 200 000 рекомендуется переход к масштабу 1 : 50 000. Повторение съемок в одном и том же масштабе разрешается только в том случае, если новая съемка выполняется с новой аппаратурой и методикой и точность повторной съемки в несколько раз выше предшествующей. Так, не требует специальных разрешений перезалет с современной протонной и квантовой аппаратурой площадей, ранее изученных с применением станций АСГМ-25.

§ 74. Съемки разрешается вести на постоянной барометрической или на постоянной истинной высоте. Соответственно принято различать три основные системы залета съемочных площадей: с полетами на постоянной барометрической высоте, с детальным * огибанием рельефа и с огибанием «генерального рельефа» (когда самолет следует лишь за основными формами земной поверхности). В горных районах допускается применение специальных, более сложных систем залета площадей (§ 125). В проектах, отчетах, в полетных заданиях и на отчетной графике всегда следует указывать систему залета и среднюю истинную высоту полетов **.

При выборе рациональной системы залета участка, т. е. способа покрытия его площадей, нужно учитывать следующее.

---

* Детальное огибание рельефа иногда неправильно именуется «полным» огибанием рельефа.

** Сведения о средней истинной высоте полетов характеризуют расстояния до поверхности земли и нужны при интерпретации результатов съемок.

1. Детальное огибание рельефа на малых высотах дает наибольшую гарантию избежать пропуска небольших магнитных объектов, приуроченных ко впадинам рельефа. В большинстве геолого-геофизических ситуаций это единственное преимущество такой системы залета. Во всех других отношениях детальное огибание рельефа нежелательно: ведет к снижению качества съемки, осложняет работу экипажа самолета, затрудняет количественную интерпретацию аномалий и снижает ее точность*. Если аэромагнитометр имеет выпускную гондолу, полеты с детальным огибанием рельефа недопустимы.

2. Главной особенностью съемок с огибанием генерального рельефа является то, что полеты выполняются пилотом и штурманом на глаз, поскольку не выдерживаются ни барометрическая, ни истинная высота; в силу этого полеты неповторимы, а истинную траекторию полета самолета восстановить не менее сложно, чем при детальном огибании рельефа. Эти особенности отрицательно сказываются на точности съемки и интерпретации результатов.

3. Полеты на постоянной барометрической высоте не строго горизонтальны, однако результаты могут быть улучшены за счет специальных приемов, указанных в § 118.

4. Над акваториями полеты выполняются только на постоянной истинной высоте.

§ 75. В подавляющем большинстве ситуаций оптимальные высоты аэромагнитных съемок лежат в пределах 100—300 м; в этом интервале (средние высоты) отрицательные особенности полетов на малых (до 100 м) и больших (свыше 300 м) высотах проявляются слабо.

При выборе высот необходимо учитывать следующее.

1. Для малых высот характерны увеличение помех, искажения записи за счет инерционности приборов, осложнение вождения самолета по ЗЛП, снижение точности привязки маршрутов и аномалий, осложнение записи в связи с частым переключением диапазонов аналоговых регистраторов; полеты на малых высотах предопределяют необходимость огибания рельефа со всеми вытекающими отсюда следствиями. Отрицательные явления, связанные с малыми высотами, проявляются особенно резко в открытых районах со сложным строением приповерхностных образований и в областях развития эффузивов, в том числе траппов. Над глубокими геологическими депрессиями на суше полеты на малых высотах имеют смысл, если исследуются приповерхностные толщи; если же изучается глубоко погруженное кристаллическое основание, они нецелесообразны. Полеты на малых высотах над акваториями запрещаются. Министерство гражданской авиации СССР разрешает над сушей полеты на высотах не ниже указанных в табл. 13.

Главные достоинства съемки на малых высотах — возможность разделения аномалий, связанных с близко расположенными геологическими объектами, и возможность фиксации малых слабомагнитных приповерхностных тел. Если эти особенности могут помочь решению поставленных перед съемкой задач, предпочтение должно быть отдано малым высотам.

2. Выше 1000 м съемочные полеты осуществляются в крайне редких случаях. В интервале высот съемки 300—1000 м магнитные поля, связанные с очень крупными объектами, меняются мало; влияние мелких приповерхностных тел исчезает или сильно уменьшается, а аномалии от средних по размерам тел уменьшаются по амплитуде и, расширяясь, часто сливаются друг с другом. В целом геологическая ин-

* Поскольку полеты криволинейны, а пересчет измеренных данных на горизонтальный уровень не дает надежных результатов, так как истинная траектория полета самолета при огибании рельефа известна с большей погрешностью.

ТАБЛИЦА 13. **МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТОВ ПРИ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ**

Местность	Минимально допустимая (безопасная) высота, м	Диапазон задаваемых высот полета, м
Равнинная, холмистая, лесистая, горные равнины (плато) с колебанием высот рельефа до 200 м (без учета отдельных вершин)	25	25—50
Холмистая, горные равнины с колебанием высот рельефа до 500 м	50	50—75
Пересеченная горная с колебанием высот рельефа свыше 500 м	75	75—100
С абсолютной высотой более 2500 м	100	100—130

Примечание. При работе с выпускной гондолой максимально допустимые высоты полетов должны быть увеличены на длину трос-кабеля, причем наличие автоматического тросоруба обязательно [63].

формация обедняется. В этом интервале высот инерционность приборов не имеет значения, резко улучшаются привязка, увязка, самолетовождение, межпрофильная корреляция, уменьшается «болтанка»; вне горных районов отпадает необходимость в полетах с огибанием рельефа, на аналоговых регистраторах уменьшается число переключений диапазонов.

При прочих равных условиях погрешность съемок на малых высотах и с огибанием рельефа выше, чем при выполнении работ на средних и больших высотах и без огибания рельефа.

§ 76. При проектировании съемок высоты и масштабы обычно выбирают на основе опыта предшествующих работ на том же или соседних, или аналогичных участках, а также с учетом директивных указаний и ограничений, связанных с техникой безопасности и с долгосрочными планами аэромагнитных съемок. Для грубой ориентировки можно использовать табл. 14, которая относится к съемкам на суше в наиболее часто встречающихся ситуациях.

Запроектированные высоты полетов полезно уточнять в начале полевых работ на основе анализа рекогносцировочных и повысотных съемок.

В случаях, когда есть основания считать, что выбранный масштаб может оказаться слишком мелким, или когда вызывает сомнение выбранная высота полетов (например, в неизученных районах и районах сложного строения), следует предусматривать повышенный объем детализационных съемок. Они позволяют после завершения общей съемки изучить наиболее важные объекты с нужной детальностью и на оптимальной высоте, установленной по результатам работ основного масштаба.

В некоторых геолого-геофизических ситуациях, связанных с необходимостью разделения полей от разных объектов, например при поисках трубок взрыва в районах, где сходные аномалии создаются другими возмущающими объектами, разрешаются площадные многовысотные съемки, а также двухгоризонтная съемка, которая осуществляется одновременно с одного носителя (§ 121).

Участки или маршруты, на которых зафиксировано недопустимое отклонение от заданной высоты, перекрывают заново.

ТАБЛИЦА 14. ХАРАКТЕРНЫЕ ЗАДАЧИ И ОСОБЕННОСТИ ПЛОЩАДНЫХ АЭРОМАГ-

Районы работ	Средняя квадратическая погрешность съемки, гаммы	Решаемые задачи
I. Депрессии с глубокопогруженным кристаллическим основанием и мощной толщей осадочных пород	0,5—5	Картирование осадочных пород, структур и выявление полезных ископаемых осадочного комплекса, изучение рельефа и состава фундамента
То же	5—25	Изучение рельефа и состава фундамента
»	0,5—25	Поиски бокситов
II. Геологически закрытые с осадочным комплексом мощностью 25—300 м	0,5—25	Картирование пород и изучение тектоники фундамента, поиски руд; реже — картирование осадочных пород
III. Геологически открытые со слабомагнитными породами и с небольшими градиентами магнитного поля	0,5—25	Поиски руд и получение дополнительных данных в помощь геологическому картированию, изучение тектоники
IV. Геологически открытые с высокими градиентами магнитного поля	2—25	То же
V. Районы развития траппов и лавовых покровов	2—25	Картирование, поиски руд; реже — изучение подстилающих пород и их структур, поиски трубок взрыва

* В этих районах рациональные средние истинные высоты съемочных полетов могут бот или анализа результатов повысотных съемок с учетом геологической задачи, выбран ориентировки маршрутов по отношению к ним, влияния приповерхностных неоднородно Поскольку расстояния между полумаксимумами аномалий не могут быть меньше высоты маршрутное расстояние.

** Соотношения масштабов геологических и аэромагнитных съемок могут варьиро ние значения для каждого типа районов без более дробной детализации. Как правило, нее масштаба геологической съемки, в помощь которой она предназначена.

§ 77. Рядовые маршруты площадных аэромагнитных съемок должны располагаться вкрест преобладающему (или наиболее важному при решении поставленной задачи) простиранию аномалий. Если магнитное поле отражает сложное геологическое строение участка со структурами и аномалиями разного простирания, то маршруты должны иметь направление, не совпадающее ни с одним из простираний.

Неортогональность маршрутов по отношению к аномалиям и структурам разрешается также в горных районах и в тех случаях, когда это позволяет:

— значительно улучшить плановую привязку маршрутов и аномалий в связи с особенностями расположения ориентиров в районе, где их мало;

— в связи с особенностями рельефа избежать таких систем залета, которые резко повышают стоимость работ или снижают точ-

Обычные масштабы съемок	Характерные средние истинные высоты полетов, м	Обычная система залета площадей	Результаты полезны в помощь геологическим съемкам масштаба **
1 : 200 000; 1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000	100—150	Полеты на постоянной барометрической высоте	1 : 1 000 000— 1 : 25 000
1 : 200 000	100—300	То же	1 : 200 000 и мельче
1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000	50—100	»	1 : 50 000—1 : 25 000
1 : 200 000; 1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000	50—300 *	»	1 : 1 000 000— 1 : 25 000
1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000	50—300 *	В зависимости от рельефа, особенностей магнитного поля и высоты полетов	1 : 200 000—1 : 25 000
1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000	100—500 *	То же	1 : 200 000—1 : 25 000
1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000	100—500 *	»	1 : 200 000—1 : 50 000

меняться в широких пределах и должны выбираться на основе опыта предшествующих раной системы залета и условий съемок (прежде всего с учетом формы аномалий в плане, стей, характера рельефа и влияния рельефа сильномагнитных пород на магнитном поле). полетов, то обычно средние истинные высоты полетов равны $(0{,}1 \div 1{,}0)\,d$, где d — меж-

вать в широких пределах в зависимости от условий, в связи с чем здесь указаны краймасштаб аэромагнитной съемки должен быть на один — два стандартных масштаба круп-

ность измерений или эффективность поисков (от направления полетов часто зависит, например, истинная высота полетов в предгорье или необходимость залета методом скатывания и т. д.).

Ориентировка профилей съемки под острым углом к структурам и аномалиям приводит к необходимости увеличить удельный вес детализационной съемки и полетов по расчетным маршрутам.

§ 78. Оптимальная протяженность съемочных маршрутов 30—100 км.

Маршруты длиной менее 30 км экономически невыгодны в связи с увеличением затрат времени на развороты и снижением качества съемки из-за повышения утомляемости экипажа; при длине, превышающей 100 км, увеличиваются расхождения между ФЛП и ЗЛП, так как в этом случае штурман не в состоянии запомнить ориентиры и их траверзы. Это правило также допускает исключения в связи с расположением ориентиров и рельефом местности.

3.3.3. РАБОТА ЭКИПАЖА СЪЕМОЧНОГО САМОЛЕТА *

§ 79. В состав экипажа съемочного самолета (вертолета) помимо командира воздушного судна (пилота), штурмана-аэросъемщика (а также второго пилота, бортмеханика и бортрадиста, которые обязаны участвовать в полетах на некоторых типах воздушных судов) входят два бортоператора. Первый бортоператор (старший инженер-, инженер- или специально подготовленный старший техник-геофизик) работает с аэромагнитометром и является старшим представителем аэромагнитной партии (отряда) на съемочном самолете. Второй бортоператор (старший инженер, инженер или специально подготовленный старший техник) в зависимости от вида выполняемой плановой привязки должен иметь специальность аэрофотосъемщика или радиогеодезиста.

Помимо перечисленных лиц в контрольных, рекогносцировочных и в отдельных других полетах могут принимать участие начальник партии (отряда) или (с его разрешения) другие специалисты.

Аэросъемочные полеты выполняются экипажами самолетов МГА СССР в соответствии с условиями договора и общего полетного задания, составленного на основании договора по предварительным заявкам на полет ответственного лица аэромагнитной партии **. Взаимоотношения членов экипажа самолета подчиняются следующим правилам:

— первый и второй бортоператоры во время полетов должны руководствоваться инструкциями и наставлениями МГА СССР и безоговорочно выполнять все указания командира воздушного судна, связанные с обеспечением безопасности полета;

— командир корабля и штурман обязаны выполнять указания находящихся на борту бортоператоров, *связанные с методикой работы,* если эти указания не противоречат действующим в МГА СССР инструкциям, наставлениям и руководствам по выполнению полетов.

3.3.3.1. Предполетная подготовка

§ 80. *Накануне* очередного вылета первым бортоператором, пилотом и штурманом-аэросъемщиком составляется план полета, на основании которого начальник партии (отряда) выписывает заявку на полет по стандартной форме. В плане указываются: 1) номера маршрутов, 2) система залета площади, 3) средняя истинная высота полета по маршрутам, 4) интервалы между ориентирами, 5) необходимость и особенности выполнения повторных, опорных и других вспомогательных маршрутов, перекрытий на стыках профилей, детализации, повысотных съемок, 6) особые требования к данному полету, 7) рациональная последовательность залетов, 8) запасные аэродромы.

Предполетная подготовка, выполняемая обоими бортоператорами, *в день вылета* состоит в следующем.

1. Проверяется работоспособность аппаратуры в соответствии с правилами, приведенными в заводских инструкциях по приборам. До установления устойчивого рабочего режима аппаратура в течение 15—30 мин работает от наземного агрегата питания или от аэродромной сети 27 В. После этого при опробовании двигателей самолета аппаратуру проверяют от бортсети летательного аппарата.

2. Проверяется зарядка регистраторов лентами, заправка чернильниц, зарядка и наличие запасных кассет АФА. Выполняются записи на лентах всех регистраторов. Записываются контрольные показания приборов. Барометрические высотомеры следует выводить на нуль (по шкале высот).

3. Принимаются сигналы точного времени и сверяются все часы. Минутные стрелки ставят одинаково, расхождения секундных стрелок фиксируют на ленте аэромагнитометра.

---

* См. также указания в разделах о плановой и высотной привязке.

** Формы полетного задания и заявки см. в прил. 1.2 и 1.3.

4. Непосредственно перед вылетом должно быть проверено отключение кабеля аэродромного питания.

Решение о вылете принимает командир воздушного судна, согласовывая это решение с первым бортоператором.

3.3.3.2. Работа во время съемочного полета

§ 81. А. *Пилот и штурман-аэросъемщик* обеспечивают выполнение съемочных полетов по проектным линиям, добиваясь наилучшего совпадения ФЛП и ЗЛП при одновременном выдерживании заданной высоты полета.

Особое внимание вождению самолета по ЗЛП и на заданной высоте они обязаны уделять при выполнении расчетных, повысотных, опорных, связующих, повторных и секущих маршрутов, а также рядовых маршрутов на отрезках вблизи точек их пересечения с опорными. Довороты, особенно неотмеченные, ухудшают качество съемки; поэтому в процессе полетов все довороты фиксируются штурманом в бортовом журнале; о них сообщается по СПУ первому бортоператору для регистрации доворотов и на аэромагнитограмме*. В случае явного схода с проектного маршрута полет должен быть продолжен по прямой до границ участка, после чего выполняется новый заход на пропущенный проектный маршрут. При заходе на маршрут довороты должны заканчиваться до первого ориентира. После пересечения крайнего опорного маршрута разворот допустим не ранее чем через 2—3 км.

В полете *пилот* периодически включает радиостанцию на прием сигналов точного времени. Во время спусков и подъемов гондолы он выдерживает необходимые для этой операции режимы полета, а после выпуска гондолы включает систему автоматического тросоруба и выключает ее перед уборкой гондолы. В самых крайних критических случаях, при условиях, угрожающих безопасности полета и не позволяющих произвести срочную уборку гондолы с магниточувствительным датчиком, пилот обрубает трос-кабель включением тумблера «обрубка кабеля гондолы». При этом он дает приказание штурману засечь местоположение самолета на карте и произвести серию аэроснимков**.

В процессе выполнения съемки *штурман-аэросъемщик* отмечает место самолета (МС) на полетной карте, руководствуясь требованиями, приведенными в табл. 15, заимствованной из работы [63]. При вождении самолета по ЗЛП на основе визуальной ориентировки он обязан не только отмечать на карте, но и запоминать ориентиры вдоль линии полета и траверзы ориентиров и на этой основе прокладывать соседние маршруты с заданными межмаршрутными расстояниями. Время прохождения ориентиров фиксируется им с погрешностью не выше 5 с. Он контролирует также постоянство высоты полета, а в отдельных случаях, например при работе с радиогеодезическими системами, выполняет аэрофотосъемку.

Если отклонение по высоте или по направлению превышает допустимые пределы, то штурман-аэросъемщик обязан сообщить об этом первому бортоператору, который принимает решение о дальнейшей работе. За несколько минут до подхода к первому ориентиру штурман-аэросъемщик подает команду «приготовиться!» и при полете над первым (входным) ориентиром сообщает о начале маршрута. На конечном ориентире (в начале разворота) он предупреждает бортоператоров об окончании маршрута.

---

* Пилот и штурман-аэросъемщик должны быть уведомлены, что для повышения качества работ лучше показать маршрут со всеми доворотами, чем фиктивные прямые линии.

** Другие правила, относящиеся к технике безопасности при выполнении полетов на самолетах (вертолетах) см. в инструкциях, наставлениях и руководствах МГА СССР (например, в работе [63]).

ТАБЛИЦА 15. **ДОПУСТИМЫЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОРИЕНТИРАМИ ПРИВЯЗКИ И ДОПУСТИМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ФЛП ОТ ЗЛП В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАСШТАБА РАБОЧЕЙ КАРТЫ ИЛИ ФОТОСХЕМЫ (ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТЕ ШТУРМАНА-АЭРОСЪЕМЩИКА ПРИ ВИЗУАЛЬНОЙ ОРИЕНТИРОВКЕ)**

Масштаб рабочей полетной карты или фотосхемы	Расстояние между отметками места самолета (не реже), км	Погрешность нанесения отметки места самолета, м	Отклонение ФЛП от ЗЛП, м
1 : 1 000 000	25—40	1000—2000	1000—3000
1 : 500 000	25—35	500—1000	500—1500
1 : 200 000	15—30	200—400	400—800
1 : 100 000	10—25	100—200	200—400
1 : 50 000	5—20	50—100	100—200
1 : 25 000	5—15	25—50	50—100
1 : 10 000	2—10	15—25	25—50

Примечания: 1. При полетах на вертолетах со скоростью до 120 км/ч и при масштабе рабочей карты крупнее 1 : 500 000 отметки места самолета необходимо делать в 2 раза чаще. 2. При работе в малоориентирной местности расстояние между отметками места самолета определяется наличием имеющихся на местности и на рабочей карте ориентиров, каждый из которых в этом случае должен быть отмечен при полете.

Стандартная форма бортового журнала штурмана разработана применительно к другим видам съемок и не отражает специфики аэромагниторазведки. Лучше форма, приведенная в прил. 1.4. В бортовом журнале штурман-аэросъемщик отмечает только номера маршрутов, номера и время прохода ориентиров, магнитные курсы, время вылета и посадки самолета, довороты, углы сноса. Остальные данные, предусмотренные в бортовом журнале, он заносит в него после полета. В некоторых случаях (например, при работе в тесных горных районах или на минимально допустимых высотах полетов) разрешается вообще не вести в полете бортовой журнал и делать все записи на бортовой карте, так как запись в журнал отвлечет его от основной задачи. Бортовой журнал в этом случае составляется после полета по записям на карте, о чем на журнале делается соответствующая пометка.

Командир воздушного судна и штурман-аэросъемщик должны сообщать бортоператорам для регистрации все моменты включения самолетных приборов и агрегатов, способных создавать магнитные помехи.

Б. *Первый бортоператор* сразу после вылета включает электронную схему и термостатирующие устройства. При наборе высоты градуируется канал записи высот (далее действия первого бортоператора по высотной привязке регламентируются правилами § 117 и 118).

При работе с приборами, имеющими подвесную гондолу, оба бортоператора совместно с разрешения пилота выпускают гондолу, а при работе с аэромагнитометром станции АГС-71СМ выдвигают штангу с преобразователем. После этого первый бортоператор включает компенсаторы помех и выполняет проверку работы всех блоков аэромагнитометра, качества сигналов и записи*. Запись проверяется на всех режимах.

* Качество записи — это четкость и отсутствие перерывов, отписок; в протонных и квантовых приборах — соответствие результатов измерений на ламповом табло и на диаграммной ленте. В полете сигнал должен характеризоваться теми же параметрами, что и в наземных условиях, и даже несколько улучшаться: так, в протонных приборах отношение сигнал/шум в начале счета должно быть не менее 20—25, а затухание за время измерения должно изменяться не более чем в 4 раза.

В дальнейшем первый бортоператор продолжает следить за работой аппаратуры, напряжением бортовой сети и систематически осуществляет проверки, предусмотренные для данного типа аэромагнитометра. В начале и в конце каждого маршрута он обязан указать направление полета, записать номер и магнитный курс. Так, запись НМ25 МК90 означает начало маршрута № 25, магнитный курс 90°. Обычно надписывают и номера ориентиров (даже если в приборе имеется нумератор, дающий порядковые номера) и пишут время на ориентире (для облегчения последующей привязки и учета вариаций). При работе с радиогеодезической привязкой нужно отмечать заходы на опорные пункты (ОП).

В начале полета и при переключении шкал магнитометров, не имеющих отметчика диапазонов, первый бортоператор отмечает на ленте номера шкал (диапазонов). Проверки прибора, дающие отписки пера самописца, маркируются условными значками; особо отмечаются отписки, связанные с помехами или «болтанкой». Должна быть записана скорость движения ленты регистратора.

При наличии резких скачков записи устанавливается их причина. В случае обнаружения неисправности аппаратуры принимается решение о ее ремонте в полете или о возвращении на базу. Решение и характер неисправности фиксируются на ленте. Решение о возврате может быть принято также при сильной «болтанке», интенсивных вариациях, плохой видимости.

Если на аэромагнитограмме фиксируется аномалия, первый бортоператор должен убедиться в отсутствии на земной поверхности возможных негеологических источников в виде крупных промышленных объектов и т. п., а также дать указание второму бортоператору о выполнении серии из 2—3 аэроснимков с небольшим перекрытием.

В начале и конце съемочного полета аппаратура проверяется на контрольном маршруте.

Перед окончанием полета бортоператоры с разрешения командира самолета поднимают и закрепляют гондолу. В конце аэромагнитограммы первый бортоператор выполняет записи, которые в совокупности с остальными записями и отметками обеспечивают возможность заполнения форм, приведенных в прил. 1.7, 1.8 и 1.10.

Обязанности второго бортоператора рассмотрены в § 100 и 111—113.

3.3.3.3. Работа после полета

§ 82. Штурман-аэросъемщик производит окончательное оформление бортового журнала и полетной карты. На полетной карте он карандашом четко наносит фактические линии полетов, восстанавливает отметки ориентиров и их номера, указывает стрелками направление полета по маршрутам и последовательность залета маршрутов. Подписанный им бортовой журнал и полетную карту штурман передает в камеральную группу, где линии полета на его карте закрепляются в туши во избежание последующего стирания. Штурман обязан проверить правильность переноса своих данных на чистовую карту и расписаться на ней рядом с линиями полета.

Первый бортоператор проверяет аэромагнитометр, отрезает аэромагнитограмму, заправляет в регистратор новую ленту, выключает аппаратуру, зачехляет ее, записывает показания барометрического высотомера на уровне аэродрома. Он обязан также:

— выполнить сверку своих записей на аэромагнитограмме с бортовыми журналами штурмана-аэросъемщика и второго бортоператора;

— обозначить цветными карандашами начало и конец каждого маршрута, надписать номера маршрутов, курсы полетов и позиционные метки;

— восстановить на аэромагнитограмме все выполненные в полете нечеткие записи и расписаться на ней.

Оба бортоператора должны зафиксировать в аппаратурном журнале сведения о работе приборов, с которыми они работали, указав все настройки, регулировки и ремонтные работы, выполненные в полете и на земле, а также замену деталей аппаратуры.

В нелетные дни, если не ведется профилактический ремонт аппаратуры, оба бортоператора обязаны участвовать в камеральной обработке материалов.

Рекомендуется проводить разборы полетов. В начале сезона, когда экипаж еще не сработался, обсуждение полетов обязательно. Разбор полета производится первым бортоператором в присутствии начальника партии (отряда) и при участии пилота и штурмана-аэросъемщика.

Нормативы оценки работы экипажей (пилота и штурмана) приведены в работе [63].

Особенности работы с разными типами аэромагнитометров см. в прил. 11.

3.3.4 УВЯЗКА РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ $(\Delta T)_a$

§ 83. Увязкой называют приведение результатов аэромагнитных измерений магнитного поля к единому отсчетному уровню. Различают два основных вида увязки:

1) внутренняя увязка — приведение к одному отсчетному уровню магнитного поля рядовых маршрутов на отдельных участках (планшетах) съемки; выполняется каждой партией в процессе полевых и камеральных работ независимо от имеющейся всесоюзной или региональной опорной сети;

2) внешняя увязка — приведение рядовых съемок на нескольких участках съемки к единому нулевому (отсчетному) уровню для составления сводных карт (увязка карт); частным случаем внешней увязки является увязка одного или нескольких планшетов съемки со всесоюзной опорной сетью для получения значений $(\Delta T)_a$.

3.3.4.1. Внутренняя увязка

§ 84. Внутренняя увязка является многофункциональной системой операций, полностью или частично исключающей влияние некоторых источников погрешности аэромагнитных съемок. Внутренняя увязка должна выполняться при любом виде и масштабе площадных аэромагнитных съемок с любой аппаратурой, в том числе при работе с протонными и квантовыми аэромагнитометрами.

Дрейф аэромагнитометров, влияние вариаций δT и девиация изменяют нулевые (отсчетные) уровни графиков ΔT, зарегистрированных на рядовых маршрутах в процессе съемки. Кроме того, в связи с включением, выключением, изменениями настройки приборов, на стыках маршрутов, а у квантовых аэромагнитометров и МВС в связи с так называемыми сдвигами возникают скачки нулевых линий графиков ΔT. Влияние вариаций δT и девиации может быть исключено введением поправок (соответственно по вариограммам, зарегистрированным с помощью МВС, и по графикам девиационных поправок, полученным в результате специальных полетов, см. § 69). Однако при этом не могут быть точно учтены пространственные изменения вариаций δT; возможны погрешности и в учете девиации. Увязка в зависимости от способа ее выполнения исключает или уменьшает влияние перечисленных источников погрешности, причем ее эффективность тем выше, чем чаще осуществляется контроль и коррекция нулевого (отсчетного) уровня зарегистрированных при съемке графиков ΔT. Для исключения разных источников погрешности требуется неодинаковая частота коррекции нулевых линий графиков (табл. 16). При выполнении высокоточных съемок, когда увязка должна исключать неучтенные пространственные изменения короткопериодных вариаций δT (а в ряде случаев и промышленных помех), контроль и исправление

ТАБЛИЦА 16. **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ УВЯЗКИ АЭРОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

Источник погрешности	Исключение погрешности при увязке			Количество контрольных измерений, нужных для исключения данного вида погрешности
	по группам взаимно увязанных ПМ	по обычным опорным сетям (ОС)	по специальным опорным сетям повышенной плотности (СОС)	
Дрейф феррозондовых приборов	Надежно	Надежно	Наиболее надежно	Через 10—20 мин полета
Девиация	Не исключается	»	То же	1—2 точки на маршрут
Скачки отсчетного уровня графиков δT и ΔT	Не все виды скачков	»	»	В зависимости от причины скачка от 1—2 точек за полет до 2 точек на маршрут
Вариации δT:				
суточные и бухтообразные	Частично	»	»	Через 5—10 мин полета (2—3 точки на маршрут)
КПК	Не исключаются	Исключаются самые длиннопериодные	Исключаются средне- и длиннопериодные	В зависимости от типа КПК через 10—100 с
Пространственные изменения δT и их нелинейность	То же	Надежно	Наиболее надежно	В зависимости от возмущенности поля δT через 1—10 мин

нулевых (отсчетных) уровней графиков ΔT необходимо выполнять как можно чаще.

Допускается применение двух видов внутренней увязки: по опорным сетям (ОС) и по повторным маршрутам (ПМ) *. Эффективность перечисленных способов неодинакова (табл. 16).

Наилучшим способом внутренней увязки является увязка по внутренним опорным сетям, которые создаются полевой партией (отрядом) в процессе выполнения площадных съемок. Только в тех случаях, когда опорные сети неэффективны (см. ниже) разрешается увязка по ПМ или на основе комбинации обоих методов.

Исправление нулевой линии графика ΔT рядового маршрута по опорной сети недопустимо, если возможная погрешность в определении ординат графиков ΔT на ОМ и РМ в точках пересечения за счет плановой привязки превышает заданную среднюю квадратическую погрешность съемки. Такие точки пересечения (равно как и точки, в которых возможны аналогичные по значению погрешности за счет вертикального градиента магнитного поля при несовпадении высот полетов на РМ и ОМ) не принимаются во внимание при увязке по опорным сетям. В связи с этим в тех случаях, когда на участке преобладает магнитное поле с высокими градиентами, опорные сети могут оказаться малоэффективными; иногда не удается обеспечить и надежную увязку самой опорной сети. В таких ситуациях необходимо:

1) принять меры для увеличения точности плановой привязки (например, перейти от фотопривязки к использованию радиогеодезических средств) и улучшить точность вождения самолета на заданной высоте;

2) увеличить число опорных маршрутов (плотность опорной сети), что позволит отбрасывать часть точек пересечения без недопустимого увеличения расстояний между опорными точками на рабочих маршрутах; в зависимости от конкретной ситуации или удваивают (сгущают) всю опорную сеть или прокладывают отдельные дополнительные ОМ;

3) если и в этом случае количество пригодных для увязки точек пересечения не обеспечивает надежной увязки, то нужно перейти на увязку по ПМ.

Результаты увязки по ПМ рекомендуется дополнительно корректировать по отдельным пригодным для увязки точкам пересечения рядовых маршрутов с внутренними опорными сетями. В особо сложных условиях, когда увязка самих опорных сетей обычными методами (описанными в § 86 и в прил. 14 и 15) невозможна, дополнительная коррекция допускается по одиночным опорным маршрутам **.

Такая дополнительная корректировка результатов, полученных при увязке по ПМ при выполнении высокоточных съемок совершенно обязательна в высоких широтах, а также в средних широтах при наличии промышленных помех и вариационных аномалий. Невыполнение этого правила в указанных случаях может привести к рассогласованию нулевых линий графиков ΔT рядовых маршрутов, превышающему 5 гамм.

Увязка по опорным сетям ОС или СОС

§ 85. При выполнении и использовании опорных сетей для внутренней увязки необходимо руководствоваться следующим.

1. Различают обычные опорные сети (ОС) с расстояниями между опорными маршрутами (ОМ), равными или превышающими 10 км, и специаль-

---

* Предусмотренные в данной инструкции способы внутренней увязки отобраны на основании тщательной теоретической и экспериментальной проверки всех вариантов увязки, предложенных до 1979 г.

** Даже в самых сложных ситуациях почти всегда можно выбрать трассу с невысокими градиентами ΔT для одного-двух опорных маршрутов.

ные опорные сети (СОС) с расстояниями между ОМ менее 10 км. Последние предназначены для работ в осложненных условиях, когда СОС становится основным средством исключения магнитных вариаций (работы на участках с вариационными аномалиями, промышленными помехами, а также в высоких широтах).

2. Плотность опорных сетей ОС и СОС (т. е. дистанция между соседними ОМ) определяется заданной средней квадратической погрешностью съемки, геомагнитной широтой и размерами участка. Конкретный выбор плотности ОС и СОС следует осуществлять с учетом опыта предшествующих аналогичных работ в сходных условиях и анализа реальных условий съемки.

При этом, в частности, нужно принимать во внимание:

— характер градиентов магнитного поля на участке, точность плановой и высотной привязки, точность вождения самолета по ЗЛП и другие условия, обеспечивающие возможность надежного сопоставления ординат РМ и ОМ в точках их пересечения;

— характер и ожидаемое влияние различных факторов, меняющих отсчетный уровень графиков ΔT, возможность и целесообразность прямого учета этих факторов без опорной сети, а также сведения, приведенные в табл. 16;

— скорость съемочных полетов (увеличение скорости уменьшает интервал времени полета по рядовым маршрутам между соседними точками их пересечения с опорной сетью, т. е. эквивалентно повышению плотности ОС).

При одинаковой заданной точности работ плотность ОС в принципе не должна зависеть от масштаба съемки, однако для работ мелкого масштаба разрешаются дистанции между опорными маршрутами до 100 км (для масштабов 1 : 2 000 000 и 1 : 2 500 000). Следует учитывать, что это ведет к снижению точности съемки.

3. Разрешаются два варианта выполнения ОС и СОС: либо в виде системы замкнутых полигонов, состоящих из опорных и связующих (СВМ) маршрутов, либо в виде системы ОМ, не объединенных в замкнутые полигоны (без выполнения связующих маршрутов). Соответственно разрешается применять два варианта увязки ОС и СОС: с «разбросом» невязок по способу ВНИИгеофизики и с использованием большого количества рядовых маршрутов — по способу ВИРГ (прил. 14 и 15). Размеры отдельных замкнутых полигонов в направлении, перпендикулярном к опорным маршрутам, определяются выбранной плотностью опорной сети (см. выше); расстояния между связующими маршрутами не должны превышать 100 км, а при высокоточной детальной съемке — 30 км.

4. Опорные маршруты должны выполняться с той же аппаратурой, которая используется при выполнении рядовых, на той же высоте и при той же системе залета (огибание рельефа, полеты на постоянной барометрической высоте), как и рядовые маршруты. Они должны располагаться в полях с малыми градиентами, а при работе с фотопривязкой проходить через возможно большее количество ориентиров (если используются радиогеодезические системы, то требования к градиентам ΔT снижаются, а наличие ориентиров не обязательно).

5. В принципе опорные маршруты должны располагаться на равном расстоянии друг от друга и под прямым углом к рядовым (последнее обеспечивает минимальную длину опорного маршрута, пересекающего весь участок). На практике, однако, допускаются и даже рекомендуются не строго равномерные сети ОМ и острые углы между опорными и рядовыми маршрутами, если это увеличивает количество надежных (пригодных для использования в процессе увязки) точек пересечения РМ и ОМ.

6. Съемка на ОМ и СВМ выполняется без перерыва в двух противоположных направлениях. Очень важно, чтобы фактические линии полетов в обоих направлениях совпали в плане и по высоте. С этой целью рационально использовать радиогеодезические курсопрокладчики и необходимо

обеспечить особо тщательный контроль высот полетов. Допустимая длина ОМ и СВМ: в высоких широтах при высокоточных съемках не более 70 км, при съемке средней точности до 150 км; в средних широтах их протяженность должна быть соответственно не более 200 и 300 км; при работе с АММ-13 вне зависимости от магнитной широты ОМ и СВМ не могут быть длинней 75 км. До залета опорной сети требуется продолжительный прогрев феррозондовых приборов. Допускается выполнение ОМ или СВМ за счет подлетов к дальним (по отношению к аэродрому) рядовым маршрутам с перерывом между наблюдениями в двух направлениях; в этом случае необходимо многократное повторение элементов опорной сети.

7. Связующие маршруты должны пересекать опорные (желательно под прямым углом) и могут быть созданы за счет повторения избранных рядовых маршрутов. Характер градиентов ΔT вдоль СВМ не имеет значения, однако точки их пересечения с ОМ (узловые точки) обязательно должны быть в спокойном поле, изменение которого на расстоянии вероятной погрешности привязки не должно превышать заданной погрешности съемки.

8. Если аэромагнитная съемка ведется без радиогеодезии, с фотопривязкой, последнюю рекомендуется выполнять с промежуточной основой (фотокаркасами или площадными фотосхемами). Каркасы совмещают с опорными маршрутами.

9. Допускается создание ОС до съемки на рядовых маршрутах и после нее.

Первый вариант применяют, если характер магнитного поля района известен и есть возможность выбора участков спокойного поля для проложения ОМ. Второй вариант нужно применять в тех случаях, когда сведения о магнитном поле участка, необходимые для выбора проложений ОМ, отсутствуют. При съемке с фотопривязкой второй вариант нежелателен, так как точность определения точек пересечения маршрутов снижается в связи с тем, что при съемке на РМ еще не известно, где пройдут опорные маршруты.

10. Для повышения точности съемок на ОМ и СВМ соответствующие полеты выполняются в невозмущенные дни, в периоды дня, когда по статистике в данном районе возникновение интенсивных вариаций и КПК наименее вероятно, а также обязательно при отсутствии «болтанки». Полеты на съемку по маршрутам опорной сети должны выполняться за кратчайшее время, желательно за один вылет.

11. При выполнении СОС все требования к съемке (выбор времени полетов, точность самолетовождения при повторном залете на маршруты, точность плановой привязки) должны выполняться с особой тщательностью.

§ 86. В графики ΔT по прямым и обратным залетам для опорных и связующих маршрутов следует ввести поправки за вариации, после чего по ординатам первого $(\Delta T)_1$ и второго $(\Delta T)_2$ залета строят график средних значений ординат $(\Delta T)_{ср}=[(\Delta T)_1+(\Delta T)_2]/2$, чем достигется некоторое уменьшение недостаточно точно учтенных вариаций, влияния девиации, погрешностей в выдерживании постоянства высот полета и т. п. При этом на ОМ выделяются отрезки, на которых такое осреднение некорректно (большие расхождения ФЛП в плане и по высоте при первом и втором залете). Если таких отрезков вдоль маршрута много, выполняется новая съемка по маршруту, если их мало, они отмечаются и далее не используются для увязки РМ с опорной сетью.

Готовые, надежно проверенные графики $(\Delta T)_{ср}$ по опорным маршрутам должны быть увязаны между собой в опорную сеть одним из двух способов.

Способ ВНИИгеофизики (техника исполнения описана в прил. 14) использует разработанный в геодезии метод разброса невязок по замкнутым полигонам. Он позволяет выполнять увязку ОС не дожидаясь завершения съемки рядовых маршрутов и в принципе применим для опорных сетей любой сложности и размеров. Погрешности опорной сети в процессе обработки по этому способу не исключаются,

а закономерно «разбрасываются», причем невязки в каждом замкнутом полигоне, существенно зависящие от погрешностей измерений в узловых точках (точках сочленения маршрутов в углах полигона), приписываются всему полигону. При разбросе невязок погрешности, связанные с неточностью плановой или высотной привязки в узловых точках в условиях повышенных градиентов ΔT, погрешности учета вариаций или за счет дрейфа аэромагнитометра и другие сказываются на всех ближайших полигонах опорной сети, создавая местные перекосы нулевых линий графиков ΔT по опорным и связующим маршрутам.

Этот вариант увязки наиболее выгодно применять при работе с радиогеодезическими средствами плановой привязки, когда погрешности в узловых точках уменьшаются. При работе с квантовой аппаратурой и при детальных съемках с фотопривязкой увязка этим способом не рекомендуется.

Второй способ (техника его применения дана в прил. 15) основан на передаче нулевого (отсчетного) уровня ОМ от одного к другому с помощью многих рядовых маршрутов (без СВМ). Для передачи отсчетного уровня одного опорного маршрута к другому используются те рядовые маршруты, которые пересекают данную пару ОМ в наиболее «надежных» точках, т. е. точках, отвечающих определенным условиям. Поскольку для каждой пары ОМ обычно можно воспользоваться многими рядовыми маршрутами (десятками, а иногда и сотнями), увязка осуществляется весьма надежно. В качестве поправки к нулевому уровню ОМ принимается средняя разность, полученная по всем точкам пересечения. Если какой-либо из ОМ, несмотря на меры, принятые при съемке на этом маршруте, имеет «перекос», то в большинстве случаев этот перекос удается выявить и исключить (см. прил. 15) или появляются обоснованные доказательства необходимости выбраковки данного маршрута. При этом способе увязки опорных маршрутов друг с другом погрешности не разбрасываются, а исключаются; грубые ошибки в отдельных точках пересечения маршрутов (за счет погрешности привязки, несовпадения высот полетов, вариаций или дрейфа приборов) не могут существенно повлиять на результат. Поэтому при таком способе увязки требования к точности плановой привязки несколько снижаются.

При большой площади района работ необходимо проконтролировать возможное накопление погрешностей к краям участка. Для этого ОС увязывают по способу, описанному в прил. 15, дважды: в одном случае начинают увязку с центрального ОМ, во втором — с одного из крайних опорных маршрутов. Если при этом разность средних значений ΔT на крайних опорных маршрутах не превышает заданной средней квадратической погрешности съемки m_1, то выполненная увязка надежна. Если полученная разность превышает m_1 и источник погрешности установить не удается, следует либо разделить опорную сеть на части, каждая из которых увязывается самостоятельно с последующим объединением фрагментов в единую опорную сеть, либо переходить на увязку способом ВНИИгеофизики.

Способ ВИРГ выгоден при детальных высокоточных съемках с фотопривязкой и особенно полезен при переработке старых материалов, не имеющих внутренних опорных сетей, когда такими приемами увязывают секущие маршруты и на их основе «кабинетным способом» создают приемлемую опорную сеть.

§ 87. При любом из этих способов подготовки опорных сетей после уравнивания нулевых линий графиков ΔT самой опорной сети рядовые маршруты увязываются с ней (и, следовательно, в единую систему с одинаковым отсчетным уровнем) по разностям ординат (разностям значений ΔT) в точках пересечения рядовых и опорных маршрутов. Правила выполнения этой операции указаны в § 132.

Увязка по повторным маршрутам *

§ 88. А. Для выполнения внутренней увязки по повторным маршрутам на участке съемки выбирают несколько ПМ, руководствуясь следующими правилами.

1. Все ПМ должны располагаться в магнитном поле с градиентами, которые на расстоянии, равном вероятной погрешности плановой привязки, не создают изменений ΔT, превышающих заданную среднюю квадратическую погрешность съемки **. Протяженность ПМ 5—20 км. Обязательны четкие входные и выходные ориентиры; при работе с фотопривязкой вдоль ПМ должны быть промежуточные ориентиры в количестве, достаточном для надежного сопоставления повторных залетов (применение радиогеодезических средств с РГП снимает это требование).

2. Количество ПМ и выбор их расположения помимо объективных факторов (наличие условий, указанных в пункте 1) определяются экономическими соображениями (обеспечение минимальных подлетов к ним от рядовых маршрутов). В связи с этим их следует располагать неподалеку от тех границ участка, на которые выходят концы рядовых маршрутов. ПМ могут располагаться как на площади съемки, так и вне ее и выбираются на основе материалов, предшествующих площадных съемок и рекогносцировочных полетов.

Б. Интервал между залетами на ПМ определяется данными о вариациях и характере дрейфа прибора с учетом заданной точности. Обычно контроль по ПМ осуществляется до и после съемки каждого рабочего маршрута или двух—четырех маршрутов, но не реже чем через 1 ч. Чем чаще залет на ПМ, тем надежнее увязка, но тем выше и затраты летного времени на подлеты к ним. Для исключения влияния девиации на результаты увязки повторные измерения на ПМ следует вести в одном и том же направлении.

В течение одного съемочного полета рекомендуется повторять измерения только на одном из выбранных ПМ, что облегчает построение графиков изменений отсчетного уровня для каждого полета. По таким графикам можно увязать между собой относящиеся к ним рабочие маршруты.

Графики ΔT, увязанные с разными ПМ, отличаются по уровню, поскольку магнитное поле повторных маршрутов не совпадает. Поэтому обязательна вторая операция увязки — определение различий среднего уровня поля для всех ПМ, использованных для увязки. С этой целью выполняют двукратный облет всех ПМ по кратчайшему расстоянию без перерыва, причем залет на каждом ПМ должен быть в том же направлении, в каком он осуществлялся на первой стадии увязки. Результаты облета всех ПМ дают возможность выполнить окончательную увязку всех маршрутов участка. Техника камеральных работ для этого вида увязки описана в § 132.

---

* Увязка по повторным маршрутам, расположенным на участке съемки или вблизи от него (что позволяет без больших затрат летного времени выполнять в каждом съемочном полете многократный контроль отсчетного уровня графиков ΔT), существенно отличается от увязки по контрольным маршрутам, которая в прошлом широко применялась в практике аэромагниторазведки. В настоящее время увязку на основе двукратного залета на КМ в течение каждого съемочного полета допускается использовать только как средство предварительной, грубой увязки, исключающей скачки отсчетных уровней, связанные с включением и выключением приборов, и линейные изменения нулевой линии за время полета. Увязка по КМ может быть применена только как вспомогательная операция, облегчающая последующую точную увязку, или (если это разрешено проектом) для представления предварительных карт результатов съемки в предварительных отчетах и информационных полевых сообщениях партий (отрядов).

** Это не означает, что весь ПМ обязательно должен быть в таком поле. Необходимо, чтобы на ПМ были отрезки протяженностью 3—5 км, отвечающие данному требованию, которые и используются для увязки.

Увязка по ПМ рекомендуется в случаях, когда на участке преобладают аномальные поля с очень большими градиентами (§ 84), а также в высокогорной местности.

3.3.4.2. Внешняя увязка и определение $(\Delta T)_a$

§ 89. Внешняя увязка должна выполняться после внутренней. Для смежных участков съемки любой точности внешняя увязка может быть выполнена с использованием перекрытий рядовых маршрутов или с помощью стыковки внутренних опорных сетей.

Для разобщенных участков (при небольшом расстоянии между ними) допускается внешняя увязка с использованием двух-трех прямолинейных увязочных маршрутов, съемку на которых следует выполнять предельно тщательно (двукратные повторения, надежная планово-высотная привязка, учет вариаций и пр.). Увязочные маршруты передают отсчетный уровень от одного участка к другому. Они должны пересекать или повторять в спокойном поле некоторую часть РМ и ОМ каждой из площадей.

Более универсальным средством являются всесоюзные опорные аэромагнитные сети (ВОС), специально созданные для внешней увязки результатов аэромагнитных съемок пониженной и средней точности*; они позволяют не только выполнять внешнюю увязку, но и приводить данные съемки к одной и той же эпохе, а также получать аномальные значения магнитного поля.

Для внешней увязки планшетов крупномасштабных съемок маршруты ВОС первой очереди, выполненные специализированными аэромагнитными партиями в 60-х и начале 70-х годов следует дополнять более густой заполняющей сетью ВОС (второй очереди). Эти сети могут выполняться как силами специальных партий, так и в процессе полевых площадных съемок. Дополнительная сеть маршрутов ВОС может создаваться либо до проведения площадной съемки, либо после ее выполнения. Во втором случае проектирование маршрутов ВОС облегчается и они более эффективны. Для съемки на маршрутах ВОС должны использоваться протонные аэромагнитометры с выпускной гондолой, позволяющие получать полные значения поля T, не искаженные так называемой «постоянной» составляющей девиации (АМП-7, ЯМП-3). Приборы с жестким креплением гондолы, в том числе ЯМП-3 в варианте без выпускного устройства, для этой цели непригодны.

Основные требования к проложению и выполнению дополнительных маршрутов ВОС таковы**.

1. Внутренняя опорная сеть каждой площадной съемки должна пересекаться не менее чем двумя (желательно тремя) маршрутами ВОС, а если внутренняя увязка выполнялась по ПМ, то два-три маршрута ВОС должны пересекать рядовые маршруты участков***.

---

* Для увязки планшетов съемки, выполненной с применением квантовых аэромагнитометров, точность ВОС недостаточна (§ 90).

** Реализация этих требований на практике может оказаться неполной; особые затруднения возникают в горных и промышленно развитых районах (рельеф, помехи), в высоких широтах и в зонах вариационных аномалий (погрешности за счет вариаций магнитного поля). В таких случаях следует анализировать возможные погрешности и принимать оптимальные решения, добиваясь уменьшения суммарного эффекта осложняющих факторов.

*** Эта рекомендация действительна при надежной внутренней увязке отдельных планшетов. При работе с материалами старых съемок, внутреннее уравнивание которых ненадежно, возможны два выхода. Если на планшетах есть секущие маршруты, можно взаимно увязать их с помощью рядовых по правилам, приведенным в прил. 15, затем увязать с этой внутренней опорной сетью все рядовые маршруты и лишь после этого выполнять внешнюю увязку. Другой вариант — использовать опорные маршруты ВОС для внутренней увязки, *что допустимо лишь в крайнем случае,* если иного выхода нет.

2. Опорные маршруты ВОС следует прокладывать в наиболее спокойных магнитных полях, по линиям со спокойным рельефом, на высоте рядовых съемок (при неодинаковой высоте съемки на участках, которые увязываются друг с другом,— на промежуточной или на наибольшей из высот) и обязательно в горизонтальной плоскости.

3. Привязка маршрутов должна осуществляться инструментальными методами (с помощью радиогеодезии или фотопривязки). Если используется фотопривязка, то вдоль маршрутов должно быть достаточное количество четких ориентиров, особенно на конечных точках и точках пересечения маршрутов.

4. Особое внимание нужно уделять учету магнитных вариаций, в том числе приведению результатов измерений к среднегодовому уровню (§ 90).

5. Каждый опорный маршрут ВОС должен иметь хотя бы две точки пересечения с другими опорными маршрутами ВОС.

6. Результаты работ на маршрутах ВОС представляются в виде карт проложения маршрутов и графиков магнитного поля. На графиках помимо прочих данных должно быть показано магнитное поле T относительно среднегодового уровня, а также нормальное поле года наблюдения и года приведения. Это позволяет для каждой точки графика определять модуль полной напряженности магнитного поля T, аномальное поле $(\Delta T)_а$, принятый среднегодовой уровень $T_{срг}$, уровень нормального поля $T_н$ и введенную поправку за вековой ход. Эти графики и карты проложения маршрутов ВОС первой и второй очереди являются исходным материалом для внешней увязки результатов аэромагнитных съемок средней и пониженной точности, полученных на отдельных планшетах (участках) съемки.

На каждой площади, где создаются заполняющие опорные сети для внешней увязки, необходимо предусмотреть несколько маршрутов ВОС второй очереди, пересекающих всю территорию (лучше всего в меридиональном и широтном направлениях), которые являлись бы продолжением и частичным повторением маршрутов ВОС, выполненных в предшествующие года, например маршрутов опорных сетей первой очереди. Это позволяет учесть влияние векового хода аэромагнитным методом.

Для опорных сетей второй очереди разброс невязок по замкнутым полигонам недопустим, так как при этом пришлось бы вовлечь в увязку и маршруты первой очереди ВОС. Кроме того, случайные иногда значительные погрешности в точках пересечения маршрутов при разбросе невязок распределяются по всей сети ВОС, снижая ее точность. Хотя маршруты ВОС не увязывают друг с другом с помощью специальных операций и соответствующие им графики модуля T и $(\Delta T)_а$ получаются независимо, они считаются изначально увязанными, поскольку измерения по маршрутам выполняются протонными магнитометрами с последующим введением в измеренные значения магнитного поля всех необходимых поправок, включая поправки за влияние векового хода. Вместо увязки осуществляется контроль по точкам пересечения и сочленения маршрутов и в случае выявления недопустимых расхождений значений T и $(\Delta T)_а$ съемка на маршрутах ВОС должна быть повторена.

§ 90. Аномальное магнитное поле $(\Delta T)_а$ может быть вычислено по следующей формуле:

$$(\Delta T)_а = T_{изм} - (T_{н.\,п} + \delta T_{в.\,х} + \delta T_{вар}), \qquad (1)$$

где $T_{изм}$ — измеренное мгновенное значение поля; $T_{н.\,п}$ — нормальное поле в данной точке (пункте); $\delta T_{в.\,х}$ — вековой ход от эпохи, к которой относится карта нормального поля, до года съемки; $\delta T_{вар}$ — значение вариации магнитного поля для точки измерения в момент съемки.

При выполнении маршрутов ВОС с помощью протонных аэромагнитометров и протонных МВС необходимо непосредственно исходить из выражения (1) и руководствоваться нижеследующим.

Вариации $\delta T_{\text{вар}}$ отсчитываются не от произвольного уровня, а от среднегодового значения поля $T_{\text{срг}}$:

$$\delta T_{\text{вар}} = T_{\text{изм}} - T_{\text{срг}}.$$

При этом в точках измерения разность между мгновенными измеренными значениями поля $T_{\text{мгн}(\,)}$ и среднегодовыми $T_{\text{срг}(.)}$ рассматривается как сумма двух разностей: между среднесуточными значениями $T_{\text{срс}(.)}$ и среднегодовым и между мгновенными и среднесуточными. Тогда формула для вычисления вариаций примет вид

$$\delta T_{\text{вар}} = (T_{\text{срс}\,(\cdot)} - T_{\text{срг}\,(\cdot)}) + (T_{\text{мгн}\,(\cdot)} - T_{\text{срс}\,(\cdot)}). \qquad (2)$$

Далее исходят из предположения, что разности между среднесуточными значениями и среднегодовым меняются ото дня ко дню закономерно, оставаясь постоянными в пределах единиц гамм для различных точек, отстоящих друг от друга на сотни и даже тысячи километров. При этом первая из разностей в выражении (2) рассматривается как постоянная для любой точки съемки. Она может быть определена по данным ближайшей обсерватории *:

$$T_{\text{срс}\,(\cdot)} - T_{\text{срг}\,(\cdot)} \approx T_{\text{срс. обс}} - T_{\text{срг. обс}}.$$

Среднегодовое значение поля в обсерватории вычисляется по среднемесячным за весь год, а в случае отсутствия данных за все 12 месяцев в качестве среднегодового может быть принято среднее за апрель, май, август и сентябрь.

Текущая поправка за вариации поля, отсчитываемая от среднесуточного уровня в точке съемки, будет близка к такой же поправке по магнитовариационной станции (МВС), находящейся на съемочном участке. Тогда текущее значение поправки может быть определено по данным МВС:

$$T_{\text{мгн}\,(\cdot)} - T_{\text{срс}\,(\cdot)} \approx T_{\text{мгн. МВС}} - T_{\text{срс. МВС}}.$$

Суммарная поправка за вариации для приведения поля в точке наблюдения к среднегодовому значению получается на основе данных МВС и данных ближайшей обсерватории:

$$\delta T_{\text{вар}} = T_{\text{мгн. МВС}} - T_{\text{срс. МВС}} + T_{\text{срс. обс}} - T_{\text{срг. обс}}.$$

В случае невозможности своевременного получения среднегодового значения по данным ближайшей обсерватории (например, съемка проводится в начале года) описанная методика позволяет использовать в качестве исходного среднегодового значения среднегодовой уровень той же обсерватории, но для предыдущего года. Методика приведения к среднегодовому значению магнитного поля предыдущего года по существу не отличается от методики приведения к среднегодовому значению года съемки, однако при этом часть вековой вариации (поправка за 1 год) исключается из поправки за вековой ход и включается в текущую поправку за вариации.

Последовательность практических операций для учета вариаций и получения аномального поля $(\Delta T)_{\text{а}}$ сводится к следующему:

1) провести в течение по крайней мере одних суток ** наблюдение вариаций магнитного поля с помощью протонной МВС для получения среднесуточного значения $T_{\text{срс. МВС}}$ (в дальнейшем в той же точке надо выполнять и все наблюдения вариаций в процессе последующей аэромагнитной съемки, обеспечив этим возможность отсчета δT от среднесуточного уровня);

2) получить указанные выше данные по ближайшей обсерватории;

---

* Следует отдавать предпочтение ближайшим обсерваториям, расположенным на магнитной широте участка съемки.

** При этом время отсчитывается по Гринвичу, отличающемуся на 3 ч от московского.

3) вычислить значения вариаций по описанной методике;

4) получить в соответствии с выражением (1) значения $(\Delta T)_a$ по результатам измерений;

5) проконтролировать полученные результаты по ближайшим маршрутам опорной картографической сети.

Подробные сведения о методике создания ВОС и о форме представления результатов измерений по маршрутам ВОС см. в работе [6]. При выполнении этого особого вида аэромагнитных съемок нужно иметь в виду также следующее:

1) указанный способ получения графиков T и $(\Delta T)_a$ для маршрутов ВОС не может быть использован на акваториях и на площадях вариационных аномалий (в том числе в районах проявления береговых эффектов). В высоких широтах и при наличии промышленных помех точность результатов снижается в связи с тем, что в условиях маршрутных съемок крайне труден точный учет вариаций δT, интенсивно меняющихся во времени и пространстве;

2) отсчет вариаций от среднегодового уровня вне обсерваторий на основе допущений, указанных в начале данного параграфа, осуществляется с погрешностью, которая зависит от района работ, расстояния от него до обсерватории и может превышать 10 гамм;

3) погрешность карт изопор весьма значительна; в активных районах она не менее 5—10 гамма/год; вполне возможно и существование невыявленных локальных фокусов векового хода. Погрешность карт нормального поля не ниже 50—100 гамм;

4) в связи с указанными погрешностями исходных данных рассчитанные по формуле (1) значения аномального магнитного поля, равно как и показанные на графиках по маршрутам ВОС значения T, являются лишь приближением к действительным значениям T и $(\Delta T)_a$. Данные по маршрутам ВОС, полученные независимо в разные годы, могут существенно различаться. Поэтому ВОС непригодны для внешней увязки результатов высокоточных съемок (средняя квадратическая погрешность съемки 5 гамм и менее);

5) расхождение данных по отдельным маршрутам ВОС при прочих равных условиях пропорционально разрыву во времени выполнения этих маршрутов. Дополнительные погрешности выявляются в тех случаях, когда результаты съемки на маршрутах ВОС, полученные в разные годы и разными предприятиями, обрабатывались с использованием неодинаковых карт изопор и нормального поля. В связи с этим при создании ВОС второй очереди с целью получения сводных карт магнитного поля отдельных регионов рекомендуется выполнять все маршруты ВОС этих регионов в течение одного сезона и в кратчайшие сроки с использованием одних и тех же карт изопор и нормального поля;

6) взаимная согласованность нулевых (отсчетных) линий опорных маршрутов внутренних опорных сетей, обеспечиваемая описанными в предыдущем разделе приемами их увязки, гораздо выше, чем у маршрутов ВОС. При работе с квантовыми приборами точнее и сами измерения магнитного поля на ОС и СОС. Опорные маршруты внутренних опорных сетей выполняются на малых расстояниях друг от друга и обязательно на высоте рядовой площадной съемки (§ 85). Учет вариаций δT при создании ОС и СОС выполняется надежнее, чем при съемке на маршрутах внешних опорных сетей. Поэтому ВОС недопустимо использовать для внутренней увязки рядовых маршрутов площадных съемок средней и высокой точности;

7) в процессе внешней увязки с помощью ВОС отсчетные (нулевые) уровни исходных карт меняются одинаково по всей площади без изменения уровней отдельных рядовых маршрутов. Отступление от этого правила допустимо только в том случае, если с помощью ВОС устанавливаются незамеченные «перекосы» исходных карт; при

этом в нулевые линии графиков магнитного поля увязываемых карт вводятся линейно изменяющиеся поправки. В обоих случаях погрешности ВОС, источники которых указаны в пунктах 2), 3) и 5), совсем или почти не искажают форму локальных магнитных аномалий и поэтому не могут существенно сказаться на геологической интерпретации таких аномалий.

§ 91. А При выполнении площадных аэромагнитных съемок с помощью протонной аппаратуры графики $(\Delta T)_a$ для всех рядовых маршрутов могут быть получены с применением методики, описанной в § 90, т. е. независимо (без увязки с внешними опорными сетями). Полученные таким способом графики $(\Delta T)_a$ по рядовым маршрутам площадной аэромагнитной съемки должны быть до построения карт $(\Delta T)_a$ увязаны между собой одним из способов внутренней увязки, описанных в § 84.

Б. При измерениях ΔT феррозондовыми приборами решение той же задачи для съемок пониженной и средней точности выполняется так:

— графики ΔT опорной сети увязывают с ближайшими маршрутами ВОС и на основе увязки получают полные значения поля для той эпохи, к которой приведена ВОС, и графики $(\Delta T)_a$ для маршрутов внутренней опорной сети.

— выполняют увязку рядовых маршрутов площадной съемки с внутренней опорной сетью, что преобразует графики ΔT для всех маршрутов съемки в графики $(\Delta T)_a$.

Этот способ получения графиков $(\Delta T)_a$ допустим и при съемке с применением протонной аппаратуры.

Получение $(\Delta T)_a$ по материалам съемок, выполненных феррозондовыми аэромагнитометрами, в настоящее время на территории СССР разрешается только с помощью ВОС.

В. Для съемок с квантовой магнитоизмерительной аппаратурой удовлетворительные способы определения значений $(\Delta T)_a$ с точностью, соответствующей точности исходных данных, пока не разработаны *. Поэтому внешнюю увязку планшетов рекомендуется выполнять только по перекрытиям рядовых маршрутов и внутренних сетей или с помощью увязочных маршрутов (§ 89). *После этого* сводную карту можно увязать с ВОС, как описано в § 90, и получить *приближенные* значения $(\Delta T)_a$; при необходимости учитывается вековой ход. Такая методика исключает влияние погрешности ВОС на внешнюю увязку планшетов.

3.3.5. КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

§ 92. Для построения окончательных карт магнитного поля по данным аэромагнитной съемки партия (отряд) должна иметь топографическую основу в масштабе запроектированных съемок. Должна быть предусмотрена также топографическая основа для построения соответствующих карт по материалам детализационных работ в масштабе, соответствующем детальности этого вида съемок. Для обзорных карт проекта и отчета нужны карты в 2—5 раз мельче масштаба съемки. При выполнении фотопривязки с использованием промежуточной основы нужны дополнительные карты, масштаб которых крупнее отчетных карт (§ 96).

Полетные топографические карты для съемки масштаба 1 : 100 000 и мельче должны быть не мельче масштаба 1 : 100 000, а для более крупномасштабных съемок нужны карты масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000 (лишь в крайнем случае 1 : 100 000).

---

* Это вытекает из сопоставления средней квадратической погрешности съемки, выполненной квантовыми приборами при измерении ΔT, которая равна 1—5 гамм, с указанными в § 90 погрешностями карт изопор, карт нормального поля и операций приведения результатов измерений магнитного поля к среднегодовому уровню.

Все топографические карты, используемые в работе партии, должны быть последнего года издания.

При отсутствии топографической основы ее можно заменять одномасштабными фотопланами; промежуточная основа при фотопривязке (§ 96) может быть заменена фотосхемами (результат будет даже лучше). Применение фотосхем взамен полетных карт и в качестве основы для отчетных карт возможно только с разрешения вышестоящей организации.

На борту самолета должны быть также топографические карты масштаба 1 : 500 000 или 1 : 1 000 000 для общей ориентировки в полете (подлеты к участку, уход на запасной аэродром и т. п.).

При заказе карт следует учитывать, что при работе с ними в полете они быстро изнашиваются, и предусматривать запасные экземпляры.

3.3.6. ПЛАНОВАЯ И ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА

§ 93. Требования к точности плановой привязки для разных видов аэромагнитных маршрутов определяются их ролью в процессе аэромагнитной съемки. Наибольшая точность нужна на тех маршрутах и отрезках маршрутов, где снижение точности плановой привязки ведет к увеличению средней квадратической погрешности самой аэромагнитной съемки — на опорных, повторных и секущих маршрутах, а также на рядовых в точках их пересечения с опорными.

Наибольшая точность плановой привязки необходима также на рядовых маршрутах в аномальных зонах [во избежание искажений графиков $(\Delta T)_a$ и карт изолиний], а также на погоризонтных и расчетных маршрутах, которые специально выполняются для обеспечения надежной количественной интерпретации магнитных аномалий.

Практически требования к точности плановой привязки площадных аэромагнитных съемок должны быть одинаковыми для всех масштабов съемки. На аэромагнитную съемку не распространяется принятое в топографии правило о том, что средняя квадратическая погрешность определения координат точек наблюдения должна соответствовать одному миллиметру отчетной карты *.

Это не противоречит табл. 13, так как в ней приведены только требования к точности прокладки маршрутов; плановая привязка при выполнении аэромагнитных съемок обеспечивается применением фотопривязки или радиогеодезических средств; визуальная плановая привязка, рассмотренная в табл. 13, предназначена только для предварительной прокладки маршрутов при вождении самолета по ЗЛП.

При любом масштабе съемки необходимо обеспечивать наибольшую точность плановой привязки, доступную при имеющихся технических средствах. При выборе метода плановой привязки нужно учитывать особенности обоих вариантов ее выполнения. Радиогеодезическая привязка желательна во всех случаях, когда аэромагнитная съемка выполняется с помощью квантовых аэромагнитометров.

---

* При современном уровне средств плановой привязки, придерживаясь этого правила, пришлось бы отказаться от выполнения аэромагнитных съемок масштаба 1 : 10 000, высокая геологическая эффективность которых доказана многолетней практикой; съемки масштабов 1 : 25 000 и 1 : 50 000 с фотопривязкой также пришлось бы в большинстве районов запретить. С другой стороны, снижение требований к точности плановой привязки при мелкомасштабной аэромагнитной съемке привело бы к снижению точности внутренней увязки, точности учета вариаций и девиации, к увеличению средней квадратической погрешности съемки и, как следствие, к уменьшению геологической эффективности работ.

3.3.6.1. Фотопривязка

Аппаратура и оборудование

§ 94. Для фотопривязки следует использовать аэрофотоаппараты (АФА) с короткофокусными объективами и широким углом поля зрения. Основные сведения о таких АФА отечественного производства приведены в прил. 3.9.

При фотографировании камерами АФА-Э-36 и АФАГ-17, имеющими углы поля зрения 148 и 150°, стандартные люки на самолетах АН-2 не обеспечивают фотоизображения местности по всей площади кадра. Поэтому люки на самолете АН-2 необходимо увеличивать до размера, позволяющего снимать указанными аппаратами при нормальном положении (не опуская их очень низко за пол самолета).

Фотооператору полезно иметь аэрофотоэкспонометр. Для обеспечения фотолабораторных и камеральных работ необходимо специальное оборудование: проявительные приборы (РПП-1, ПП-4М и др.), устройства для печати аэроснимков (КП-5, КП-6, КП-7, КПЦ-1 и др.), а также приборы ПДН для просмотра аэрофильмов на просвет. Необходимы стереоскопы типа лорнет (или зеркальные), лабораторные экспозиметры, лабораторные сигнальные часы и другое оборудование фотолабораторий.

Съемку следует вести на панхроматической черно-белой пленке, а контактную печать аэроснимков — на тонких глянцевых фотобумагах (унибром, фотобром); полезно иметь фотобумагу разного контраста для подбора ее по характеру негативов.

В районах с малым количеством ориентиров целесообразно применять курсографы, выполненные на базе прибора НИ-50БМ. Сами курсографы не обеспечивают точной фиксации пути самолета на протяжении длинного маршрута. Однако в сочетании с фотопривязкой в течение короткого интервала между соседними ориентирами (до 25 км) они вполне удовлетворительно регистрируют путь самолета.

Технические и методические указания по выполнению фотопривязки *

§ 95. Фотопривязка аэромагнитных маршрутов включает в себя два раздела работ: 1) фотографирование ориентиров с одновременной фиксацией каждого аэроснимка на аэромагнитограмме, 2) определение положения главных точек аэроснимков фотопривязки на картах фактических линий полета. Технологическая схема и состав работ при фотопривязке таковы.

1. Проектирование и организация фотопривязки.
2. Подготовка топографических карт и фотосхем. Каркасная или площадная аэросъемка с составлением фотосхем (требуется не всегда).
3. Предполетная подготовка.
4. Фотографирование ориентиров на маршрутах аэромагнитной съемки. Площадная аэрофотосъемка аномальных зон.
5. Фотолабораторная обработка аэрофильмов.
6. Нумерация и регистрация аэронегативов.
7. Дополнительные фотолабораторные работы — контактная печать, репродуцирование (требуются не всегда).
8. Привязка главных точек аэроснимков фотосопровождения аэромагнитной съемки к топографическим картам и построение фактического пути самолета во время аэромагнитной съемки.
9. Оцифровка отметок аэроснимков на ленте геофизического прибора.

---

* Техника и методика выполнения маршрутной и площадной аэрофотосъемки, составления и репродуцирования накидных монтажей и фотосхем описана в руководствах и инструкциях по аэрофотосъемке (см. также работу [8]).

10. Контроль качества полевых материалов, приемка их от исполнителей.

11. Оформление отчетности.

§ 96. Методика фотопривязки в значительной степени определяется характером и количеством ориентиров на местности *. Допускаются три основных варианта выполнения фотопривязки:

1) с опознаванием ориентиров на топографической карте основного масштаба;

2) с использованием промежуточной крупномасштабной основы (крупномасштабные топографические карты или материалы аэрофотосъемки — накидные монтажи, их репродукции, фотосхемы и фотопланы);

3) с использованием промежуточной фотоосновы, подготовленной по аэроснимкам, выполненным непосредственно перед вылетом на аэромагнитную съемку (при наличии ориентиров, которые двигаются или меняются во времени).

Необходимость работы с промежуточной картографической основой должна быть установлена в период проектирования, что позволяет получить до начала полевых работ пригодные для этой цели крупномасштабные топографические карты или готовые материалы предшествующих площадных аэрофотосъемок района работ. В качестве промежуточной основы надежнее всего материалы площадной и маршрутной аэрофотосъемки; с их применением количество опознанных ориентиров может возрасти в несколько раз.

Каркасные аэрофотосъемки нужно выполнять в случаях, если: а) район работ или его карты таковы, что непосредственный переход от аэроснимка к отчетной карте невозможен, а готовые вспомогательные материалы промежуточного масштаба отсутствуют; б) материалы промежуточного масштаба имеются, но устарели; в) привязка осуществляется по неустойчивым во времени элементам топографической ситуации либо с помощью цветных или спектрозональных съемок.

Для наиболее эффективного использования промежуточной картографической основы нужно, чтобы ее масштаб приближался к масштабу аэроснимков сопровождения, а не к масштабу отчетной карты. Поэтому в районах с малым количеством ориентиров при масштабе снимков сопровождения 1 : 700—1 : 2000 масштаб каркасных маршрутов должен быть в пределах 1 : 8000—1 : 15 000; при масштабе снимков сопровождения 1 : 2000—1 : 5000 снимки каркасных маршрутов должны иметь масштаб от 1 : 15 000 до 1 : 30 000. Однако если каркасные маршруты проектируются по прямолинейным контурам, лишенным характерных изгибов (берега морей, крупных рек и озер), и привязка аэроснимков фотосопровождения масштаба 1 : 700—1 : 2000 осуществляется по мелким ориентирам (дюны, барханы, тундровые озера, трещины льда, кусты и т. д.), то масштаб аэроснимков каркасов рационально выдерживать в пределах 1 : 5000—1 : 6000.

Каркасные маршруты должны быть примерно перпендикулярны к рядовым маршрутам аэромагнитной съемки; аэроснимки каркасных маршрутов выполняют с нормальным перекрытием (65—80 %). Если для внутренней увязки данных аэромагнитных измерений создается опорная сеть, то каркасные фотомаршруты нужно проектировать так, чтобы они по возможности совпадали с опорными аэромагнитными маршрутами.

Каркасную аэрофотосъемку следует производить до начала аэромагнитной съемки на рядовых маршрутах. По завершении каркасной аэрофотосъемки нужно построить фотосхемы по маршрутам каркасов и нанести их контуры на полетные карты штурмана.

---

* Особой категорией ориентиров являются неповторимые групповые сочетания мелких элементов ситуации, которые визуально неотличимы друг от друга, но точно опознаются на фотосхемах и фотопланах (сочетания барханов, застругов, трещин ледников и т. д.); возможность их использования при фотопривязке следует иметь в виду в районах, где обычных ориентиров мало.

В районах с очень малым количеством ориентиров, в том числе с ориентирами, которые маскируются лесом, а также в случаях, когда привязка каркасов к отчетной карте осложнена, допускается замена каркасной аэрофотосъемки на так называемую высотную. Этот вид работ выполняется с нормальным перекрытием на высотах, обеспечивающих масштаб промежуточной основы 1 : 25 000—1 : 50 000. Полученная основа в виде фотосхем может быть использована и в качестве полетной «карты» штурмана. Высотная аэрофотосъемка менее экономична, чем каркасная, и применение ее разрешается только при указанных выше условиях.

§ 97. При прочих равных условиях средняя точность плановой привязки аэромагнитной съемки снижается с увеличением расстояния между ориентирами. Однако непрерывная аэрофотосъемка вдоль линии полета с постоянным заданным интервалом необходима лишь на таких особо ответственных маршрутах, как опорные, повысотные, расчетные (при повторном залете на опорном маршруте производят лишь выборочное фотографирование с интервалом 3—5 км).

На рядовых маршрутах в промежутках между опорными маршрутами нужно выполнять периодическую съемку над ориентирами в масштабах 1 : 200 000 и мельче через 10—15 км, в масштабе 1 : 50 000—1 : 25 000 через 3—5 км, в масштабе 1 : 10 000 через 1 км. В районах с большими градиентами измеряемого физического поля, а также при сложном ветровом режиме интервал между сфотографированными ориентирами рекомендуется уменьшать в 1,5—2 раза. Если работа осуществляется с использованием курсографов, то межориентирные расстояния, наоборот, могут быть увеличены в 2—3 раза. На местности, бедной ориентирами, должны фотографироваться все встречающиеся характерные ориентиры.

При высоте полетов, превышающей 200 м, для надежной регистрации ориентиров в процессе аэромагнитной съемки обычно достаточно одного аэроснимка, в интервале высот 100—200 м — двух снимков, на высотах ниже 100 м необходимо делать серии из двух-пяти аэроснимков (только применение аэрофотоаппаратов типа АФА-Э-36 и АФАГ-17 позволяет и на этой высоте ограничиваться одним-двумя снимками). В горных районах независимо от высоты полета и типа АФА одиночные аэроснимки не рекомендуются.

Перекрытия снимков серии в равнинной безлесной местности должны быть минимальными (около 20 %). В залесенных районах на высотах ниже 200 м рекомендуется увеличивать перекрытие до 40—60 %; в горных районах на всех высотах рекомендуются перекрытия от 60 до 80 %.

§ 98. При работе с фотопривязкой не требуется никаких специальных мероприятий для плановой привязки аномалий: координаты точек максимумов и минимумов аномального поля фиксируются, как и координаты любых других точек маршрута, с точностью, обычно достаточной для организации последующих детализационных аэромагнитных и наземных проверочных работ, а также для целей интерпретации.

Площадную аэрофотосъемку аномальных зон разрешается выполнять в связи с геологическим дешифрированием аэроснимков и для обеспечения детализационных аэромагнитных работ. На полученных площадных фотосхемах могут быть построены карты графиков или изолиний ΔT для передачи в наземные геолого-геофизические отряды, ведущие наземное изучение аномальных зон, обнаруженных аэромагнитной съемкой.

§ 99. Для успешного выполнения фотопривязки на высотах ниже 100 м необходимо: 1) применять быстродействующие аэрофотоаппараты с короткофокусной оптикой и большим захватом местности (полезно располагать их таким образом, чтобы диагональ кадра была ориентирована поперек маршрута); 2) применять вспомогательную основу промежуточного масштаба; 3) фотографировать ориентиры сериями снимков.

При съемке с огибанием рельефа фотоориентиры следует по возможности сближать (интервал 2—5 км) и выполнять серии из трех-пяти аэроснимков в областях перегиба траектории полета самолета.

Если съемка в горах ведется по горизонталям, следует по возможности заменять криволинейные маршруты на ломаные, обязательно пользоваться промежуточной основой, а в особо сложных условиях применять устройства для измерения углов крена и тангажа и специальную методику [8].

Обязанности второго бортоператора (аэрофотосъемщика)

§ 100. В день вылета второй бортоператор (аэрофотосъемщик) * осматривает и проверяет фотооборудование самолета, устанавливает АФА и кассеты, подсоединяет кабель, протирает объектив, надевает светофильтр, заводит и устанавливает по радиосигналу часы. На первом кадре до установки кассеты он делает надпись «начало съемки», указывает номер аэрофильма, дату и район работ.

После взлета аэрофотосъемщик должен включить электрическое питание, открыть заслонку фотолюка, установить выдержку и интервалы и сделать пробные аэроснимки. В полете он следит за местностью, производит фотографирование и регистрирует работу в специальном журнале (прил. 1.5). Входные и выходные ориентиры необходимо фотографировать независимо от их характера. В промежутках между ними аэрофотосъемщик фиксирует характерные контуры по собственному усмотрению, сообразуясь с заданным интервалом между ориентирами. В области пересечения фотокаркасных, а также опорных аэромагнитных маршрутов выполняются серии из двух-пяти снимков привязки независимо от наличия или отсутствия здесь четких ориентиров.

После полета аэрофотосъемщику необходимо закрыть объектив, снять кассету и указать на последнем кадре дату, район работ, номер аэрофильма и номер последнего ориентира, количество аэроснимков. Кассета сдается в лабораторию, документация — начальнику фотоотряда.

В промежутке между полетами в соответствии с техническими инструкциями аэрофотосъемщики производят регламентные работы с АФА, а в нелетные дни участвуют в камеральных работах.

Камеральные работы, документация, отчетность

§ 101. Камеральные работы включают в себя проявление аэрофильмов и контактную печать, подготовку карт с нанесением на них проектных маршрутов и данных визуальной привязки штурмана **, нумерацию негативов и их регистрацию, привязку главных точек аэроснимков к промежуточной основе или сразу к основным картам, оцифровку привязанных главных точек снимков на картах и на аэромагнитограмме с указанием расстояний между ориентирами. При работе с фотокаркасами к указанному перечню добавляется монтаж маршрутных фотосхем. При площадной аэрофотосъемке аномальных участков выполняется монтаж площадных фотосхем и привязка маршрутов детализации аномалий к фотосхемам с последующим переносом маршрутов на топографические карты.

В большинстве районов характер топографической ситуации позволяет проводить фотопривязку по негативам, не изготовляя позитивов (контактных отпечатков на фотобумаге).

Для достижения приемлемой точности фотопривязки главные точки аэроснимков допустимо наносить на окончательные карты с погрешностью не более 0,5 мм, на промежуточную крупномасштабную основу — не более 2 мм ***. Главные точки привязанных аэроснимков соединяют на карте пря-

---

* Далее он именуется для краткости аэрофотосъемщиком.

** Данные визуальной привязки по материалам штурмана используются для облегчения опознавания ориентиров.

*** В сложных случаях, когда визуальный перенос не обеспечивает нужной точности, следует применять строгие приемы с использованием коэффициентов редуцирования и геометрических построений.

мыми линиями; эта линия далее принимается в качестве фактической линии полета. Из аэроснимков каждой серии наносят на карту и отмечают на аэромагнитограмме какой-либо один кадр, центр которого наиболее просто нанести на топографическую основу.

§ 102. Комиссии по приемке полевых материалов предъявляются: 1) топографические карты с нанесенными на них маршрутами аэромагнитной съемки (карта ФЛП по данных фотопривязки), 2) негативы снимков фотосопровождения аэромагнитных съемок, 3) контактные отпечатки, 4) использованные в работе фотосхемы и их репродукции, негативы репродукций и аэронегативы фотокаркасных маршрутов, 5) журналы аэрофотосъемщика, 6) журналы регистрации аэронегативов, 7) журнал фотопривязки или заменяющие его документы, регистрирующие результаты привязки (соответствующие формы см. в приложениях).

По окончании камеральных работ аэронегативы снимков фотосопровождения и отпечатки с них разрешается уничтожать, составив при этом соответствующий акт *. Прочие полевые материалы поступают в фонды учреждений для длительного хранения.

Отходы серебра необходимо собирать и сдавать согласно действующей инструкции Министерства финансов СССР.

§ 103. В окончательном отчете аэромагнитной партии (отряда) должны быть нижеследующие сведения, относящиеся к фотопривязке.

1. Топографическая изученность района работ. Масштабы и качество топографических карт. Площади аэрофотосъемки прошлых лет, кем, когда и в каком масштабе сняты. Наименование организаций, владеющих материалами аэрофотосъемки. Обеспеченность партии (отряда) топографическими картами и материалами аэрофотосъемки прошлых лет.

2. Площадная аэрофотосъемка, проведенная самой партией (отрядом) — координаты и площадь участков, масштаб съемки, назначение.

3. Маршрутная аэрофотосъемка, проведенная силами самой партии (отряда) — схема маршрутов, их протяженность, назначение, масштаб съемки.

4. Перечень и характеристика использованных аэрофотоаппаратов и оборудования.

5. Методика фотопривязки — количество аэроснимков на ориентир на рядовых маршрутах, привязка опорных, повторных и секущих маршрутов, размер перекрытий, выполнялась ли контактная печать, применялись ли и какие именно картографические материалы промежуточного масштаба.

6. Общие объемы выполненных работ.

7 Оценка точности фотопривязки.

3.3.6.2. Радиогеодезическая привязка

Аппаратура

§ 104. Для плановой привязки аэромагнитных данных применяются в основном фазовые разностно-дальномерные системы типа «Поиск», использующие метод низкочастотных биений («Поиск-М», «Поиск-Д», «Поиск-ДМ»). Начато применение импульсных УКВ-систем МИР, рассчитанных на работу в дальномерном и разностно-дальномерном вариантах. Автономная аппаратура ДИСС-ФК, основанная на эффекте Допплера, имеет пока ограниченное применение. В данной инструкции рассматриваются способы работы только с системами типа «Поиск» **.

---

* В фонды на длительное хранение обязательно передаются аэронегативы по опорным, связующим и повторным маршрутам, которые могут потребоваться при внешней увязке в процессе составления сводных карт, а также аэронегативы площадной аэрофотосъемки над аномалиями, рекомендованными для дальнейшего изучения наземными геолого-геофизическими методами.

** Ряд указанных здесь правил и требований распространяется и на работы с другими системами.

ТАБЛИЦА 17. **ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ С ПОМОЩЬЮ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТИПА «Поиск»**

Масштаб съемки	Средняя квадратическая погрешность определения координат пунктов, м	Требуемая точность измерения координат по каждому из двух каналов				Примечание
		В центральной части рабочей зоны		На границе рабочей зоны, в которой $30 \leqslant \gamma \leqslant 150°$		
		м	фазовые циклы	м	фазовые циклы	
1 : 2 500 000	2500	1700	5,5	400	1,2	Данные приведены для системы «Поиск-Д», работающей на частотах 0,45—53 МГц
1 : 2 000 000	2000	1400	5,0	350	1,1	
1 : 1 000 000	1000	700	2,5	180	0,6	
1 : 500 000	500	350	1,2	90	0,3	
1 : 200 000	200	140	0,6	40	0,15	
1 : 100 000	100	70	0,5	18	0,12	Данные приведены для системы «Поиск-Д», работающей в диапазоне на частотах 2,0—2,2 МГц
1 : 50 000	50	35	0,25	—	—	
1 : 25 000	25—50	18	0,12	—	—	
1 : 10 000	15—25	7	0,05	—	—	

Примечание. γ — угол пересечения гиперболических линий положения разностно-дальномерной системы; при проведении съемок масштаба 1 : 50 000 и крупнее рабочая зона должна ограничиваться углами γ в пределах 45—135°.

Выбор радиогеодезической аппаратуры и ее рабочей частоты определяется задачами съемки, размерами и физико-географическими особенностями участка работ, а также экономическими соображениями. Необходимо учитывать данные прил. 3.10 и табл. 17, а также нижеследующие основные характеристики и пояснения.

1. Радиогеодезические системы «Поиск», работающие в средневолновом диапазоне частот, могут применяться над морем и над сушей (вне гор); в горах минимальная высота полетов зависит от расположения станций по отношению к основным элементам рельефа участка работ. Дальность действия систем типа МИР уменьшается с уменьшением высоты (зоны прямой видимости) и при полетах на $H_{ист}=100$ м не превышает 100 км; в связи с этим их применение целесообразно в основном для привязки детальных съемок.

2. Недостатками систем «Поиск» по сравнению с системами МИР являются более высокая стоимость оборудования и его эксплуатации, более сложная организация работ, потребность в большей численности обслуживающего персонала. Наиболее экономичными являются автономные «допплеровские» системы.

3. Системы «Поиск» не дают однозначных результатов без привязки радиогеодезических измерений к строго фиксированным опорным пунктам с известными координатами. Поэтому до начала аэромагнитной съемки и после ее окончания в каждом из съемочных полетов необходим залет на опорные пункты исходной радиогеодезической привязки, кратко именуемые опорными пунктами или ОП. К ним же приходится возвращаться иногда и в середине полета, например, в случае нарушения непрерывности записи приращений фа-

зовых циклов на фазограмме. При залете на ОП выполняется фотографирование. Необходимость прохождения через опорные пункты требует дополнительных затрат летного времени и дополнительных затрат труда вычислителей при обработке радиогеодезических материалов.

Системы МИР обеспечивают однозначность результатов радиогеодезических измерений и могут эксплуатироваться без залета на ОП, однако привязка к ОП позволяет учесть (исключить) временны́е и фазовые задержки сигналов, возникающие в приемно-передающих трактах аппаратуры. Поэтому залеты на опорные пункты и их фотографирование желательны и при работе с системами МИР.

4. Использование систем ДИСС-ФК неприемлемо на криволинейных маршрутах и нежелательно при неровной поверхности, морском волнении. Погрешности определения местоположения самолета при работе с ДИСС-ФК составляют: по дальности 0,3—0,5 % от протяженности маршрута, по уклонению от заданного направления $\pm(15 \div 25)'$.

5. Комплект системы «Поиск» состоит из четырех наземных радиостанций (Р/С) и набортной приемно-измерительной аппаратуры. Станции Р/С 1 и Р/С 2 называются боковыми, станция Р/С 3 — центральной (сдвоенная). Радиостанция Р/С 4, называемая ретрансляционной, кроме радиопередатчика имеет выносное двухканальное приемное устройство. Набортная приемно-измерительная станция содержит трехканальное приемное устройство и двухканальное фазоизмерительное устройство («Поиск-М», «Поиск-Д»). При отсутствии курсопрокладчика в набортную аппаратуру желательно включить счетчик-указатель для экипажа, не входящий в заводской комплект. Система «Поиск-ДМ» дополнительно имеет в набортной станции преобразователь радиогеодезической информации в цифровой код, радиогеодезический курсопрокладчик (РГП) и выносное цифровое репитерное устройство. «Поиск-Д» и «Поиск-ДМ» позволяют производить измерения координат в двух диапазонах частот: коротковолновом (2,0÷2,2 МГц) и средневолновом (0,45÷0,5 МГц).

Основные методические указания по работе с системами «Поиск» *

§ 105. Технологическая схема и примерная последовательность работ с системами «Поиск» приведены ниже.

1. Подготовительные работы:
— проектирование и организация радиогеодезических работ (§ 11);
— выбор места установки базисных станций;
— определение координат антенн базисных станций;
— выбор опорных пунктов радиогеодезической привязки (ОП);
— подготовка радиогеодезических планшетов (обзорного и рабочего) с построением на них проектных маршрутов аэромагнитной съемки;
— построение проектных маршрутов на курсограммах (при работе с РГП);
— установка, настройка и предварительная проверка наземной и набортной радиогеодезической аппаратуры;
— выполнение проверочного радиогеодезического рейса.

2. Работа с аппаратурой «Поиск» в процессе аэромагнитной съемки (выполняется в трех модификациях — пассивная радиогеодезическая при-

---

* Для выполнения радиогеодезических работ в составе геофизических партий создаются радиогеодезические отряды. В случае, если с помощью одной радиогеодезической системы одновременно обслуживаются несколько геофизических партий, создается самостоятельная радиогеодезическая партия. Ряд дополнительных справочных сведений о методике и технике радиогеодезической привязки см. в прил. 16.

вязка, радиогеодезическая привязка с вождением самолета по изофазам, радиогеодезическая привязка с применением радиогеодезического курсопрокладчика РГП):

— предполетная проверка радиогеодезической аппаратуры;
— залет на ОП;
— работа на маршрутах аэромагнитной съемки;
— залет на ОП;
— послеполетное оформление фазограмм.

3. Обработка полевых радиогеодезических материалов:

— предварительная обработка (подготовительные операции, обработка радиогеодезических измерений в полевом журнале, предварительное проложение аэромагнитных маршрутов на рабочих радиогеодезических планшетах);
— окончательная камеральная обработка с вычислением погрешности радиогеодезических измерений и составлением карты ФЛП;
— передача полевых материалов на хранение;
— составление отчета о радиогеодезическом обеспечении аэромагнитных съемок.

Подготовительные работы

§ 106. 1. Базисные станции должны быть установлены так, чтобы обеспечивалось беспрепятственное распространение радиоволн между ними и летательным аппаратом. Станции устанавливаются на почве с хорошей проводимостью, на возвышенных местах и так, чтобы на расстояниях меньше 5—10 км в направлении на район измерений не было возвышенностей, перекрывающих высоту этих станций.

2. Если планируется активное вождение самолета по изофазным линиям (гиперболам), то расположение базисных станций должно быть таким, чтобы в пределах участка съемки изофазы незначительно отличались от прямых линий.

3. Каждая наземная станция устанавливается на ровной площадке размером 50×50 м; на расстоянии не менее 1 км от нее не должно быть линий высоковольтных передач и крупных зданий.

4. Взаимное расположение базисных станций должно обеспечивать максимальную площадь рабочей зоны. Для определения границ рабочей зоны системы «Поиск» используется схема района работ в масштабах 1 : 500 000—1 : 1 000 000 с гиперболическими сетками. Радиогеодезические измерения можно производить в зоне с углами пересечения изофаз в пределах от 30 до 150°; погрешности определения координат растут к периферии этой зоны и при предельных значениях углов (30 и 150°) в 5 раз больше погрешностей на линии базиса.

5. Станции рекомендуется размещать в точках с известными координатами или вблизи геодезических пунктов. В последнем случае определение координат антенн базисных станций выполняется обычными инструментальными геодезическими методами. Там, где триангуляционная сеть сильно разрежена, привязку базисных радиогеодезических станций к геодезической опорной сети можно произвести с самолета радиогеодезическим методом (при масштабе съемки 1 : 50 000 и мельче). При детальных аэромагнитных съемках погрешность определений координат антенн не должна быть выше ±1 м для базисных и 100—200 м для ретрансляционных станций.

6. Точность определения координат точек маршрутов аэромагнитной съемки существенно зависит также от погрешности определения координат опорных пунктов исходной радиогеодезической привязки (ОП), точности их радиогеодезических засечек, а также от взаимного расположения ОП и базисных радиостанций. ОП необходимо располагать на планшете съемки так, чтобы углы видимости базисов из ОП были малы; в этом случае требования к точности определения координат исходного пункта (а также его засечки с воздуха) могут быть значительно снижены.

§ 107. Обзорный радиогеодезический планшет необходимо строить для ориентировки в расположении гиперболических линий положения на съемоч-

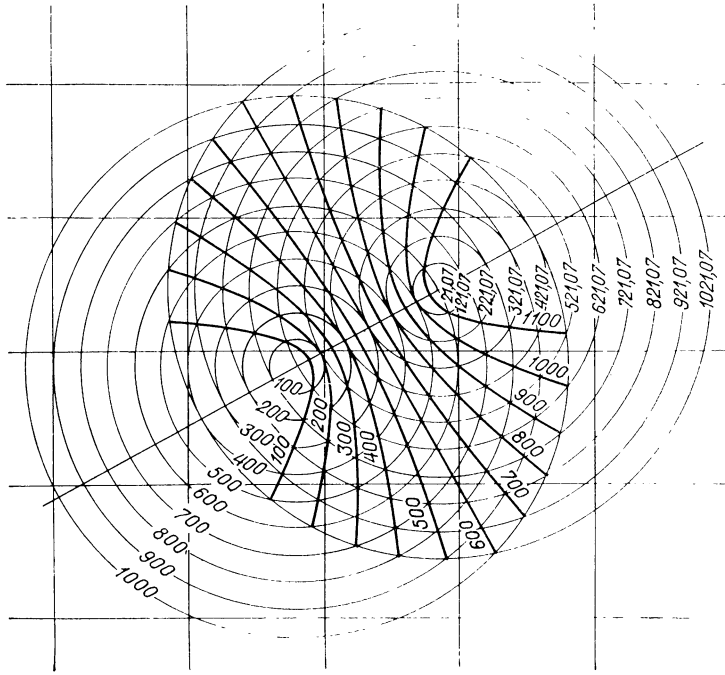


Рис. 4. Схема построения гипербол по семейству окружностей для обзорного радиогеодезического планшета.

ной площади, а также для визуальной оценки соотношения точности определения координат самолета в различных точках участка съемки. Рабочий радиогеодезический планшет является основным документом, с помощью которого осуществляется текущее планирование съемочных полетов и на котором изображаются результаты радиогеодезической привязки маршрутов аэромагнитной съемки. Построение обзорного и рабочего планшетов осуществляется до начала радиогеодезических работ.

Обзорный планшет строят в масштабе в 4—6 раз более мелком, чем масштаб отчетной карты магнитного поля. На него наносят: а) прямоугольную координатную сетку; б) точки расположения наземных радиостанций; в) гиперболическую сетку; г) проектные маршруты съемки; д) опорные пункты исходной радиогеодезической привязки; е) границы съемочной площади.

Нанесение гиперболических сеток на обзорный планшет производят геометрическим способом. Для этого в карандаше через одинаковые интервалы проводят концентрические окружности, центрами которых являются точки установки базисных станций (центральной и одной боковой). Гиперболы проводят как плавные линии, соединяющие точки пересечения окружностей, разности расстояний от которых до базисных станций одинаковы (рис. 4). Интервалы между окружностями принимают равными тому интервалу $2\Delta a$, через который предполагается проводить гиперболы. Интервал $2\Delta a$ между гиперболами можно делать кратным либо километрам, либо линейным эквивалентам фазовых циклов Q:

$$2\Delta a = Q\Delta\varphi; \qquad Q = v/f = \lambda,$$

где $\Delta\varphi$ — разность фазовых циклов; v и f — скорость распространения и частота радиоволн; λ — длина волны.

В общем случае расстояние между базисными станциями не кратно тому интервалу $2\Delta a = Q\Delta\varphi$, через который проводят гиперболы. Поэтому, в случае необходимости действуют в соответствии с прил. 16

Рабочие планшеты нужно изготовлять на жесткой основе (алюминий, авиационная фанера), рамки рабочего планшета наносят черной тушью в одну линию. Черной тушью принято наносить также сетку прямоугольных координат, опорные пункты и выполнять все подписи, относящиеся к ним. Географическую сетку наносят зеленой тушью, гиперболы — красной и синей (для I и II каналов соответственно). Оцифровку этих линий следует производить тем же цветом, каким выполнены линии.

Длина каждой стороны рамки планшета не должна отличаться от заданной больше чем на 0,2 мм, а диагонали — более чем на 0,3 мм. Сетку прямоугольных координат разбивают так, чтобы координатные линии соответствовали целым десяткам километров (для масштабов 1 : 50 000— 1 : 500 000). Расстояния между координатными линиями не должны отличаться от номинальных более чем на 0,2 мм. Если район работ или базисные станции расположены в разных зонах, то производят перевычисление их координат в одну зону; допускается выбор нестандартных зон, что должно быть указано на планшете. Перевычисление координат в принятую 6- или 12-градусную зону выполняют с помощью таблиц для вычисления географических и прямоугольных координат.

Устанавливаются следующие типовые размеры планшетов, см:

Рамки	50×50	60×60	70×70	70×100	80×130
Листы	60×70	70×70	80×80	80×110	100×140

Гиперболические сетки на рабочие планшеты масштаба 1 : 25 000— 1 : 200 000 наносят по прямоугольным координатам точек гипербол, вычисленным на ЭВМ способом, описанным в работе [42], или строят с помощью графопостроителя ЭВМ. Точки соединяют плавными линиями с помощью лекала или гибкой линейки с точностью не ниже 0,3 мм. Географическую сетку и ОП наносят по прямоугольным координатам, выбранным из таблиц координат углов рамок трапеций; контроль производится по расстояниям между опорными пунктами, которые не должны отличаться от вычисленных более чем на 0,3 мм. Проектные маршруты съемки можно наносить на рабочий планшет в карандаше с последующим (по мере их отработки) закреплением ФЛП тушью.

§ 108. При активном способе вождения летательного аппарата по заданным линиям полетов с помощью радиогеодезического курсопрокладчика (РГП) перед началом полевых измерений должна быть проведена подготовка курсограмм, т. е. графическое построение проектных маршрутов аэромагнитной съемки на перфорированную бумажную ленту самописца РГП. Построение проектных маршрутов производят по рассчитанным на ЭВМ гиперболическим координатам точек маршрутов.

Перед графическим нанесением проектных маршрутов на курсограмму должны быть определены: масштабы протяжки курсограммы и карандашей самописца, номера и количество маршрутов, которые должны быть построены на курсограмме, наименования и координаты опорных пунктов радиогеодезической привязки. Масштабы протяжки курсограммы устанавливают так, чтобы графическое изображение маршрутов на курсограмме занимало длину не более 6—7 м. Масштаб перемещения карандаша должен быть таким, чтобы линия проектного маршрута на курсограмме проходила под углом не более 45° к ее продольной оси. Число маршрутов, наносимых на одну курсограмму определяется исходя из нормальной продолжительности съемочного полета.

Подготовка курсограммы начинается с оцифровки ее продольных и поперечных линий в гиперболических координатах. После оцифровки курсограммы на нее наносят маршруты аэромагнитной съемки, используя заранее вычисленные гиперболические координаты точек этих маршрутов. С помощью лекала плавной линией соединяют построенные точки каждого из

маршрутов. На курсограмму должны быть нанесены и опорные пункты исходной радиогеодезической привязки. Проектные точки маршрутов обозначаются кружочками радиусом 4—5 мм, а пункты исходной привязки треугольниками таких же размеров. Каждому нанесенному на курсограмму маршруту, точке маршрута и пункту привязки приписывается соответствующий им номер.

В свободной части курсограмм нужно указать номера нанесенных маршрутов, какой из радиогеодезических каналов оцифрован по длине курсограммы и в поперечном к ней направлении, какие нанесены пункты начальной и конечной привязки (ОП).

§ 109. Подготовка комплекта радиогеодезической аппаратуры должна включать: а) установку мачт-антенн и монтаж аппаратуры наземных станций в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации радиостанций; б) настройку передатчиков; в) установку взаимной радиосвязи между наземными станциями по определенному расписанию; г) настройку задающих кварцев с целью установки разностных частот $\Delta f_1 = 460$ Гц и $\Delta f_2 = 660$ Гц; д) установку фазового зонда на самолете.

Перед началом радиогеодезических измерений необходимо убедиться, что в дневное время в принятых ретрансляционным приемником сигналах отсутствует пространственный луч.

Приемно-измерительная аппаратура монтируется на самолете на специальном столике.

Антенна приемников на самолете должна иметь хорошо развитую горизонтальную часть и располагаться таким образом, чтобы при разворотах самолета ее лучи не экранировались его корпусом. С этой целью антенну самолета изготовляют из нескольких лучей, расположенных вдоль корпуса самолета и его крыльев. Лучи антенны крепятся на штоке (штыре), который устанавливается на самолете вверху вблизи кабины. При большой высоте полета набортная аппаратура может работать также и на выпускную антенну, однако в этом случае центр приема антенны может смещаться.

Установка набортной аппаратуры на летательных аппаратах производится под контролем технической службы авиаотряда в соответствии со схемами размещения, согласованными с главным конструктором летательного аппарата.

§ 110. Во время проверочного радиогеодезического рейса должны выполняться: а) комплексная проверка работоспособности всей радиогеодезической аппаратуры; б) проверка с воздуха наличия и состояния пунктов исходной радиогеодезической привязки; в) проверка уровня сигналов наземных радиостанций в удаленных участках съемочной площади; г) экспериментальное определение координат базисных радиостанций и линейных эквивалентов фазовых циклов. Во время этого рейса проверяется также согласованность работы набортной радиогеодезической, геофизической аппаратуры и АФА (в частности, проверяется синхронность контрольных отметок на лентах аналоговой записи аэромагнитометра и на фазограмме). Если координаты базисных станций определены по картам мелкого масштаба или точность их привязки к пунктам геодезической сети вызывает сомнение, в процессе проверочного рейса производится определение их координат с помощью радиогеодезической системы.

Используя результаты проверочного рейса, старший инженер-геодезист радиогеодезического отряда проводит обработку материалов измерения линейных эквивалентов фазовых циклов и проверку координат базисных радиостанций.

Работа с системой «Поиск» во время съемочных полетов

§ 111. Общая схема работы с радиогеодезической набортной аппаратурой системы «Поиск» в процессе аэромагнитной съемки должна быть такова.

1. Перед каждым вылетом проверяется весь комплекс наземной и набортной аппаратуры, в том числе проверяются и подстраиваются разностные частоты биений. Набортная аппаратура проверяется дополнительно на подлете.

2. Выполняется залет на начальный ОП с отсечкой на фазограмме и ленте аэромагнитометра момента его прохода. Затем осуществляется заход к началу первого маршрута данного дня съемки. По завершении съемки самолет (вертолет) снова выходит на опорный пункт.

Для повышения точности радиогеодезических измерений заходы на опорные пункты могут выполняться дополнительно на протяжении полета. В зависимости от масштаба аэромагнитной съемки засечка пункта может производиться: а) при съемках в масштабе 1 : 200 000 и мельче — на произвольном курсе с визуальной засечкой пункта; б) при съемках масштаба 1 : 100 000—1 : 50 000 — на двух взаимно пересекающихся курсах, проложенных вдоль линий положения радиогеодезических каналов; в) при съемках 1 : 50 000 и крупнее — на произвольном (известном) курсе с фиксацией высоты полета и момента пролета над пунктом с помощью АФА; последующая обработка фотоснимка позволяет определить поправку за неточность прохождения ОП.

Во всех случаях измерений радиогеодезические маршруты (ходá) должны образовывать систему замкнутых полигонов, опирающихся не менее чем на два опорных пункта, расположенные по возможности на значительном удалении друг от друга. Висячие маршруты (ходá) допустимы как исключение и только при условии наличия безупречной записи приращений фазовых циклов на фазограмме.

3. Во время радиогеодезических измерений должна вестись непрерывная запись приращений фазовых циклов на фазограмму. Снятие визуальных отсчетов или их фотографирование (без аналоговой записи фазовых циклов) недопустимо.

§ 112. Радиогеодезические измерения с пассивной привязкой маршрутов допускаются при мелкомасштабных аэромагнитных съемках или над местностью, на которой имеется значительное число характерных ориентиров. При пассивном методе измерений второй бортоператор (радиогеодезист) * выполняет все операции по техническому обслуживанию аппаратуры и записывает в бортовом журнале гиперболические координаты контрольных точек маршрутов и пунктов привязки, а штурман (пилот) осуществляет визуальное управление курсом летательного аппарата.

Разрешается применение двух вариантов активного вождения съемочного самолета (вертолета) по ЗЛП:

1) по изофазным линиям положения;

2) с помощью радиогеодезического курсопрокладчика (РГП).

В первом случае прокладка маршрутов аэромагнитных съемок производится по гиперболическим изофазам; изофазы криволинейны и кривизна их тем больше, чем дальше они удалены от мнимой оси семейства гипербол (середины базиса). По изофазным линиям одного канала осуществляется вождение самолета, т. е. прокладки маршрутов аэромагнитной съемки, а по гиперболам второго семейства определяются гиперболические координаты начальной и конечной точек каждого маршрута. После пролета опорного пункта (ОП) штурман выводит самолет на гиперболический маршрут; пилот удерживает самолет на заданной изофазе до появления цифры гиперболической координаты, соответствующей конечной точке маршрута. После выполнения съемки на всех запланированных маршрутах, работа заканчивается на ОП.

Во втором случае РГП автоматически регистрирует маршрут летательного аппарата по данным поступающей на борт радиогеодезической информации. РГП размещают перед пилотом. До подлета к первому опорному

---

* В дальнейшем в данном разделе он именуется для краткости бортоператором-радиогеодезистом.

пункту карандаш самописца РГП устанавливают в исходное положение в точке курсограммы, соответствующей этому ОП. Над ОП пилот включает следящую систему самописца, выводит самолет на рядовой маршрут аэромагнитной съемки и выполняет полет по маршруту, следя за положением карандаша на курсограмме. При отклонении карандаша от проектного маршрута пилот корректирует курс самолета. Работа заканчивается на одном из ближайших опорных пунктов.

Более детальное описание техники активного вождения самолета с помощью систем типа «Поиск» см. в прил. 16.

§ 113. При работе с системами «Поиск-М» и «Поиск-Д» отчетным полевым материалом является лента графической записи приращений фазовых циклов (фазограмма). При работе с системой «Поиск-ДМ» кроме фазограммы отчетным материалом должна являться также лента цифрового регистратора (магнитного регистратора или перфоратора) и курсограмма. В любом случае радиогеодезических измерений основным отчетным полевым материалом является фазограмма.

Бортоператор-радиогеодезист должен указать на фазограмме время взлета и посадки, номера начального, конечного и промежуточных опорных пунктов, курсы захода на них, начала и концы съемочных маршрутов, вид вождения самолета (визуальное, по изофазам или по РГП), особенности работы аппаратуры. На первых трех лентах, полученных в начале полевого периода и после ремонтных работ, помимо перечисленного нужно указывать номера каналов и знаки приращения фазовых циклов.

Перед сдачей фазограммы бортоператор-радиогеодезист восстанавливает неясные записи, сверяет их с бортовыми журналами; если это необходимо и возможно восстанавливает нечеткие записи циклов. В начале и в конце каждой фазограммы на стандартном штампе (наклейке) бортоператор-радиогеодезист указывает номер ленты, название или номер участка, дату съемки, номера съемочных маршрутов, опорных пунктов, способ вождения самолета, фамилии штурмана и бортоператора-радиогеодезиста и расписывается.

Обработка полевых радиогеодезических материалов

§ 114. Для подготовки материалов к предварительной обработке необходимо подсчитать приращения фазовых циклов по каждому из съемочных полетов и зарегистрировать полученные результаты в полевом журнале, форма которого дана в прил. 16.

Подсчет выполняется от начального ОП к конечному с учетом знаков приращения фазовых циклов и обязательным контролем по обзорным радиогеодезическим планшетам. За начало счета приращения фазовых циклов принимают значение гиперболических координат, кратное единице и близкое (до 0,5 цикла) к теоретически рассчитанному значению координат начального опорного пункта. Все подсчеты необходимо проверить «во вторую руку». Подсчитанные по фазограмме и теоретически вычисленные координаты конечного опорного пункта не должны отличаться более чем на 0,5 цикла. Гиперболические координаты снимаются с фазограммы для перенесения в журнал с помощью палетки с точностью 0,05 фазового цикла.

Обработка радиогеодезических измерений в полевом журнале включает в себя определение поправок и невязки радиогеодезического хода, расчет суммарной поправки и ее распределение.

При проведении детальной аэромагнитной съемки (на высотах ниже 1000 м и на небольших площадях) поправки за положение ретранслятора и за редуцирование на плоскость Гаусса не вводятся ввиду их малости.

Определяют и учитывают две поправки: за неточности засечки опорных пунктов и начала оцифровки, которые принято кратко именовать поправками «за прохождение» и «за начало». Первая учитывает погрешность связанную с тем, что отметки на фазограммах, выполненные в момент прохождения ОП, не всегда точно соответствуют центрам ОП. Она определяется по аэронегативам с помощью специальных палеток (см. прил. 16). Поправка «за начало»

вычисляется как разность между теоретически рассчитанными и исправленными «за прохождение» значениями гиперболических координат начального опорного пункта. В случае нескольких заходов на пункт с разными азимутами для расчетов берут среднее из исправленных «за прохождение» значений координат пункта. Поправка «за начало» должна вводиться во все наблюдения, включая и следующие опорные пункты. В снятые с фазограмм координаты следующего опорного пункта (промежуточного или конечного) вводится также своя поправка «за прохождение».

Разность между теоретически вычисленными координатами конечного опорного пункта привязки (исправленными за неточность его прохождения) и значениями его координат, отсчитанными по фазограмме (с введением поправки за неточное прохождение начального ОП), является невязкой радиогеодезического хода.

Таким образом, поправки «за прохождение» вводятся на первом этапе обработки. Поправки «за начало» и за невязку радиогеодезического хода суммируют. Суммарная поправка на начальном ОП равна поправке «за начало», а на конечном ОП — сумме поправки «за начало» и невязки радиогеодезического хода. Пример обработки радиогеодезического хода приведен в прил. 16.

В тех случаях, когда построение фактических линий полетов по маршрутам аэромагнитной съемки требуется выполнить до обработки радиогеодезических материалов на ЭВМ, маршруты съемки строят на рабочих радиогеодезических планшетах по гиперболическим координатам, полученным в результате обработки радиогеодезических ходов в полевых журналах. Построения выполняются в карандаше. Географические координаты точек маршрутов и расстояния между точками могут быть при этом определены с учетом масштаба рабочего планшета.

После указанной обработки радиогеодезических ходов составляется список гиперболических координат точек маршрутов, которые необходимо перевести на перфокарты или перфоленту для ввода в ЭВМ. При наличии дополнительной записи радиогеодезических данных на ленте цифрового регистратора (магнитофон или перфоратор) данные обработки радиогеодезического хода по фазограмме служат лишь для определения поправки за невязку, которая вместе с поправкой «за прохождение» вводится в программу вычислений на ЭВМ вместе с исходными данными, полученными автоматически.

§ 115. Окончательная камеральная обработка полевых материалов состоит из следующих этапов: 1) вычисление плоских (или географических) координат точек маршрутов; 2) построение точек маршрутов на отчетной карте или планшете; 3) вычисление погрешности радиогеодезических измерений; 4) подготовка отчетных радиогеодезических материалов к сдаче.

Вычисление плоских прямоугольных (или географических) координат точек маршрутов производится на ЭВМ или вручную по значениям измеренных гиперболических координат (исправленных за неточность привязки к опорному пункту и за невязку радиогеодезических ходов) с учетом, если это необходимо, поправок за редуцирование наклонных дальностей на сферическую поверхность, за положение ретрансляционной станции и за приведение измеренных значений на плоскость Гаусса *.

Построение точек маршрутов на отчетной карте и планшете выполняется на этом этапе обработки тушью по прямоугольным координатам точек маршрутов, вычисленным на ЭВМ.

Вычислить погрешность радиогеодезических измерений можно по сопоставлению между собой повторных независимых измерений, по невязкам радиогеодезических ходов, а также на основе сопоставления координат, полученных геодезическими и радиогеодезическими методами для каких-либо пунктов планшета съемки. Расчеты погрешности без привлечения сведений о точных геодезических координатах пунктов местности наиболее объективны

---

* Алгоритм вычислений на ЭВМ прямоугольных координат с учетом всех поправок и программа расчета на ЭВМ «Минск-22», «Минск-32» и БЭСМ-4 приведены в работе [42].

при сопоставлении повторных измерений одних и тех же пунктов, выполненных независимыми ходами, опирающимися на *разные* ОП. В этом случае в погрешность будут включены как случайные погрешности измерений, так и погрешности в определении исходных координат (базисных радиостанций, опорных пунктов), а также погрешности определения линейных эквивалентов фазовых циклов Q_1 и Q_2. При этом средняя квадратическая погрешность вычисляется по обычной формуле (табл. 11) по отклонениям координат x_i и y_i от среднего арифметического их значения. Замыкание радиогеодезического хода на один опорный пункт позволяет вычислить только случайные погрешности измерений, но не дает возможности выявления погрешностей в исходных данных (координат базисных станций, опорного пункта, линейных эквивалентов фазовых циклов).

Передача полевых материалов на хранение и содержание отчета

§ 116. Материалы радиогеодезических измерений передаются на хранение одновременно с материалами аэромагнитной съемки. Сдаются следующие материалы:

1) фазограммы записи приращений фазовых циклов;
2) бортовой журнал второго бортоператора (радиогеодезиста);
3) материалы привязки и вычисления координат базисных станций;
4) ведомости вычисления прямоугольных координат точек гиперболической сетки;
5) рабочие планшеты с гиперболическими и прямоугольными сетками и нанесенными маршрутами аэромагнитных съемок;
6) ведомости вычисления плоских гиперболических координат точек измерений;
7) ведомости вычислений и каталог прямоугольных координат опорных пунктов;
8) ведомости вычисления гиперболических координат опорных пунктов;
9) ведомости аналитического и графоаналитического вычисления прямоугольных координат точек аэромагнитных маршрутов;
10) ведомости контрольных (повторных) измерений.

В отчете об аэромагнитной съемке должна быть отдельная глава о радиогеодезических измерениях, в которой должны быть приведены сведения об использованной аппаратуре, о методике работ, а также о погрешностях определения координат и вождения самолета по заданным линиям полетов.

3.3.6.3. Высотная привязка

§ 117. Регистрация высот полетов обязательна при любом виде и масштабе аэромагнитных съемок. Если работа выполняется с детальным огибанием рельефа, обязательна непрерывная запись истинной высоты $H_{ист}$; данные барометрического высотомера фиксируются периодически в зависимости от условий и задания, но не реже 1 раза на каждом маршруте. При съемке без огибания рельефа, когда полеты осуществляются на постоянной барометрической высоте $H_{бар}$, обязательна тщательная регистрация показаний барометрического высотомера при одновременной непрерывной записи $H_{ист}$; отсчеты $H_{бар}$ записываются на аэромагнитограмме не менее 3 раз на каждом маршруте, а также в точках контроля изобарических поверхностей (§ 118). Если выполняется огибание генерального рельефа, то регистрация высот осуществляется так же, но показания барометрического высотомера дополнительно фиксируется во всех точках перегиба траектории полета самолета. При выполнении съемок на постоянной барометрической высоте и с огибанием генерального рельефа рекомендуется автоматическая непрерывная запись $H_{бар}$. Во всех случаях надежность регистрации высот тщательно контролируется с помощью приемов, описанных в § 118.

Для любого вида съемок измерения $H_{ист}$ достаточно вести с погрешностью не более 0,1 действительной высоты полета над местностью, что практически выполнимо при условии применения тех радиовысотомеров, которые

предусмотрены заводскими инструкциями для данного типа регистратора *, и при соблюдении правил, изложенных в § 118.

При выполнении съемок на постоянной барометрической высоте точность выдерживания заданной высоты и соответственно требования к регистрации $H_{бар}$ зависят от геологического строения района.

Если работы ведутся на большом расстоянии по вертикали от возмущающих объектов (моря и океаны, а также съемки средней точности над глубокими депрессиями, когда результаты магнитных измерений определяются глубоко погруженным фундаментом), допустимы значительные (до ± 50 м) колебания барометрических высот, что позволяет использовать простейшие авиационные барометрические высотомеры с редким контролем их показаний по радиовысотомерам и карте рельефа. При полетах без огибания рельефа на малой истинной высоте над открытыми районами необходимо всеми доступными средствами уменьшать отклонения от заданных высот и увеличивать точность регистрации $H_{бар}$.

Необходимо также учитывать следующее:

1) при резкопересеченной местности радиовысотомеры фиксируют рельеф неточно, с выполаживанием узких выступов и впадин;

2) запись $H_{ист}$ искажается при выпуске и подъеме гондолы аэромагнитометра;

3) погрешность измерений барометрической высоты определяется в основном не приборной точностью измерительных устройств, а изменениями давления во времени и в пространстве (изобарические поверхности имеют сложную и меняющуюся во времени форму).

§ 118. Для обеспечения высокой точности регистрации высот необходимо нижеследующее.

А. Регистрация истинной высоты.

1. Если записи $H_{ист}$ и магнитного поля ведутся на разных регистраторах, обеспечить их синхронизацию не хуже 1—2 с.

2. Если запись выполняется на одной и той же ленте, зарегистрировать и в дальнейшем (при обработке результатов измерений) учитывать взаимное расположение перьев, записывающих $H_{ист}$ и ΔT (в некоторых регистраторах они смещены по продольной оси аэромагнитограммы).

3. Регистрировать положение пера, записывающего $H_{ист}$, при $H_{ист}=0$ (отсчетный нулевой уровень высотограммы).

4. В начале и в конце сезона проверять радиовысотомеры по специальным тестерам.

5. Градуировать запись $H_{ист}$ на наборах высоты и при снижении самолета, записывая на высотограмме показания прибора-индикатора радиовысотомера (ПРВ) и барометрическую высоту по барометрическому высотомеру, предварительно установленному на аэродроме на нуль. Наборы высоты и снижения для целей градуировки выполняют ступенями через интервал 50—100 м.

6. Для снятия отсчетов с высотограммы использовать палетки, построенные по данным градуировки записи $H_{ист}$; палетки в зависимости от типа регистратора могут быть прямолинейными или дугообразными.

Если для первого бортоператора на самолете установлен отдельный радиовысотомер (что крайне желательно), то должно быть проверено отсутствие взаимного влияния двух РВ. Проверка выполняется путем сличения показаний обоих ПРВ при дополнительном контроле по барометрическому высотомеру.

---

* Так, при съемке с КАМ-28 использовать радиовысотомер РВ-2 вместо РВ-УМ допустимо, только если специальной подстройкой схемы обеспечен такой масштаб записи, который обеспечивает выполнение указанного требования.

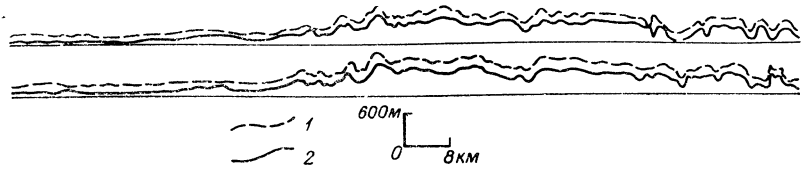


Рис. 5. Графики изменений рельефа по маршрутам, построенные по записи истинной и барометрической высоты (*1*) и по топографической карте (*2*).
Взаимные смещения графиков соответствуют участкам неточной плановой привязки.

Если на высотограмме будут замечены флюктуации, превышающие нормальную погрешность данного радиовысотомера, то необходимо сменить комплект радиоламп, а если это не помогает, заменить прибор. Антенны (диполя) следует осматривать после каждого полета, особенно после оледенения самолета или при работе с каменистых посадочных площадок, так как антенны могут быть повреждены куском льда или камнем.

Б. Регистрация барометрической высоты.

1. Помимо обычных записей $H_{бар}$ (§ 117) систематически записывать показания барометрического высотомера в точках, где известны абсолютные высоты плоских или пологих форм рельефа.

2. При отсутствии точных гипсометрических карт или в качестве дополнительной меры корректировать высотомеры на специальных коротких повторных маршрутах, приуроченных к пологим формам рельефа. Для этого все повторения таких маршрутов производят на прежних истинных высотах, что позволяет заметить и учесть смещение изобарических поверхностей по показаниям барометрического высотомера, отличающимся от первоначальных.

3. Использовать аэроснимки, на которых зафиксированы тень или зеркальное отражение самолета (вертолета); по размерам этого изображения можно определить действительную высоту полета.

Указанные три способа коррекции барометрических приборов частично заменяют специальное метеообслуживание. Расхождения $H_{бар}$, установленные по показаниям на аэродроме (в начале и конце полета) и по контрольным точкам, разбрасываются линейно для учета изменений давления во времени, наклона изобарических поверхностей и отклонений от нормального распределения давления по вертикали. Если пользоваться обычными двухстрелочными высотомерами, устанавливая их на нуль на аэродроме, и не выполнять указанный выше контроль, то можно ожидать, что погрешности в определении $H_{бар}$ будут $\pm(30 \div 50)$ м. Описанные выше приемы снижают погрешность до $\pm(20 \div 30)$ м.

Надежные записи высот позволяют:

1) по записям $H_{бар}$ контролировать точность вождения самолета в заданной плоскости;

2) по записям $H_{ист}$ контролировать постоянство истинных высот при огибании рельефа, определять масштаб аэроснимков, при интерпретации получать глубины объектов относительно поверхности земли, а также контролировать показания барометрических высотомеров и строить схемы изовысот полетов для участка съемки.

Совместная регистрация $H_{ист}$ и $H_{бар}$ дает возможность строить приближенные графики рельефа местности по маршрутам (рис. 5), с помощью которых можно учитывать влияние рельефа сильномагнитных пород на магнитное поле, контролировать точность повторений маршрутов и т. п.

3.3.7. МЕТОДИКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ

3.3.7.1. Маршрутные, детализационные, повысотные съемки и измерения на расчетных маршрутах

§ 119. Правила выполнения маршрутных съемок зависят от условий и задач этих работ. Если маршрутные съемки применяются для получения геологической информации, то обязательно соблюдение всех мер, обеспечивающих высокое качество и сопоставимость результатов измерений магнитного поля: точная планово-высотная привязка, выдерживание постоянных высот полетов и направлений маршрутов (смена направлений только на ориентирах), учет вариаций и девиации, увязка (на основе замыкания маршрутов на начальную точку или с помощью существующих опорных сетей). Маршрутные съемки специального назначения, например для сгущения всесоюзной или создания региональной опорной аэромагнитной сети, предназначенной для внешней увязки (увязки карт), выполняются и обрабатываются по особым правилам (краткие сведения в § 89 и 90). Если маршрутные съемки используются для рекогносцировки, методика работ произвольна.

Результаты маршрутных съемок обычно представляют в виде карт графиков ΔT; погрешность съемки оценивается приближенно по разности значений ΔT в точках замыкания маршрутов или по точкам пересечения с маршрутами других независимых аэромагнитных съемок.

§ 120. Объекты для детализационных, повысотных и расчетных съемок выбираются по данным рядовой съемки с учетом всех доступных геолого-геофизических материалов.

Повысотные (погоризонтные или разновысотные) маршруты выполняются путем повторения одного и того же маршрута (или маршрутов) на разных высотах, которые последовательно удваиваются (например, 100—200—400—800 м). Минимальный интервал высот 50 м. Рекомендуется радиогеодезическая привязка и вождение самолета по РГП.

Для расчетных маршрутов и детализации следует подбирать оптимальную высоту, позволяющую получить неискаженный график ΔT с необходимыми амплитудами аномалий (исходные данные для подбора высот — результаты работ основного масштаба и повысотных измерений). Маршруты повысотных и детализационных работ, а также расчетные маршруты должны, как правило, выполняться на постоянной барометрической высоте вкрест вытянутых и через эпицентры изометрических аномалий; в низких магнитных широтах такие маршруты должны пересекать изометрические тела в меридиональном направлении. При выполнении этих видов съемок необходимо: 1) принимать все доступные меры для обеспечения постоянства высоты полетов, совпадения ФЛП и ЗЛП, а также для точной плановой привязки наблюдений (на расчетных и повысотных маршрутах рекомендуется маршрутная аэрофотосъемка с перекрытиями аэроснимков, равными примерно 20%); 2) обеспечивать особо тщательный учет вариаций δT и выполнять эти съемки при минимальных вариациях и минимальной турбулентности воздуха.

Расчетные, повысотные и детализационные маршруты должны выходить за пределы исследуемой аномалии (или группы аномалий) не менее чем на 3—5 км; желательно, чтобы концы маршрутов выходили в область спокойного магнитного поля. Если аномалии невелики по амплитуде и не вызывают многочисленных переключений диапазонов, указанные съемки рекомендуется вести на максимальной чувствительности прибора.

Результаты детализационных работ представляются в виде карт графиков и изолиний; итоговыми материалами по расчетным маршрутам являются крупномасштабные графики (правила их построения см. в § 33). Повысотные графики строятся друг над другом на расстояниях, пропорциональных разностям высот. Если вождение самолета по ЗЛП осуществляется без РГП, т. е. на основе визуальной ориентировки, то под графиками ΔT повысотных съемок обязательно построение проекций всех маршрутов на горизонтальную

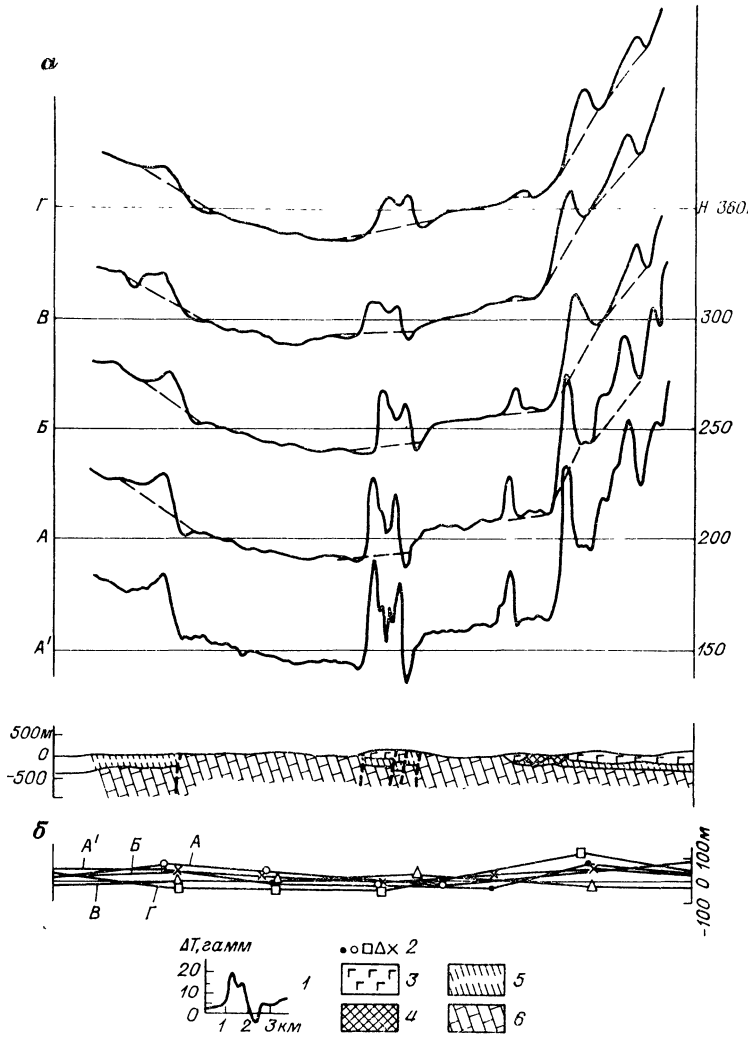


Рис. 6. Рациональная форма представления результатов повысотной съемки.

а — графики ΔT на маршруте повысотной съемки и геологический разрез для данного маршрута; *б* — плановое проложение разновысотных съемочных полетов.
1 — график магнитного поля после учета всех поправок; *2* — ориентиры; *3* — базальты; *4* — девонские отложения; *5* — бокситы; *6* — карбонаты рифея.
Выбор высот в данном примере не соответствовал требованиям данной инструкции

плоскость, причем в направлении, перпендикулярном к оси маршрута, боковые отклонения показывают с укрупнением масштаба (рис. 6); только при этом условии можно судить о допустимости сопоставления ординат графиков, полученных на разных высотах.

На графиках ΔT по расчетным маршрутам должен быть показан рельеф местности и указана средняя истинная высота полета.

3.3.7.2. Двухгоризонтная съемка

§ 121. При отсутствии аэроградиентометров для получения информации о вертикальном градиенте магнитного поля может применяться двухгоризонтная аэромагнитная съемка (ДАС), при которой измерения ΔT производятся одновременно на двух уровнях с помощью двух аэромагнитометров. Основное назначение ДАС — разделение магнитовозмущающих объектов по вертикальной мощности; она используется при детальных съемках в пределах известных или предполагаемых рудных полей и узлов.

ДАС выполняется двумя однотипными аэромагнитометрами, один из которых оборудован компенсатором девиации, а другой приспособлен для выпуска гондолы на гибком трос-кабеле (например АММ-13 в комбинации с АМ-13). Датчик первого (верхнего) магнитометра жестко крепится к корпусу летательного аппарата (например, к хвостовой балке вертолета МИ-4 или к килю самолета АН-2); датчик второго магнитометра (нижнего) буксируется в гондоле *.

Расстояние по вертикали между датчиками (база) должно быть при всех полетах на участке съемки одинаковым, что обеспечивается метками на кабеле. При съемке на вертолете МИ-4 со скоростью 100—110 км/ч и при длине выпускного трос-кабеля 50 м база равна 40±2 м. Сведения о базе съемки, а также о продольном и поперечном отклонениях гондолы можно получить по аэроснимкам.

Для получения приемлемых результатов необходимо:

— перед началом, в середине и в конце сезона тщательно списывать и компенсировать девиацию жестко закрепленного аэромагнитометра;

— градуировку обоих аэромагнитометров проводить *одновременно* двумя кольцами Гельмгольца, подсоединяя эти кольца последовательно к одному градуировочному пульту (необходимо два градуировочных комплекта, в которых используются два кольца Гельмгольца и один градуировочный пульт); желательно иметь кольца с одинаковым модулем;

— при работе с АМ-13 строго проверять и регулировать постоянство диапазонов при работе переключателя АПК; эта проверка выполняется по правилам (описанным в прил. 11) в начале и в конце каждого полета;

— проверять идентичность скорости отработки магнитометров (по форме записи контроля чувствительности);

— метки времени на оба регистратора подавать от одного датчика;

— использовать максимальную скорость лентопротяжки;

— при выполнении съемки на высоте 120 м и выше применять радиовысотомер РВ-3;

— применять радиогеодезические средства плановой привязки и вождения самолета по ЗЛП; фотопривязка допускается лишь в порядке исключения;

— не выполнять полеты при скорости ветра, превышающей 5 м/с;

— оперативный контроль качества работ вести по повторным наблюдениям (КМ, ПМ);

— определять среднюю квадратическую погрешность съемок по обычным правилам (по независимым диагональным секущим маршрутам).

Полевая обработка материалов ДАС заключается в построении графиков ΔT по нижнему и верхнему магнитометрам от одной нулевой линии в единых вертикальных и горизонтальных масштабах. Перед построением графиков обязательно учитывается неидентичность положений перьев магнитного канала и отметок времени (ориентиров) на обеих магнитограммах. При необходимости выполняется построение графиков разности магнитного поля на двух уровнях. Увязка рядовых маршрутов осуществляется по обычным правилам (§ 83—88).

---

* При работе с аэромагнитометрами АМ-13 (АММ-13) может быть применена специальная приставка для записи разности магнитного поля на двух уровнях и горизонтального градиента, разработанная в Новосибирском территориальном геологическом управлении.

Окончательная камеральная обработка материалов ДАС заключается в построении карт (или альбома) графиков и карт изодинам $(\Delta T)_a$ по двум уровням наблюдений, а также карт и графиков разности полей на двух высотах.

Для интерпретации результатов ДАС применяются специальные приемы (см. работу [22]).

3.3.8. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ И НАД АКВАТОРИЯМИ

3.3.8.1. Съемка в низких и высоких широтах, при низких и высоких температурах

§ 122. Для работ в условиях низких температур необходимо:

— утеплить самолет и обеспечить внутренний обогрев пассажирской кабины;

— во всех трущихся деталях приборов обычную смазку заменить незамерзающей;

— при сильных морозах обогревать пассажирскую кабину до вылета аэродромными обогревателями, подающими горячий воздух (необходимо, чтобы полностью исчез иней и отпотевание аппаратуры);

— аэромагнитометры включать заранее (при сильных морозах за 1—1,5 ч до вылета) с питанием от аэродромной сети или автономных электростанций;

— разрядку и зарядку кассет аэрофотоаппаратов производить при температуре, исключающей отпотевание самих кассет и пленки; предельно сокращать время пребывания заряженных кассет в условиях низких температур во избежание обрывов пленки.

Наиболее опасным в процессе съемки в зимнее время является обледенение, которое может вызвать срабатывание тросоруба. Поэтому при возникновении обледенения съемки должны прекращаться. Рекомендуется применять аэромагнитометры с жестким креплением (без выпускной гондолы). Применение выпускного варианта особенно нежелательно при зимних съемках над акваториями.

Методика работ в зимних условиях обычна. Точность съемки, если работы ведутся в пределах температур, разрешенных для используемого типа прибора, не снижается. Плановая привязка осуществляется с такой же точностью, как и летом. Однако для фотопривязки почти всегда обязательно наличие фотокаркасов, выполненных перед съемкой при снежном покрове.

§ 123. В высоких широтах соблюдаются правила учета магнитных вариаций, приведенные в § 25; при низких температурах следуют правилам съемки, указанным в § 122.

В условиях тундры, ледников и прибрежного льда при фотопривязке маршрутов и аномалий необходимо в основном ориентироваться на неповторимые сочетания мелких визуально неразличимых элементов ситуации местности, которые могут отсутствовать на картах. В связи с этим возрастает роль фотокаркасов. Фотопривязка возможна даже по дрейфующему льду и снежным застругам при условии выполнения площадных и каркасных съемок непосредственно перед съемочным полетом.

В Арктике аэромагнитную съемку наиболее целесообразно вести в период с апреля по июнь включительно.

§ 124. В условиях высоких температур нужно принимать меры для исключения перегрева аппаратуры (окраска самолета и гондолы в светлый тон, белые защитные покрывала). Полеты рекомендуются в ранние утренние часы. Кассеты аэрофотокамер по окончании съемки следует снимать и хранить в прохладном помещении, чернильницы и перья регистраторов уносить и промывать.

Вариационные станции также следует тщательно изолировать от перегрева, перепадов и резких градиентов температур. Полезно устанавливать их в землянках, глиняных и саманных постройках.

В условиях пустынь и джунглей следует предусматривать выполнение фотокаркасов или площадных фотосхем, так как непосредственная фотопривязка к ориентирам на карте обычно невозможна. Радиогеодезические станции устанавливают в передвижных вагончиках или домиках, обитых белой жестью.

В районах, для которых характерны периоды тропических дождей, полевые работы относят на сухие периоды. В условиях влажного тропического климата желательно работать с аппаратурой в специальном тропическом исполнении, следить, чтобы на приборах, материалах и документах не появилось плесени, хранить использованные диаграммные ленты, полевые материалы, негативы и результаты камеральных работ в сухом прохладном месте или в крайнем случае часто просушивать. Полезна герметическая упаковка в металлических контейнерах или пластиковых мешках. Неиспользованная аэрофотопленка, особенно цветная или спектрозональная, должна храниться в герметической упаковке в холодильнике при температуре $0 \div +10°$; ее извлекают из холодильника за 1—2 ч до зарядки кассет. Самолеты, приборы и полевые материалы следует оберегать от тропических насекомых (термиты и др.).

3.3.8.2. Съемка в горных районах

§ 125. Методику аэромагнитных работ в горных районах следует выбирать с учетом поставленных задач, масштаба съемки и характера рельефа. В зависимости от перечисленных факторов допускается применение нижеследующих приемов работ.

1. Выполнение съемок в горизонтальной плоскости (в основном при мелко- и среднемасштабных работах). При этом площадь съемки делится на участки примерно однородного рельефа * и съемка на каждом из них ведется на постоянной барометрической высоте, не совпадающей с высотой полетов на других участках. Обязательно взаимное перекрытие на стыках разновысотных съемок.

2. Выполнение съемок с приближенным выдерживанием постоянной истинной высоты:

— с помощью рядовых маршрутов, ориентированных под острым углом к хребтам, с огибанием генерального рельефа;

— ступенями и с односторонним скатыванием;

— «по горизонталям».

Во многих случаях съемки, перечисленные в пункте 2, целесообразно дополнять залетами вдоль долин и хребтов под углом к основным рядовым маршрутам, в том числе вдоль простирания структур и контактов.

В тех случаях, когда при съемке в горах невозможно создать надежную опорную сеть, допускается увязка по повторным маршрутам. Независимые секущие маршруты для подсчета погрешности съемки разрешается делать ломаными. Их необходимо выполнять на высоте пересекаемых рядовых маршрутов и строго контролировать совпадение высот в точках пересечения.

Съемка «по горизонталям» выполняется с применением курсографов **. Важнейшие осложняющие факторы при съемке «по горизонталям» — крены

---

* Количество разновысотных участков на площади съемки не должно быть очень большим, так как при этом осложняется составление сводных карт, снижается их качество (увязка разновысотных полетов по перекрытиям не является строгой и точной операцией) и возрастает стоимость работ (за счет выполнения перекрытий и увеличения числа разворотов самолета на малых участках с короткими маршрутами).

** Типа КПД-1М или курсографов из комплекта комплексных станций АСГ-48-М2 (навигационные индикаторы НИ-50ВМ-2 и НИ-50ВМ-3); для работы с ними созданы специальные приемы, частично описанные в литературе, и палетки (см., например, работу [8]).

самолета (вертолета), влияющие на фотопривязку, и дополнительные девиационные погрешности *.

Сложные системы залета площадей следует применять только при наличии полной уверенности в их преимуществах при решении поставленных перед партией (отрядом) задач в конкретных условиях района съемки. Практика работ с современной точной аэромагнитной аппаратурой показала, что в ряде горных районов поиски полезных ископаемых со сложными системами залета неоправданны и съемка вполне может выполняться на постоянной барометрической высоте. В связи с этим в горных районах рекомендуется выполнение опытных съемок, предваряющих выбор системы залета площадей.

Если средняя высота съемочных полетов над рельефом больше 500 м, то снимки фотосопровождения (для привязки) лучше выполнять аэрофотоаппаратами с фокусным расстоянием объективов, близким к 50 мм. На меньших средних высотах можно использовать и более короткофокусную оптику. Каркасные и площадные съемки допустимо вести только длиннофокусными объективами, так как построить фотосхемы по аэроснимкам, полученным с короткофокусной оптикой, затруднительно.

3.3.8.3. Съемка над акваториями

§ 126. А. Основы методики аэромагнитной съемки одинаковы как при исследовании суши, так и при изучении водных пространств.

Отличия методики работ над акваториями определяются отсутствием ориентиров, а отсюда и сложностью плановой привязки, отсутствием опорных картографических сетей, сложностью учета вариаций. Требования техники безопасности заставляют выполнять полеты над акваториями на самолетах с большой предельной дальностью и длительностью полетов. Учет вариаций и плановая привязка осложняются по мере удаления от суши.

Б. Съемка должна выполняться с протонной или квантовой аппаратурой по системе параллельных и прямолинейных маршрутов на постоянной высоте над уровнем моря (в интервале 300—600 м) и с радиогеодезической плановой привязкой. Обычные масштабы съемки 1 : 100 000—1 : 2 000 000.

Ориентировка маршрутов выбирается по обычным правилам (§ 77). Длина маршрутов может быть большей, чем допускается на суше (§ 78), и определяется размерами участка работ, ресурсом самолета и дальностью подлета к съемочному участку. В случае невозможности выполнения маршрута за один съемочный вылет съемку на нем разрешается выполнять в два приема с перекрытием.

Для увязки сети рядовых маршрутов допускается применение секущих маршрутов или опорных сетей. Секущие маршруты для увязки прокладывают, как правило, однократно в спокойном магнитном поле и увязывают друг с другом по повторным маршрутам. Для расчета средней квадратической погрешности съемки выполняют отдельные (не участвующие в увязке) диагональные секущие маршруты.

В. Учет вариаций выполняется, как правило, по записям МВС; вариационные станции устанавливаются на берегу или на островах (в высоких широтах также на дрейфующих льдах) вне зон береговых эффектов. При больших размерах участков и в северных акваториях применяют несколько МВС, причем их выгодно размещать вблизи радиогеодезических станций. Записи буйковых МВС и МВС, размещенных на дрейфующих льдах, используют по обычным правилам с учетом непостоянства координат таких станций и специфических помех, связанных с волнами, приливами и течениями.

---

* Для учета девиации разработаны и изготовляются самими исполнителями специальные компенсаторы.

При надежной плановой привязке и активном вождении самолета по заданным маршрутам с помощью радиогеодезических средств для учета δT рекомендуется использовать опорные сети, что существенно улучшает качество результатов работ при большом удалении участка съемки от берегов и при наличии береговых эффектов в зоне расположения МВС.

Г. Особенности самолетов, используемых для съемки над акваториями, заставляют уделять большое внимание определению девиационных поправок. Поправки следует определять по обычной методике (§ 69), но с обязательным дву- или трехкратным повторением измерений на восьми курсах и с учетом углов сноса во время этих полетов. При больших поправках за девиацию и отсутствии возможности их уменьшить с помощью компенсаторов ввод поправок в результаты измерений следует осуществлять также с учетом углов сноса, которые отмечались при выполнении рядовых маршрутов. Учет постоянной составляющей девиации выполняется с помощью дополнительного автономного магнитометра.

Д. При проведении съемки над акваториями применение «пассивного» способа вождения самолета запрещается.

В дополнение к обычным радиогеодезическим способам плановой привязки на акваториях применяются импульсно-фазовые радионавигационные системы (ИФРНС) дальнего действия. При работе с системами «Поиск» используют диапазон средних волн, позволяющий вести съемки на расстояниях до 1000 км. Если конфигурация береговой черты не позволяет разместить радиогеодезические станции так, чтобы весь район съемки был охвачен фазовым полем, возможна расстановка радиостанций по системе «Звезда». В этом случае на одном из островов, расположенном в пределах участка, размещается пятая наземная станция системы «Поиск». Такая расстановка позволяет значительно увеличить полезную площадь и, кроме того, расширить участок, где гиперболы пересекаются под большим углом, что повышает точность плановой привязки.

Е. К окончательным отчетам партий (отрядов), выполнявших аэромагнитные съемки над акваториями, помимо обычных карт магнитного поля (§ 31—37) должны прилагаться карты модуля полного вектора T в изолиниях.

Материалы съемок следует представлять дополнительно в специализированные центры сбора информации в установленном порядке.

3.3.9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Общие указания

§ 127. Полный цикл обработки аэромагнитных данных включает в себя следующие нижеперечисленные операции.

А. Основные операции обработки.

1. Определение ординат аэромагнитограмм (значений ΔT) в гаммах с учетом масштаба записей.

2. Приведение первичных графиков ΔT, записанных на аэромагнитограмме в масштабе времени, в масштаб расстояний (учет путевых скоростей по данным плановой привязки).

3. Введение поправок в измеренные значения ΔT и получение графиков исправленных значений $(\Delta T)_{\text{исп}}$ по маршрутам съемки:

$$(\Delta T)_{\text{исп}} = (\Delta T)_{\text{изм}} - П_{\text{н. г}} - П_{\text{д}} - П_{\text{вар}} - П_{\text{ув}},$$

где $(\Delta T)_{\text{изм}}$ — измеренное значение поля; $П_{\text{н. г}}$ — поправка за нормальный градиент; $П_{\text{д}}$ — поправка за девиацию; $П_{\text{вар}}$ — поправка за вариации δT; $П_{\text{ув}}$ — поправка за внутреннюю увязку (в зависимости от способа увязки эта поправка может исключать дрейф, пространственные изменения δT, промышленные помехи, скачки отсчетной линии графиков ΔT разного происхождения и др.).

4. Получение аномальных значений магнитного поля — переход от ΔT к значениям $(\Delta T)_a$ (§ 89—91).

5. Построение карт графиков и изолиний $(\Delta T)_a$ (§ 31—37 и 134).

6. Определение средней квадратической погрешности съемки и погрешности карт магнитного поля (§ 135—137).

Б. Дополнительные операции обработки.

7. Приведение значений ΔT, полученных в результате обработки, к среднему уровню магнитного поля участка съемки.

8. Построение альбомов крупномасштабных графиков $(\Delta T)_a$ или ΔT.

9. Построение повысотных графиков магнитного поля (§ 120), а также карт графиков по материалам детализационных съемок.

10. Расчет и построение карт и графиков различных трансформант.

В. Вспомогательные виды обработки.

11. Построение графиков девиационных поправок.

12. Обработка материалов плановой привязки и построение карт фактических линий полетов (§ 101, 114 и 115).

13. Обработка данных, относящихся к увязке результатов аэромагнитных измерений магнитного поля и получение соответствующих поправок.

На заключительной стадии обработки результатов аэромагнитных измерений выполняется их геологическая интерпретация, методика которой в данной инструкции не рассматривается (некоторые справочные материалы приведены в прил. 4 и 5).

Основные этапы работ при геологическом истолковании аэромагнитных данных обычно таковы.

1. Приближенный пространственный анализ магнитного поля района работ; сопоставление полученных карт и графиков с аналогичными данными по другим районам, с результатами геологических и комплексных геофизических работ, со сведениями о магнитных свойствах пород и руд, с геоморфологией района (так называемая качественная интерпретация).

2. Количественный анализ распределения магнитных полей для геологического районирования, геологического картирования, выявления и прослеживания факторов, контролирующих локализацию полезных ископаемых, а также для выявления аномалий, непосредственно связанных с полезными ископаемыми (на основе статистического анализа особенностей магнитного поля, выявления корреляционных связей магнитного поля с геологическими объектами и структурами, с историей геологического развития, с аномалиями других физических полей по картам и графикам $(\Delta T)_a$ и результатам различных трансформаций).

3. Расчеты элементов залегания и глубин возмущающих тел по отдельным аномалиям, статистический и пространственный анализ результатов массовых расчетов.

4. Анализ детальных и повысотных съемок.

5. Построение уточненных геологических схем и карт, геологических разрезов, карт изоглубин возмущающих объектов и т. п.

6. Разработка геологических выводов и рекомендаций по дальнейшему изучению района аэромагнитных съемок.

§ 128. Основной задачей полевой камеральной обработки является оперативный контроль качества съемки и обеспечение оперативного планирования работ в зависимости от полученных результатов. В поле обязательно выполняются нижеследующие виды обработки.

1. Определение девиационных поправок.

2. Построение карт фактических линий полетов по данным плановой привязки.

3. Обработка результатов повысотных и повторных съемок.

4. Увязка опорных сетей или повторных маршрутов, т. е. средств внутренней увязки рабочих маршрутов.

5. Контрольная обработка результатов внешней увязки выполненной съемки со всесоюзными аэромагнитными опорными сетями.

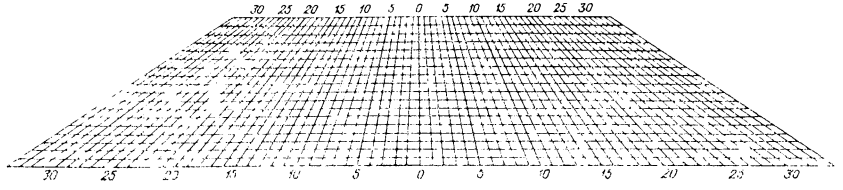


Рис. 7. Универсальная палетка расходящихся линий для разбивки отрезков нулевых линий графиков и шкал палеток на заданное число равных отрезков.

6. Предварительное определение погрешности съемки.
7. Предварительная интерпретация результатов съемки.

Если аэромагнитные съемки сопровождаются наземными, то для наземных отрядов готовят фрагменты карт графиков или изолиний, построенные на фотосхемах или топографической основе. При этом в зависимости от характера заслуживающих внимания аномалий в наблюденные данные вводят все или только самые необходимые поправки.

§ 129. Обработка аэромагнитных данных может выполняться с применением различных средств.

При наличии цифровой записи в виде, удобном для ввода в ЭВМ (перфоленты, магнитные ленты), можно все или часть операций выполнять на ЭВМ. Можно воспользоваться также специальными устройствами, позволяющими перезаписать зарегистрированные в аналоговой форме данные на перфоленту. Разработано несколько систем программ обработки аэромагнитных данных на ЭВМ различных типов. Описания программ опубликованы [40, 42, 55].

При обработке данных на ЭВМ необходимо соблюдение нижеприведенных правил.

1. Обязательны тщательный контроль качества и надежное хранение материалов, предназначенных для ввода в ЭВМ*. Персонал должен уметь читать перфоленты; для контроля магнитофонных лент применяют специальные устройства и магнитные «чернила», делающие запись видимой (прил. 17).

2. При полностью отлаженном процессе автоматической обработки аналоговые записи следует использовать в качестве контрольных и справочных документов.

3. Смысловое содержание алгоритмов обработки должно соответствовать установленным в данной инструкции методическим требованиям. Использование программ, не отвечающих этому условию, запрещается.

4. Результаты машинной обработки подлежат тщательному контролю. Карты, составленные с использованием ЭВМ, должны проверяться и редактироваться (сглаживание, корректировка стыков отдельных фрагментов карт, построенных графопостроителями, и др.).

Для выполнения всего комплекса обязательных операций обработки разрешается комбинировать ручную и машинную обработку.

Для ручной обработки предложены различные палетки и специальные приемы, ускоряющие обработку и повышающие ее точность.

Так, например, для разбивки линии полета на равные интервалы (времени или расстояния) нужно использовать палетки расходящихся линий (рис. 7); операции сложения и вычитания (ввод поправок, исключение осредненных значений) следует осуществлять *графически*, построение графиков выполнять не через постоянный интервал, а *по*

* Особо тщательного хранения требуют магнитофонные ленты; самое лучшее — держать их в холодильнике.

характерным точкам кривой. Тщательное выполнение операций ручным способом при пооперационном контроле обеспечивает результаты не хуже, чем ЭВМ, но с затратой большего времени.

Подготовительные работы при ручной обработке

§ 130. По регистрационному журналу полевых материалов (см., например, прил. 1.10) подбираются все документы, относящиеся к обрабатываемой аэромагнитограмме (вариограммы, бортжурналы, карты).

Далее выполняются описанные ниже операции.

1. Аэромагнитограмма передается фотограмметристам или в радиогеодезическую группу. Фотограмметристы выделяют на ленте те автоматически выполненные отметки экспозиций АФА, которые соответствуют *привязанным* главным точкам аэроснимков, нумеруют их и указывают расстояния между ними (радиогеодезисты оцифровывают свои метки). В результате появляется возможность точного сопоставления любой точки аэромагнитограммы с картой ФЛП по позиционным меткам.

2. Если запись магнитного поля имеет сложный характер, выделяются и анализируются переключения диапазонов, выполняется сглаживание записи с выделением реальных аномалий и исключением флюктуаций (основной критерий — расстояние между полумаксимумами аномалий, вызванных геологическими объектами, не может быть меньше высоты съемки; см. также прил. 13).

3. На аэромагнитограмме цветным карандашом отмечаются характерные точки графика ΔT.

4. На миллиметровку с карт ФЛП в масштабе будущего графика ΔT наносят спрямленную линию полета по маршруту и позиционные метки («ориентиры»), рядом с которыми записывают время их прохождения и присвоенные им номера. В начале и конце построенной линии полета (нулевой линии графика) указывают номер маршрута.

5. На аэромагнитограмме в промежутках между соседними выделенными фотограмметристами отметками экспозиций АФА (ориентирами, например, Ор. 1 и Ор. 2) строят клиновые масштабы в форме прямоугольных треугольников (рис. 8). Один катет такого треугольника, направленный вдоль аэромагнитограммы, равен расстоянию между отметками на ленте прибора, другой (направленный по оси ординат) равен тому же расстоянию на миллиметровке, где строится график ΔT. При радиогеодезической привязке один клиновой масштаб можно строить для нескольких расстояний между позиционными метками, если путевая скорость самолета и скорость движения ленты регистратора в данном интервале менялись незначительно.

6. Для снятия ординат и абсцисс с аэромагнитограммы строят палетки. При работе с клиновыми масштабами палетки имеют две совме-

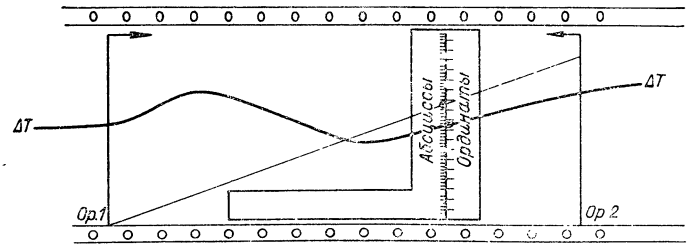


Рис. 8. Применение клинового масштаба и палетки для одновременного считывания абсцисс и ординат.

щенные шкалы: шкалу расстояний (абсцисс графика) и шкалу ординат (ΔT). Если запись регистраторов криволинейна, то применяют палетки с криволинейной шкалой.

§ 131. Подготовка материалов для введения поправок за вариации выполняется в разных вариантах в зависимости от методики учета δT, однако во всех случаях поправки определяются для каждой позиционной метки маршрутов и дополнительно для характерных точек графика δT.

Для снятия ординат с вариограмм готовят специальные палетки, которые выполняются на тонком прозрачном материале с учетом градуировок и оцифровываются в миллиметрах в соответствии с масштабом будущего графика ΔT.

Если вариации учитывают *по одной МВС*, на вариограмму по времени наносят начало, конец и позиционные метки каждого маршрута, а затем размечают характерные точки графика δT. Значения поправок за вариации в гаммах или в миллиметрах ординат (в масштабе строящихся графиков ΔT) считываются с помощью палеток непосредственно с вариограмм. При этом принимаются меры для учета возможной неравномерности развертки вариаграмм (использование автоматических меток времени и разбивка детальной шкалы времени по оси вариограммы).

Если поправки вводят *по группам МВС*, то с учетом положения самолета в пространстве определяют отрезки времени, для которых поправки следует вводить по одной, двум или трем МВС, и в последнем случае — по какому именно треугольнику. Для расчета поправок по двум МВС выполняют простейшую интерполяцию. При расчетах по трем МВС руководствуются правилами, изложенными в прил. 7. Если работа ведется с четырьмя и большим количеством станций, то после перемещения самолета в соседний треугольник расчеты ведутся по соответствующей новой группе МВС и т. д. Для каждого полета полезно строить сводный крупномасштабный график поправок (в масштабе времени) и уже с него переносить поправки на миллиметровую бумагу, на которой строятся графики ΔT*.

§ 132. Подготовка материалов для увязки по опорным сетям начинается с увязки самих опорных сетей (§ 86 и прил. 14 и 15) и оценки надежности всех точек пересечения РМ и ОМ с учетом корректно-

* Несмотря на возможность появления небольших дополнительных погрешностей и необходимость дополнительной работы, построение такого графика выгодно, так как облегчает контроль и не требует повторения расчетов при переобработке материалов съемки.

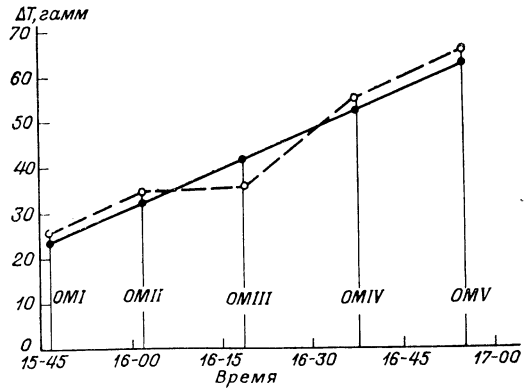


Рис. 9. График поправок за увязку рядового маршрута с пятью опорными маршрутами опорной сети.

Наклонная прямая — осредненный график поправок.

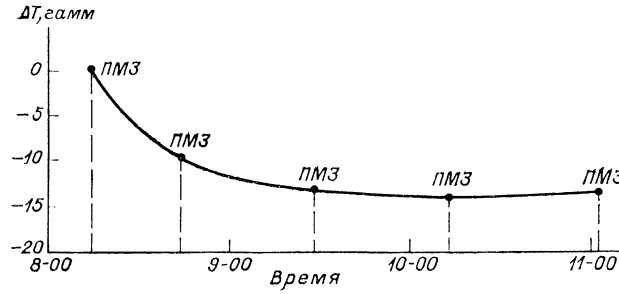


Рис. 10. График изменения отсчетного уровня аэромагнитограммы за время полета по пяти повторным измерениям на маршруте ПМЗ.

сти осреднения графиков ΔT на ОМ, ожидаемой точности плановой привязки, разности высот пересекающихся маршрутов и градиентов ΔT в точке пересечения.

Для повышения точности увязки рядовых маршрутов с опорными сетями при большом количестве опорных маршрутов и соответственно точек пересечения рекомендуется строить для каждого рядового маршрута график поправок. С этой целью по оси абсцисс наносят в произвольном масштабе точки пересечения данного рядового маршрута с опорными, а по оси ординат в этих точках откладывают поправки за увязку; масштаб ординат 2 мм$=m$, где m — заданная погрешность съемки. Получают график, подобный изображенному на рис. 9. График наглядно показывает характер систематических погрешностей и позволяет объективно исключать «выскочившие» точки. Он дает возможность судить о целесообразности непосредственного учета поправки в каждой точке пересечения (при этом нулевая линия графика будет ломаной) либо о необходимости аппроксимировать полученную ломаную прямой или плавной кривой линией. Учет вариаций по ОС требует введения дифференциальной поправки в каждой надежной точке пересечения.

Если увязка выполняется *по повторным маршрутам* (ПМ), то для каждого вылета нужно построить график изменений отсчетного уровня (рис. 10); по оси абсцисс откладывают время каждого залета на ПМ, а по оси ординат соответствующие средние значения ΔT для каждого из этих залетов. Ординаты определяют по магнитограмме относительно ее нулевой линии. Полученные точки соединяют кривой. Если в течение вылета пришлось вести увязку не по одному, а по нескольким ПМ, то график строят аналогично, но с учетом разности уровней использованных ПМ. Для этого используются осредненные графики ΔT, полученные при многократном облете всех ПМ обрабатываемого участка (§ 87).

На полученные указанным способом графики изменений отсчетного уровня каждого вылета по оси времен наносят начальные и конечные ориентиры рядовых маршрутов и определяют для них поправки. При площадной съемке с очень короткими профилями или при весьма незначительных изменениях отсчетного уровня можно вводить средние поправки для каждого маршрута, постоянные по всей его длине (смещение нулевых линий на постоянное значение).

Построение графиков ΔT

§ 133. Операции построения графиков ΔT таковы.

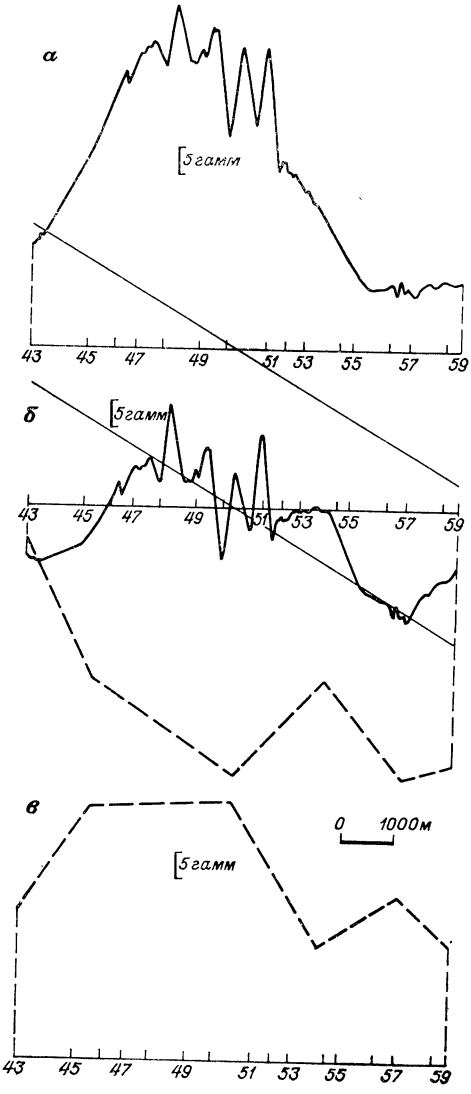
1. Необходимо с помощью графического сложения построить сумму всех вводимых поправок вдоль линии будущего графика, причем так, чтобы ее можно было использовать как отсчетную линию при построении графика ΔT и тем самым исключить эти поправки. Окончательной нулевой линией гра-

фика должна являться линия полета, построенная, как указано выше, на миллиметровке.

Пусть необходимо ввести поправки за нормальный градиент, девиацию и вариации. Сначала строится новая нулевая наклонная линия, отражающая поправку за нормальный градиент с обратным знаком (рис. 11). Эта новая нулевая линия исправляется за девиацию, что во многих случаях выразится в параллельном перемещении отсчетной (нулевой) линии на несколько миллиметров (на рядовых маршрутах площадной съемки принимают, что одному из направлений полетов соответствует нулевая поправка за девиацию). В исправленную за девиацию нулевую линию вводят поправку за вариации. В общем случае это деласт нулевую отсчетную линию криволинейной или ломаной.

2. Вычислитель, строящий график, под диктовку откладывает на миллиметровке с помощью обычной линейки ординаты графика перпендикулярно к первичной (исходной, горизонтальной линии, где нанесены ориентиры), принимая за отсчетный нуль ординат суммарный график поправок. Построенные точки графика соединяют плавной кривой.

В результате указанных действий первичная нулевая линия становится окончательной нулевой линией исправленного графика.



Если увязка выполнялась по повторным маршрутам, то на этом же этапе графически вводят и поправки, связанные с уравниванием нулевых линий. При работе с опорными сетями исправленные за вариации графики ΔT по РМ сопоставляют с графиками ОМ в точках пересечения РМ и ОМ, строят упомянутые вспомогательные графики поправок за увязку для каждого маршрута и по ним графически вводят эти поправки. Если опорная сеть была приведена к окончательному уровню, в частности исправлена за нормальный градиент, то поправки за девиацию и градиент отдельно не вводят.

§ 134. Если на построенных графиках параллельно нулевым линиям провести линии через выбранные для изолиний интервалы, то точки их пересечения с графиком $(\Delta T)_a$, спроектированные на линию полета (нулевую ли-

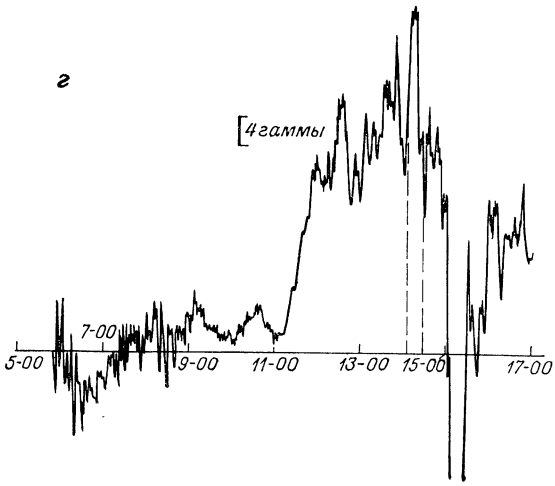


Рис. 11. Графический ввод поправок при построении графика ΔT на миллиметровке.

а — график наблюденного магнитного поля с поправкой за нормальный градиент (поправка показана наклонной линией); *б* — график наблюденного магнитного поля, исправленный дополнительно за вариации δT; внизу показана нулевая линия, от которой откладывались ординаты (суммарная кривая поправок за градиент и вариации); *в* — поправка за вариации на том же маршруте; *г* — запись вариаций δT за время полета; штриховыми линиями выделен отрезок вариограммы, соответствующий рассматриваемому маршруту.
Поправка за девиацию принята равной нулю.

нию графика), будут соответствовать точкам пересечения изолиний с маршрутом. По этим точкам выполняется построение карт изолиний. Для построения карт графиков достаточно построить полученные графики на карте фактических линий полетов. Карты и графики результатов детализационных и повысотных съемок получают аналогичным способом.

Приведение к среднему уровню поля участка, требующийся иногда ввод поправок за вековой ход, а также учет поправок за внешнюю увязку также осуществляют графически на миллиметровке до составления окончательных карт.

3.4. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ АЭРОМАГНИТНЫХ СЪЕМОК И КАРТ

Средняя квадратическая погрешность съемки

§ 135. *Средняя квадратическая погрешность площадной аэромагнитной съемки* m_1 вычисляется по формуле

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i^2}{2(n-1)}}, \qquad (3)$$

где δ_i — разности ординат окончательных графиков ΔT или $(\Delta T)_a$ на рядовых (РМ) и независимых *диагональных* секущих маршрутах (СМ) в точках их пересечения; n — число разностей δ, причем $n > 50$.

Расчеты выполняются раздельно для наиболее спокойных магнитных полей района работ (с градиентами 0—50 гамма/км) и для характерных на данной площади аномальных полей с повышенными градиентами. Соответственно выполняется 2—3 секущих маршрута, пересекающих зоны характерных градиентов *.

Сведения о средней квадратической погрешности съемки, полученные указанным способом, обязательно приводятся в окончательных отчетах аэромагнитных партий (отрядов) с указанием, к каким градиентам магнитного поля они относятся, и не могут быть заменены никакими другими данными.

* 2—3 % от общей длины маршрутов съемки.

Разности ординат δ_i должны вычисляться по крупномасштабным графикам или по первичным полевым материалам после исключения всех поправок (учет вариаций, девиации, увязка и т. п.), причем ординаты измеряются с погрешностью, не превышающей цену 1 мм аналоговой записи аэромагнитометра в гаммах, а при цифровой регистрации — с погрешностью отсчитывания измеренных значений.

Для определения погрешности m_1 недопустимо использовать ни опорные маршруты (ОМ), по которым выполнена увязка, ни совпадающие с ними секущие (съемка по которым не принята во внимание при увязке), ни секущие, проложенные ортогонально к РМ в середине промежутка между соседними ОМ. В первых двух случаях данные о погрешности съемки будут занижены, в третьем завышены по отношению к данным, полученным на диагональных секущих маршрутах.

Диагональные секущие маршруты должны быть во всех отношениях подобны РМ; они должны выполняться на высоте рядовой съемки, с той же методикой плановой привязки, с введением тех же поправок в измеренные значения поля и с аналогичной увязкой: графики ΔT секущих маршрутов увязывают по использованной на участке внутренней опорной сети или по ближайшим ПМ (если рядовые маршруты площадной съемки увязаны по повторным маршрутам). Полеты на СМ следует выполнять при отсутствии интенсивных вариаций.

Практически погрешность аэромагнитной съемки с АММ-13 в средних широтах в полях с малыми градиентами (0—50 гамма/км) варьирует в зависимости от условий в интервале 5—15 гамм, в высоких широтах — в пределах 15—30 гамм. Для протонных приборов в средних широтах она находится на уровне 3—5 гамм (данные для полных значений поля без учета погрешности приведения к среднегодовому уровню). Для квантовых аэромагнитометров КАМ-28 в средних широтах и указанных выше градиентов поля погрешность съемки оказалась в пределах 1—3, в высоких широтах — 1,5—5 гамм.

Дополнительные оценки отдельных видов погрешностей

§ 136. 1. *Средняя квадратическая погрешность двойных равноточных аэромагнитных измерений по одному и тому же маршруту* m_2 определяется по прямолинейным повторным маршрутам (2—3 маршрута общей длиной 30—100 км). Съемка на таких маршрутах выполняется без разрыва во времени на высоте рядовых маршрутов 4 раза в разных направлениях, причем разности ординат, полученные через одинаковый интервал, раздельно для сочетаний одинаково направленных и различно направленных полетов используются для подсчета средней квадратической погрешности m_2 по формуле (3). Разности вычисляются после введения всех покровок в измеренные значения ΔT; ординаты измеряются с точностью до цены 1 мм аналоговой записи аэромагнитометра в гаммах (или с погрешностью отсчитывания).

Полученные при этом значения m_2 не характеризуют погрешность площадных съемок и полезны только для суждения о надежности увязки результатов площадных съемок по повторным маршрутам, а также при некоторых расчетах, связанных с использованием повысотных съемок. В полях с одинаковыми градиентами $m_2 \leqslant m_1$.

2. *Погрешность аэромагнитных измерений* m_3,* позволяющая оценить работу аппаратуры в реальных условиях полета, характеризуется средними квадратическими отклонениями отдельных измерений от осредненной кривой записи (осреднение можно выполнять на глаз).

* Погрешность аэромагнитных измерений m_3 является важным критерием для выделения реальных аномалий (прил. 13). Поскольку погрешность аэромагнитных измерений m_3 заведомо меньше средней квадратической погрешности аэромагнитной съемки m_1, очевидно, что аэромагнитная съемка позво-

Она не зависит от погрешности привязки, постоянной составляющей девиации и почти полностью от вариаций.

3. Для опорных аэромагнитных сетей, состоящих из замкнутых полигонов и увязанных по методу, предложенному во ВНИИгеофизике (§ 86 и прил. 14), средняя *квадратическая погрешность на единицу веса* m_4 определяется по формуле

$$m_4 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2 p_i}{q}},$$

где Δ_i — поправки для отдельных сторон полигонов, полученные при уравнивании опорной сети; p_i — веса сторон; q — число полигонов опорной сети; n — число сторон полигонов во всей системе опорной сети.

Погрешности карт

§ 137. Для расчета *средней квадратической погрешности карт графиков магнитного поля* m_5, полученных по данным аэромагнитной съемки, необходимо:

— построить графики магнитного поля диагональных секущих маршрутов в масштабе аналогичных графиков рядовых маршрутов, имеющихся на карте;

— используя формулу (3), вычислить среднюю квадратическую погрешность m_5 по разностям ординат рядовых и секущих маршрутов в точках их пересечения.

Полученная средняя квадратическая погрешность m_5 выше средней квадратической погрешности аэромагнитной съемки m_1, так как вычисляется по мелкомасштабным графикам магнитного поля, дополнительно искаженным ошибками построения графиков и перенесения их на карту.

Среднюю квадратическую погрешность карт изолиний магнитного поля m_6 вычисляют аналогично; разности δ_i получают, сравнивая значения изолиний с ординатами графиков на диагональных секущих маршрутах в точках пересечения этих маршрутов с изолиниями.

Сведения о погрешностях карт следует приводить раздельно для наиболее спокойных магнитных полей и для участков карты с повышенными градиентами.

В качестве дополнительной характеристики карт изолиний магнитного поля рекомендуется вычислять *среднюю квадратическую погрешность межпрофильной интерполяции* m_7. Этот вид погрешности прежде всего характеризует, насколько соответствует выбранный масштаб съемки характеру (сложности) реального магнитного поля на избранной высоте съемки и насколько соответствует выбранное направление межпрофильной интерполяции действительным простираниям аномалий.

Средняя квадратическая погрешность межпрофильной интерполяции m_7 вычисляется по картам изолиний и графикам магнитного поля секущих маршрутов. Разности δ_i получают для точек, равноотстоящих от смежных рядовых маршрутов (в середине межмаршрутных интервалов), сравнивая ординаты графиков диагональных секущих маршрутов и соответствующие значения поля, полученные для тех же точек путем интерполяции между изолиниями. Для расчета используют формулу (3).

При вычислении всех указанных в данном разделе видов погрешности полезно приводить кривые распределения погрешностей.

ляет выявлять аномалии, амплитуда которых меньше m_1, это часто проявляется в наличии межмаршрутной корреляции таких слабых аномалий при детальных съемках. Погрешность аэромагнитных измерений m_3 для приборов АМП-7 составляет 0,8—1,8, для АМП-3 — 0,5—1,0, для АГС-71СМ — 1,5—3,0 нТл.

4. ГИДРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА *

§ 138. Гидромагнитная съемка (ГМС) — один из видов морских геофизических исследований, имеющий целью изучение рельефа, геологического строения и поисков полезных ископаемых в морях и океанах. С помощью ГМС можно проводить тектоническое районирование фундамента, измерять мощность осадочного чехла и выделять зоны тектонических нарушений. ГМС применяется в комплексе с другими видами геофизических исследований (геоакустических, гравиметрических, сейсмических) и часто дополняется отбором проб грунта и образцов каменного материала, а также измерениями теплового потока Земли.

Рекогносцировочная (профильная, маршрутная) ГМС, как правило, выполняется попутно при переходах судов между портами и районами работ с целью изучения общего распределения магнитного поля по отдельным галсам.

При площадной ГМС измерения следует проводить по регулярной сети параллельных прямолинейных галсов. Площадная ГМС подразделяется на региональную мелкомасштабную (1 : 5 000 000 — 1 : 1 000 000), среднемасштабную (1 : 200 000—1 : 1 000 000) и крупномасштабную (1 : 50 000 и крупнее).

§ 139. Измерения магнитного поля при гидромагнитной съемке выполняются на морских судах с помощью специализированных морских магнитометров, преобразователи (датчики) которых буксируются за судами на тросс-кабеле в специальных водонепроницаемых гондолах. Перечень аппаратуры, необходимой для производства ГМС, содержит:

а) морские магнитометры с буксируемыми датчиками;
б) магнитовариационные станции (МВС);
в) навигационную аппаратуру;
г) аппаратуру для измерения глубины дна.

Для измерений магнитного поля применяются в основном протонные магнитометры, реже квантовые и феррозондовые. Протонные магнитометры пока являются наиболее подходящими для условий морских съемок (стабильность, возможность точных абсолютных измерений). Сведения о наиболее распространенных в СССР морских магнитометрах приведены в прил. 3.11.

До установки на судне магнитометры нужно проверять в лабораторных условиях вдали от источников магнитных помех. Проверке подлежат: 1) надежность работы регистраторов и приборов в целом; 2) цена деления прибора на каждом диапазоне; 3) немагнитность гондолы и кабеля (собственная девиация каждого датчика); 4) герметичность заделки гондол с датчиками. До начала работ и после их завершения в ближайшей обсерватории проводится сверка морского протонного магнитометра с эталонным обсерваторским ядерным магнитометром. Расхождение в показаниях не должно превышать 2—3 нТл.

Морские магнитометры фиксируют модуль полной напряженности магнитного поля T или ее составляющие Z, H, а также D. В отдель-

* Принято сокращение — ГМС.

ных случаях применяют магнитные градиентометры, измеряющие средний градиент модуля полной напряженности T по направлению базы (линии, соединяющей два датчика градиентометра).

В комплект каждого магнитометра входит наборная регистрирующая аппаратура и забортное буксируемое устройство, состоящее из гондолы, преобразователя, предварительного усилителя и трос-кабеля. Из вспомогательной аппаратуры используются осциллографы и звуковые генераторы. Набортные регистрирующие и вспомогательные приборы размещаются обычно в кормовой каюте площадью не менее 10 м²; помещение оборудуется вентилятором, а в случае работы в экваториальных широтах, также и кондиционером. Измерительная аппаратура должна быть заземлена на корпус корабля.

При использовании протонных магнитометров в низких широтах на меридиональных курсах рекомендуется работать торроидальными датчиками и сдвоенными параллельными соленоидальными датчиками, установленными перпендикулярно к оси судна. В высоких и средних широтах применяются соленоидальные датчики.

Для обеспечения непрерывной съемки, особенно в длительном плавании, на каждом судне необходимо иметь два комплекта набортной аппаратуры, две бухты трос-кабеля и три комплекта гондол с датчиками и предварительными усилителями. Все комплекты должны быть взаимозаменяемыми. Второй комплект аппаратуры должен быть полностью подготовлен для работы, с тем чтобы при выходе из строя любого блока магнитометра он мог быть быстро заменен.

§ 140. Перед каждым длительным рейсом нужно опробовать аппаратуру в море и снять девиационную кривую системы гондола — трос-кабель — корабль. Постоянная составляющая девиационной кривой определяется путем сравнения показаний магнитометра на одном из галсов при различной длине буксировочного трос-кабеля. Снятие девиационной кривой обязательно выполняется также при замене гондолы в процессе съемки, при замене или изменении длины буксировочного трос-кабеля и при смене района работ.

Спуск за борт и подъем гондолы производят при скорости судна 4—7 узлов. Гондола буксируется на расстоянии, равном двум длинам судна *.

Измерения магнитного поля, определения координат, скорости и курса судна, а также глубин дна должны быть синхронизированы до 60 с при профильных региональных съемках и до 30 с при детальных площадных съемках. Для синхронизации магнитная и гидрографическая лаборатории соединяются звуковой сигнализацией.

По сигналу вахтенного штурмана на магнитограммах делают отметки о начале и конце галса, об изменении скорости хода судна, об определении места судна, о каждом снятии отсчета глубин с эхолота. Здесь же нужно фиксировать замену приборов, датчиков, предварительных усилителей, кабелей, изменения цены деления (масштаба записи) на регистраторе, возникновение помех, смену вахт. У каждой оперативной отметки записывают время и глубину дна.

В начале каждой ленты нужно приводить данные, указанные в прил. 1.13.

В особых случаях, когда используются магнитометры с визуальным отсчетом, все записи делают в журнале. При этом регистрацию магнитного поля нужно выполнять не реже, чем через 2 км в спокойном поле (градиент меньше 50 гамма/км) и через 500 м в аномальном поле) градиент больше 50 гамма/км). В каждой серии измерений производят и регистрируют не менее трех отсчетов. В случае разброса показаний количество отсчетов увеличивают.

При площадной ГМС выполняются рядовые, секущие, повторные и специальные маршруты (галсы). Рядовые галсы прокладывают ортогонально

---

* При меньшей длине трос-кабеля при обработке приходится вводить поправку за девиацию.

к преобладающему простиранию магнитных аномалий или геологических структур и элементов рельефа дна. При этом следует учитывать, что от ориентировки галса могут зависеть амплитуда сигнала прецессии, девиационные помехи и погрешность привязки. Опорные галсы для увязки рядовых маршрутов прокладывают вкрест последним со стопроцентным повторением и при минимальных вариациях магнитного поля. Повторные галсы служат для увязки рядовых с галсами предыдущих съемок. Специальные галсы выполняются как для определения погрешности съемок, так и с целью получения данных для расчетов элементов залегания источников отдельных аномалий, для определения девиации и т. п.

При ГМС любого масштаба выделяют участки для дальнейшей детализации. Последняя производится короткими галсами до выхода в спокойное («нормальное») поле.

Необходимо учитывать погрешности ГМС, главным образом связанные с вариациями магнитного поля, и погрешности плановой привязки.

Одним из средств приближенного учета вариаций является увязка рядовых галсов по опорным маршрутам. Используются также МВС, расставленные на побережье, на льду, на островах, буях, и донные автоматические станции. Необходимо стремиться, чтобы расстояния от МВС до участка работ были минимальными. Отряды, обслуживающие МВС, должны иметь надежную радиосвязь с судами, выполняющими съемку.

Следует учитывать, что на островах и на побережье континентов в полосе шириной несколько десятков километров вероятно проявление берегового эффекта, который может влиять на записи МВС и на сами результаты ГМС в непосредственной близости от берега. Одним из способов проверки идентичности вариаций в районе работ и в пункте расположения МВС являются повторные наблюдения; различия графиков повторных морских наблюдений сопоставляются с разностью соответствующих по времени ординат вариограммы МВС. Повторные измерения для этой цели выполняют в районе буя с якорем с использованием радиолокаторов и радиогеодезических средств.

При выполнении ГМС наиболее рационально использовать радиогеодезические средства плановой привязки, в океанах — спутниковую навигацию. Привязка на основе сочетания астронаблюдений со счислением пути корабля допустима лишь при некоторых профильных наблюдениях и площадных съемках в самых мелких масштабах.

§ 141. Первичная полевая обработка материалов производится непосредственно в районе работ с целью контроля качества съемки, корректировки намеченных галсов, а также для выбора участков детализации и должна включать:

— оформление полевой документации;

— построение графиков курсовой девиации;

— построение графиков полной напряженности магнитного поля;

— предварительное исключение нормального поля для построения графиков аномального поля;

— составление предварительных карт аномального магнитного поля в графиках;

— составление карт осей магнитных аномалий.

Вертикальный и горизонтальный масштабы графиков магнитного поля выбирают в соответствии с масштабом, погрешностью и задачей съемок; при этом рекомендуется, чтобы цена 1 мм окончательного (отчетного) графика в гаммах была не меньше средней квадратической погрешности съемки. При построении графиков с помощью графопостроителей ЭВМ по данным цифровой регистрации 1 мм ординат графика должен соответствовать инструментальной точности магнитометра.

Исключение нормального поля для получения аномальных значений выполняется по картам нормального поля ИЗМИРАН. Допускается также исключение нормального градиента с помощью аппроксимации графиков магнитного поля прямой наклонной линией, отсекающей на графиках по обе стороны равные площади; эти линии далее рассматриваются как нулевые

отсчетные уровни. Такую операцию нужно выполнять только после увязки маршрутов (галсов) и согласовывать результаты осреднения по всем галсам.

Увязка маршрутов съемки и определение средней квадратической погрешности ГМС выполняются по правилам, разработанным для аэромагнитной съемки.

Окончательная камеральная обработка в целом аналогична обработке аэромагнитных данных.

Основными результативными материалами гидромагнитных съемок являются нижеследующие.

При профильной съемке в длительных трансокеанских рейсах:

— каталог полной напряженности и аномальных значений геомагнитного поля с выборкой значений по каналу цифровой регистрации через 1 мин (что примерно соответствует 1 км при скорости судна 10—12 узлов); каталог представляется, если обработка выполняется на ЭВМ;

— графики аномального магнитного поля, построенные в вертикальном масштабе, близком к масштабу аналоговой записи на регистраторе.

На нулевой линии графиков аномального поля при ГМС необходимо всегда показывать числовые значения снятого нормального поля с интервалом по длине маршрута, позволяющим в случае необходимости точно восстановить полные значения напряженности магнитного поля.

При площадной съемке:

— карты полной напряженности геомагнитного поля в изолиниях;

— карты аномальных значений поля в графиках и изолиниях.

Масштаб карт, как правило, должен соответствовать масштабу съемки.

П1. ФОРМЫ ДОКУМЕНТАЦИИ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Форма П1.1

ЖУРНАЛЫ ЗАПИСЕЙ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЛЕНТ ПРИ НАЗЕМНОЙ МАГНИТНОЙ СЪЕМКЕ

Участок _____

Цена деления _____

Магнитометры М-18, М-23, М-27, М-27М

№ п/п	Дата измерений	Координаты		Время измерений		Температура	Отсчет по шкале	Примечание
		№ профиля	№ точки	ч	мин			

Протонные магнитометры

№ п/п	Дата измерений	Координаты		Время измерений		Отсчет	Примечание
		№ профиля	№ точки	ч	мин		

Магнитометр М-33
(журнал регистрации цифропечатных магнитограмм)

Номер ленты	Дата	Номер		Продолжительность работы	Содержание выполненной работы	Количество физических точек		Ленту сдал оператор	Ленту принял
		прибора	аккумулятора			выполненных	принятых		

Автомагнитометр
(журнал регистрации лент)

Номер ленты	Дата	Номер		Состав выполненных работ	Оператор	Ленту принял	Номер ленты МВС	Примечание
		прибора	машины					

Форма П1.2

ПОЛЕТНОЕ ЗАДАНИЕ

Командиру самолета (вертолета) _____
(тип машины)

бортовой № _____

_____
(наименование подразделения)

_____
(фамилия, имя, отчество)

на выполнение полетов _____
(наименование категории)

в районе _____
(наименование района работ)

в период с «____»_____ по «____»_____19____г.

согласно договору №_____ от «____»_____19____г.

заключенному с _____

_____
(наименование организации)

Состав экипажа:

второй пилот _____

штурман _____

бортмеханик _____

бортрадист _____

бортоператор _____

Обслуживающий технический состав (наземный):

авиатехник (механик) _____

авиамоторист _____

При выполнении съемочных полетов брать на борт представителей Заказчика согласно его заявке.

1. Объем работ по категориям полета

№ п/п	Категории полетов	Объем работ в летных часах	Распределение авиаработ помесячно											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

2. Перечень аэродромов, посадочных площадок, используемых для производства полетов при выполнении задания

№ п/п	Наименование аэродромов	Имеющиеся ограничения

3. Основные аэродромы в районе работ, обеспечивающие производство полетов по выполнению задания: _____

_____

_____

_____

4. Полеты по выполнению задания производить при следующих минимумах погоды: _____

_____

_____

5. Допустимая полетная масса при выполнении _____

_____

(указывается допустимая полетная масса

_____

при выполнении полетов различных категорий)

6. Масса конструкции самолета (вертолета) _____

_____

7. При выполнении полетов устанавливается следующий обязательный порядок связи для экипажа: _____

_____

(указывается обязательный минимум связи, порядок,

_____

сроки, с кем должен поддерживать связь экипаж

_____

при выполнении полетов в районе работ)

8. Метеорологическое обеспечение полетов при выполнении задания в районе работ _____

_____

(указывается порядок метеорологического обеспечения

_____

полетов в районе работ, получение экипажем прогнозов и фактической погоды

_____

в районе работ, при каких условиях разрешается вылет экипажа

_____

при отсутствии данных о погоде и т. д.)

9. Полеты по выполнению задания производятся на основании заявок представителя Заказчика:

_____

(должность, фамилия и инициалы представителя)

Заявки представляются экипажу не позднее

_____

_____

_____

_____

10. Разрешается производство транспортно-связных полетов _____

_____

(указывается назначение полетов по перевозке служебного груза,

_____

должностных лиц и т. д., пункты, между которыми

_____

будут осуществляться указанные перевозки)

11. Дополнительные указания: _____

_____

(зоны с особым режимом полетов в районе работ, пункты)

_____

12. Все полеты производить в строгом соответствии с настоящим заданием, а также наставлениями, инструкциями и приказами, регламентирующими летную и техническую работу в гражданской авиации.

Изменение районов работы, перемена места базирования, маршрутов полетов и других условий задания, вызываемых производственной необходимостью, могут быть сделаны только с моего или моих заместителей разрешения.

13. К месту работ вылететь по получении задания на перелет.

Командир _____

_____ ГА

(наименование подразделения)

_____

(подпись)

«____» _____ 19____ г.

Форма П1.3

Заказчик _____
(полное наименование организации)

ЗАЯВКА НА ПОЛЕТ

№ _____

(выдается представителем Заказчика)

Командиру _____
(авиаотряда, экипажа)

Произведите полет на самолете, вертолете _____
(тип)

«____» _____ 19____ г. в _____ ч _____ мин

Цель полета _____

_____

Маршрут полета _____

_____

Пункты посадок _____

_____

В состав экипажа включите _____

Служебные пассажиры в количестве _____ чел., с правилами по технике безопасности ознакомлены. Список прилагается.

Груз _____
(наименование, масса)

(Если груз относится к категории опасных, его отправку оформить отдельной заявкой, проинструктировать экипаж)

Заявка выдана _____ ч _____ мин «____» _____ 19____ г.

Представитель Заказчика _____
(должность, подпись, фамилия)

М. П.
Заказчика

Заявку получил _____
(подпись, фамилия)

ОТМЕТКА О ВЫПОЛНЕНИИ ЗАЯВКИ

Полет выполнен «_____» _____ 19____ г.

на самолете, вертолете _____ (тип) №_____

Перевезено: служебных пассажиров_____ чел., грузов_____ кг,

коммерческих пассажиров_____ чел.

Налет составляет: по_____ группе _____ ч _____ мин

по_____ группе _____ ч _____ мин

Посадок с подбором _____

Время вылета _____ ч _____ мин Время прилета_____ ч _____ мин

Представитель Заказчика_____ (подпись) (_____ (фамилия))

М. П.
Заказчика

Командир самолета, вертолета _____ (_____)

«_____» _____ 19____ г.

Заявка не выполнена по причинам: _____

_____

_____

_____

Представитель Заказчика_____ (_____)

Представитель авиации_____ (_____)

«_____» _____ 19____ г.

Форма П1.4

Наименование предприятия (ТГУ, трест, институт) _____.

Наименование партии (экспедиции, отряда) _____

Авиаотряд _____

БОРТОВОЙ ЖУРНАЛ ШТУРМАНА №_____*

I. Общие сведения о полете

Дата_____ Участок съемки_____

Вид и масштаб аэромагнитной съемки ** _____

_____

Экипаж самолета № _____

Командир корабля_____ Второй пилот_____

Бортрадист_____ Первый бортоператор_____

Второй бортоператор _____

Аэродром вылета_____ Аэродром посадки _____

Абсолютная высота аэродрома_____ Абсолютная высота аэродрома_____

Время взлета _____ч _____мин Время посадки _____ч _____мин

Метеоусловия в полете *** _____

Заданная высота полета _____

Особые замечания по полету и сведения о причинах прекращения работы при отказных полетах _____

_____

_____

_____

_____

* В полете ведется запись только в тех графах, где стоит буква «п».

** Здесь указывается комплекс работ, характер привязки, характер полета (с огибанием рельефа или на постоянной барометрической высоте), например: «Площадная аэромагнитная 1 : 10 000 и повысотные, фотопривязка, детальное огибание рельефа».

*** Сообщается только о «болтанке», наличии большого сноса и условиях, влияющих на фотопривязку (дымка, туман, осадки), а также видимость в километрах.

II. Сводные данные о выполненной работе

	Подлет и возвращение	Развороты и выходы на маршрут	Технические полеты	Транспортные полеты	Разведка погоды	Прочие несъемочные полеты	Всего без съемки
км							
время							

	Рекогносцировка и экспериментальная съемка	Опорные и секущие маршруты	Повторные съемки	Рядовые маршруты	Погоризонтные и расчетные маршруты	Детальная съемка	Итого съемки
км							
время							

Общее время полета _____

Общая длина полета _____

Штурман _____ (подпись) Командир корабля _____ (подпись)

Первый бортоператор _____ (подпись)

III. Оценка выполненной работы

_____

_____

_____

Начальник аэромагнитной партии (отряда) _____ (подпись)

IV. Данный журнал относится _____

к магнитограммам № _____

к журналу радиогеодезиста № _____

к аэрофильмам № _____

к бортовому журналу аэрофотосъемщика _____

V. Полет на чистовую полетную карту перенес:

Вычислитель _____ (подпись)

Проверка часов _____
(данные проверок)

Допустимые изменения магнитного курса (МК) _____

Номер маршрута «п»	Номер ориентира «п»	Время «п»			МК «п»	Разность времени			Расстояние между ориентирами	Путевая скорость на данном отрезке пути	Примечание «п»
		ч	мин	с		ч	мин	с			

Форма П1.5

Наименование предприятия _____

Наименование партии (отряда) _____

БОРТОВОЙ ЖУРНАЛ ВТОРОГО БОРТОПЕРАТОРА

(АЭРОФОТОСЪЕМЩИКА) №_____

I. Основные данные

Дата и время съемки _____ Второй бортоператор (аэрофотосъемщик) _____

Участок съемки _____ Масштаб аэромагнитной съемки _____

Вид аэромагнитной съемки _____ Высота фотографирования _____

Самолет №_____ Пилот _____ Штурман _____

Первый бортоператор _____

АФА (тип, №) _____ Светофильтр _____

Кассеты №_____ Аэропленка (тип, чувствительность) _____

Условия съемки (освещенность, облачность, дымка) _____

Особые замечания оператора _____

Данному журналу соответствуют: бортовой журнал штурмана №_____,

магнитограмма №_____, высотограмма №_____, фильм №_____

Проверка часов (данные) _____

II. Фотографическое качество аэрофильмов

Номер фильма	Дата проявления	Дефекты	Оценка

Старший фотолаборант _____ (подпись)

III. Оценка залета

Дата	Номер фильма	Характеристика выполненной работы	Оценка

Старший фотограмметрист _____ (подпись)

IV. Заключение начальника партии (отряда)

Начальник партии (отряда)_____(подпись)

V. Данные о фотографировании ориентиров и учет количества аэроснимков

Номер маршрута	Номер ориентира	Описание ориентира	Количество аэроснимков	Выдержка
112	1	Развилка дорог	2	1/60
	2	Озеро	3	1/60
	2а	Тригонометрический пункт	1	1/60
	3	Мост	1	1/60
	4	Островок	2	1/60
	5	Ручей	1	1/60
	6	Острый мыс	3	1/60
	7	Слияние рек	2	1/60
	7а	Озеро	4	1/60
	8	Берег моря	2	1/60
	8а	Остров	4	1/60
	9	Ручей	1	1/60
	10	Озеро и ручей	2	1/60
	11	Перекресток дорог	1	1/60

Общее количество маршрутов _____

Номера маршрутов _____

Количество серий аэроснимков_____

Общее количество аэроснимков_____

Оператор_____(подпись)

Форма П1.6

БОРТОВОЙ ЖУРНАЛ ВТОРОГО БОРТОПЕРАТОРА

(РАДИОГЕОДЕЗИСТА) №_____

Дата_____ Самолет №_____ Способ вождения_____

Маршруты №_____ Партия №_____ Оператор_____

Дата_____

Время начала съемки_____

Время окончания съемки_____

Время, ч, мин	Номер пункта привязки точек маршрутов	Номер отметки на фазограмме	Отсчеты по цифровым счетчикам	Примечание

ЗАПИСИ ОПЕРАТОРА В НАЧАЛЕ МАГНИТОГРАММЫ ДЛЯ ФЕРРОЗОНДОВЫХ ПРИБОРОВ

Предприятие _____

Партия (отряд) _____

Лента № _____ Дата _____

Прибор _____
(тип, номер)

Участок съемки _____

Вид и масштаб съемки _____

Маршруты _____
(заполняется после полета)

Время прогрева прибора _____ Постоянная времени _____
(или скорость записи)

Начальный диапазон _____ Чувствительность _____

Скорость протяжки ленты _____ Дата последней градуировки _____

Средняя высота полета _____

Проверки часов _____

Особые замечания (наличие «болтанки» и др.) _____

_____

Взлет _____ Посадка _____

Подпись первого бортоператора _____
(в скобках четко указать фамилию)

К данной ленте относятся:

бортовой журнал штурмана № _____,

бортовой журнал аэрофотосъемщика № _____, аэрофильм № _____,

ленты МВС № _____, миллиметровки № _____

Форма П1.8

ПРИМЕРНАЯ ФОРМА НАКЛЕЙКИ (ШТАМПА) НА АНАЛОГОВУЮ МАГНИТОГРАММУ ДЛЯ ПРИБОРА КАМ-28 И ПРОТОННЫХ АЭРОМАГНИТОМЕТРОВ

Предприятие (ПГО, трест, институт)_____

Экспедиция_____ Партия (отряд)_____

Лента №_____ Дата_____ Номер прибора_____

Участок_____ Вид съемки_____

Маршруты №_____ Масштаб съемки_____

Высота полетов истинная_____ барометрическая_____

Взлет_____ Посадка_____

Радиоповерки времени _____

Цикл измерений_____ Прочие сведения_____

Лента соответствует: магнитным лентам №_____

лентам МВС (аналоговым) №_____ перфолентам_____

аэрофильму № *_____ бортовым журналам №_____

Бортоператоры _____

Фотограмметрист *_____

Вычислители _____

* Штамп рассчитан на работу с фотопривязкой. При использовании радиогеодезических систем эти позиции соответственно заменяются.

Форма П1.9

ПРИМЕРНАЯ ФОРМА НАКЛЕЙКИ НА АНАЛОГОВУЮ ЗАПИСЬ МВС

Предприятие _____

Экспедиция_____ Партия (отряд)_____

Лента №_____ Дата_____ МВС (тип, №)_____

_____

Место работы _____

Задание _____

Радиоповерки времени _____

Прочие сведения о работе _____

Соответствует: перфоленте №_____, аэромагнитограмме №_____

Операторы_____ Вычислители_____

_____ _____

Форма П1.10

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ МАТЕРИАЛОВ СЪЕМКИ С ПРИБОРОМ КАМ-28

Дата	Участок	Вид работ	Номер						Особые сведения
			аэромагнитограммы		аэрофильма	бортового журнала штурмана	вариограммы		
			с аналоговой записью	на магнитной ленте			с аналоговой записью	на перфоленте	

Форма П1.11

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ АЭРОНЕГАТИВОВ И ОТПЕЧАТКОВ

Дата аэрофотосъемки	Фамилия бортоператора	Номер самолета	Название или номер участка	Номер аэрофильма	Номера аэронегативов в фильме	Количество аэронегативов в фильме	Номера контактных отпечатков	Общее количество контактных отпечатков
14.06.60 г.	Петров А. Н.	55866	Игарский (№ 8)	46	1—310	310	27—109 210—301	82 91
							Всего:	173

Форма П1.12

ЖУРНАЛ УЧЕТА ДАННЫХ ФОТОПРИВЯЗКИ АЭРОМАГНИТНЫХ МАРШРУТОВ И АНОМАЛИЙ

ЗА_____месяц 19__г. ПО_____ПАРТИИ (ОТРЯДУ)

Дата съемки/дата привязки	Номер магнитограммы	Номер аэрофильма	Номер склейки	Отклонения ФЛП от ЗЛП: Всего привязано, км	Отклонения ФЛП от ЗЛП: В том числе: В допуске до___м, км	Отклонения ФЛП от ЗЛП: В том числе: вне допуска, свыше___м: км	Отклонения ФЛП от ЗЛП: В том числе: вне допуска, свыше___м: Номер маршрута (отклонение, м)	Ориентиры: Сфотографировано	Ориентиры: Привязано	Ориентиры: Опознано, %	Средние межориентирные интервалы, км: Заданные проектом	Средние межориентирные интервалы, км: Между снятыми ориентирами	Средние межориентирные интервалы, км: Между привязанными ориентирами	Средние межориентирные интервалы, км: Более 10 км, номер маршрута (интервал, км)	Без фотопривязки: Всего, км	Без фотопривязки: Номер маршрута	Без фотопривязки: Причины	Перезалет брака: Номер маршрута	Перезалет брака: Всего, км	Количество снимков: Всего	Количество снимков: В среднем на 1 ориентир	Данные о секущих, опорных, повторных, детализационных и других специальных маршрутах, общие примечания
24.01/1.06	11	15	2	834	781	53	3 (500) 8 (350) 11 (400) 12 (600)	170	136	80	5,0	5,0	6,0	21 и 20 (45)	26,0	13	Отказ АФА	—	—	255	1,5	

Итого за месяц:

Рабочие маршруты

Секущие маршруты

Повторные маршруты

Детализация

Всего по всем видам полетов

Старший фотограмметрист_____
(подпись)

Форма П1.13

ЗАПИСИ ОПЕРАТОРА В НАЧАЛЕ МАГНИТОГРАММЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГИДРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ

Район работ_____ Тип и номер прибора_____

Название судна_____ Длина трос-кабеля за бортом_____

К времени какого часового пояса приведены наблюдения _____

Координаты, дата и время начала и конца наблюдений_____

_____

Цена деления магнитометра_____

Абсолютное значение нулевой линии магнитограммы_____

Фамилии вахтенных операторов _____

Отметки начальника отряда о просмотре и приемке ленты_____

Подписи вахтенных операторов и начальника отряда _____

Форма П1.14

РАБОЧИЙ ЖУРНАЛ, ЗАПОЛНЯЕМЫЙ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ВАРИАЦИЙ

Участок наблюдений_____ МВС тип_____

Дата_____ №_____

Регистрируемая(ые) компонента(ы) _____

Время		Содержание исполняемой операции	Контролируемая компонента	Характеристика градуировочного импульса		Температура	Отметки о регулировках и неисправностях	Условия регистрации (погода, влажность, возможные источники помех)
ч	мин			сила тока	полярность			

Форма П1.15

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ ВАРИАЦИЙ δT КВАНТОВЫМ МАГНИТОМЕТРОМ М-33

Дата	Номер пункта	Номер прибора	Время включения	Номер аккумулятора	Напряжение	Отметки		Время включения	Номер ленты	Оператор	Примечание
						времени	температуры				

П2. ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МАГНИТОРАЗВЕДКЕ

П2 1. ИЗМЕРЕНИЯ. ВИДЫ, СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И СВОЙСТВА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ *

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Значение физической величины — оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется *числовым значением.*

Истинное значение измеряемой величины — значение, свободное от погрешностей (ошибок).

На практике обычно оперируют с *действительными значениями.*

Действительное значение физической величины — значение, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что может быть отождествлено с истинным.

При измерениях физических величин необходимо различать термины *отсчет и показание.*

Отсчет — число, указываемое индикатором прибора.

Показание — значение физической величины, соответствующее отсчету. Получается в результате умножения отсчета на переводной множитель.

Все измерения осуществляются *измерительными приборами* по выбранному *методу измерений.*

Измерительный прибор — *средство измерений*, предназначенное для выработки сигнала, информирующего о значениях измеряемой физической величины в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Так, согласно этому определению не является измерительным прибором устройство, накапливающее результаты измерений на магнитную пленку и не имеющее других средств сигнализации об измеряемой величине.

Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и *средств измерений.*

Наиболее общим понятием, через которое определяется как *измерительный прибор*, так и метод измерений, является понятие *средства измерений.*

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. Такое определение, в частности, не допускает именования прибором какого-либо проектируемого, испытываемого или используемого для измерений технического устройства без нормирования его метрологических характеристик (макеты, образцы).

Мера — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Примером часто используемой в магнитометрии меры служат кольца Гельмгольца.

Основой всех средств измерения физических величин, и в частности измерительных приборов, являются *измерительные преобразователи.*

Измерительный преобразователь (допустимо сокращение: преобразователь) — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Данный термин введен ГОСТ взамен прежнего хорошо известного специалистам термина «датчик». Поскольку термин «датчик», который постоянно использовался в технической документации и отчетах, изъят из обращения сейчас, замена его термином «измерительный преобразователь» обязательна в документации всех видов.

Любой измерительный прибор характеризуется назначением, принципом действия, особенностями конструкции и метрологическими показателями.

---

* Здесь и далее термины даются на основании ГОСТ 16263—70, ГОСТ 5365—73*, ГОСТ 13377—75, ГОСТ 8.011—72, а также книги [24].

Основными метрологическими показателями прибора (такое сокращение полного термина «измерительный прибор» разрешено ГОСТ) являются: *предельная погрешность показаний, цена деления шкалы, длина (интервал) деления шкалы, диапазон показаний (диапазон измерений), чувствительность* и *вероятность безотказной работы прибора.*

Предельная погрешность показаний — практически наибольшая по абсолютному значению возможная разность между единичным показанием прибора x_n и истинным значением x измеряемой величины:

$$\Delta_{\lim} = \max |x_n - x|_p,$$

где p — заданная вероятность того, что данное абсолютное значение разности x_n и x не будет превышено.

Деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы.

Цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы:

$$\varepsilon = x_{l+1} - x_l,$$

где x_l и x_{l+1} — значения величины, соответствующие отметкам шкалы l и $l+1$.

Цена деления может быть также определена как изменение измеряемой величины, вызывающее перемещение указателя на одно деление (при подвижном указателе и неподвижной шкале).

Как правило, цена деления шкалы превосходит по числовому значению погрешность показаний. Соотношение между $\Delta_{\lim}$ и ε в различных измерительных приборах различное и находится в пределах

$$\frac{\Delta_{\lim}}{\varepsilon} = K_\varepsilon = \frac{1}{5} \div 1.$$

Строгого указания, устанавливающего однозначную связь между предельной погрешностью показаний и ценой деления шкалы, не существует. У многих измерительных приборов $\varepsilon = 2\Delta_{\lim}$ или $4\Delta_{\lim}$.

Длина деления шкалы — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы.

Термины *диапазон показаний* и *диапазон измерений* не идентичны по смыслу.

Диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений. Более важная характеристика прибора, чем *диапазон показаний.*

Чувствительность прибора — отношение изменения сигнала на выходе прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины. В аналоговых приборах, отсчетные устройства которых имеют шкалу и указатель, чувствительность прибора соответствует передаточному отношению $l_{\text{ук (шк)}}/S_{\text{изм}}$, где $l_{\text{ук (шк)}}$ — перемещение указателя при неподвижной шкале (или шкалы при неподвижном указателе), $S_{\text{изм}}$ — изменение измеряемой величины.

Закрепленная ГОСТ трактовка чувствительности не является, однако, общепринятой и вызывает возражения. Следует ожидать уточнения этого термина в ближайшие годы, а пока в тех случаях, когда дается характеристика чувствительности (порога чувствительности) прибора рекомендуется особо обращать внимание на два момента. Во-первых, необходимо указывать, какую собственно чувствительность — прибора в целом, измерительного преобразователя или измерительного механизма (схемы) — имеют в виду; во-вторых, по какой методике определяется характеристика чувствительности (порога чувствительности). Существует определение, трактующее порог чувствительности как такое изменение измеряемой величины, которое вызывает наименьшее изменение его показаний, обнаруживаемое при нормальном для данного прибора способе отсчета.

Вероятность безотказной работы прибора — вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникнет отказа прибора; обычно определяется равенством

$$P_{от}(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t,$$

где λ — параметр потока отказов, т. е. среднее число отказов в единицу времени; t — время работы.

Отказ прибора — событие, заключающееся в нарушении его работоспособности. Признаки (критерии) отказов должны быть четко названы в технической документации на средство измерений.

Иногда в качестве показателя надежности указывается среднее время наработки на отказ при заданной доверительной вероятности.

Прочие метрологические показатели измерительного прибора могут указываться с учетом специфики эксплуатации прибора, особенностей его конструкции и назначения. Некоторые упоминавшиеся в прошлом характеристики утратили сейчас свою обязательность. Например, исключены из обращения сложные термины: «дрейф нуля», «дрейф нуль-пункта», «сползание нуля», «смещение нуль-пункта», получавшие ранее количественное выражение.

Стабильность средства измерений — качество средства измерений, отражающее неизменность во времени его метрологических свойств.

Поскольку нормируемыми характеристиками являются предельная погрешность в нормальных (или рабочих) условиях эксплуатации средства измерений и вероятность безотказной работы (или надежность), названные показатели и обеспечивают возможность оценки стабильности средства измерений.

Для использования средства измерений по назначению и реализации в ходе его эксплуатации ожидаемых (паспортных) метрологических показателей важно единообразие в истолковании таких терминов, как *нормальное значение влияющей величины, рабочая область значений влияющей величины, нормальные условия применения средств измерений, рабочие условия применения средств измерений и предельные условия транспортирования и хранения средств измерений.*

Влияющая физическая величина — величина, не являющаяся измеряемой данным средством измерений (например, температура или влажность для магнитометра), но оказывающая влияние на результаты измерений этим средством.

Нормальное значение (нормальная область значений) влияющей величины — значение (область значений) влияющей величины, устанавливаемое (устанавливаемая) в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида в качестве нормального (нормальной) для этих средств измерений. Обычно область значений влияющей величины, фиксируемая в качестве нормальной, невелика и не охватывает всех возможных при эксплуатации данного средства измерений значений этой величины. Например, в технических условиях на современные квантовые магнитометры область нормальных значений окружающей температуры задается как 20±5 °С; атмосферное давление — 750±30 мм рт. ст. (1000±±40 гПа) и т. п.

Нормальные условия применения средств измерений — условия применения средств измерений, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений.

Рабочая область значений влияющей величины — область значений влияющей величины, устанавливаемая в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида, в пределах которой нормируется *дополнительная погрешность* этих средств измерений. Это значит, что, например, возле верхней границы области рабочих температур магнитометр должен сохранять пригодность для измерений, но нормирование погрешностей при таких температурах будет менее жестким, чем в нормальных условиях.

Рабочие условия применения средств измерений — условия применения средств измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Предельные условия транспортирования и хранения средств измерений — совокупность границ областей значений влияющих величин, при которых возможно транспортирование и хранение средств измерений без изменений их метрологических свойств после возвращения их в рабочие условия.

Геофизическая (и в частности магниторазведочная) аппаратура по условиям эксплуатации делится на десять групп. Области значений влияющей величины при испытаниях приборов каждой группы, а также предельные условия транспортирования и хранения регламентированы ОСТ 41-14—78 [52].

П2.2. КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ И СПОСОБЫ ЕГО ОЦЕНКИ

Всякое измерение осуществляется посредством измерительного прибора по определенному методу измерений.

Точность измерений — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины; зависит как от самого измерительного прибора, так и от метода измерений. О точности измерений принято судить по значениям погрешностей.

В зависимости от того, чем обусловлены погрешности — несовершенством прибора или метода измерений,— они разделяются на инструментальную и методическую погрешности.

Погрешности измерительного прибора (средства измерений) определяются *поверкой*, т. е. сравнением показаний поверяемого прибора с показаниями более точного образцового прибора при измерении ими одной и той же величины. Методические погрешности в каждом отдельном случае имеют свою специфику, и не существует раз и навсегда установленных способов их определения.

Результат измерений должен указываться по форме, предусматриваемой требованиями стандартов. В зависимости от назначения и условий измерения выбирается форма представления результата измерения, определяемая принятым способом выражения точности измерений. Форма представления результата измерений, способы выражения точности и сами показатели точности измерений регламентированы ГОСТ 8.011—72.

Показатели точности — это параметры распределения *систематической* и *случайной составляющих погрешности измерения.*

Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одного и того же значения величины. Математически данная погрешность определяется как разность между истинным значением физической величины и математическим ожиданием оценки типа среднего арифметического.

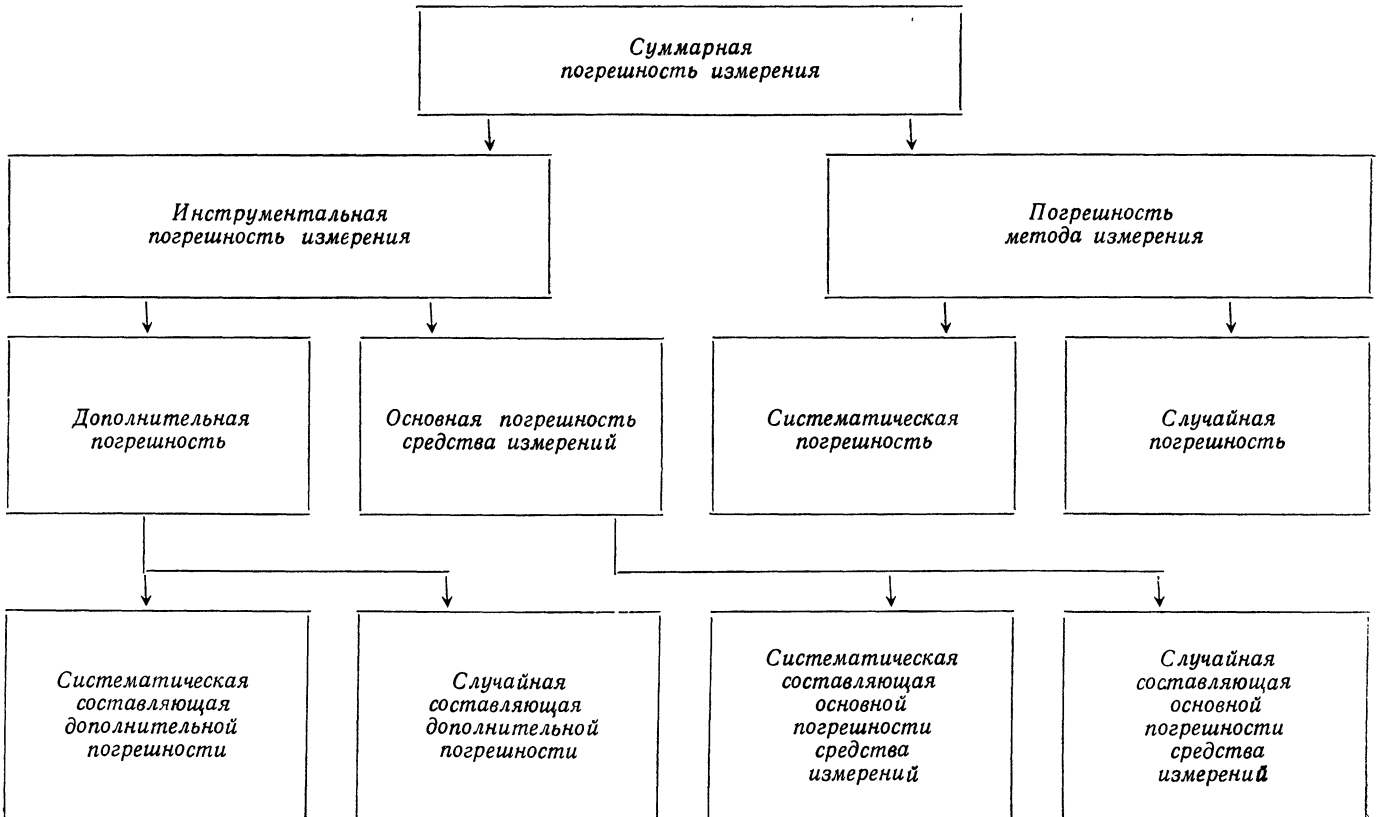
Случайная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одного и того же значения величины.

Суммарная погрешность измерения пока не имеет четкого стандартизированного определения. О смысле этой погрешности дает представление схема (см. с. 167).

Значение суммарной погрешности складывается из составляющих значений, приведенных на схеме. Не каждая из этих составляющих доступна определению в конкретном цикле измерений (например, систематическая погрешность, когда истинное значение величины неизвестно).

Также не всегда поддается учету *дополнительная погрешность*, вызываемая отклонением одной из влияющих величин (см. выше) от нормального значения или выходом за пределы нормальной области значений, например в случае, когда наблюдение за влияющей величиной (влажность, степень вибрации и т. п.) не велось.

СТРУКТУРА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ



Характеристика	Магнитная вариационная станция СМВ-2М (оптико-механическая)	Трехкомпонентная станция ИЗМИРАН-4 (оптико-механическая)	Автоматическая протонная магнитовариационная станция АМВС	Магнитовариационная станция МВС (квантовая)	Квантовый вариометр КМ-5
Измеряемая величина	Или δT, или δZ, или δH	δH, δZ, δD (одновременная регистрация)	δT	δT	δT
Цена деления (или единица счета)	1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0 нТл/мм	2,0 нТл/мм (при настройке дополнительными магнитами до 0,3 нТл/мм)	—	0,125 нТл	—
Диапазон показаний, нТл	±100; ±250; ±500; ±1000	±600	±1000	При цифровой регистрации ±250, при аналоговой ±16	—
Диапазон измерений, нТл	0—120 000	Поле настройки ±5000	0—120 000	35 000—65 000	15 000—70 000
Чувствительность, нТл	—	—	0,5	—	0,1 (режим КПК); 1,0 (режим ДПК)
Виды регистрации	Световая на фотобумаге		Цифровая печать и на перфоленте	Визуальная (на табло), аналоговая на самописце Н-349 и на перфоленте	На типовом самописце (ПС1 или КСП) и на ленте перфоратора ПЛ-150
Продолжительность цикла измерений, с	—	Период собственных колебаний магнитов вариометра 1,5	3; 20; 60	2; 30	1,6 (режим КПК); 10 (режим ДПК)

Продолжение

Характеристика	Магнитная вариационная станция СМВ-2М (оптико-механическая)	Трехкомпонентная станция ИЗМИРАН-4 (оптико-механическая)	Автоматическая протонная магнитовариационная станция АМВС	Магниговариационная станция МВС (квантовая)	Квантовый вариометр КМ-5
Температурный коэффициент, нТл/°С	2,0	1,0	—	—	—
Диапазон рабочих температур, °С	—35 ÷ +50	—	—10 ÷ +40	—	Работает в водной среде (в качестве донной или буйковой МВС)
Возможность ввода измеренных значений в ЭВМ	Нет	Нет	Нет	С перфоленты в «Минск-2», «Минск-22»	С перфоленты в спецпроцессор
Важнейшие части рабочего комплекта	Корпус с измерительным преобразователем, штатив, блок лентопротяжного механизма, пульт управления, кабель, фотокассеты, буссоль-инклинометр	Корпус с оптической системой МВС и домиками чувствительных магнитов, пульт управления, кабель, барабан лентопротяжного механизма	—	Квантовый измерительный преобразователь, тренога, электронный блок, пульт управления, счетно-решающее устройство (РСУ), блок питания РСУ, самописец Н-349, перфоратор ПЛ	Погружаемый измерительный комплекс воспроизведения данных
Питание, потребляемая мощность	От сухих элементов на накал осветителя	От сухих элементов на накал осветителя и калибратор; 0,2 Вт	От аккумуляторных батарей напряжением 24 В; 25 Вт	Сетевое 220 В; 500 В·А	От аккумуляторных батарей; 29 Вт

П3.2. МАГНИТОМЕТРЫ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ СЪЕМОК

Характеристика	Магнитометр М-18	Магнитометр М-23	Магнитометр высокочувствительный М-27	Магнитометр всеширотный М-27М	Магнитометр ядерно-прецессионный М-20	Магнитометр протонный М-32
Измеряемая величина	ΔZ	ΔZ	ΔZ	ΔZ	T; ΔT	T; ΔT
Цена деления или младшая единица цифрового индикаторного устройства, нТл	10	10±0,5	10±0,5	10±0,5	1,0	0,5
Диапазон показаний, нТл	±3000	±3000	±3000	±3000	—	—
Диапазон измерений, нТл	25 000—75 000	20 000—75 000	12 000—84 000	12 000—118 000	35 000—70 000	20 000—100 000
Чувствительность, нТл	2—3	2—3	—	—	—	—
Среднее время наработки на отказ при доверительной вероятности 0,8, ч	Параметр надежности не установлен		630	630	Параметр надежности не установлен	320
Отсчетное устройство магнитометра	Автоколлимационная зрительная трубка с подвижной шкалой и индексом-указателем				Пятидекадное цифровое табло	

Продолжение

Характеристика	Магнитометр М-18	Магнитометр М-23	Магнитометр высокочувствительный М-27	Магнитометр всеширотный М-27М	Магнитометр ядерно-прецессионный М-20	Магнитометр протонный М-32
Диапазон рабочих температур, °С	—35 ÷ +50	—25 ÷ +45	—25 ÷ +45	—25 ÷ +45	0 ÷ +30	—10 ÷ +45
Примерная длительность измерительной операции на точке, с	Менее 60	Менее 60	Менее 60	Менее 60	До 10	5
Комплект магнитометра и масса (без упаковки)	Магнитометр, тренога, буссоль	Магнитометр, тренога, буссоль; 7,4 кг	Магнитометр, тренога, буссоль, 6,5 кг	Магнитометр, тренога; 6,0 кг	Измерительный преобразователь (3,9 кг), измерительный пульт (7,2 кг), блок питания (6,7 кг)	Измерительный преобразователь с треногой (4,0 кг), пульт управления (9,0 кг), блок питания (4,0 кг)
Питание, потребляемая мощность	—	—	—	—	От аккумуляторной батареи напряжением 24 В и двух сухих элементов по 1,5 В	От аккумуляторной батареи напряжением 15 В; 35 Вт

П3.3. МАГНИТОМЕТРЫ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ И ПРЕЦИЗИОННЫХ НАЗЕМНЫХ СЪЕМОК

Характеристика	Магнитометр «Жеометрикс» G-816	Квантовый магнитометр М-33
Измеряемая величина	T; ΔT	T; ΔT
Цена деления или младшая единица цифрового индикаторного устройства, нТл	1,0	0,1; 1,0
Систематическая погрешность измерения T	—	Во всем диапазоне измерений не более ±35 нТл
Диапазон измерений, нТл	20 000—90 000	20 000—80 000
Примерная продолжительность одного измерения, с	6	1,5
Время наработки на отказ при доверительной вероятности 0,8, ч	—	630
Время ввода в режим измерений, мин	До 5	40
Дополнительная температурная погрешность, нТл/°С	—	0,2
Диапазон рабочих значений температур, °С	0 ÷ +50 для аккумуляторов; —40 ÷ +85 для измерительного тракта	—10 ÷ +40
Отсчетное устройство и регистрация показаний магнитометра	Цифровая индикация на пятиразрядном табло	Цифровая индикация на пятиразрядном световом табло; основной вид регистрации — цифропечать на бумажную ленту
Комплект магнитометра	Измерительный преобразователь, контрольно-измерительный блок, складной штатив, измерительные кабели (короткий и длинный), портупея, батарея из щелочных и угольно-цинковых элементов; масса источника питания 5,4 кг	Измерительный преобразователь, измерительно-регистрирующий блок, блок аккумуляторов, кабель, подвеска ранцевая; масса в зависимости от источника питания 9,5—12 кг
Питание магнитометра	От 12 угольно-цинковых элементов напряжением по 1,5 В и 12 щелочных элементов по 1,5 В	От аккумуляторных батарей напряжением 6 В
Потребляемая мощность, Вт	35	15

П3.4. АППАРАТУРА ДЛЯ АВТОМАГНИТНЫХ СЪЕМОК

Характеристика	Автомагнитометр МСС-1	Автомагнитометр МСС-М	Квантовый автомагнитометр ММА-301
Измеряемая величина	T; ΔT	T; ΔT	T; ΔT
Младшая единица цифрового индикаторного устройства, нТл	1	0,1; 1	0,1; 1
Инструментальная погрешность (среднее квадратическое отклонение результата измерений на месте), нТл	3	0,3	Не более $\pm 0{,}2$ при работе на шкале максимальной чувствительности (0,1 нТл); не более $\pm 1{,}5$ при работе на другой шкале
Диапазон измерений, нТл	30 000—70 000	20 000—80 000	20 000—80 000
Девиационные помехи при повороте на 360°, нТл	60—100	До 25	Не более 25—30
Автомобиль-носитель	ГАЗ-69 с немагнитным прицепом		ГАЗ-69 или УАЗ-469 с немагнитным прицепом
Рабочие условия	—10 ÷ +40 °С; влажность до 98%; предельно допустимый градиент измеряемого поля 250 нТл/м	—10 ÷ +40 °С; влажность до 98%; предельно допустимый градиент измеряемого поля 5000 нТл/м	—30 ÷ +40
Виды регистрации	Цифропечать в десятичном коде на бумажной ленте	Цифропечать в десятичном коде на бумажной ленте и визуальная по цифровому индикатору	Шестизначным десятичным числом на визуальном индикаторе; пятизначным десятичным числом на бумажной ленте цифропечатающего механизма
Максимальная съемочная скорость, км/ч	15	30	—
Питание автомагнитометра	Борт-сеть автомобиля, 12 В		Борт-сеть автомобиля, 11—15 В
Потребляемая мощность, не более	100 Вт	50 Вт	50 В·А

Характеристика	Аэромагнитометры феррозондовые АМ-13 и АММ-13	Аэромагнитометр феррозондовый АМФ-21 (магнитный канал комплексных аэрогеофизических станций АСГ-46, АСГ-48М и АСГ-48М2)	Аэромагнитометр протонный с динамической поляризацией рабочего вещества АМП-7
Измеряемая величина	ΔT	ΔT	T
Диапазон измерений, нТл	30 000—70 000	30 000—70 000	40 000—80 000
Погрешность отсчитывания, нТл, или цена 1 мм аналоговой записи, нТл/мм	2,0; 10,0	5,0; 25,0	0,5; 10
Продолжительность цикла измерений, с	Измерения непрерывные	1,5; 0,75	Дискретные измерения через 0,8 с (время измерения 0,73 с)
Диапазон рабочих значений температур, °С	Для гондолы $-35 \div +55$; для блоков, установленных в самолете, $-15 \div +55$	$-15 \div +55$	$-20 \div +40$
Виды регистрации	Аналоговая в прямолинейной системе координат	Аналоговая криволинейная	Визуальная (световое табло), цифро-графическая
Особенности крепления гондолы с измерительным преобразователем	Выносная гондола буксируется на кабеле (АМ-13) либо крепится на киле самолета или на балке вертолета (АММ-13)	Жесткий вариант крепления на киле самолета или балке вертолета	Выпускная гондола (длина кабеля до 30 м) или жесткий вариант крепления на штанге (на Ил-14П)
Масса аппаратуры, кг	150 (АМ-13), 250 (АММ-13)	150	270 (выпускной вариант) и 100
Потребляемая мощность, Вт	500	1000 (вся станция)	600 (выпускной вариант) и 400
Применяемые летательные аппараты	Ан-2, Ми-4, Ил-14	Ан-2, Ми-4	Ан-2, Ми-4, Ил-14, Ил-14П
Годы выпуска	1960 (АМ-13), 1962—1973 (АММ-13)	1962—1963	1971—1973

Продолжение

Характеристика	Аэромагнитометр ядерно-прецессионный ЯМП-3	Протонный магнитный канал комплексной аэрогеофизической станции АГС-71СМ	Аэромагнитометр квантовый КАМ-28	Аэромагнитометр квантовый ММ-305
Измеряемая величина	T	T	T, ΔT	T, ΔT
Диапазон измерений, нТл	20 000—100 000	20 000—100 000	32 750—65 500	20 000—80 000
Погрешность отсчитывания, нТл, или цена 1 мм аналоговой записи, нТл/мм	2,0; 1,0; 0,5	3,0	0,125; 1,0	0,1 или 2,5—0,25
Продолжительность цикла измерений, с	0,22; 0,38; 0,54	0,5	1,143; 0,143	0,143
Диапазон рабочих значений температур, °С	Для гондолы —40 ÷ +50	—30 ÷ +50	—5 ÷ +30	—40 ÷ +40
Виды регистрации	Цифровая на перфоленту, визуальная (световое табло), аналоговая	Визуальная (табло), аналоговая	Визуальная (табло), аналоговая, цифровая на магнитную ленту	Визуальная (табло), аналоговая, цифровая на перфоленту
Особенности крепления гондолы с измерительным преобразователем	Выпускная гондола (длина кабеля до 30 м) или жесткий вариант крепления (выносная штанга на киле)	Жесткий вариант крепления на телескопической штанге	Выпускная гондола (длина кабеля 40 м)	Выпускная гондола
Масса аппаратуры, кг	220 (выпускной вариант) и 170	140	285 (без лебедки)	230
Потребляемая мощность, Вт	260 (выпускной вариант) и 150	600 (вся станция)	850	500
Применяемые летательные аппараты	Ан-2	Ан-2, Ми-4	Ан-2, Ил-14	Ан-2
Годы выпуска	1976—1978	1975—1976	1973—1978	1980

Примечания. 1. АММ-13 имеет дополнительный блок компенсатора магнитных помех носителя. 2. АМП-7 в жестком варианте снабжен компенсатором девиационных помех; может быть использован в составе комплексной геофизической станции.

П3.6. СРЕДСТВА ГРАДУИРОВКИ МАГНИТОМЕТРОВ

Характеристика	Градуировочный комплект КГ-1	Мера магнитной индукции ММИ-1 (образцовое средство измерений третьего разряда)
Воспроизводимая единица	Единица магнитной индукции	
Приборы, для которых может быть использовано	ΔZ-магнитометры М-18, М-23, М-27, М-27М	ΔZ-магнитометры М-27 и М-27М
Диапазон воспроизводимых значений, нТл	15—50 000 или 30—90 000	—140 000 ÷ +140 000
Постоянные обмоток, нТл/мА	10±0,2 и 320±6	133
Абсолютная погрешность воспроизводимых мерой значений магнитной индукции $B_н$	$\pm 0{,}01 B_н$	До $\pm$ (0,0015$B_н$ + + 1 нТл)
Условия устойчивой работы	При температуре от +10 до +35 °С и относительной влажности до 80%	При температуре от +10 до +30 °С, относительной влажности 65± ±15 % и атмосферном давлении 750±30 мм рт. ст. (1000±40 гПа)
Объем, зона однородности, мм	100×20×20	40×40×40
Масса без упаковки, кг	27	Катушки 9,5, пульт управления 10,8
Комплект меры	Кольца Гельмгольца с двумя обмотками, пульт управления с миллиамперметром, подставка для магнитометра, сухие элементы, кабель	Катушки образцовые (с двумя обмотками), пульт управления, подставка для магнитометра, кабели
Питание меры	3 В от двух сухих элементов ЗСЛ-30 или 6 В от аккумуляторной батареи	Сетевое 220 В, потребление не более 40 В·А

П3.7. ПАРАМЕТРЫ, РЕГИСТРИРУЕМЫЕ ПРИБОРОМ КАМ-28

Измеряемый параметр	Цикл регистрации, с	Время измерения, с	Вид регистрации							
			На магнитную ленту шириной 35 мм		На электротермическую бумагу ЭТБ-2 общей шириной 220 мм				На световое табло электронного блока	
			Диапазон регистрации	Погрешность отсчитывания	Диапазон регистрации	Цена деления	Цикл записи, с	Ширина полосы записи, мм	Диапазон регистрации	Погрешность отсчитывания
Значение модуля магнитной индукции	0,25	0,143	35 000—65 000 нТл	1 нТл	0—225 нТл 0—31,875 нТл	2,0 нТл мм 0,25 нТл мм	0,25 2,0	128 128	32 768—65 280 нТл	256 нТл
	2,0	1,143	35 000—65 000 нТл	0,125 нТл	0—255 нТл 0—31,875 0—255 нТл	2,0 нТл/мм 0,25 нТл/мм 2,0 нТл/мм	2,0 2,0 0,25	128 128 128		
Высота полета (при измерениях радиовысотомером РВ-УМ)	0,25	—	0—600 м	Не нормирована	0—600 м	Не нормирована	0,25	32	—	—
Текущее время	0,25 или 2,0	—	0—23 ч 59,5 мин	30 с	Горизонтальная отсечка длиной 12 мм		30	—	0—23 ч 59,5 мин	30 с
Порядковый номер экспозиции	Время между экспозициями — не менее 2 с		1—1023 экспозиций	1 экспозиция	Горизонтальная отсечка длиной не менее 50 мм в момент экспозиции кадра				—	—

П3.8. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ И РЕГУЛИРОВКИ АЭРОМАГНИТОМЕТРОВ

Наименование	Тип	Примечание
Для квантового аэромагнитометра КАМ-28		
Осциллограф	С1-49 или С1-67	
Частотомер	Ч3-36	10 Гц — 50 МГц
Генератор широкодиапазонный	ГЗ-49 или другой, близкий по параметрам	Диапазон 0,1 Гц — 1 МГц
Тестеры	Любой марки	
Источник питания	Любой марки	Стабилизированное напряжение 0—30 В, ток 0—3 А
Для феррозондовых и протонных аэромагнитометров		
Осциллограф	С1-49 или С1-35	
Звуковой генератор	ГЗ-33, ГЗ-34 или другой, близкий по параметрам	
Частотомер	Любой марки	20 Гц—100 кГц
Тестеры	Любой марки	

П3.9. ОСНОВНЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ АЭРОФОТОАППАРАТЫ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ ПЛАНОВОЙ ПРИВЯЗКИ

Характеристика	АФА-ТЭ-55	АФА-М-10	АФА-Э-36	АФАГ-17
Угол поля зрения объектива, градус	133	122	148	150
Полный цикл работы механизма, с	1,8—2,3	0,7	1,8—2,3	1,5
Диапазон выдержек, с	1/40—1/300	1/100—1/300	1/60—1/120	1/40—1/150
Полная масса АФА, кг	38	7,5 (без установки)	36	29
Размер аэропленки, см	19×6000	8×3500	19×6000	19×6000 или 13×6000
Запас аэропленки в кассете (количество кадров)	300	550	300	450
Размер кадра, см	18×18	7×6	18×18	Круг диаметром 13
Отношение захвата местности маршрута к высоте полета	3,3	3,5	5,0	7,7

П3.10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Характеристика	«Поиск-М»	«Поиск-Д», диапазон		«Поиск-ДМ».* диапазон		МИР-3**
		коротковолновый	средневолновый	коротковолновый	средневолновый	
Диапазон рабочих частот, МГц	2,0—2,4	2,0—2,4	0,45—0,53	2,0—2,4	0,45—0,53	УКВ
Количество наземных радиостанций	4	4	4	4	4	3
Аппаратурная погрешность измерений разности фаз по каждому из каналов (в фазовых циклах)	0,05	0,025	0,025	0,025	0,025	10 ***
Цена фазового цикла на линии базиса, м	60—75	60—75	550—650	60—75	550—650	—
Дальность действия (средняя), км:						
над сушей	100	100	300	100	300	60
над морем	200	200	600	200	600	150
Мощность радиопередающих станций, Вт	70	120	120	120	120	6
Напряжения источников питания, В	27; 220	27; 220	27; 220	27; 220	27; 220	12
Форма представления измеряемой информации:						
аналоговая	+	+	+	+	+	—
визуальная цифровая	+	+	+	+	+	+
цифровая	—	—	—	+	+	+
график пути	—	—	—	+	+	—

* Система «Поиск-ДМ» — модифицированный вариант двухдиапазонной системы «Поиск-Д».
** Технические характеристики системы МИ Р-3 приведены по результатам испытаний опытного макета в 1974 г.
*** Аппаратурная погрешность для системы МИР-3 дана в метрах.

П3.11. АППАРАТУРА ДЛЯ ГИДРОМАГНИТНЫХ СЪЕМОК

Характеристика	Морской протонный магнитометр МПМ-4	Автоматический протонный магнитометр АПМ-3	Протонный аэрогидромагнитометр ПАГ-5	Буксируемый *Т*-магнитометр БТМ
Цена деления или младшая единица счета, нТл	2,5; 10	0,5; 1,0; 10	0,1; 0,5	1,0; 2,0; 5,0; 10
Диапазон измерений, нТл	25 000—75 000	20 000—100 000	20 000—100 000	15 000—70 000
Чувствительность, нТл	1,5	0,1	0,1	1,0
Виды регистрации	Визуальная, аналоговая, на перфоленте			Визуальная, аналоговая, на перфоленте
Продолжительность измерения, с	9; 18	2; 4; 10; 20; 60	0,3; 1; 2; 10; 20	По цифровому каналу 1; 2; 4; 8; по аналоговому 1
Диапазон рабочих температур, °С	—	—	—	Для квантового генератора $0 \div +30$, для частотомера $0 \div +40$
Возможность ввода измеренных значений в ЭВМ	Имеется (с перфоленты)			
Потребляемая от бортсети мощность, Вт	300	250	—	70

Продолжение

Характеристика	Квантовый магнитометр КМ-2-02	Квантовый магнитометр КМ-2М	Квантовый магнитометр КМ-3 «Меридиан»
Цена деления или младшая единица счета, нТл	1,0; 2,0; 5,0; 10	0,01; 0,1; 1,0; 2,0; 4,0; 10; 20; 40	—
Диапазон измерений, нТл	15 000—100 000	15 000—100 000	По модулю и Z-составляющей 20 000 — 70 000, по H-составляющей 10 000 — 40 000
Чувствительность, нТл	1,0	0,01	—
Виды регистрации	Визуальная, аналоговая, на перфоленте		На типовые самописцы, перфоратор, телетайп и магнитофон
Продолжительность измерения, с	По цифровому каналу 0,3; 1; 2; 10; 60; по аналоговому 3	По цифровому каналу 0,3; 1; 3; 30; по аналоговому 0,3	По цифровому каналу 0,5; 1; 10; 15; 30; 60
Диапазон рабочих температур, °С	Для квантового генератора $-30 \div +50$, для частотомера $0 \div +35$		—
Возможность ввода измеренных значений в ЭВМ	С перфоленты в «Минск-22»		С перфоленты в специализированную управляющую ЭВМ СПМ-1
Потребляемая от бортсети мощность, Вт	50—75	50—75	105

П4. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛЕЙ НАМАГНИЧЕННЫХ ТЕЛ

Формулы, определяющие решение прямой задачи для тел правильной геометрической формы, приводятся во всех учебных пособиях по магниторазведке. Однако в некоторых изданиях при выводе используются условия, не соответствующие действительным (например, в предположении распределения положительного магнетизма на верхней кромке или поверхности намагниченного объекта), в других не оговорено расположение координатных осей, в третьих имеются ошибки в самих арифметических выражениях (путаница знаков). Поэтому здесь приведены выверенные выражения для Z- и H-составляющих аномального поля над объектами правильной геометрической формы и перечислены все сведения относительно физических моделей объектов, системы координат и истолкования принятых в теории земного магнетизма терминов. Проверенные и приведенные здесь выражения следует использовать лишь для упрощенных оценочных расчетов.

Исходные положения, используемые при получении выражений для Z и H таковы.

1. В основе вывода выражений, дающих Z- и H-составляющие аномального поля как функции координаты на профиле наблюдений, лежит представление о фиктивных положительных и отрицательных магнитных массах. Намагничивающим полем, вызывающим появление на одной границе объекта-модели положительных магнитных зарядов, а на другой отрицательных *, является поле геомагнитного диполя. Магнитные силовые линии *выходят* из северного конца этого диполя и *входят* в южный. Считается, что в северном конце магнита-диполя сосредоточен *положительный магнетизм*, а в южном *отрицательный*. Это значит, что положительный магнитный заряд притягивается южным концом диполя. Установлено, что в северном географическом полушарии сила притяжения положительной магнитной массы (например, положительного конца магнитной стрелки) направлена примерно к центру земли. Поэтому магнитный полюс земли, именуемый северным, в действительности соответствует *южному* концу геомагнитного диполя, в котором сосредоточены фиктивные *отрицательные* заряды.

Магнитные силовые линии диполя направлены от положительных магнитных масс (+) к отрицательным (—). Это значит, что во внешнем пространстве, т. е. над земной поверхностью, силовые линии выходят из северного конца геомагнитного диполя, т. е. из южного магнитного полюса, и, огибая поверхность, входят в северный магнитный полюс (южный конец геомагнитного диполя). Внутри же Земли намагничивающее поле направлено из южного полушария в северное через центр земли, т. е. также от (+) к (—). Намагничиваемые этим полем объекты приобретают намагниченность *того* же направления, а это значит, что, например, в северном географическом полушарии на верхней их границе, обращенной к дневной поверхности, сосредоточиваются *отрицательные* магнитные заряды (массы), а на нижней, обращенной к центру земли — положительные.

Вот почему основным исходным предположением при выводе формул для Z- и H-составляющих аномального поля на профилях наблюдения, проложенных в северном полушарии (в частности, для всей территории СССР), является предположение об *отрицательной* заряженности верхней кромки (или грани) намагниченного искомого объекта. Именно такая намагниченность считается *прямой*. В этом случае силовые линии поля, создаваемые самим намагниченным телом вокруг себя, входят в его верхнюю кромку и приблизительно совпадают по направлению с внешним магнитным полем — над земной поверхностью — и с внутренним — внутри Земли.

---

* Подразумеваются границы, перпендикулярные к намагничивающему полю.

2. Второе допущение, необходимое при решении прямой задачи для объектов правильной геометрической формы,— однородность намагниченности объекта. Если он представлен объемной моделью (сфера), считается, что магнитный момент единицы объема (намагниченность) в каждой точке сферы одинаков по модулю и имеет одно и то же направление. Нить магнитных зарядов (полюсов) рассматривается в предположении постоянной линейной плотности магнитных зарядов, а поверхность полюсов — в предположении постоянной поверхностной плотности.

3. Напряженность магнитостатического поля в произвольно выбранной точке численно равна силе, действующей на единицу фиктивного *положительного* заряда, помещенного в эту точку, и имеет направление этой силы.

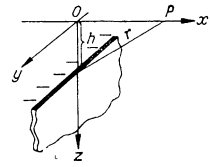
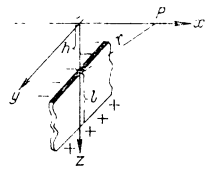
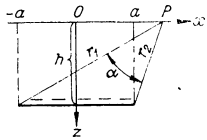
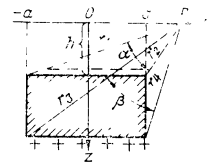
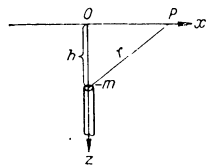
4. При выводе представляемых ниже выражений намагниченность моделей принята вертикальной, т. е. совпадающей с направлением отвеса на профиле наблюдений.

5. Координатная система, в которой выведены выражения для Z- и H-составляющих аномального поля, имеет ось абсцисс с положительным направлением слева направо, ось ординат — на читателя и ось аппликат — сверху вниз. Профиль наблюдений направлен по оси абсцисс.

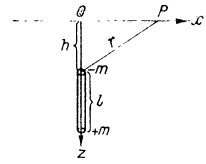
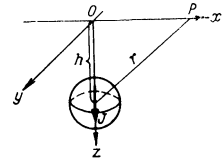
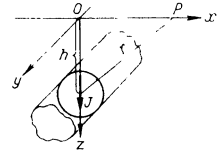
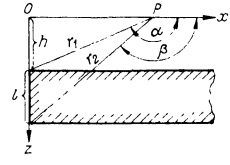
6. Для моделей конечных размеров по оси Ox (сфера, цилиндр, призма) координатная плоскость yOz совмещена с плоскостью симметрии модели; монополь и ось схематического магнита принадлежат плоскости yOz; в случае горизонтального уступа плоскость yOz совмещена с его вертикальной границей.

7. Условия эквивалентности реального объекта идеализированной геометрической модели (например, геологической дайки — тонкому вертикальному пласту, вертикального штока — единичному полюсу и т. п.) рассматриваются в специальных руководствах и учебных пособиях.

Аналитические выражения для Z- и H-составляющих для девяти простейших моделей сведены в таблицу.

Модель источника аномального поля	Система координат и обозначения, используемые в аналитических выражениях H и Z	Геологический аналог модели
Нить полюсов		Тонкий вертикальный пласт, неограниченный по простиранию, с бесконечно удаленной нижней кромкой
Вертикальная полоса (тонкая пластина)		Тонкий вертикальный пласт, неограниченный по простиранию
Униполярная пластина		Верхняя кромка мощного вертикального пласта, неограниченного по простиранию и падению
Горизонтальная прямоугольная призма		Блок прямоугольного сечения, неограниченный по простиранию
Монополь (одиночный магнитный полюс)		Вертикальное столбообразное тело (шток)

Составляющие аномального поля	
H (по оси абсцисс)	Z (по вертикали)
$H = -\dfrac{2mx}{x^2 + h^2}$	$Z = \dfrac{2mh}{x^2 + h^2}$
$H = -2mx\left[\dfrac{1}{x^2 + h^2} - \dfrac{1}{x^2 + (h + l)^2}\right]$	$Z = 2m\left[\dfrac{h}{x^2 + h^2} - \dfrac{h + l}{x^2 + (h + l)^2}\right]$
m — магнитный заряд на единицу длины; практически $m = 2bJ$, где $2b$ — ширина пласта (малая, но конечная); J — модуль вектора намагниченности	
$H = \sigma \ln \dfrac{h^2 + (x - a)^2}{h^2 + (x + a)^2}$	$Z = 2\sigma \operatorname{arctg} \dfrac{2ah}{x^2 + h^2 - a^2}$
или в полярных координатах	
$H = 2\sigma \ln \dfrac{r_2}{r_1}$	$Z = 2\sigma\alpha$
$H = 2\sigma \ln \dfrac{r_2 r_3}{r_1 r_4}$	$Z = 2\sigma(\alpha - \beta)$
$\sigma = J$ (σ — поверхностный магнитный заряд, т. е. намагниченность единичного элемента поверхности)	
$H = -\dfrac{m'x}{(x^2 + h^2)^{3/2}}$	$Z = \dfrac{m'h}{(x^2 + h^2)^{3/2}}$

Модель источника аномального поля	Система координат и обозначения, используемые в аналитических выражениях H и Z	Геологический аналог модели
Вертикальный схематический магнит		Вертикальное столбообразное тело с малым поперечником, ограниченное как сверху, так и снизу
Вертикально намагниченная сфера		Тело изометрической формы (выпуклый многогранник)
Вертикально намагниченный круговой горизонтальный цилиндр (бесконечный по оси простирания)		Вытянутое горизонтальное тело с поперечником в форме круга
Уступ		Сброс с конечной амплитудой

Составляющие аномального поля	
H (по оси абсцисс)	Z (по вертикали)
$H = -m'x \times$ $\times \left[\frac{1}{(x^2+h^2)^{3/2}} - \frac{1}{[x^2+(h+l)^2]^{3/2}}\right]$	$Z = m' \times$ $\times \left[\frac{h}{(x^2+h^2)^{3/2}} - \frac{h+l}{[x^2+(h+l^2]^{3/2}}\right]$
m' — магнитный заряд, сосредоточенный в полюсе; практически $m' = JS$, где J — модуль вектора намагниченности; S — поперечное сечение (малое, но всегда конечное) столбообразного тела	
$H = -\frac{3Mhx}{(x^2+h^2)^{5/2}}$	$Z = M\frac{2h^2-x^2}{(x^2+h^2)^{5/2}}$
$M = JV$ — модуль магнитного момента сферы, где J — модуль вектора намагниченности; V — объем сферы	
$H = -\frac{4\mu hx}{(x^2+h^2)^2}$	$Z = 2\mu\frac{h^2-x^2}{(x^2+h^2)^2}$
$\mu = JS'$, где J — модуль вектора намагниченности; S' — поперечное сечение цилиндра (или аппроксимируемого цилиндром тела); μ — магнитный момент единицы длины цилиндра	
$H = -\sigma \ln\frac{x^2(h+l)^2}{x^2+h^2}$	$Z = 2\sigma \operatorname{arctg}\frac{xl}{x^2+h^2+hl}$
или в полярных координатах	
$H = \sigma \ln\frac{r_1}{r_2}$	$Z = 2\sigma(\alpha - \beta)$
$\sigma = J$	

П5. ВАЖНЕЙШИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ В МАГНИТОРАЗВЕДКЕ

Излагаемые экспресс-методы рекомендуются к применению на различных этапах магниторазведочных работ: от проектировочных расчетов до выделения полезных аномалий и предварительной полевой их интерпретации.

На стадии проектирования магниторазведочных наблюдений ускоренный расчет параметров ожидаемых аномалий следует выполнять по методу Неттльтона с таблицами В. П. Трипольского. В ходе съемок и сразу же по завершении основных объемов наблюдений нужно ориентировочно оценить глубины залегания объектов, создающих на участке наблюдений аномалии, соизмеримые с ожидаемыми полезными аномалиями наблюдаемого элемента геомагнитного поля.

Выбранные для настоящей инструкции методы учитывают реальный характер встречающихся полезных аномалий, искаженных помехами. В случае, когда магниторазведка решает задачу выделения сигналов, соизмеримых по уровню с помехами, возможно лишь качественное выделение (прослеживание осей) полезных аномалий (по способу обратных вероятностей или знакопеременного суммирования).

Необходимым условием правильного применения излагаемых экспресс-методов является наличие сведений (экспериментальных или гипотетических) о типе источника аномалии, т. е. мотивированное представление о том, какой геометрической моделью аппроксимируется искомый объект. Некоторые из методов нуждаются в дополнительных априорных сведениях о параметрах залегания (горизонтальная мощность, примерная глубина и т. п.) источника аномалии.

Все количественные расчеты параметров намагниченного объекта производятся только для аномалий, принимаемых за достоверные (см. прил. 8).

Наиболее уверенно всеми методами определяется глубина до верхней кромки намагниченного тела. Полученные расчетным путем глубины, как правило, оказываются завышенными. При правильном применении экспресс-методы дают искомую глубину с погрешностью 10—50 %. Выполнение расчетов должно сопровождаться краткой мотивировкой выбора того или иного экспресс-метода, в которой обязательным является указание воображаемой геологической и геометрической модели источника аномалии, например: «покров кислых эффузивов малой мощности и ограниченного распространения по площади. Геометрический эквивалент — тонкий горизонтальный пласт».

Автоматический перебор расчетных алгоритмов различных экспресс-методов без мотивировки их предпочтения — серьезный недостаток соответствующей части магниторазведочных работ, влекущий за собой снижение общей оценки отчета.

П5.1. ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОЛЕЙ НАМАГНИЧЕННЫХ ТЕЛ (ПРЯМАЯ ЗАДАЧА)

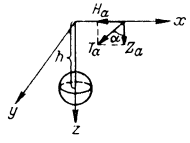
П5.1.1. Метод Неттльтона

Экспресс-метод решения прямой задачи магниторазведки, предложенный Неттльтоном и усовершенствованный В. П. Трипольским, сводится к применению формул, выражающих зависимость аномального поля на эпицентральном профиле от параметров намагниченного тела в виде

$$A = Kf(x/h),$$

где A — значение рассчитываемой характеристики магнитного поля [Z_a, H_a, $(\Delta T)_a$, $\partial Z_a/\partial x$, $\partial Z_a/\partial h$]; K — множитель, определяемый в каждом конкретном случае на основании выбранной формы, ожидаемых размеров, глубины залегания и намагниченности объекта; $f(x/h)$ — функция текущей горизонтальной координаты x, выражаемой в единицах глубины залегания h.

ТАБЛИЦА П5.1. **ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ $f(x/h)$ И УГЛА α ДЛЯ РАСЧЕТА $(\Delta T)_a$, Z_a, H_a, $\partial Z_a/\partial h$, $\partial Z_a/\partial x$ ОТ ВЕРТИКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО ШАРА**



$$m = JV = \frac{4}{3}\pi R^3 J;$$

$$J = \frac{\varkappa T_0 + J_n}{1 + \varkappa N}$$

J — намагниченность; m — магнитный момент; $\varkappa$ — магнитная восприимчивость; T_0 — нормальное магнитное поле.

$\frac{x}{h}$	$f_1\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_2\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_3\left(\frac{x}{h}\right)$	$\alpha = \operatorname{arctg} \times \frac{3x\,h}{(2 - x^2 h^2)}$	$f_4\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_5\left(\frac{x}{h}\right)$
0,0	2,000	2,00	0,000	0	2,000	0,000
0,1	1,956	1,94	0,294	8° 30′	1,894	0,383
0,2	1,861	1,78	0,546	17 00	1,635	0,689
0,3	1,703	1,54	0,726	25 20	1,281	0,869
0,4	1,519	1,26	0,825	33 10	0,804	0,914
0,5	1,324	1,00	0,861	40 30	0,573	0,860
0,6	1,132	0,76	0,834	47 40	0,334	0,746
0,7	0,957	0,56	0,777	54 20	0,131	0,608
0,8	0,806	0,40	0,672	80 30	0,014	0,476
0,9	0,672	0,28	0,612	86 10	—0,054	0,360
1,0	0,559	0,18	0,531	71 35	—0,088	0,265
1,1	0,466	0,10	0,456	76 30	—0,102	0,191
1,2	0,391	0,09	0,384	81 10	—0,102	0,135
1,3	0,323	0,02	0,327	85 25	—0,096	0,094
1,4	0,279	0,002	0,276	89 25	—0,087	0,064
1,5	0,237	—0,012	0,234	93 10	—0,077	0,042
1,6	0,202	—0,024	0,201	90 40	—0,067	0,027
1,7	0,174	—0,030	0,188	89 50	—0,057	0,016
1,8	0,149	—0,034	0,147	102 00	—0,050	0,008
1,9	0,129	—0,036	0,126	105 50	—0,042	0,004
2,0	0,112	—0,036	0,108	108 20	—0,036	0,000
2,2	0,087	—0,034	0,078	113 20	—0,026	—0,004
2,4	0,068	—0,030	0,057	117 30	—0,019	—0,005
2,6	0,054	—0,028	0,048	121 20	—0,014	—0,006
2,8	0,044	—0,024	0,033	124 50	—0,010	—0,005
3,0	0,036	—0,020	0,027	127 50	—0,008	—0,005
3,5	0,023	—0,016	0,019	134 20	—0,004	—0,003
4,0	0,015	—0,012	0,009	138 20	—0,002	—0,002
4,5	0,010	—0,009	0,006	148 20	—0,001	—0,0017
5,0	0,007	—0,007	0,003	146 50	—0,0008	—0,0012

$$(\Delta T)_a = \frac{m}{h^4} \cdot \frac{1}{(1 + x^2 h^2)^{1/2}} \sqrt{\frac{3}{(1 + x^2/h^2)} + 1} = \frac{m}{h^3} f_1\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$Z_a = \frac{m}{h^3} \cdot \frac{2(1 - x^2 2h^2)}{(x^2/h^2 + 1)^{5/2}} = \frac{m}{h^3} f_2\left(\frac{x}{h}\right); \qquad H_a = \frac{-3m}{h^3} \cdot \frac{x/h}{(x^2/h^2 + 1)^{5/2}} = \frac{-m}{h^3} f_3\left(\frac{x}{h}\right);$$

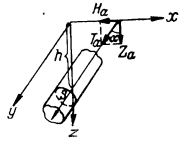
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H_a}{Z_a} = \frac{3x\,h}{(2 - x^2/h^2)};$$

$$\frac{\partial Z_a}{\partial h} = \frac{3m}{h^4} \cdot \frac{2 - 3x^2 h^2}{(x^2/h^2 + 1)^{7/2}} = \frac{3m}{h^4} f_4\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$\frac{\partial Z_a}{\partial x} = \frac{3m}{h_1} \cdot \frac{x^1 h^1 - 4x\,h}{(x^2 h^2 + 1)^{7/2}} = \frac{3m}{h^4} f_5\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$K_1 = \frac{m}{h^3}; \qquad K_2 = \frac{3m}{h^4}$$

ТАБЛИЦА П5.2. ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ $f(x/h)$ И УГЛА α ДЛЯ РАСЧЕТА $\Delta T)_a$, Z_a, H_a, $\partial Z_a/\partial h$, $\partial Z_a/\partial x$ ОТ ВЕРТИКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА



$$m = JS = \pi k^2;$$

$$J = \frac{\varkappa T_0 + I_n}{1 + 2\pi\varkappa}$$

$\frac{x}{h}$	$f_6\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_7\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_8\left(\frac{x}{h}\right)$	$\alpha = \operatorname{arctg} \times \frac{2x\,h}{(1 - x^2 h^2)}$	$f_9\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{10}\left(\frac{x}{h}\right)$
0,0	1,000	1,000	0,000	0	1,000	0,000
0,1	0,990	0,970	0,196	11° 30′	0,942	0,292
0,2	0,964	0,887	0,368	22 40	0,782	0,526
0,3	0,920	0,765	0,504	33 30	0,564	0,674
0,4	0,863	0,624	0,594	43 40	0,333	0,728
0,5	0,800	0,480	0,640	53 10	0,125	0,704
0,6	0,736	0,345	0,648	61 50	—0,031	0,630
0,7	0,672	0,229	0,630	70 00	—0,142	0,531
0,8	0,609	0,133	0,594	77 20	—0,208	0,428
0,9	0,552	0,057	0,548	84 00	—0,241	0,332
1,0	0,500	0,000	0,500	90 00	—0,250	0,250
1,1	0,453	—0,043	0,450	95 30	—0,244	0,183
1,2	0,409	—0,073	0,402	100 20	—0,228	0,129
1,3	0,371	—0,096	0,358	104 50	—0,209	0,087
1,4	0,337	—0,109	0,318	108 50	—0,188	0,056
1,5	0,307	—0,118	0,284	112 40	—0,167	0,032
1,6	0,280	—0,120	0,252	116 00	—0,148	0,016
1,7	0,257	—0,124	0,224	119 10	—0,130	0,003
1,8	0,235	—0,124	0,200	122 00	—0,114	—0,006
1,9	0,216	—0,122	0,178	124 30	—0,100	—0,010
2,0	0,200	—0,120	0,160	126 50	—0,090	—0,016
2,2	0,171	—0,113	0,128	131 10	—0,068	—0,020
2,4	0,147	—0,104	0,106	134 50	—0,052	—0,021
2,6	0,129	—0,095	0,086	137 50	—0,041	—0,021
2,8	0,113	—0,087	0,070	140 20	—0,033	—0,020
3,0	0,100	—0,080	0,060	143 10	—0,026	—0,018
3,2	0,088	—0,073	0,052	145 10	—0,021	—0,016

$$(\Delta T)_a = \frac{2m}{h^2} \cdot \frac{1}{(x^2/h^2 + 1)} = \frac{2m}{h^2} f_6\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$Z_a = \frac{2m}{h^2} \cdot \frac{(1 - x^2 h^2)}{(x^2/h^2 + 1)^2} = \frac{2m}{h^2} f_7\left(\frac{x}{h}\right); \qquad H_a = \frac{-2m}{h^2} \cdot \frac{2x\,h}{(x^2/h^2 + 1)^2} = \frac{-2m}{h^2} f_8\left(\frac{x}{h}\right);$$

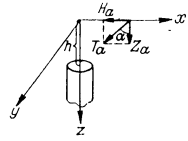
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H_a}{Z_a} = \frac{2x\,h}{1 - x^2 h^2};$$

$$\frac{\partial Z_a}{\partial h} = \frac{4m}{h^3} \cdot \frac{(1 - 3x^2/h^2)}{(x^2/h^2 + 1)^3} = \frac{4m}{h^3} f_9\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$\frac{\partial Z_a}{\partial x} = \frac{4m}{h^3} \cdot \frac{(x/h)\,(x^2/h^2 - 3)}{(x^2/h^2 + 1)^3} = \frac{4m}{h^3} f_{10}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$K_3 = \frac{2m}{h^2}; \qquad K_4 = \frac{4m}{h_3}$$

ТАБЛИЦА П5.3. **ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ $f(x/h)$ И УГЛА α ДЛЯ РАСЧЕТА $(\Delta T)_a$, Z_a, H_a, $\partial Z_a/\partial h$, $\partial Z_a/\partial x$ ОТ ВЕРТИКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА**



$$m = JS = J\pi R^2$$

$\frac{x}{h}$	$f_{11}\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{12}\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{13}\left(\frac{x}{h}\right)$	$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{x}{h}$	$f_{14}\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{15}\left(\frac{x}{h}\right)$
0,0	1,000	1,000	0,000	0	2,00	0,000
0,1	0,990	0,982	0,098	6° 00′	1,94	0,098
0,2	0,960	0,944	0,186	11 20	1,78	0,182
0,3	0,916	0,880	0,264	16 40	1,54	0,242
0,4	0,861	0,802	0,321	21 50	1,26	0,275
0,5	0,799	0,717	0,359	26 40	1,00	0,287
0,6	0,734	0,638	0,380	31 00	0,76	0,278
0,7	0,671	0,552	0,387	35 00	0,56	0,259
0,8	0,608	0,477	0,381	38 40	0,46	0,224
0,9	0,554	0,412	0,371	42 00	0,28	0,204
1,0	0,500	0,354	0,354	45 00	0,18	0,177
1,1	0,454	0,304	0,334	47 50	0,10	0,152
1,2	0,410	0,262	0,314	50 20	0,09	0,128
1,3	0,371	0,227	0,295	52 30	0,02	0,109
1,4	0,338	0,197	0,275	54 30	0,002	0,092
1,5	0,307	0,171	0,256	56 20	—0,012	0,078
1,6	0,280	0,149	0,238	58 00	—0,024	0,067
1,7	0,257	0,131	0,223	59 40	—0,030	0,056
1,8	0,235	0,114	0,201	61 00	—0,034	0,049
1,9	0,216	0,101	0,192	62 00	—0,036	0,042
2,0	0,200	0,089	0,178	63 30	—0,036	0,036
2,2	0,171	0,071	0,156	65 50	—0,034	0,026
2,4	0,148	0,057	0,137	67 20	—0,030	0,019
2,6	0,128	0,046	0,119	68 00	—0,028	0,016
2,8	0,113	0,038	0,106	70 20	—0,024	0,011
3,0	0,100	0,032	0,096	71 35	—0,020	0,009
3,5	0,075	0,021	0,073	74 10	—0,016	0,006
4,0	0,059	0,014	0,056	76 00	—0,012	0,003
4,5	0,047	0,010	0,045	77 30	—0,009	0,002
5,0	0,038	0,007	0,035	78 40	—0,007	0,001

$$(\Delta T)_a = \frac{m}{h^2}\cdot\frac{1}{(x^2/h^2+1)} = \frac{m}{h^2}\,f_{11}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$Z_a = \frac{m}{h^2}\cdot\frac{1}{(x^2/h^2+1)^{3/2}} = \frac{m}{h^2}\,f_{12}\left(\frac{x}{h}\right); \qquad H_a = \frac{-m}{h^2}\cdot\frac{x/h}{(x^2/h^2+1)^{3/2}} = -\frac{-m}{h^2}\,f_{13}\left(\frac{x}{h}\right);$$

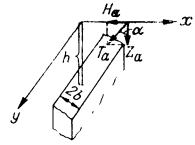
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H_a}{Z_a} = \frac{x}{h};$$

$$\frac{\partial Z_a}{\partial h} = \frac{m}{h^3}\cdot\frac{(x^2/h^2-2)}{(x^2/h^2+1)^{5/2}} = \frac{m}{h^3}\,f_{14}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$\frac{\partial Z_a}{\partial x} = \frac{m}{h^3}\cdot\frac{3x/h}{(x^2/h^2+1)^{5/2}} = \frac{3m}{h^3}\,f_{15}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$K_5 = \frac{m}{h^2}; \qquad K_6 = \frac{m}{h_3}$$

ТАБЛИЦА П5.4. **ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ $f(x/h)$ И УГЛА α ДЛЯ РАСЧЕТА $(\Delta T)_a$, Z_a, H_a, $\partial Z_a/\partial h$, $\partial Z_a/\partial x$ ОТ ВЕРТИКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО ТОНКОГО ПЛАСТА, БЕСКОНЕЧНОГО ПО ПРОСТИРАНИЮ И ПАДЕНИЮ**



$m = 2bJ$

$\frac{x}{h}$	$f_{16}\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{17}\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{18}\left(\frac{x}{h}\right)$	$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{x}{h}$	$f_{19}\left(\frac{x}{h}\right)$	$f_{20}\left(\frac{x}{h}\right)$
0,0	1,000	1,000	0,000	0	1,000	0,000
0,1	0,995	0,990	0,099	6° 00′	0,970	0,196
0,2	0,980	0,964	0,192	11 20	0,887	0,368
0,3	0,957	0,920	0,276	16 40	0,765	0,504
0,4	0,928	0,863	0,345	21 50	0,624	0,594
0,5	0,894	0,800	0,400	26 40	0,480	0,640
0,6	0,857	0,736	0,441	31 00	0,345	0,648
0,7	0,819	0,672	0,470	35 00	0,229	0,630
0,8	0,780	0,609	0,487	38 00	0,133	0,594
0,9	0,744	0,552	0,497	42 00	0,057	0,548
1,0	0,707	0,500	0,500	45 00	0,00	0,500
1,1	0,673	0,443	0,498	47 00	—0,043	0,450
1,2	0,640	0,409	0,492	50 20	—0,073	0,402
1,3	0,617	0,371	0,485	52 30	—0,099	0,358
1,4	0,582	0,337	0,474	54 30	—0,109	0,318
1,5	0,551	0,307	0,462	56 20	—0,118	0,284
1,6	0,531	0,280	0,450	58 00	—0,120	0,252
1,7	0,507	0,257	0,437	59 40	—0,124	0,224
1,8	0,487	0,235	0,425	61 00	—0,124	0,200
1,9	0,466	0,216	0,411	62 00	—0,122	0,178
2,0	0,447	0,200	0,400	63 30	—0,120	0,160
2,2	0,414	0,171	0,377	65 50	—0,113	0,128
2,4	0,385	0,147	0,355	67 20	—0,104	0,106
2,6	0,358	0,127	0,334	69 00	—0,095	0,086
2,8	0,337	0,113	0,317	70 20	—0,087	0,070
3,0	0,316	0,100	0,300	71 35	—0,080	0,060
3,2	0,298	0,088	0,285	72 40	—0,073	0,052

$$(\Delta T)_a = \frac{2m}{h} \cdot \frac{1}{(x^2/h^2+1)^{1/2}} = \frac{2m}{h} f_{16}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$Z_a = \frac{2m}{h} \cdot \frac{1}{(x^2/h^2+1)} = \frac{2m}{h} f_{17}\left(\frac{x}{h}\right); \qquad H_a = \frac{-2m}{h} \cdot \frac{x/h}{(x^2/h^2+1)} = \frac{-2m}{h} f_{18}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H_a}{Z_a} = \frac{x}{h};$$

$$\frac{\partial Z}{\partial h} = \frac{2m}{h^2} \cdot \frac{(1-x/h)^2}{(x^2/h^2+1)^2} = \frac{2m}{h^2} f_{19}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{2m}{h^2} \cdot \frac{2x/h}{(x^2/h^2+1)^2} = \frac{2m}{h^2} f_{20}\left(\frac{x}{h}\right);$$

$$K_7 = \frac{2m}{h}; \qquad K_8 = \frac{2m}{h^2}$$

Таблицы функций $f(x/h)$ рассчитаны для тел правильной геометрической формы: шара (табл. П5.1), горизонтального кругового цилиндра (табл. П5.2), вертикального кругового цилиндра (табл. П5.3) и тонкого вертикального пласта, бесконечного по падению и простиранию (табл. П5.4).

Вследствие принципа суперпозиции полей любой объект произвольной формы может быть представлен комбинацией перечисленных тел с последующим сложением их аномальных полей. Поскольку для тел правильной формы кривые симметричны, в таблицах приведены значения $f(x/h)$ только для одной половины аномальной кривой.

Начальная точка $(x/h=0)$ располагается над центром тела. Необходимые обозначения, расчетные формулы и поясняющие рисунки приводятся вместе с таблицами. Для вычисления ожидаемого аномального эффекта на эпицентральном наземном (или воздушном) профиле необходимо априорно конкретизировать по материалам проекта работ:

— форму и размеры искомого объекта;

— глубину до верхней кромки или до центра;

— значение намагничивающего поля;

— направление намагниченности и значение магнитной восприимчивости объекта (при расчете аномального эффекта на наземном профиле используется *избыточная* $\varkappa$, определяемая как разность восприимчивости объекта и вмещающей среды).

П5.1.2. Прямая экспресс-оценка аномальных эффектов, создаваемых металлическими предметами

Необходимость в ориентировочных оценках ожидаемого аномального эффекта, создаваемого металлическими агрегатами, звеньями агрегатов или отдельными предметами, возникает как в случае направленного поиска таких предметов, так и при проектировании крупномасштабных наблюдений на участке, где после геологоразведочных работ оставлено много металлолома (железные трубы, ломы, лопаты, и пр.), для оценки уровня помех от названных располагающихся на малой (0—5 м) глубине предметов. Расчет приведен в предположении, что магнитный момент M на каждую тонну массивного железного или стального изделия находится в пределах 10^5—10^6 ед. СГСМ.

Аномальный эффект при измерениях ΔT или ΔZ обозначается буквой A и рассчитывается по формуле

$$A = M/r^3,$$

для районов с геомагнитной широтой более 60°

$$A = 2M/r^3.$$

где r — расстояние в сантиметрах; результат расчета, выполненного в системе СГСМ, получается в эрстедах.

Для оценки эффекта над лежащими горизонтально трубами используется формула

$$A = k\frac{\pi FDl}{r^2},$$

где D — диаметр трубы; l — толщина ее стенки; r — расстояние от середины трубы до точки наблюдения; F — нормальное значение поля на участке работ; коэффициент k для стальных труб варьирует от 10 до 50 (в системе СГСМ).

При расчете эффекта над сплошным удлиненным предметом (стержнем, осью, стальным кабелем) пользуются формулой

$$A = k\pi FR^2/r^2,$$

где R — радиус стержня; остальные обозначения те же; что и в предыдущей формуле.

Ускоренная оценка максимального эффекта над металлическими предметами осуществляется с помощью номограммы (рис. П.5.1). Исходя из

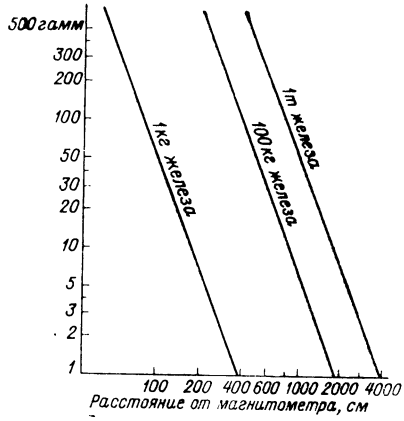


Рис. П5.1. Номограмма для оценки магнитных полей железных предметов.

предполагаемой массы предмета на номограмме выбирается наиболее подходящая наклонная линия. Задавшись предполагаемым расстоянием от предмета до уровня наблюдений, из соответствующей точки на оси абсцисс восстанавливают перпендикуляр до пересечения с выбранной ранее линией номограммы. Ордината найденной точки пересечения определяет ожидаемый аномальный эффект в гаммах с точностью около одного порядка.

П5.1.3. Качественные методы выделения полезной аномалии из помех

Метод знакопеременного суммирования

Необходимое условие применения метода — знакопеременность полезного сигнала. Метод продуктивен лишь в случае, когда аномальная кривая ограничивает приблизительно равные площади сверху и снизу от оси абсцисс (идеальный пример — синусоида). В магниторазведке этому требованию удовлетворяет большинство аномалий ΔH (сфера, горизонтальный цилиндр, вертикальный пласт и т. п.), аномалии ΔZ и ΔT над уступом, аномалии этих же элементов над объектами с малой мощностью по вертикали, т. е. с резко выраженным эффектом от нижней кромки тела.

Излагаемая расчетная схема метода пригодна для выделения полезных аномалий синусоидальной формы при наличии помех, близких или даже превосходящих по амплитуде полезный сигнал. В основе ее лежит представление об удвоении максимального уровня аномального сигнала при вычитании (со своим знаком!) минимального значения из максимального. Пусть разность ординат в точках x_{k-1} и x_{k+1} (рис. П5.2, *а*) обозначается $y'(x_k)$ и приписывается точке x_k:

$$y'(x_k) = y(x_{k-1}) - y(x_{k+1}).$$

Если для преобразования аномалии использовать не две, а четыре (или более) ненулевых ординаты аномальной кривой, как показано на рис. П5.2, *б*, получится

$$y'(x_k) = y(x_{k-2}) + y(x_{k-1}) - y(x_{k+1}) - y(x_{k+2}).$$

Таким образом, каждой идеализированной знакопеременной аномалии выполняемое преобразование ставит в соответствие аномалии одного знака с амплитудой, увеличенной в 2 раза или более.

Теория метода показывает, что при таком преобразовании отношение ампли-

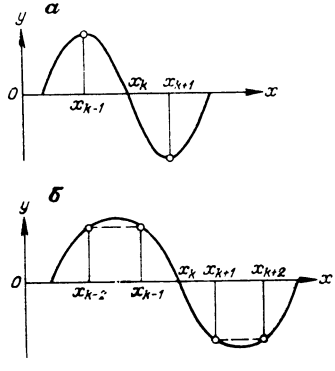


Рис. П5.2. К методу знакопеременного суммирования.

туды полезного сигнала y_0 к корню квадратному из дисперсии амплитуд помехи σ_0 существенно увеличивается. Поэтому применяемый оператор действует как фильтр с усилением полезного сигнала.

Реализация метода заключается в следующем.

1. Оценочный расчет аномального эффекта. На этой стадии, исходя из гипотетической модели аномального объекта (например, «уступ с примерной мощностью h и избыточной намагниченностью J»), рассчитывают аномальный эффект (амплитуду и период). Такой расчет нужен для мотивированного выбора числа членов при суммировании на каждой ветви аномалии. Иначе говоря, период аномалии подсказывает, сколько брать точек по одну и по другую сторону от нулевого значения.

2. Выбор направления вычитания одной группы ординат из другой. Если по графику можно представить, как расположена вдоль профиля искомая синусоидальная аномалия, т. е. узнать, что следует сначала — положительная полуволна (максимум) или отрицательная (минимум), то выбором направления при вычитании можно добиться того, что *все* преобразованные значения полезной аномалии скажутся заведомо неотрицательными. Это позволит на результирующем графике знакопеременного суммирования в дальнейшем не учитывать отрицательные аномалии как обусловленные действием случайного фактора — помехи. Короче говоря, на этом этапе решают, из правой группы чисел (суммы) вычитать предшествующую левую группу, или наоборот.

3. Сложение и вычитание. Этап проиллюстрирован числовым примером рис. П5.3. Здесь принято, что интерпретатору неизвестно взаимное расположение минимума и максимума искомой синусоиды на профиле. Поэтому правая сумма вычитается из левой, а не наоборот. Результат преобразования на итоговом графике приписывается точке, занимающей промежуточное положение между последней точкой (в порядке возрастания номеров) левой группы и первой точкой правой.

4. Истолкование графика знакопеременного суммирования. В числовом примере (рис. П5.3) искомая аномалия возможна возле ПК 5—6, 19—21, 33—34, 37—38. Если дополнительно знать, что синусоида имеет сначала минимум, а потом максимум (как на рис. П5.3, *а*), то положительные аномалии итогового графика исключают из дальнейшего рассмотрения, и наивероятнейшем местом расположения искомой аномалии оказывается участок ПК 19—21 (с меньшей уверенностью — около ПК 37—38).

Метод обратных вероятностей

Пригоден для нахождения на линейном профиле эпицентра полезной аномалии при наличии помех, уровень которых соизмерим по амплитуде с искомой аномалией или даже превосходит ее. Способ можно применять, если: 1) параметры сигнала (форма и амплитуда искомой аномалии) известны; 2) длина профиля существенно (в несколько раз) превосходит протяженность полезной аномалии; 3) помехи некоррелированы.

Вычисления выполняются по нижеследующей схеме.

1. Рассчитанная аномалия представляется совокупностью ординат $u(x_k)$, соответствующих абсциссам, отстоящим одна от другой на расстоянии шага наблюдений по профилю Δ.

2. Ширина полезной аномалии определяется условием равенства аномальных значений в начальной и конечной ее точках средней квадратической погрешности наблюдений на участке съемки:

$$u(x_{\text{нач}}) = u(x_{\text{кон}}) = \sigma \quad \text{и} \quad |u(x < x_{\text{нач}}) \wedge u(x > x_{\text{кон}})| \leqslant \sigma.$$

Принимается, что за пределами отрезка с указанными абсциссами всюду $u(x_k)$ обращается в нуль.

3. Начальная абсцисса графика рассчитанной аномалии, соответствующая первому ненулевому значению аномалии, совмещается с началом графика измеренных значений поля. Подсчитывается произведение $p(x_i)u(x_i)$, где $p(x_i)$ — измеренное значение поля в i-й точке графика.

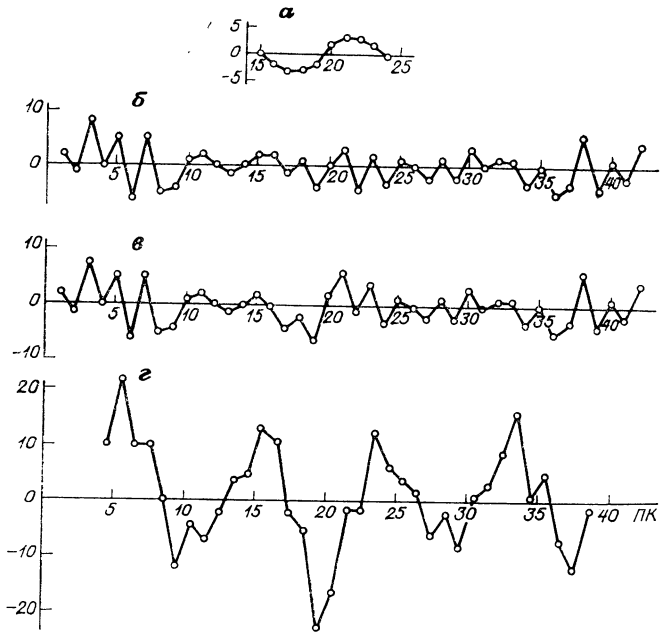


Рис. П5.3. Пример реализации метода знакопеременного суммирования.

а — полезная аномалия; *б* — график помех; *в* — полезная аномалия на фоне помех; *г* — график знакопеременного суммирования; *д* — расчетная схема-таблица.

4. Произведения $p(x_i)u(x_i)$ суммируются и значение суммы приписывается j-й точке графика наблюденных значений, где

$$j = \frac{x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}}{2}.$$

5. В каждой точке с рассчитанным значением $\sum_{i=k}^{k+m-1} p(x_i)u(x_i)$ определяется значение функции $\exp \sum_{i=k}^{k+m-1} p(x_i)u(x_i)$ и строится ее график.

6. Положение одиночного ярко выраженного локального максимума на графике экспоненты определяет наиболее вероятное положение максимума искомой полезной аномалии на данном профиле.

Метод обратных вероятностей неприменим в случае, когда ширина полезной аномалии близка к удвоенному радиусу корреляции аномалий помех, а также в случае весьма короткого профиля.

Пример реализации метода обратных вероятностей представлен на рис. П5.4. Пусть геологическая задача, решаемая магниторазведкой, заключается в обнаружении аномалий, создаваемых тонкими вертикальными дайками с примерно известной намагниченностью. Сначала рассчитывается ожидаемый эффект от дайки, представляемой в вычислениях тонким вертикаль-

ПК	Магнитное поле	$y(x_{k+0,5})=\sum_{i=0}^{3} y(x_{k-i})-\sum_{i=1}^{4} y(x_{k+i})$
1	2	
2	—1	
3	8	
4	0	2—1+8+0—(5—6+5—5)=10
5	5	—1+8+0+5—(—6+5—5—4)=22
6	—6	8+0+5—6—(5—5—4+1)=10
7	5	0+5—6+5—(—5—4+1+2)=10
8	—5	5—6+5—5—(—4+1+2+0)=0
9	—4	—6+5—5—4—(1+2+0—1)=—12
10	1	5—5—4+1—(2+0—1+0)=—4
11	2	—5—4+1+2—(0—1+0+2)=—7
12	0	—4+1+2+0—(—1+0+2+0)=—2
13	—1	1+2+0—1—(0+2+0—4)=4
14	0	2+0—1+0—(2+0—4—2)=5
15	2	0—1+0+2—(0—4—2—6)=13
16	0	—1+0+2+0—(—4—2—6+2)=11
17	—4	0+2+0—4—(—2—6+2+6)=—2
18	—2	2+0—4—2—(—6+2+6—1)=—5
19	—6	0—4—2—6—(2+6—1+4)=—23
20	2	—4—2—6+2—(6—1+4—3)=—16
21	6	—2—6+2+6—(—1+4—3+1)=—1
22	—1	—6+2+6—1—(4—3+1+0)=—1
23	4	2+6—1+4—(—3+1+0—2)=15
24	—3	6—1+4—3—(1+0—2+1)=6
25	1	—1+4—3+1—(0—2+1—2)=4
26	0	4—3+1+0—(—2+1—2+3)=2
27	—2	—3+1+0—2—(1—2+3+0)=—6
28	1	1+0—2+1—(—2+3+0+1)=—2
29	—2	0—2+1—2—(3+0+1+1)=—8
30	3	—2+1—2+3—(0+1+1—3)=1
31	0	1—2+3+0—(1+1—3+0)=3
32	1	—2+3+0+1—(1—3+0—5)=9
33	1	3+0+1+1—(—3+0—5—3)=16
34	—3	0+1+1—3—(0—5—3+6)=1
35	0	1+1—3+0—(—5—3+6—4)=5
36	—5	1—3+0—5—(—3+6—4+1)=—7
37	—3	—3+0—5—3—(6—4+1—2)=—12
38	6	0—5—3+6—(—4+1—2+4)=—1
39	—4	
40	1	
41	—2	
42	4	

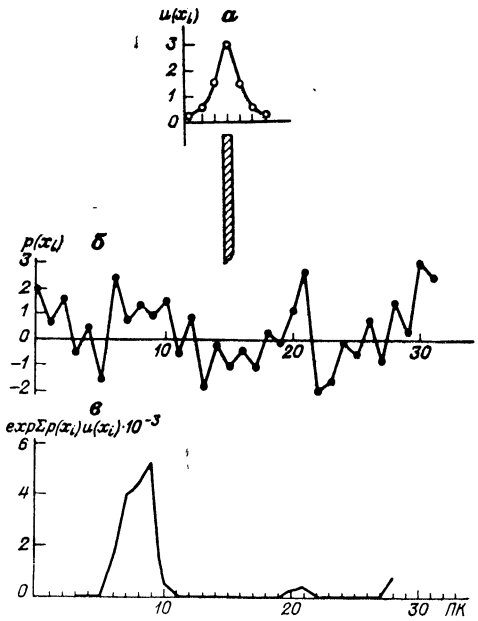


Рис. П5.4. Схема, иллюстрирующая процедуру вычислений по методу обратных вероятностей.

а — идеализированный ожидаемый сигнал (аномалия) от искомого объекта; *б* — наблюденное поле, осложненное помехами; *в* — график рассчитанной функции с максимумом вероятности обнаружения объекта; *г* — расчетная схема-таблица.

$u(x_i)$
0,3
0,6
1,5
3,0
1,5
0,6
0,3

г

ПК	$p(x_i)$	$\Sigma\, p(x_i)\, u\,(x_i)$	Σ	exp Σ
0	2,0			
1	0,7			
2	1,6			
3	−0,5	0,6+0,42+2,4−1,5+0,75−0,9+0,72	2,49	12
4	0,5	0,21+0,96−0,75+1,5−2,25+1,44+0,24	1,35	4
5	−1,5	0,48−0,3+0,75−4,5+3,6+0,48+0,39	0,90	3
6	2,4	−0,15+0,3−2,25+7,2+1,2+0,78+0,3	7,38	1600
7	0,8	0,15−0,9+3,6+2,4+1,95+0,6+0,45	8,25	3800
8	1,3	−0,45+1,44+1,2+3,9+1,5+0,9−0,15	8,34	4023
9	1,0	0,72+0,48+1,95+3,0+2,25−0,3+0,27	8,37	4400
10	1,5	0,24+0,78+1,5+4,5−0,75+0,54−0,54	6,27	500
11	−0,5	0,39+0,6+2,25−1,5+1,35−1,08−0,06	1,95	7
12	0,9	0,3+0,9−0,75+2,7−2,7−0,12−0,3	0,03	1
13	−1,8	0,45−0,3+1,35−5,4−0,3−0,6−0,12	−4,92	0
14	−0,2	−0,15+0,54−2,7−0,6−1,5−0,24−0,3	−4,95	0
15	−1,0	0,27−1,08−0,3−3,0−0,6−0,6+0,09	−5,22	0
16	−0,4	−0,54−0,12−1,5−1,2−1,5+0,18−0,03	−4,71	
17	−1,0	−0,06−0,6−0,6−3,0+0,45−0,06+0,36	−3,51	0
18	0,3	−0,3−0,24−1,5+0,9−0,15+0,72+0,81	−0,24	0
19	−0,1	−0,12−0,6+0,45−0,3+1,8+1,62−0,6	2,25	10
20	1,2	−0,3+0,18−0,15+3,6+4,05−1,2−0,48	5,70	299
21	2,7	0,09−0,06+1,8+8,1−3,0−0,96−0,03	5,94	365
22	−2,0	−0,03+0,72+4,05−6,0−2,4−0,06−0,18	−3,90	0
23	−1,6	0,36+1,62−3,0−4,8−0,15−0,36+0,24	−6,09	0
24	−0,1	0,81−1,2−2,4−0,3−0,9+0,48−0,24	−3,75	0
25	−0,6	−0,6−0,96−0,15−1,8+1,2−0,48+0,45	−2,34	0
26	0,8	−0,48−0,06−0,9+2,4−1,2+0,9+0,09	0,75	2
27	−0,8	−0,03−0,36+1,2−2,4+2,25+0,18+0,9	1,74	6
28	1,5	−0,18+0,48−1,2+4,5+0,45+1,8+0,75	6,60	735
29	0,3			
30	3,0			
31	2,5			

ным пластом бесконечного простирания на глубину. Пусть значения поля на профиле выражены графиком $p(x_i)$ (рис. П5.4, *б*). Сама реализация расчетной процедуры представлена в схеме-таблице (рис. П5.4, *г*), а результирующий график функции $\exp \sum_{i=k}^{k+m-1} p(x_i)u(x_i)$ помещен на рис. П5.4, *в*. Широкий экстремум этой функции на ПК 6—10 указывает область вероятного расположения искомой дайки.

П5.2. ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ — ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ВОЗМУЩАЮЩИХ ТЕЛ

Почти все излагаемые ниже методы позволяют найти лишь глубины залегания геологических тел; в отдельных случаях можно приближенно оценить форму аномального объекта или размеры его. Все методы, кроме способа метода Д. С. Микова, требуют предварительного сглаживания реально зарегистрированных аномалий. Поэтому сначала сообщаются сведения о приемах сглаживания.

П5.2.1. Сглаживание аномалий

Сущность сглаживания заключается в аппроксимации наблюденных значений в равноотстоящих точках профиля полиномом. При использовании полинома второй степени сглаженное значение поля в данной точке выражается через значения поля в примыкающих точках с весовым множителем C_k—$A(n)$, $A(n+1)$, $A(n-1)$, $A(n+2)$... по следующим формулам:

$$A\left(n\right)_{\text{сгл}}^{(5)} = \frac{17}{35} A\left(n\right) + \frac{12}{35}\left[A\left(n+1\right) + A\left(n-1\right)\right] - \frac{3}{35}\left[A\left(n+2\right) + A\left(n-2\right)\right];$$

$$A\left(n\right)_{\text{сгл}}^{(9)} = \frac{59}{231} A\left(n\right) + \frac{54}{231}\left[A\left(n+1\right) + A\left(n-1\right)\right] + \frac{39}{231}\left[A\left(n+2\right) + A\left(n-2\right)\right] + \frac{14}{231}\left[A\left(n+3\right) + A\left(n-3\right)\right] - \frac{21}{231}\left[A\left(n+4\right) + A\left(n-4\right)\right].$$

Нижний индекс у $A(n)$ означает «сглаженное значение», верхний (k) указывает на число точек, используемых при получении сглаженного значения. Радиус сглаживания r связан с шагом наблюдений Δl равенством

$$r = \frac{k-1}{2}\Delta l.$$

Радиус сглаживания определяется с учетом конкретных поисковых задач, уровня и спектра помех и характеристик полезной ожидаемой аномалии. Для ускорения процедуры сглаживания рекомендуются шаблоны, непосредственно накладываемые на графу сглаживаемых значений в рабочем журнале наблюдений. Рядом с окнами шаблона выписывается коэффициент, на который умножается считываемое в соответствующем окне значение. Рассчитанные произведения суммируются. Результат представляет собой сглаженное значение поля для точки, соответствующей среднему (центральному) окну шаблона. Пример шаблона дан на рис. П5.5. Вычитая сглаженные значения из действительных, можно получить совокупность остаточных значений поля на профиле $A(n)^{k}_{\text{ост}}$.

Разнообразные приемы сглаживания, основанные на аппроксимации наблюденного графика полиномами, не исключают применения быстрых ручных

	A(k)	C_k
n-2		-0,086
n-1		+0,343
n		+0,486
n+1		+0,343
n+2		-0,086

$$A_{сгл}(n)=\sum_{k=n-2}^{n+2} A(k)C_k$$

Рис. П5.5. Шаблон для осреднения магнитного поля.

процедур, легко выполнимых и не требующих высокой вычислительной квалификации. Особенно удобен прием, который сводится к следующему. Пусть все смежные точки графика соединены прямолинейными отрезками. С помощью линейки находят середины всех отрезков и отмечают их, например, крестиками (чтобы вновь наносимые точки не перепутывались с точками исходного графика). Каждую пару смежных крестиков соединяют прямолинейным же отрезком (рис. П5.6).

Процедура повторяется 2—3 раза, после чего сглаженное поле мало отличается от поля, полученного с использованием более сложных, в частности машинных, алгоритмов сглаживания.

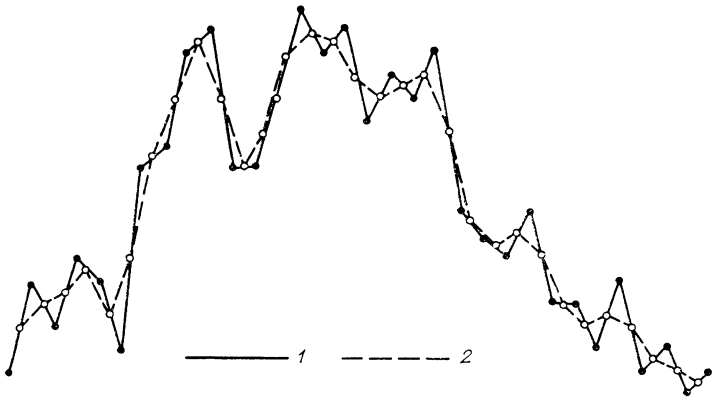


Рис. П5.6. Графический способ сглаживания (осреднения) измеренных значений поля.

1 — исходное поле; *2* — поле в результате первого осреднения.

П5.2.2. Номографический метод вычисления глубины залегания тонкого пласта (по В. Э. Волку)

Метод применим, если:

а) характер намагниченных объектов примерно известен (силлы, пласты эффузивов, хонолитообразные тела, сильно сплющенные удлиненные по простиранию линзы бокситов и т. д.);

б) аномалии изолированные, не слишком больших размеров в крест простирания;

в) нулевой уровень для интерпретируемой аномалии известен.

Последовательность расчетов такова.

1. Определяется горизонтальная мощность $2b$ предполагаемого пласта. Она принимается равной расстоянию между точками наибольшей крутизны (максимальных значений горизонтального градиента) на крыльях аномальной кривой.

2. Определяются значения поля в максимуме ΔZ (0) или $\Delta T(0)$ и при $x=b-\Delta Z(b)$ или $\Delta T(b)$. Рассчитывается отношение $\Delta Z(b)/\Delta Z(0)$ или $\Delta T(b)/\Delta T(0)$.

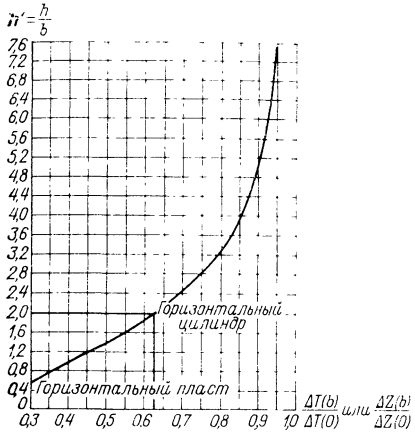


Рис. П5.7. Номограмма для определения глубины залегания тонкого горизонтального пласта и горизонтального эллиптического цилиндра.

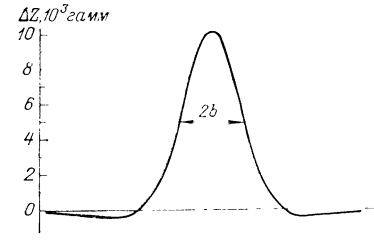


Рис. П5.8. Пример применения номографического метода В. Э. Волка.

3. По номограмме (рис. П5.7) для найденного отношения (ось абсцисс) определяется значение параметра h', т. е. ордината кривой, изображенной на номограмме.

4. Вычисляется искомая глубина верхней кромки $h=bh'$.

Строго говоря, данный метод нуждается в принятии еще двух допущений.

а) законы, справедливые для приращений вертикальной составляющей поля ΔZ, распространяются и на приращения ΔT;

б) намагниченность пласта — вертикальная.

На рис. П5.8 приведена расчетная схема метода на примере аномалии ΔZ над тонкой горизонтальной линзой бокситов (Тургайский комплекс). В этом примере $2b=72$ м, $\Delta Z(0)=10\,200$ гамм, $\Delta Z(b)=5000$ гамм, $\Delta Z(b)/\Delta Z(0)=0{,}49$, $h'=1{,}35$, $h=48{,}6$ м. По данным бурения получено расстояние до верхней кромки линзы 39 м, до центра 45 м.

П5.2.3. Метод полумаксимума

В простейшем случае симметричной изолированной одиночной аномалии для определения глубины верхней кромки (или центра масс) применяется общеизвестная формула

$$h=0{,}5a,$$

где a — расстояние между полумаксимумами.

Для асимметричных аномалий расчет *средней* глубины выполняется по формуле

$$h=\frac{a_1W_1+a_2W_2}{W_1+W_2}.$$

Значения a_1, a_2 и W_1, W_2 снимаются непосредственно с графика (рис. П5.9).

Если аномалия *только* асимметрична, a_1 и a_2 — расстояния между максимумом аномалии и точками с полумаксимальными значениями на левой и правой ветвях кривой, W_1 и W_2 — амплитуды $Z_{max}-Z_{min}$, определенные также соответственно по левой и правой ветвям.

В случае асимметричной аномалии *сложной* формы, состоящей из наложенных аномалий, снятию требуемых абсцисс, ординат и определению необходимых длин отрезков предшествует операция расчленения аномальной кривой на звенья. Двигаясь от минимума на левой ветви аномалии в сторону возрастания значений поля вправо, находят точку перегиба, $\frac{n}{n}$ которой кривая обращена выпуклостью *вниз*. Пусть ее ордината Z_2. Отрезок на оси

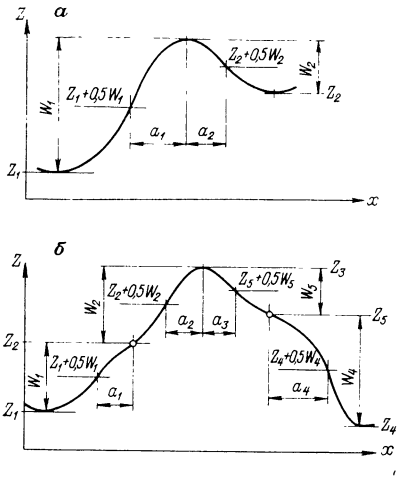


Рис. П5.9. Элементы, определяемые на реальной одиночной (*а*) и сложной (*б*) аномалии при интерпретации по способу полумаксимума.

ординат длиной $W_1=Z_2-Z_1$ делится пополам и на левой ветви кривой отмечается точка с ординатой $Z_1+0{,}5\ W_1$. Расстояние между ней и отмеченной точкой перегиба обозначается a_1.

Отыскивается следующая точка перегиба, но уже удовлетворяющая требованию, чтобы кривая была обращена в ней выпуклостью *вверх*. Ее ордината Z_3, а отрезок $W_2=Z_3-Z_2$. На кривой отмечается точка с ординатой $Z_2+0{,}5\ W_2$. Расстояние от нее до следующей за ней отмеченной точки перегиба — a_2. Процесс нахождения a_i и W_i повторяется до тех пор, пока очередная искомая точка перегиба не окажется в максимуме аномалии (на рисунке точка перегиба попадает в максимум при $i=3$). После этого по аналогичной схеме обрабатывается правая ветвь кривой, также от крайнего минимума к центру (т. е. справа налево). Все найденные a_i и W_i, где $1\leqslant i\leqslant k$ соответствует расчленению левой ветви кривой, а $k\leqslant i\leqslant n$ на правой ветви, подставляются в формулу

$$h=\frac{\sum\limits_{i=1}^{n} a_i W_i}{\sum\limits_{i=1}^{n} W_i}.$$

П5.2.4. Метод касательных (в модификации А. К. Вейнберга)

Для асимметричной одиночной аномалии

К левой и правой ветвям аномальной кривой в точках максимальной крутизны проводятся касательные (боковые). Точки касания соединяются хордой (штриховая линия на рис. П5.10). Верхняя касательная должна быть параллельна проведенной хорде, что и определяет выбор верхней точки касания. Нижние касательные к левой и правой ветвям проводятся под острыми углами α_1 и α_2 к оси абсцисс, определяемыми из равенств

$$\operatorname{tg}\alpha_1=\frac{1}{5}\operatorname{tg}\beta_1;\qquad \operatorname{tg}\alpha_2=\frac{1}{5}\operatorname{tg}\beta_2,$$

где β_1 и β_2 — углы, образуемые левой и правой боковыми касательными с осью абсцисс.

Вдоль оси абсцисс определяют расстояние a_1 между точками пересечения боковой касательной к левой ветви с нижней и верхней касательными. Для этой же пары точек находят расстояние W_1 вдоль оси ординат. Аналогичные значения a_2 и W_2 снимаются с графика и для правой ветви кривой.

Расстояния от верхней точки касания до точек максимальной крутизны на левой и правой ветвях кривой в проекциях на ось обозначены соответ-

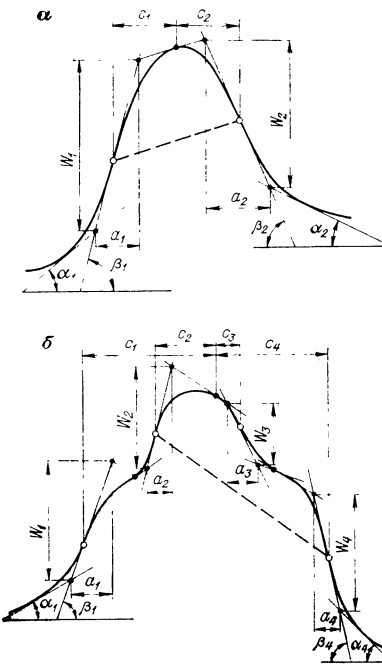


Рис. П5.10. Элементы, определяемые на реальной одиночной (*а*) и сложной (*б*) аномалии при интерпретации по способу касательных (в модификации А. К. Вейнберга).

ственно c_1 и c_2. Вероятная глубина залегания верхней кромки намагниченного объекта определяется по формуле

$$h_i = a_i\,(0{,}43 + 0{,}15a_i/c_i); \qquad i = 1;\ 2.$$

Средняя глубина

$$h = (h_1 + h_2)/2.$$

Для асимметричной сложной аномалии с несколькими точками перегиба на одной и той же ветви аномальной кривой

Обязательным условием применения расчетной схемы является отсутствие локальных экстремумов кроме главного на интерпретируемой аномалии. Порядок обработки кривой следующий.

1. Через точки с наибольшей максимальной крутизной (по одной на каждой ветви) проводятся две *главные* боковые касательные. Точки касания соединяются хордой.

2. Верхняя касательная проводится параллельно хорде.

3. Аномальная кривая разбивается на звенья точками перегиба, в которых кривая обращена выпуклостью вниз. Каждое из звеньев содержит *одну* точку с относительно наибольшей крутизной.

4. Через каждую из точек, делящих кривую на звенья, проводятся линии, параллельные верхней касательной.

5. К каждому k-му звену в точке его наибольшей крутизны проводятся боковая (локальная) касательная.

6. Точки пересечения боковых (локальных) касательных к звеньям аномальной кривой с линиями, проходящими через верхнюю граничную точку каждого звена, проектируются на оси прямоугольной системы координат. Координаты выделенных точек: x_{2k}, y_{2k}; $k = 1, 2\ldots$

7. Чтобы провести нижнюю касательную на каждом из выделенных звеньев, нужно определить угол β_k, составляемый локальной боковой касательной k-го звена с осью абсцисс. При обработке правой ветви кривой отсчет углов ведется по часовой стрелке. Нижняя касательная k-го звена проводится в той точке звена, где эта касательная наклонена к оси абсцисс под углом α_k:

$$\operatorname{tg}\alpha_k = \frac{1}{5}\operatorname{tg}\beta_k.$$

8. Точки пересечения нижних касательных с боковыми касательными k-го звена проектируются на оси системы координат. Координаты этих точек: x_{2k-1}, y_{2k-1}; $k = 1, 2\ldots$

9. Определяются длины отрезков: $a_i = x_{i+1} - x_i$; $W_i = y_{i+1} - y_i$. Для правой ветви W_i берутся с минусом, так как $W_{i+1} < W_i$.

10. Определяются проекции на ось абсцисс расстояний между точкой, через которую проходит верхняя касательная, и точками наибольшей крутизны всех звеньев по отдельности. Длины этих отрезков обозначаются c_i.

11. Вычисляются глубины

$$h_i = a_i\left(0{,}43 + 0{,}15\,\frac{a_i}{c_i}\right).$$

12. Средняя глубина рассчитывается по формуле

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}.$$

В простейших случаях можно пользоваться обычной расчетной формулой метода касательных, приводимой в любом курсе магниторазведки. При интерпретации вытянутых симметричных аномалий с четко выраженными краевыми минимумами возможно применение метода касательных с коэффициентами В. К. Пятницкого.

П5.2.5. Метод, основанный на применении уравнения Эйлера

Применяется при наличии результатов совместных равноточных наблюдений как основной характеристики магнитного поля (модуля полного вектора или приращений модуля, вертикальной составляющей полного вектора или ее приращений), так и вертикального градиента этой же характеристики. Вместо вертикального градиента можно использовать конечные разности, отнесенные к длине вертикально ориентированной базы или к расстоянию по высоте между уровнями наблюдений. Метод позволяет оценить глубину намагниченного объекта, если примерно известна его форма, или уточнить представления о форме тела при ориентировочно известной глубине его залегания.

В эпицентре аномалии ($x=y=0$) измеренное аномальное значение поля A, его вертикальный градиент $\Delta A/\Delta h$, глубина до верхней кромки (или центра) объекта h и коэффициент формы n связаны равенством (рис. П5.11)

$$h = n\,\frac{A}{\Delta A/\Delta h}.$$

Коэффициент n для прямоугольного блока и тонкого вертикального пласта (дайки) равен 1 (при $w=2{,}5\,h$), для горизонтального цилиндра $n=2$, для сферы $n=3$. Использование приведенной формулы оправданно при выполнении следующих условий:

— измеренные значения A и $\Delta A/\Delta h$ относятся именно к эпицентру аномалии. Для нецентральных пересечений аномалий формула неверна;

— обе аномальные кривые выведены на нулевой уровень (от которого отсчитываются амплитуды аномальных эффектов A и $\Delta A/\Delta h$).

— суммарное поле, как в измеряемой характеристике магнитного поля, так и ее вертикального градиента, свободно от трендов линейного и более высоких порядков;

— ориентировочная глубина до объекта должна превосходить длину базы, к которой отнесена измеренная конечная разность (градиент), не менее чем в 10 раз.

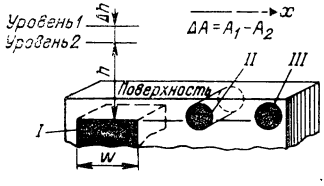


Рис. П5.11. К формуле Эйлера.
I — прямоугольный блок; *II* — горизонтальный цилиндр, *3* — сфера

— аномальные эффекты существенно отличаются периодом (частотой) от аномалий помех.

При сравнительно неглубоком залегании возмущающих объектов, а также при сложных полях подставлять вместо градиента в формулу рассчитанные значения $\Delta A/\Delta h$ не рекомендуется.

П5.2.6. Определение глубины залегания геологических тел по отношению площади аномального графика к максимальному значению ΔZ в эпицентре (по Д. С. Микову)

Метод Д. С. Микова применим к изолированным аномалиям ΔZ с единственным максимумом, зарегистрированным на эпицентральном пересечении намагниченного геологического объекта. Необходимой предпосылкой применения метода является наличие примерных априорных представлений о форме искомого геологического тела и возможность аппроксимации этого тела моделью правильной геометрической формы.

В отличие от методов определения глубин по характерным точкам аномальной кривой (например, метода касательных) излагаемый метод не требует предварительного сглаживания кривой. Отдельные выпуклости и зубцы на графике мало сказываются на результатах интерпретационных расчетов.

Определяемая глубина h отсчитывается от уровня наблюдений: для шара, горизонтального кругового цилиндра и сжатого по вертикали эллипсоида — до *центра* этих тел; для бесконечного по простиранию и на глубину вертикального пласта, или вертикального штока — до их *верхней* кромки.

Реализация метода сводится к выполнению следующих операций.

1. Если интерпретируемая аномалия осложнена влиянием линейного или нелинейного регионального фона, последний устраняется применением процедуры осреднения или иных приемов разделения аномалий.

2. Остаточная аномалия ΔZ оценивается качественно. Наличие боковых отрицательных минимумов позволяет уточнить априорную модель намагниченного тела (шар, цилиндр, эллипсоид).

3. Если искомое тело — шар (с изометрической в плане аномалией), горизонтальный круговой цилиндр или эллипсоид, подсчитывается площадь P, ограниченная *положительными* значениями аномальной кривой и осью абсцисс (непосредственно в квадратных сантиметрах или квадратных миллиметрах).

Особо подчеркивается, что подсчет площади выполняется только по чистым аномальным графикам, где нулевое значение ординаты определяется не значением нормального поля в данном районе, а соответствует нулевому аномальному эффекту для данной одиночной аномалии.

4. В соответствующих линейных единицах (сантиметрах или миллиметрах) определяется максимальное значение эпицентральной кривой ΔZ_{max}.

5. Искомая глубина вычисляется из равенств

$$h = 0{,}92\frac{P}{\Delta Z_{max}} \quad \text{(шар)};$$

$$h = \frac{P}{\Delta Z_{max}} \quad \text{(цилиндр)};$$

$$h = 0{,}25\frac{P}{\Delta Z_{max}} \quad \text{(эллипсоид вращения, сжатый по вертикали; } c/a = 0{,}25;\ c = 0{,}7h);$$

$$h = 0{,}45\frac{P}{\Delta Z_{max}} \quad \text{(эллипсоид вращения, сжатый по вертикали; } c/a = 0{,}5;\ c = 0{,}8h;\ c \text{ — фокусное расстояние, } a \text{ — большая полуось эллипса}).$$

6. Для штоков и вертикальных пластов площадь следует подсчитывать в бесконечных пределах, что практически невыполнимо. Поэтому подсчет площадей, ограничиваемых кривой ΔZ ведется не до оси абсцисс, а до парал-

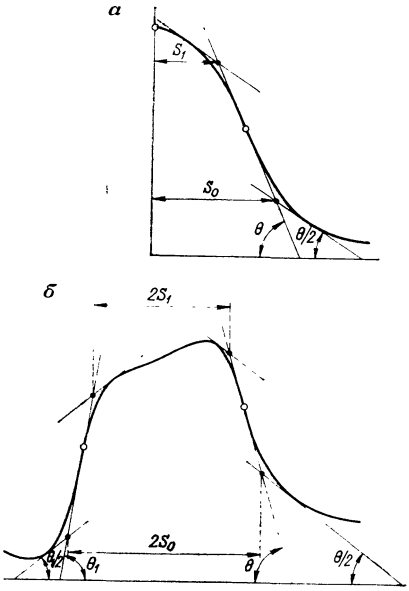


Рис. П5.12. К методу Петерса-Голуб.

лельной ей линии, проходящей через ординату $\Delta Z = 0{,}1\ \Delta Z_{max}$ (обозначим эту площадь $P_{0,1}$).

7. Действительное значение P: для вертикального пласта $P = 1{,}25\,P_{0,1}$; для вертикального штока $P = 1{,}8\,P_{0,1}$.

8. По вычисленному P и снятому с графика значению ΔZ_{max} глубины h определяются из соотношений

$h = 0{,}32\,\dfrac{P}{\Delta Z_{max}}$ (для маломощного вертикального пласта);

$h = 0{,}5\,\dfrac{P}{\Delta Z_{max}}$ (для вертикального штока).

П5.2.7. Метод Петерса—Голуб

Используется для приближенного определения глубины до верхней кромки мощного пласта, бесконечного по простиранию и падению, по аномалиям ΔT и ΔZ. Для применения метода интерпретируемые аномалии должны быть двухмерными, а в случае трехмерных аномалий эллиптической формы (в плане) большая ось эллипса должна по крайней мере в 3 раза превосходить малую. Профиль, по которому проводятся расчеты, должен быть перпендикулярен к главной оси аномалии и проходить через вершину (эпицентр) аномалии.

Графические построения на аномальной кривой, необходимые для расчетов по способу Петерса — Голуб, показаны на рис. П5.12. Используемые в расчетах длины S_0 и S_1 можно определить либо по одной ветви кривой, если аномалия симметрична (рис. П13, *а*), либо по обеим ветвям (рис. П13, *б*).

Первыми проводятся боковые касательные через точки максимальной крутизны на каждой ветви аномальной кривой. Измеряются углы θ и θ_1, образуемые этими касательными с осью абсцисс. Для правой ветви угол отсчитывается по часовой стрелке, для левой — против часовой.

На каждой ветви кривой проводят еще две касательные (верхнюю и нижнюю), параллельные между собой. Эти касательные должны образовывать угол $\theta/2$ с осью абсцисс. Точки пересечения этих касательных с главными боковыми касательными фиксируют на чертеже.

Используемые в расчетах глубины h параметры S_0 и S_1 определяют, как показано на рис. П13. Глубину h вычисляют по формуле

$$h = \frac{S_0 - S_1}{K_{ср}}.$$

где $K_{ср}$ принимает различные значения в зависимости от отношения горизонтальной полумощности b пласта к глубине его верхней кромки h.

Если точное отношение b/h неизвестно, но по ориентировочным данным находится в пределах $2 \leqslant b/h \leqslant 5$ (т. е. мощность пласта в 4—10 раз больше h), следует принять $K_{ср} = 2$. Точные значения $K_{ср}$ для разных b/h приводятся в табл. П5.5.

ТАБЛИЦА П5.5.

КОЭФФИЦИЕНТ $K_{ср}$ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ $b\,h$

$b\,h$	$K_{ср}$	$b\,h$	$K_{ср}$
0,25	1,11	3,00	2,16
0,50	1,13	5,00	2,20
1,00	1,47	8,00	2,30
2,00	1,60	10,00	2,60

4. Ожидаемая погрешность определения h по способу Петерса — Голуб обычно не превосходит 10—15%.

П6. СВЕДЕНИЯ О МАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ ВО ВРЕМЕНИ

Для оценки магнитной активности геомагнитного поля вычисляют так называемый K-индекс. Этот индекс является трехчасовой 10-балльной характеристикой активности, различные баллы которой (от 0 до 9) приписываются последовательным промежуткам времени пропорционально размаху колебаний элементов земного магнетизма. Под размахом колебаний подразумевается алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим отклонениями за трехчасовой интервал на реальной вариограмме элемента земного магнетизма от сглаженной кривой нормального суточного хода этого элемента. На каждом трехчасовом интервале сопоставляются размахи каждого из элементов — H, Z и D, после чего оценку в баллах получает наибольший размах.

В силу того что размах колебаний, как правило, возрастает с увеличением геомагнитной широты места, одни и те же балльные оценки шкалы K-индекса соотносят различным значениям размаха: бóльшим в высоких широтах и меньшим — в средних и низких.

Значения K-индекса периодически публикуются в отечественных и зарубежных изданиях. Сведения об этих значениях, шкалы для расчетов индекса и алгоритмы пересчета исходных K-индексов в другие, более конкретные характеристики магнитной активности можно получить в ИЗМИРАН, его отделениях и в магнитных обсерваториях СССР (см. прил. 18).

Главное магнитное поле Земли медленно, но непрерывно меняется. Процесс изменения среднегодовых значений того или иного элемента земного магнетизма носит название *вековых вариаций*. Они наблюдаются во всех элементах земного магнетизма. Изменения среднегодовых значений геомагнитного поля за один год называется *вековым ходом*. Он различен в разных точках земной поверхности. Линии равных значений векового хода называются изопорами. Карты изопор периодически составляются для вертикальной компоненты и модуля геомагнитного поля *. Области наибольших значений векового хода называются *фокусами*. В северном полушарии вековой ход горизонтальной или вертикальной составляющих поля не превышает 100 гамм, склонения — 30′.

Существование вековых вариаций элементов земного магнетизма требует периодического обновления карт нормального поля и вынуждает указывать дату абсолютных измерений элементов геомагнитного поля. Исправленные с учетом векового хода результаты магнитных измерений именуются «отнесенными к эпохе такого-то года». Чтобы ввести поправку за вековые вариации по карте изопор соответствующего геомагнитного элемента (H, Z, T, D), находят изопору, следующую через пункт или место выполнения магнитной съемки, и умножают приписанное этой изопоре значение векового хода на число лет, отделяющих год данной съемки от года составления карт нормального поля, к которому приводится съемка **. Необходимые для приведения к определенной эпохе абсолютные измерения выполняются на КП участка съемки.

Если участок работ находится в районе расположения магнитной обсерватории, можно вводить эту поправку с большей точностью, пользуясь периодически издаваемыми ИЗМИРАН «Сводными таблицами среднегодовых значений магнитных элементов мировой магнитной сети магнитных обсерваторий».

Годовые вариации магнитного поля Земли — это периодические изменения всех геомагнитных элементов с периодом, равным 1 году.

---

* В 60-х и 70-х годах вся территория СССР находилась в зоне возрастания среднегодовых значений Z и T.

** Средняя квадратическая погрешность мировых карт нормального поля T на эпоху 1975 г. 200 гамм; карт нормального поля T СССР той же эпохи 100 гамм; карт изопор примерно 10 гамма/год.

Для каждого геомагнитного элемента годовая вариация определяется как отклонение среднемесячного значения элемента от среднего, взятого за 12-месячный промежуток времени, середина которого совпадает с первыми числами месяца. Годовые вариации в H, Z и T имеют форму двойной волны. Максимумы в H-составляющей падают на июнь и декабрь, минимумы — на месяцы равноденствия. В Z-составляющей, наоборот, минимумы падают на июнь и декабрь, а максимумы — на месяцы равноденствия. Размах от минимального до максимального значений тем больше, чем выше уровень солнечной активности, и в годы максимума солнечной активности в поясе средних и низких широт он может достигать 20 гамм (в H-составляющей) и 10 гамм в Z-составляющей. Размах от минимума до максимума во всех элементах геомагнитного поля увеличивается к экватору. В высоких широтах влиянием годовых вариаций при проведении съемок любого назначения и масштаба можно пренебречь.

Солнечносуточные вариации S представляют собой периодические изменения всех элементов земного магнетизма с периодом, равным продолжительности солнечных суток, и протекают по местному времени.

Причиной солнечносуточных вариаций являются вихревые ионосферные токи. Области их циркуляции занимают фиксированное положение в пространстве и при суточном вращении Земли последовательно оказываются над разными меридианами.

Различают два вида солнечносуточных вариаций: вариации в спокойные дни S_q и вариации в бурные дни S_d называемые также *солнечносуточными возмущенными вариациями*. Встречающееся в литературе по магниторазведке понятие «суточный ход» обычно служит синонимом одновременно двух понятий: как самих S_q-вариаций (процесса), так и их амплитуд (числа), что необходимо иметь в виду при подготовке отчетов и публикаций.

Амплитуды спокойных солнечносуточных вариаций S_q максимальны летом и минимальны зимой. В месяцы равноденствия амплитуды одинаковы в обоих полушариях и принимают промежуточное (среднее) значение. S_q-вариации отсчитываются от ночного уровня поля. Амплитуды S_q в горизонтальной компоненте в среднем составляют десятки гамм (до 50—60), вертикальной — до 15—20 гамм, склонения — до 10′. В экваториальной зоне S_q-вариации в H- и Z-компонентах резко усиливаются, а вариации склонения затухают.

Зависимость S_q-вариаций от широты места носит сложный характер и рассматривается в специальных монографиях и научных публикациях [15, 86]. S_q-вариации считаются примерно одинаковыми для точек на одной и той же параллели, если расстояние между этими точками не превосходит 150—200 км. Строго говоря, ни географическая, ни геомагнитная системы координат не соответствуют симметрии поля S_q-вариаций.

Лунносуточными вариациями L называются спокойные вариации с периодом, равным продолжительности лунных полусуток (12,5 ч). Амплитуды лунносуточных вариаций в составляющих геомагнитного поля всюду, за исключением приэкваториальной зоны, не превышают 3 гамм, склонения — 40″.

Короткопериодные колебания (КПК) представляют собой цуги таких колебаний геомагнитных элементов, форма которых напоминает синусоиду. Их подразделяют на шесть групп регулярных колебаний и три — иррегулярных (Pi), имеющих неправильную форму. Классификация КПК по продолжительности периода одиночного колебания приведена в таблице. На качество магнитных съемок влияют лишь пульсации классов Pc3, Pc4, Pc5.

Pc3 — наиболее распространенный класс КПК. Дней без Pc3 почти не бывает. Частота возникновения пульсаций Pc3 максимальна в полуденные часы и резко снижается с заходом солнца. Наиболее вероятная оценка размаха пульсаций Pc3 от минимума до максимума в H-компоненте — первые гаммы (для средних широт), по Z-компоненте 0,5—1,2 гаммы, в модуле до 1,8 гаммы. Амплитуда Pc3 снижается примерно вдвое с уменьшением широты на каждые 30°.

КЛАССИФИКАЦИЯ КПК

Период, с	Типы пульсаций	
	Квазисинусоидальные	Иррегулярные
0,2—5 5—10 10—45	Pc1 Pc2 Pc3	Pi1 (период 1—40 с)
45—150	Pc4	Pi2
150—600 600—1000	Pc5 Pc6	Pi3

Pc4 и Pc5 в годы минимума солнечной активности становятся доминирующими. Размах от минимума до максимума в H-компоненте — 5—15 гамм; в Z-компоненте — 1—8 гамм (средние широты). Пульсации Pc4 и Pc5 имеют два суточных максимума интенсивности: Pc4 — утренний и полуденный, Pc5 — утренний и вечерний.

Недавно открытые пульсации Pc6 встречаются в высоких широтах как днем, так и ночью.

Все КПК наименее интенсивны зимой. Максимумы их активности приходятся на лето или на месяцы равноденствия. Период доминирующих пульсаций уменьшается с возрастанием K-индекса. При весьма высокой активности ($K \geqslant 5$) наблюдаются пульсации *только* с периодом 10—15 с.

Бухтообразные возмущения или бухты D_δ — локальные (т. е. сильно зависящие от геомагнитной широты места) возмущения, форма которых на вариограмме напоминает форму береговых линий морских бухт. Продолжительность бухтообразного возмущения изменяется от 15—20 мин до 2—3 ч. Бухты особенно отчетливо выделяются на δH-вариограммах. Амплитуда (размах от невозмущенного уровня до экстремального значения) типичной бухты в средних широтах 30 гамм в горизонтальной компоненте и 6—7 гамм в вертикальной. Иногда амплитуды бухт δH достигают первых сотен гамм. Крупные бухты редки днем и, как правило, появляются после захода солнца или ночью. Источником бухтообразных возмущений являются токи, распространяющиеся в полосовых зонах на высоте 100—150 км в районе 70° с. ш.

Магнитные бури — это понятие, не имеющее однозначного определения. Иногда бурями называются любые магнитные возмущения большой интенсивности. Термином буря нередко называют также суперпозицию периодических и апериодических вариаций, воспринимаемую как хаотичное нагромождение одного колебания на другое с разными периодами и амплитудами при значительном (до первых тысяч гамм) размахе элементов земного магнетизма на вариограммах. Наблюдаемое во время бурь поле можно представить в виде

$$W = S_d + D_{st} + D_i,$$

где S_d — возмущенная суточная вариация; D_{st} — сторм-тайм вариация; D_i — иррегулярная вариация.

Апериодическая сторм-тайм вариация D_{st} четко проявляется в H-, слабее в Z-компоненте и практически не затрагивает склонения. Во время начальной фазы H-компонента возрастает примерно на 20 гамм, через 1—6 ч возрастание сменяется уменьшением H (главная фаза) примерно на 50 гамм, после чего наступает фаза медленного (несколько дней) возвращения компоненты к невозмущенному уровню. Ход Z-составляющей при D_{st}-вариации такой же, как и в H-составляющей для южного полушария и про-

тивоположен (по знаку) ходу H в северном полушарии. Амплитуда вариации в Z-компоненте не превосходит 5—8 гамм.

Магнитные бури при всем их многообразии могут быть разделены на две основные группы: мировые бури и полярные. Мировым бурям присущи следующие две особенности: а) возмущение распространяется на все широты и протекает синфазно в поясе геомагнитных широт $\pm 45°$; б) в них всегда можно выделить регулярные составляющие D_{st} и S_d.

Мировые бури особенно интенсивны в высоких широтах. Амплитуды колебаний геомагнитных элементов во время исключительно сильных бурь превышают 2000—3000 гамм в авроральных ($55 \leqslant \Phi \leqslant 67°$) широтах; скорости изменения элементов земного магнетизма меняются в широких пределах, достигая в отдельных случаях первых десятков гамм за секунду. В средних широтах колебания поля во время бури не превосходят 1000 гамм. Продолжительность одиночной мировой бури варьирует в пределах от 2 до 5 суток, причем наибольшая возмущенность приходится на первые часы бури.

Полярные бури представляют собой возмущения, напоминающие по форме крупную бухту значительной амплитуды (примерно 1000 гамм). Резко затухают с переходом от полярных широт к умеренным.

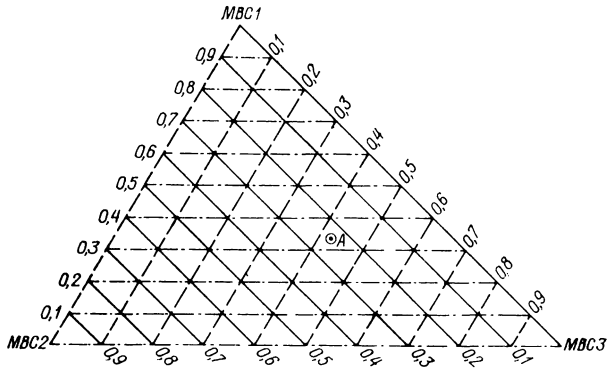
Все магнитные бури обнаруживают два суточных максимума: ночной (около 4 ч) и вечерний (около 19 ч). Частота бурь (число бурь в фиксированном временном интервале) обусловлена ходом солнечной активности и находится от нее в прямой зависимости. В годы максимума солнечной активности частота бурь оказывается наибольшей. В течение года бури обнаруживают 27-дневную повторяемость.

Максимум числа бурь обычно приходится на сентябрь, минимум на июнь. В последние годы становятся известными случаи успешного предвидения магнитных бурь на недельный и большие сроки. Необходимый прогноз можно получить, в частности, в систематически выпускаемых бюллетенях УКВ-радиосвязи; теория и статистические данные о прогнозировании возмущений освещены в работе [77].

П7. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАЦИОННОЙ ПОПРАВКИ ПО ДАННЫМ ТРЕХ МВС

На большом листе миллиметровой бумаги составляется план фактического положения маршрутов и МВС. Масштаб изображения при средне- и мелкомасштабных аэромагнитных съемках 1 : 100 000 или 1 : 200 000; при крупномасштабных аэромагнитных съемках высокой точности масштаб изображения может быть укрупнен (1 : 10 000—1 : 50 000).

Отрезки, соединяющие каждую пару МВС, делятся каждый на десять равных частей. Точки деления на одной из сторон треугольника соединяются с соответствующими им по порядку удаленности от вершин треугольника точками деления другой стороны. Внутри треугольника образуется сетка, позволяющая определить коэффициент веса показаний каждой из трех МВС для любой точки на площади данного треугольника. Пример построения сетки приведен на рисунке.



Пример построения сетки для определения вариационной поправки по данным трех МВС.

При расчете поправки за вариации по одновременным показаниям трех МВС рекомендуется нижеследующий порядок действий.

1. Для каждого момента времени, к которому относятся рассчитываемая поправка, определяется положение съемочного самолета и эту точку (например, *A*) наносят на план внутри треугольника, образованного вариационными станциями.

2. Для нанесенной на план точки определяются веса показаний каждой из трех МВС. Оцифровка номограммы, позволяющая определять искомые веса, выполняется на каждой стороне треугольника возле точек деления. Стороне треугольника, которая противолежит одной из МВС, приписывается нулевой вес этой МВС. Ближайшей линии номограммы, проведенной параллельно названной стороне, приписывается вес 0,1 (для показаний той же самой противолежащей МВС) и т. д. Точное значение веса показаний МВС для нанесенной на план точки определяется интерполированием значений между двумя соседними линиями номограммы. Определение веса показаний второй МВС для этой же точки выполняется аналогичным образом. Стороне, противолежащей этой второй МВС, приписывается вес, равный нулю, ближайшей к ней параллели номограммы — вес 0,1, следующей — вес 0,2 и т. д. Аналогично поступают и при определении веса показаний третьей МВС.

3. После того как веса определены, показания каждой МВС в момент времени, соответствующий прохождению самолета через рассматриваемую

точку, умножаются на свои веса. Сумма этих произведений дает искомое значение поправки за вариации, которая затем вводится в наблюденное в данной точке и в данный момент времени значение ΔT. Так, если для некоторой точки веса показаний МВС K_1, K_2 и K_3, а соответствующие ординаты вариограмм δT_1, δT_2, δT_3, то поправка за вариации в рассматриваемой точке равна $\delta T = K_1 \delta T_1 + K_2 \delta T_2 + K_3 \delta T_3$.

Процедура вычисления поправки повторяется для каждой следующей точки, положение которой наносится на план графиков, с учетом времени. В итоге каждый нанесенный на план маршрут разбивается на конечное число точек, для каждой из которых указанным способом рассчитывается значение поправки за вариации.

П8. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

На исходном этапе оценки результатов съемки аномалию можно считать достоверной, если она отмечается не менее чем по трем соседним точкам, значения поля в которых превышают не менее чем в 3 раза среднюю квадратическую погрешность съемки.

При более тщательном анализе данных съемки, и в частности при отборе аномалий для количественной интерпретации, следует вычислять энергетическое отношение ρ (аномалия/помеха) и действительный уровень достоверности обнаружения аномалии γ (критерий Котельникова).

Отношение ρ в случае некоррелированных помех определяется из равенства

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{m} a^2(x_i)}{\sigma^2} = \frac{a_{\text{ср}}^2 m}{\sigma^2},$$

где σ^2 — дисперсия помехи; $a(x_1)$, $a(x_2)$, ..., $a(x_m)$ — ординаты аномалии, удовлетворяющие условию $a(x_1) \geqslant k\sigma$, $k = 2 \div 3$; $a^2_{\text{ср}} = [\sum_{i=1}^{m} a^2(x_i)]/m$ — квадрат средней амплитуды аномалии.

Достоверность обнаружения аномалии оценивается критерием Котельникова

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\sqrt{\rho}/2} e^{-x^2/2} dx = \Phi\left(\frac{\sqrt{\rho}}{2}\right).$$

При вычислении γ принимают, что помехи обусловлены исключительно погрешностью съемки σ. В тех случаях, когда решается задача выделения слабой полезной аномалии при значительном фоне геологической природы и в качестве дисперсии помех принимается дисперсия фонового поля в свободных от аномалий зонах, обязательно упоминание о смысле и методе оценки σ.

При известном ρ значения интеграла вероятности берутся из таблиц, приводимых в любом курсе теории вероятностей. Упомянутое выше правило трех точек со значениями поля большими трех σ ($m = 3$ и $a(x_i) \geqslant 3\sigma$) соответствует уровню достоверности $\gamma \geqslant 99{,}5\%$. На практике достаточным считается уровень достоверности $\gamma \geqslant 95\%$.

Надежность (уровень достоверности) обнаружения аномалии увеличивается с ростом числа профилей, на которых она прослеживается. Если корреляции помех между профилями нет, уровень достоверности обнаружения площадной аномалии определяется равенством

$$\gamma_{\text{пл}} = \Phi\left(\sqrt{N\rho/2}\right),$$

где N — число профилей, на которых отмечается аномалия.

Например, для аномалии, соизмеримой с уровнем помех ($a_{\text{ср}}^2 \approx \sigma^2$), протяженностью $m = 10$ точек и отмеченной на трех соседних профилях ($N = 3$), $\gamma \geqslant 99{,}5\%$.

При количественной интерпретации средняя квадратическая погрешность определения амплитуды и протяженности аномалии не должна превосходить 5—10%. Это требование обеспечивается при $\rho \geqslant 100$, т. е. когда вопрос о наличии аномалии решен практически однозначно.

П9. СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫПОЛНЕНИИ И УВЯЗКЕ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ НАЗЕМНЫХ МАГНИТНЫХ СЪЕМОК

П9.1. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗБИВКЕ ОПОРНОЙ СЕТИ И НАБЛЮДЕНИЯМ В ЕЕ УЗЛАХ

Полевая опорная сеть — это сеть пунктов наблюдений повышенной точности, служащая для контроля качества наблюдений, определения смещения нуль-пункта съемочного прибора и учета этого смещения при исправлении результатов съемки, а также приведения съемки к единому уровню. Пункты (узлы, точки) опорной сети служат жесткой основой для привязки к ним наблюдений на пикетах рядовой съемки и обладают повышенным весом при уравнивании их совместно с рядовыми пунктами.

Опорная сеть должна отвечать следующим требованиям:

а) погрешность измерений наблюдаемого геомагнитного элемента (значений поля) на пунктах опорной сети должна быть не менее чем в 1,5—2 раза ниже по сравнению с погрешностью измерений на пунктах рядовой съемки;

б) опорная сеть должна быть равномерной и удобно расположенной для привязки к ней пунктов рядовой сети;

в) опорную сеть, как правило, разбивают перед началом рядовой съемки участка;

г) поле наблюдаемого геомагнитного элемента на пунктах опорной сети должно характеризоваться малыми градиентами; опорный пункт, попавший в резко аномальное поле, подлежит переносу в ближайшее место с меньшими градиентами поля;

д) пункты опорной сети устанавливают в местах, удобных для опознания и привязки их к реперам государственного нивелирования, знакам триангуляции, геодезическим знакам и другим долговременным ориентирам на местности (мостам, перекресткам дорог) или естественным ориентирам (излучинам рек, высотам);

е) опорная сеть при наземных съемках средней и высокой точности, и в особенности при крупномасштабных и прецизионных наблюдениях, должна создаваться на базе инструментально проложенных профилей.

Повышение точности наблюдений на опорных пунктах обеспечивается:

а) применением приборов более высокого класса точности (например, квантовых, если рядовая съемка планируется с протонными магнитометрами) или приборов того же класса точности, что и рядовые съемочные, но с более стабильными характеристиками;

б) многократным повторением наблюдений на пунктах опорной сети;

в) сокращением времени на транспортировку прибора между соседними опорными пунктами (при больших звеньях сети для переброски прибора на смежный пункт используется транспорт);

г) не менее чем двукратным прохождением звеньев, связующих опорные точки.

Измерения взаимных превышений * между соседними точками сети рекомендуется выполнять по цикловой схеме. На звене $АБ$ проводят серию измерений в точке $А$ (среднее $n'_А$), затем серию измерений в точке $Б$ (среднее $n_Б$) и снова в точке $А$ (среднее $n''_А$). Тогда взаимное превышение поля на звене $АБ$ определяется из равенства $\Lambda_{АБ} = n_Б - (n'_А + n''_А)/2$.

д) одновременным применением при разбивке опорной сети двух или более приборов с равноценными показателями точности.

---

* Под взаимными превышениями здесь и далее имеются в виду приращения поля между любыми соседними узлами опорной сети.

Если одно из наблюдений в серии на опорном пункте отличается от среднего из остальных на значение, превышающее $3\sigma^*$, то это наблюдение бракуется.

Расстояние между точками опорной сети для съемок высокой точности определяется на стадии проектирования работ с учетом класса используемой для съемки аппаратуры и важнейших метрологических показателей приборов, а также с учетом времени года, уровня магнитной активности и промышленных магнитных помех в районе съемки. Для съемок средней точности расстояние между опорными точками должно быть таким, чтобы в процессе рядовой съемки можно было бы не реже чем через каждые 2—3 ч брать отсчет на одной из опорных точек.

При проведении наблюдений на опорных пунктах обязателен учет вариаций магнитного поля. Допустимое удаление магнито-вариационной станции от рабочего участка определяется с учетом положений, сформулированных в § 21. Наиболее предпочтительное время суток для наблюдений на опорной сети — вечер, после 18 ч по местному времени. Перед началом работ на опорной сети необходимо получить вариограмму за ближайшие предшествующие наблюдениям часы. Разбивка опорной сети при средней и значительной возмущенности магнитного поля нецелесообразна.

Конфигурация опорной сети определяется задачами и масштабом съемки. Наиболее рациональны *две* разновидности сети: а) с опорными точками на магистралях; б) с узлами, образующими систему примерно равносторонних замкнутых полигонов.

При магистральном варианте линии расположения узлов сети лежат перпендикулярно к направлению рядовых профилей съемки, так что на этих линиях (магистралях) находятся первая (начальная) и последняя точки рядового профиля. Третью магистраль проводят, как правило, посредине участка, между крайними магистралями параллельно им и на равном расстоянии от них. Наблюдения поля на каждой магистрали производят как минимум трижды; за значение поля в каждой точке на магистрали принимается среднее из серии наблюдений, относящихся к данной точке.

Опорные магистрали должны быть дополнительно увязаны между собой (приведены к единому уровню). Это обеспечивается системой рядовых профилей, соединяющих соответствующие точки магистралей.

В отдельных случаях, при высоком уровне помех или при проведении прецизионных съемок, разрешается разбивка опорной сети *после* выполнения рядовой съемки, на основании полученной картины поля с обязательной переувязкой съемки по новым узлам опорной сети, помещенным в пункты с минимальными градиентами поля.

Постадийная двухступенчатая разбивка опорных сетей («каркасная» плюс «заполняющая») не рекомендуется.

В необходимых случаях для привязки результатов относительных наблюдений к абсолютным значениям измеряемого геомагнитного элемента один из узлов опорной сети увязывается с пунктом векового хода или на одной из точек опорной сети выполняются абсолютные измерения полного мгновенного значения поля. В качестве приборов для таких измерений используются, как правило, протонные магнитометры

П9.2. УРАВНИВАНИЕ НАЗЕМНОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ

Уравнивание опорной сети, представляющей собой систему замкнутых полигонов, сводится к составлению и решению системы нормальных уравнений. Рассмотрим эту процедуру для системы полигонов со звеньями *разной* длины. В общем случае в нормальные уравнения входят *веса* звеньев, но при равноточных измерениях в условиях примерно одинакового уровня помех в процессе разбивки опорной сети различие весов, как правило, бывает обу-

* σ — среднее квадратическое отклонение результата наблюдения на точке (определенное по повторному ходу).

словлено лишь различием длин звеньев. Веса превышений по звеньям обратно пропорциональны длинам звеньев.

Пусть опорная сеть состоит из трех полигонов (рис. П9.1). Суммарную невязку при обходе полигона I, II и III обозначим соответственно V_{I}, V_{II} и V_{III}. Взаимные превышения поля по звеньям обозначаются L_{i-k}, где пара индексов означает номера узлов сети, связываемых звеном. Длины звеньев будем обозначать буквой a с указателями, соответствующими номерам полигонов, которым то или иное звено принадлежит. Например, длину звена 1—2 обозначим через a_{I}^{1-2}, длину звена 2—3—a_{I}^{2-3}; но длину звена 1—4, принадлежащего одновременно полигонам I и II — через $a_{\text{I—II}}^{1-4}$

Присутствие смежных полигонов требует учета соответствующих поправочных коэффициентов K. Нормальные уравнения составляются непосредственно по чертежу опорной сети. В уравнение каждого полигона входит прежде всего «свой» поправочный коэффициент, умноженный на весь периметр полигона; из этого произведения вычитаются поправочные коэффициенты смежных полигонов, умноженные на длины соответствующих звеньев, и к разности прибавляется невязка данного полигона, после чего вся сумма приравнивается нулю.

Для конкретной схемы, приведенной на рис. П9.1, система нормальных уравнений такова:

$$\left(a_{\text{I}}^{1-2}+a_{\text{I}}^{2-3}+a_{\text{I}}^{3-4}+a_{\text{I—II}}^{4-1}\right)K_{\text{I}}-a_{\text{I—II}}^{1-4}K_{\text{II}}+V_{\text{I}}=0;$$

$$\left(a_{\text{I—II}}^{1-4}+a_{\text{II}}^{4-5}+a_{\text{II—III}}^{5-8}+a_{\text{II}}^{8-1}\right)K_{\text{II}}-a_{\text{I—II}}^{4-1}K_{\text{I}}-a_{\text{II—III}}^{8-5}K_{\text{III}}+V_{\text{II}}=0;$$

$$\left(a_{\text{II—III}}^{8-5}+a_{\text{III}}^{5-6}+a_{\text{III}}^{6-7}+a_{\text{III}}^{7-8}\right)K_{\text{III}}-a_{\text{II—III}}^{5-8}K_{\text{II}}+V_{\text{III}}=0.$$

При данном способе уравнивания число нормальных уравнений равно числу полигонов. Учитывая, что в данном примере все полигоны равносторонние, записываем

$$4K_{\text{I}}-K_{\text{II}}+1{,}2=0;$$

$$4K_{\text{II}}-K_{\text{I}}-K_{\text{III}}-0{,}4=0;$$

$$4K_{\text{III}}-K_{\text{II}}-2{,}8=0.$$

Система нормальных уравнений решается относительно неизвестных — поправочных коэффициентов K на единицу длины для каждого полигона сети. В нашем примере

$$K_{\text{I}}=-\frac{13{,}6}{56}\approx-0{,}24;\qquad K_{\text{II}}=\frac{12{,}8}{56}\approx 0{,}23;\qquad K_{\text{III}}=\frac{42{,}4}{56}\approx 0{,}76.$$

После решения системы определяются поправки превышений на каждую единицу длины для звеньев, принадлежащих одновременно двум полигонам, как разности двух поправочных коэффициентов смежных полигонов. Например, для звена *1—4*, взятого по ходу полигона *I*, поправка на единицу длины будет $K_{\text{I}}-K_{\text{II}}$, а для звена *5—8*, взятого по ходу полигона II, поправка равна $K_{\text{II}}-K_{\text{III}}$.

Результирующие поправки на взаимные превышения по звеньям определяются равенствами

$$\Delta_{\text{I}}^{1-2}=a_{\text{I}}^{1-2}K_{\text{I}};\qquad \Delta_{\text{I}}^{2-3}=a_{\text{I}}^{2-3}K_{\text{I}};\qquad \Delta_{\text{I}}^{3-4}=a_{\text{I}}^{3-4}K_{\text{I}};$$

$$\Delta_{\text{I—II}}^{4-1}=a_{\text{I—II}}^{4-1}\left(K_{\text{I}}-K_{\text{II}}\right)\text{ и т. д.}$$

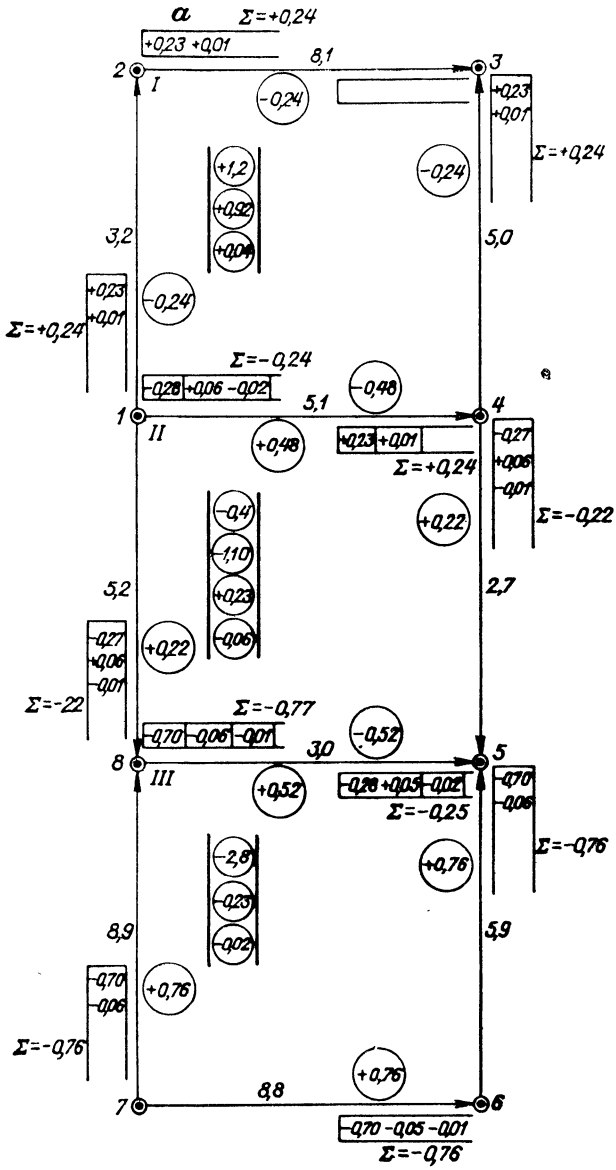


Рис. П9.1. К увязке способом В. В. Попова

а — схема опорной сети; *б* — расчет средней квадратической погрешности единицы веса сети.

б

Пара смежных опорных точек	Превышение до увязки	Превышение после увязки	$\lvert \Delta_i \rvert$	Δ_i^2
2—1	3,2	2,96	0,24	0,0576
3—2	8,1	7,86	0,24	0,0576
4—3	—5,0	—5,24	0,24	0,0576
1—4	—5,1	—5,58	0,48	0,2304
5—4	2,7	2,92	0,22	0,0484
8—5	—3,0	—3,52	0,52	0,2704
1—8	—5,2	—4,98	0,22	0,0484
6—5	—5,9	—5,14	0,76	0,5776
7—6	—8,8	—8,04	0,76	0,5776
8—7	8,9	9,66	0,76	0,5776

$$\sum_{i=1}^{10} \Delta_i^2 = 2{,}5032$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}{r}} = \sqrt{\frac{2{,}5032}{3}} \approx 0{,}91$$

В нашем примере (с округлением)

$$\Delta_{\text{I}}^{1-2} = -0{,}24; \qquad \Delta_{\text{I}}^{2-3} = -0{,}24; \qquad \Delta_{\text{I}}^{3-4} = -0{,}24;$$

$$\Delta_{\text{I—II}}^{4-1} = -0{,}47; \qquad \Delta_{\text{II}}^{4-5} = 0{,}23; \qquad \Delta_{\text{II—III}}^{5-8} = -0{,}53;$$

$$\Delta_{\text{II}}^{8-1} = 0{,}22; \qquad \Delta_{\text{III}}^{5-6} = 0{,}76; \qquad \Delta_{\text{III}}^{6-7} = 0{,}76; \qquad \Delta_{\text{III}}^{7-8} = 0{,}76.$$

Результат уравновешивания опорной сети изложенным методом равноценен результату, который получился бы при непосредственном применении способа наименьших квадратов.

В простейших случаях (мало полигонов, длины звеньев измерены с большой точностью) искомые поправки можно определять непосредственно, решая систему по правилу Крамера. В общем случае система решается методом последовательных приближений. Вариант графического ее решения, не требующий даже составления самой системы, излагается ниже.

Метод последовательных приближений для определения поправок при уравнивании опорных сетей имеет два важнейших варианта: графический (способ коррелат, или В. В. Попова) и способ узлов.

При увязке по способу коррелат (способу В. В. Попова) выполняют нижеследующие действия.

1. Составляют схематический чертеж опорной сети. Римскими цифрами нумеруют полигоны, арабскими — узловые точки сети, т. е. вершины многоугольников.

2. С графиков опорных маршрутов или непосредственно из журналов наблюдений на опорной сети для каждой пары соседних узлов сети определяют взаимные превышения поля. Эти приращения записывают без знака на соответствующих сторонах полигона. Направление возрастания поля от узла к узлу указывают стрелками, что и позволяет опускать знаки приращений при записи их на схеме.

3. Для подсчета невязки в каждом полигоне выписанные на его сторонах приращения суммируют обходом по часовой стрелке. Если направление обхода совпадает с направлением возрастания поля, указанным стрелкой, то соответствующее слагаемое берется с положительным знаком; в противном

случае с отрицательным. Суммарную невязку записывают в середине полигона.

4. Около каждого звена полигона вычерчивают таблички для занесения туда слагаемых разбрасываемой невязки так, как показано на рис. П9.1. Для внешних звеньев таблички необходимы только с одной стороны — вне полигона.

5. Определяют вес каждого записанного на соответствующей стороне полигона приращения («вес звена полигона»). Для расчета весов требуется информация о конкретных обстоятельствах съемки опорной сети. Например, одно из звеньев полигона может быть пройдено несколько (k) раз, и записанное приращение является средним для серии полученных взаимных превышений, а другое — всего 1 раз. Веса таких звеньев оказываются в отношении $k:1$. Если звенья полигона существенно различны по длине, веса измеренных приращений при равенстве прочих условий обратны длинам звеньев. Возможны и более сложные случаи, когда для оценки весов необходимо учитывать различия в уровне магнитной активности при обработке разных звеньев полигона, степень отклонения рабочих условий от нормальных на различных же звеньях и другие факторы.

6. Разбрасывание невязки по сторонам полигона осуществляют обратно пропорционально значениям веса этих сторон (значениям веса отнесенных к этим сторонам приращений). Пусть, например, имеется замкнутый четырехзвенный полигон, где веса приращений (веса звеньев) находятся в отношении 4 : 3 : 2 : 1. Чтобы получить коэффициенты, пропорционально которым разбрасывается невязка, нужно:

а) вычислить значения, обратные данным значениям веса, т. е. перейти (в рассматриваемом примере) к числам 1/4, 1/3, 1/2 и 1;

б) подсчитать сумму полученных чисел (в примере: $1/4+1/3+1/2+1=25/12$);

в) нормировать значения, обратные значениям веса, путем их деления на подсчитанную в предыдущем пункте сумму (в примере нормированные значения суть 3/25, 4/25, 6/25 и 12/25). Сумма нормированных слагаемых должна быть равна единице.

Если звенья полигонов существенно разнятся по длине, нужно найти периметр полигона и определить относительную длину звена, которая и будет при равноточности измерений соответствующим весовым множителем при разбрасывании невязки по сторонам полигона.

Весовые множители вычисляются до сотых долей. На схеме их записывают *вне* полигона за теми звеньями, к которым они относятся, и притом красными чернилами («красные числа»). Для равносторонних полигонов с равноточными измерениями взаимных превышений (вообще, в случае равных весов) «красные числа» на схему не выносятся.

7. Распределение невязок полигонов на отдельные звенья пропорционально «красным числам» назовем *выбрасыванием* невязок полигона за его границы. Распределение невязок начинают с полигонов, где невязка максимальна. В дальнейшем изложении рабочая процедура иллюстрируется примером, представленным на схеме рис. П9.1.

8. Невязку полигона (в примере — полигона III) разносят по звеньям (по 0,70 на каждое). Слагаемые невязки заносят в таблички на внешней стороне каждого звена, а саму невязку, записанную внутри полигона, после ее распределения по звеньям обводят кружком (погашают).

В смежном с начальным полигоне его собственную исходную невязку суммируют с частью невязки, перешедшей сюда из предыдущего полигона и записанной в табличке у общей с предыдущим полигоном стороны (в примере для полигона II: $-0,4-0,70=-1,10$), после чего взятое из таблички значение отчеркивают так как уже использованное (погашенное), а суммарную невязку записывают непосредственно под исходной (которая при этом также обводится кружком) и разносят по звеньям полигона по уже продемонстрированной здесь процедуре.

В очередном следующем полигоне результирующая невязка распределяется так же (полигон I: $1,2-0,28=0,92$).

9. После выполнения первой раскладки во всех без исключения полигонах схемы начинают вторую раскладку. Выбор начального полигона при этом не имеет значения.

10. Распределение невязок заканчивают, когда остающиеся в полигонах невязки либо становятся пренебрежимо малы, либо оказываются ниже наперед принятого уровня точности увязки.

В зависимости от очередности распределения невязок числа в табличках могут быть различны при различном порядке отработки полигонов, но итоговая сумма их в каждой табличке, определяющая поправку на звене полигона, должна независимо от порядка движения по полигонам быть одной и той же.

11. По суммам занесенных в таблички чисел находят искомые поправки на звеньях. Суммарная поправка для звена, взятая в направлении обхода полигона по часовой стрелке, равна сумме чисел во внутренней относящейся к данному звену табличке минус сумма чисел во внешней к данному полигону табличке этого же звена (в нашем примере поправка для звена *4—1* полигона: I: —0,24—0,24 = —0,48). Окончательные поправки записывают в больших кружках возле каждого звена. Сумма поправок к сторонам по всему полигону должна быть равна начальной невязке данного полигона с обратным знаком.

12. Уравниваемые приращения на схеме исправляют путем суммирования их с соответствующими итоговыми поправками. Сумма исправленных приращений при обходе по любому из увязанных полигонов должна быть равна нулю или не превосходить заранее заданного уровня неопределенности (в примере для полигона II: 5,58+2,92—3,52—4,98=0).

13. Принимая какой-либо узел опорной сети за базовый, получают увязанные значения всех остальных узлов сети по исправленным взаимным превышениям.

14. Первоначальной характеристикой погрешности увязанной опорной сети является средняя квадратическая погрешность единицы веса (см. табл. 9). Если Δ_i — итоговые поправки взаимных превышений на звеньях полигонов, $1 \leqslant i \leqslant n$, p_i — веса взаимных превышений на соответствующих звеньях, r — число замкнутых полигонов, то погрешность единицы веса μ рассчитывается по формуле

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

Вычисление μ для опорной сети в примере, иллюстрирующем увязку способом В. В. Попова, выполнено в предположении равенства весов всех взаимных превышений: $p_1 = p_2 = \ldots = p_i = \ldots = p_n = 1$ (рис. П9.1).

Уравнивание по способу узлов возможно для сети, содержащей узлы, связанные с более чем двумя смежными узлами, т. е. такой сети, где число звеньев более чем на единицу превосходит число узловых точек.

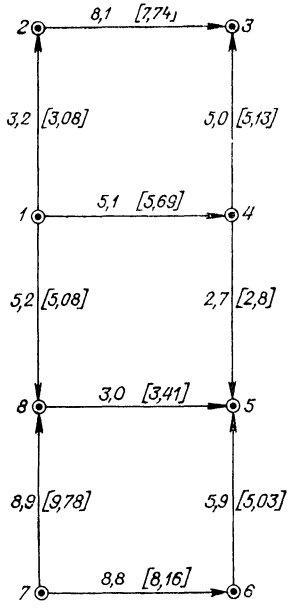
По каждому из звеньев известны взаимные превышения поля. В каждом замкнутом полигоне сети имеется невязка. Измеренные приращения по звеньям (взаимные превышения) обозначаются L_{i-k}, а веса этих звеньев p_{i-k}. Очевидно, что $L_{i-k} = -L_{k-i}$.

Процедура уравнивания сводится к нижеследующему.

1. За исходную принимается точка с твердым значением поля (например, КП в качестве узла опорной сети) или любая произвольно взятая точка, значение поля в которой условно считается равным нулю. Увязка по способу узлов рассматривается на том же числовом примере, что и увязка по способу коррелат, но иллюстрируется рис. П9.2. В данном примере за исходную выбрана точка *1*.

2. Значения поля в любой узел сети можно передать с каждой связанной с ней другой узловой точки по взаимным превышениям. В нашем примере точка *2* получает значение из узла *1* (0+3,2=3,2), точка *3* из узла *2* (3,2+

а



в

Пара смежных опорных точек	Превышение до увязки	Превышение после увязки	$\lvert \Delta_i \rvert$	Δ_i^2
2—1	3,2	3,08	0,12	0,0144
3—2	8,1	7,74	0,36	0,1296
4—3	—5,0	—5,13	0,13	0,0169
1—4	—5,1	—5,69	0,59	0,3481
5—4	2,7	2,8	0,10	0,0100
8—5	—3,0	—3,41	0,41	0,1681
1—8	—5,2	—5,08	0,12	0,0144
6—5	—5,9	—5,03	0,87	0,7569
7—6	—8,8	—8,16	0,64	0,4096
8—7	8,9	9,78	0,88	0,7744

$n - k = 10 - 8 = 2$

$$\sum_{i=1}^{10} \Delta_i^2 = 2{,}6424$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}{n-k}} = \sqrt{\frac{2{,}6424}{2}} \approx 1{,}16$$

б

Номера узлов	1	2	3	4	5	6	7	8
Номера точек, связанных с узловой	2, 4, 8	1, 3	2, 4	1, 3, 5	4, 6, 8	5, 7	6, 8	1, 5, 7
Количество связей	3	2	2	3	3	2	2	3
Свободный член	—13,5	—4,9	+13,1	—2,6	+11,6	+2,9	—17,7	+11,1
A^{I}	0	+3,2	+11,3	+5,1	+8,2	+2,3	—3,7	+5,2
A^{II}	0	+3,20	+10,70	+5,63	+8,07	+3,70	—5,10	+5,20
A^{III}	+0,18	+2,90	+10,97	+5,60	+8,71	+2,93	—4,40	+4,69
A^{IV}	—0,10	+3,12	+10,80	+5,75	+8,27	+3,60	—5,04	+4,40
A^{V}	—0,08	+2,90	+10,98	+5,46	+8,45	+3,06	—4,85	+4,74
A^{VI}	—0,13	+3,00	+10,73	+5,58	+8,29	+3,25	—4,95	+4,87
A^{VII}	—0,02	+2,85	+10,84	+5,43	+8,43	+3,12	—4,79	+4,77
A^{VIII}	—0,15	+2,96	+10,69	+5,55	+8,31	+3,27	—4,91	+4,91
A^{IX}	—0,03	+2,82	+10,80	+5,42	+8,44	+3,15	—4,76	+4,78
A^{X}	—0,16	+2,93	+10,67	+5,54	+8,32	+3,29	—4,88	+4,92
A^{XI}	—0,04	+2,81	+10,78	+5,41	+8,45	+3,17	—4,75	+4,79
A^{XII}	—0,16	+2,92	+10,67	+5,53	+8,32	+3,30	—4,87	+4,92
A^{XIII}	—0,04	+2,80	+10,77	+5,41	+8,45	+3,18	—4,74	+4,80
A^{XIV}	—0,16	+2,92	+10,66	+5,53	+8,33	+3,30	—4,86	+4,92

Рис. П9.2. К уравниванию по способу узлов.

а — опорная сеть с превышениями до и после (в квадратных скобках) увязки; *б* — схема уравнивания узловой сети; *в* — расчет средней квадратической погрешности единицы веса увязанной опорной сети.

+8,1=11,3), *4* из *1* (0+5,1=5,1), *8* из *1* (0+5,2=5,2), *5* из *8* (5,2+3,0=8,2), *7* из *8* (5,2—8,9=—3,7) и *6* из *5* (8,2—5,9=2,3).

3. За наивероятнейшее значение поля в узловой точке принимается среднее арифметическое из всех значений, переданных с учетом весов на эту узловую точку из соседних, связанных с ней. Например, для точки *5* уравнение наивероятнейшего значения имеет вид

$$A_5 = \frac{(A_4 + L_{5-4}) + (A_6 + L_{5-6}) + (A_8 + L_{5-8})}{3}.$$

Такое уравнение называется нормальным уравнением i-й узловой точки. В нашем примере нормальные уравнения составлены для случая равновесовых взаимных приращений:

$$A_1 = \frac{(A_2 + L_{1-2}) + (A_4 + L_{1-4}) + (A_8 + L_{1-8})}{3};$$

$$A_2 = \frac{(A_1 + L_{2-1}) + (A_3 + L_{2-3})}{2};$$

$$A_3 = \frac{(A_2 + L_{3-2}) + (A_4 + L_{3-4})}{2};$$

$$A_4 = \frac{(A_1 + L_{4-1}) + (A_3 + L_{4-3}) + (A_5 + L_{4-5})}{3};$$

$$A_5 = \frac{(A_4 + L_{5-4}) + (A_6 + L_{5-6}) + (A_8 + L_{5-8})}{3};$$

$$A_6 = \frac{(A_5 + L_{6-5}) + (A_7 + L_{6-7})}{2};$$

$$A_7 = \frac{(A_6 + L_{7-6}) + (A_8 + L_{7-8})}{2};$$

$$A_8 = \frac{(A_1 + L_{8-1}) + (A_5 + L_{8-5}) + (A_7 + L_{8-7})}{3}.$$

В каждом из уравнений сумма превышений, взятых со своими знаками, образует свободный член. Например, в уравнении для A_1 свободный член будет: $L_1 = L_{1-2} + L_{1-4} + L_{1-8} = -3{,}2 - 5{,}1 - 5{,}2 = -13{,}5$; в уравнении для A_2: $L_2 = L_{2-1} + L_{2-3} = 3{,}2 - 8{,}1 = -4{,}9$ и т. д.

4. Каждое нормальное уравнение решается отдельно от других (это не система уравнений!) методом последовательных приближений (итерации). Свободные члены (L_1, L_2, ..., L_8) остаются неизменными на любом шаге итерационного процесса.

Сначала в позиции переменных правой части каждого уравнения подставляются значения поля в соответствующих узлах до увязки. Совокупность значений в узлах опорной сети до процедуры увязки образует так называемое первое приближение A^{I}. Решение нормальных уравнений дает при этом другую совокупность значений в узлах — второе приближение A^{II}. По аналогии получают третье A^{III} и все последующие приближения. Например, в нашем случае

$$A_1^{\mathrm{II}} = \frac{A_2^{\mathrm{I}} + A_4^{\mathrm{I}} + A_8^{\mathrm{I}} + L_1}{3},$$

где $A^{\mathrm{I}}{}_2 = +3{,}2$; $A_4 = +5{,}1$; $A_8 = +5{,}2$.

По аналогии

$$A_1 = \frac{A_2^I + A_4^I + A_8^I + L_1}{3}.$$

Процесс решения заканчивается, когда два очередных последовательных приближения либо разнятся в каждом узле на значение, меньшее заданной погрешности вычислений, либо практически вообще не различаются.

5. В ходе решения нормальных уравнений следует пользоваться схемой-таблицей Н. В. Линицкого (рис. П9.2, *б*). Вычерчивается чертеж опорной сети. На связях (звеньях), где стрелками указано направление возрастания поля, надписывают исходные, неувязанные значения приращений. В таблице за каждым узлом опорной сети закрепляется определенный столбец. В одной из строк этой таблицы для каждого узла записывают значение свободного члена, подставляемое в нормальные уравнения этого узла на каждом очередном шаге итерационного процесса. Под строкой свободных членов записывают последовательные приближения решений, начиная с первого. В самой нижней строке записывают исправленные (увязанные) значения поля в узлах сети.

6. По окончании увязки производится вычисление средней квадратической погрешности увязанных взаимных превышений на единицу веса

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

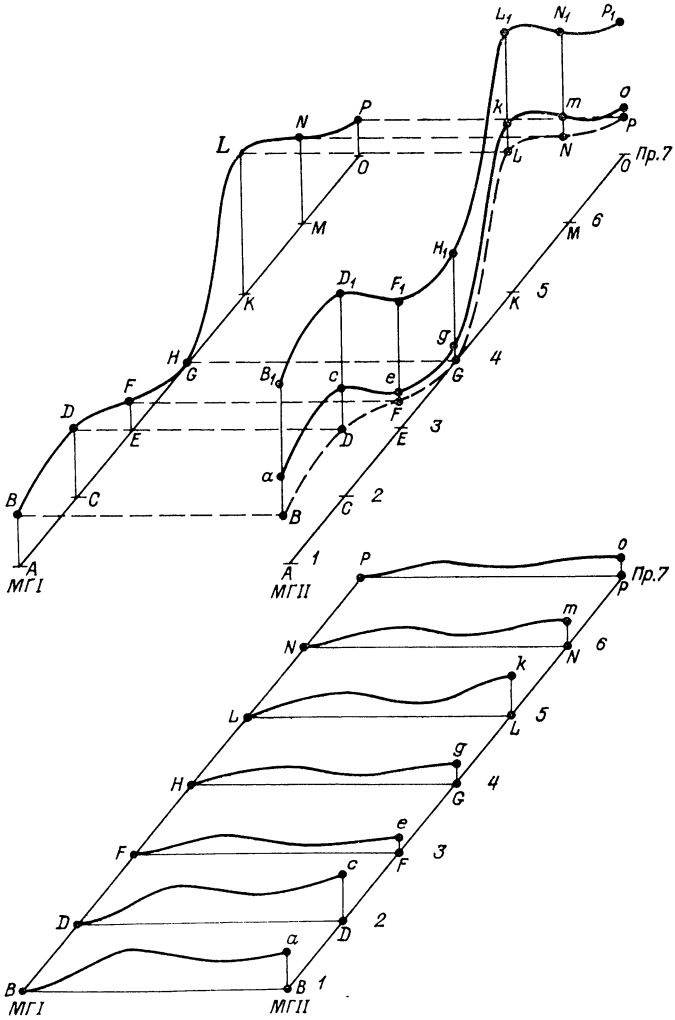
где Δ_i — итоговые поправки взаимных превышений на звеньях полигонов, найденные в результате уравнивания; p_i — веса взаимных превышений на соответствующих звеньях; n — число всех звеньев в опорной сети, k — число узловых точек сети.

По существу, $n-k$ — это число избыточно измеренных разностей (превышений). В числовом примере увязки опорной сети способом узлов также принято, что $p_1 = p_2 = \ldots = p_i = \ldots = p_n = 1$.

Уравнивание по способу узлов особенно эффективно при наличии нескольких *твердых* узловых точек, значения поля в которых на любом шаге итерации, т. е. в любом приближении, сохраняются фиксированными.

П10. ПРИМЕР УВЯЗКИ ДВУХ ОПОРНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ПО РЯДОВЫМ ПЕРЕСЕКАЮЩИМ ИХ ПРОФИЛЯМ

1. На каждой точке магистрали I (МГI) (см. рисунок) определены средние значения поля (абсолютные значения T, приращения ΔZ, ΔH или ΔT). Например, 55, 60, 48, 40, 82, 65, 51. Аналогичный числовой ряд определен и на МГII, где измерения могут выполняться вне связи с измерениями на МГI: 92, 98, 76, 71, 116, 96, 79.



Магистральный способ увязки

2. Вычитая для удобства постоянную составляющую из чисел обоих рядов, получаем

для МГІ	для МГІІ
$AB = 15;$	$AB_1 = 52;$
$CD = 20;$	$CD_1 = 58;$
$EF = 8;$	$EF_1 = 36;$
$GH = 0;$	$GH_1 = 31;$
$KL = 42;$	$KL_1 = 76;$
$MN = 25;$	$MN_1 = 56;$
$OP = 11;$	$OP_1 = 39.$

Для увязочных операций отбираются лишь те пары точек, которые получены в слабоаномальном поле. Профили, пересекающие МГІ или МГІІ в резкоградиентном поле, из расчетов исключаются. Пусть в данном примере все семь рядовых профилей пересекают магистрали в неаномальных зонах.

3. Попарно вычисляются взаимные превышения поля точек МГІ над точками МГІІ или, наоборот, точек МГІІ над точками МГІ (как в рассматриваемом примере). Для вычисления превышений используются пары точек, принадлежащих одному и тому же рядовому профилю (Пр):

для Пр. 1 $AB_1 - AB = 52 - 15 = 37 = \Delta_1;$
Пр. 2 $CD_1 - CD = 58 - 20 = 38 = \Delta_2;$
Пр. 3 $EF_1 - EF = 36 - 8 = 28 = \Delta_3;$
Пр. 4 $GH_1 - GH = 31 - 0 = 31 = \Delta_4;$
Пр. 5 $KL_1 - KL = 76 - 42 = 34 = \Delta_5;$
Пр. 6 $MN_1 - MN = 56 - 25 = 31 = \Delta_6;$
Пр. 7 $OP_1 - OP = 39 - 11 = 28 = \Delta_7.$

4. При рядовой съемке отрабатываются профили, пересекающие МГІ и ІІ. Точкам пересечения этих профилей с МГІ приписываются магистральные значения, задающие начальные уровни отсчета для каждого профиля. В нашем примере для Пр. 1 отсчетным уровнем считается значение поля 15, для Пр 2—20, для Пр. 3 — 8, для Пр. 4 — 0, для Пр. 5 — 42, для Пр. 6 — 25, для Пр. 7 — 11. Значения поля на пересечениях соответствующих профилей с МГІІ приводятся каждое к уровню своего профиля.

Пусть отсчитанные от указанных уровней превышения точек МГІІ над точками МГІ будут:

для Пр. 1 $Ba = 12 = \delta_1;$
Пр. 2 $Dc = 15 = \delta_2;$
Пр. 3 $Fe = 4 = \delta_3;$
Пр. 4 $Hg = 6 = \delta_4;$
Пр. 5 $Lk = 11 = \delta_5;$
Пр. 6 $Nm = 7 = \delta_6;$
Пр. 7 $Po = 4 = \delta_7.$

5. На следующем этапе увязки составляются разности

$B_1a = \Delta_1 - \delta_1 = 25;$ $D_1c = \Delta_2 - \delta_2 = 23;$ $F_1e = \Delta_3 - \delta_3 = 24;$
$H_1g = \Delta_4 - \delta_4 = 25;$ $L_1k = \Delta_5 - \delta_5 = 23;$ $N_1m = \Delta_6 - \delta_6 = 24;$
$P_1o = \Delta_7 - \delta_7 = 24.$

и определяется искомый сдвиг уровня отсчета МГІІ относительно МГІ

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{k} (\Delta_i - \delta_i)}{k}.$$

В нашем случае Δ=24. Затем все значения на МГІ увеличиваются на Δ (или все значения на МГІІ уменьшаются на Δ).

П11. ТЕХНИКА РАБОТЫ С АЭРОМАГНИТОМЕТРАМИ

П11.1. ФЕРРОЗОНДОВЫЕ АЭРОМАГНИТОМЕТРЫ

До установки на летательный аппарат аэромагнитометр должен быть проверен. Подлежат проверке: 1) температурный коэффициент магниточувствительного блока (МЧБ) в ожидаемом рабочем интервале температур; 2) постоянная времени (в секундах) или скорость записи (в нанотеслах в секунду); 3) модуль градуировочной катушки (проверяется с помощью колец Гельмгольца); 4) стабильность нуля в течение 4—5 ч работы в стационарном положении прибора (с одновременной записью вариаций); 5) порог чувствительности и застой пера; 6) регулировка фаз и работа ориентирующих устройств.

Два раза в месяц, а также после ремонта и смены деталей аэромагнитометра обязательны градуировки прибора в кольцах Гельмгольца. В промежутках между этими определениями необходимы поверки с помощью градуировочных катушек. В течение 3—5 дней после замены батарей полные или частичные градуировки в кольцах должны выполняться ежедневно. Градуировки осуществляются при отсутствии заметных вариаций магнитного поля, для чего необходим соответствующий контроль.

При выполнении градуировки первый бортоператор должен записать заводские номера колец Гельмгольца, градуировочного комплекта и миллиамперметра, постоянную колец, напряжение источника питания, начальное положение автоматических переключателей ступенчатой компенсации АПК-I и АПК-II, а также провести в начале и в конце градуировки контроль чувствительности.

Градуировка включает в себя проверку линейности реохорда (плавной компенсации поля), а также АПК-I и АПК-II при двух масштабах записи соответственно. При проверке плавной компенсации на ширину ленты должно приходиться не менее 10 точек контроля. При градуировке ступенчатой компенсации следует обращать особое внимание на соответствие паспортным данным.

Применительно к проверке АПК-II эту операцию нужно выполнять так: 1) с помощью градуировочного комплекта задать поле +200 нТл и отметить положение пера на нулевом диапазоне; 2) не меняя тока в кольцах переключить ручку ступенчатой компенсации на одно положение; при переключении АПК-II в положение «+1» перо регистратора переместится к другому краю ленты; 3) расстояние между первым и вторым крайним положением пера должно соответствовать 400 нТл; если прочерченная пером линия по размаху не соответствует 400 нТл, то нужна настройка по правилам, изложенным в инструкции по эксплуатации магнитометра. Точно так же проверяются переключения и на следующих шкалах во всем диапазоне переключений АПК-II и АПК-I с интервалами соответственно ±200 и ±1000 нТл. Оформленная лента градуировки приборов со всеми пояснительными данными передается в камеральное бюро.

Перед вылетом, после прогрева в течение 10—15 мин поочередно проверяется балансировка измерительных и ориентирующих устройств. Проверяется работа прецизионных стабилизаторов напряжения опорных батарей. Периодически, с интервалом 3—5 дней, перед вылетом проверяется также коррекция вилки и площадки.

В полете непосредственно перед контрольным маршрутом ручкой плавной компенсации устанавливают уровень магнитного поля, выбранный с таким расчетом, чтобы при записи магнитного поля на маршрутах количество переключений АПК было минимальным. В начале, в середине и в конце каждого полета следует выполнять контроль чувствительности.

На магнитограмме необходимо отмечать положение компенсатора девиации, а также положение АПК-I и АПК-II в начале маршрута и при смене диапазонов.

П11.2. ПРОТОННЫЕ АЭРОМАГНИТОМЕТРЫ

До начала работ с протонными аэромагнитометрами следует проверить правильность фиксации как на табло, так и на диаграммной ленте показаний, соответствующих работе в режиме контроля. Время проверки — 3—5 мин при минимальной продолжительности цикла измерения. Одновременно определяется продолжительность измерения путем подсчета количества циклов n за одну минуту (по ручным часам). Минимальная продолжительность цикла $60/n$ не должна превышать значений, указанных в ТУ на прибор (0,7 с для аэромагнитометра АМП-7, 0,5 с для магнитного канала станции АГС-71 СМ, 0,26 с для аппаратуры ЯМП-3).

Особенно важна оценка отношения сигнал/шум, а для приборов АМП-7 и АГС-71СМ также и оценка характера затухания сигнала. Эти данные получают при наблюдении за сигналом по экрану осциллографа, подключенного к специальному контрольному гнезду. Отношение сигнал/шум должно быть не менее 20 в начале счета, а амплитуда сигнала не должна падать за время собственно измерения более чем в 4—5 раз. Уровень помех необходимо проверить при включенном датчике и при его отключении. Допустимое превышение внешних наводок над внутренними шумами в наземных условиях составляет 2—2,5 раза.

Каждый съемочный вылет должен начинаться с записи основных контрольных чисел. Продолжительность записи не менее чем по 3 мин для каждого вида контроля.

Съемку следует начинать с измерений на контрольном маршруте. В начале и в конце этого маршрута первый бортоператор записывает на аэромагнитограмме курс полета. Контрольный маршрут желательно выбирать в широтном направлении во избежание возможного ухудшения качества записи за счет уменьшения амплитуды сигнала.

При записи аэромагнитометром АМП-7 первый бортоператор должен подписывать (оцифровывать) диапазонные линии, т. е. 10^4, 10^3 и 10^2 единиц; при работе с аппаратурой, имеющей только аналоговую запись, необходимо по показаниям лампового табло производить оцифровку грубой шкалы или условного начального значения. Аналоговая запись с дополнительной оцифровкой должна обеспечивать получение полного значения поля для любой точки съемки.

При ухудшении качества записи (появлении частых флюктуаций, превышающих допустимые, или отдельных выбросов) необходимо прежде всего проверить по осциллографу качество сигнала (т. е. отсутствие помех, отношение сигнал/шум, затухание сигнала), сравнить показания цифрового табло и запись регистратора, проверить настройку, режимы питающих напряжений и в случае необходимости изменить их, делая соответствующие пометки на диаграммной ленте. Первый бортоператор должен внимательно следить за появлением выбросов на графике, отмечая их знак («недосчет» или «пересчет»), наличие закономерностей (период следования, совпадение с разрядами двоичной системы), появление искажений сигнала на экране осциллографа (за счет помех). Должны также отмечаться выбросы по диапазонным линиям (для АМП-7) или по грубой шкале (для АГС-71СМ). Для обеспечения хорошей записи с аппаратурой АМП-7 большое значение имеет выключение генератора высокой частоты во время перерывов в съемке и разворотов во избежание перегрева рабочего вещества преобразователя.

Каждый вылет должен завершаться повторением съемки по контрольному маршруту и записью основных контрольных чисел продолжительностью не менее чем по 3 мин для каждого вида контроля.

При наличии на съемочных участках значений поля, отличающихся более чем на ширину поддиапазона (4000 нТл для аппаратуры АМП-7), необходимо планировать вылеты таким образом, чтобы изменения поля во время одного вылета по возможности оставались в пределах одного поддиапазона настройки. В отдельных случаях может оказаться необходимым произвести изменение настройки (смещение центров поддиапазонов), которое следует выполнить до начала съемки или во время регламентных работ по самолету.

П11.3. КВАНТОВЫЙ ЦЕЗИЕВЫЙ АЭРОМАГНИТОМЕТР КАМ-28

Для дополнительного контроля за работой аэромагнитометра полезно выполнять рекомендации, изложенные в работе [82]. В частности, следует применять осциллограф С1-49 для оперативного контроля амплитуды и формы сигнала в процессе съемки, а также для периодического контроля усилителей записи шестнадцати дорожек цифрового регистратора.

Перед полетом необходимо:

— выполнить все пункты заводской инструкции;

— включить осциллограф и цифровой регистратор с записью на магнитную ленту *;

— на лицевой панели регистрирующего самолетного устройства (РСУ) КАМ-28 нажать кнопку «сброс», а затем кнопку «запись»;

— с помощью осциллографа проверить работу усилителей записи на магнитную ленту по всем 16 дорожкам;

— зарядить ленту электротермической бумаги и магнитную ленту в лентопротяжные механизмы аналогового самописца и магнитофона и проверить их работу;

— проверить регулировку перьев на аналоговом самописце, в случае необходимости отрегулировать их;

— проверить крепление гондолы и установку пиропатрона в тросорубе.

В полете первый бортоператор обслуживает РСУ аэромагнитометра и аналоговый регистратор с электротермической лентой. Второй бортоператор работает с цифровым регистратором и аэрофотоаппаратом или с набортной радиогеодезической аппаратурой (в зависимости от принятого варианта обеспечения плановой привязки).

В процессе съемки осциллограф должен быть постоянно включен для контроля сигнала. Если произойдет уменьшение сигнала, то необходимо включить дополнительный (ускоренный) обогрев. Допускается падение амплитуды сигнала на 30 %. Если такое падение происходит за время, превышающее длительность полета по маршруту, то дополнительный обогрев следует производить только на разворотах.

При заправке и включении магнитофона нужно намотать 1,5 м чистой ленты на приемную кассету, выбрать вручную слабину магнитной ленты, включить тумблер «работа», а за 2—3 мин до начала первого маршрута включить тумблер «запись»; на лицевой панели блока РСУ аэромагнитометра кнопку «запись» включить за 5—10 с до первого ориентира первого маршрута. После выключения магнитофона следует оставить чистыми 1,5—2 м пленки и отрезать отработанную часть магнитной ленты от общей бобины. На каждой магнитной ленте нужно указать начало, конец, дату и номер ленты. Продолжительность непрерывной регистрации данных на отдельную магнитную ленту не может превышать 1,5 ч, в связи с чем в течение одного полета обычно получают несколько магнитных лент и запись номера очередной магнитной ленты должна состоять из двух чисел: первое число — регистрационный номер полета в журнале регистрации, второе — порядковый номер ленты в течение полета.

После включения записи на магнитную ленту необходимо периодически (3—5 раз на одну магнитную ленту длиной 79—80 м) контролировать прохождение сигналов «зона»: читать номера зон на табло лицевой панели блока РСУ и делать отметки на ленте аналогового регистратора с указанием номера зоны. По мере уменьшения количества магнитной ленты на подающей кассете нужно менять тормозное усилие для обеспечения более ровного натяжения ленты и ее более полного прижима к головке записи магнитофона. Необходимо также не менее 1 раза на каждую магнитную ленту проверять с помощью осциллографа наличие записи на ней путем контроля выходов 16 усилителей записи.

---

* В заводской документации он назван лентопротяжным механизмом. Далее в этом приложении он для краткости именуется, как и в работе [82], магнитофоном.

Обо всех случаях необходимости замены магнитной ленты операторы сообщают командиру корабля и на развороте выполняют эту операцию. Убедившись в правильности работы магнитофона после перезарядки магнитной ленты, оператор сообщает пилоту о возможности продолжения съемки.

На аналоговом регистраторе первый бортоператор должен в начале и конце каждого маршрута, а также при каждой проверке часов и установке точного времени записывать время по показаниям светового табло. Моменты установки точного времени и проверок электронных часов по сигналам «Маяка» отмечаются значками соответственно «УТВ» и «ПЭЧ».

На электронном блоке над сигнальными лампочками «состояние магнитного поля» полезно надписать их порядковую нумерацию, о которой должны быть извещены вычислители камеральной группы. При этом работа первого бортоператора упрощается, так как в начале и в конце каждого маршрута ему достаточно записать значения цифр, соответствующие горящим лампочкам, не подсчитывая каждый раз значения поля.

Для фиксации моментов окончания и начала очередных магнитных лент и аэрофильмов первый бортоператор пользуется «служебной меткой» (прожигом горизонтальной линии, пересекающей всю ширину электротермической ленты) путем мгновенного включения и выключения тумблера «метка» на панели аналогового самописца, сразу же после получения соответствующей информации от второго бортоператора. На ленте аналогового регистратора записываются (также с использованием «служебной метки») сообщения командира самолета о включении им радиостанции, если она включается во время прохождения маршрута. Первый бортоператор делает и другие записи на ленте, если они могут помочь при камеральной обработке или при оценке работы аппаратуры после возвращения из полета.

После окончания съемочного полета первый бортоператор просматривает полученные им ленты аналоговой записи магнитного поля, оформляет штампы (концевые наклейки) лент и вместе со вторым бортоператором подписывает их. После регистрации лент в специальном журнале он передает их в камеральную группу. Если первый бортоператор свободен от ремонтно-наладочных работ, то до передачи аналоговых аэромагнитограмм он должен выполнить осреднение записи и подготовить ленту так, чтобы ее было легко обрабатывать.

Второй бортоператор после полета обязан, используя магнитные «чернила», выборочно «проявлять» полученные в полете магнитные ленты для проверки наличия информации на всех 16 дорожках записи. «Проявка» обычно выполняется только для начала и для конца ленты на длину, соответствующую записи одной «зоны». После каждой такой «проявки» второй бортоператор отыскивает «точки» записи номеров смежных зон и измеряет мерной линейкой расстояния между ними; эти расстояния не должны отличаться *в меньшую сторону* более чем на 10 % от длины записи одной зоны при нормальной плотности записи (215 см). Затем он должен произвести регистрацию полученных магнитных лент и аэрофильмов в соответствующих регистрационных журналах, передать ленты первому бортоператору и вместе с ним по термоленте регистратора проверить правильность записи номеров зон (по времени).

Определение поправок за девиацию при работе с квантовой аппаратурой имеет некоторые особенности, связанные с малостью этих поправок и с возможным изменением отсчетного (нулевого) уровня регистрируемых на аэромагнитограмме графиков ΔT при изменении направления разворота самолета в процессе перехода с одного маршрута на другой. Поэтому изучение девиации следует проводить в спокойном поле на повышенных истинных высотах (1—2 км) и с выполнением разворотов в одном направлении (только по часовой стрелке или только в противоположном направлении) в течение всего полета на восьми курсах.

П12. СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СПОСОБАХ КОМПЕНСАЦИИ ДЕВИАЦИОННЫХ МАГНИТНЫХ ПОМЕХ

При жестком креплении датчика на самолете (вертолете) магнитометр измеряет не истинное значение геомагнитного поля, а сумму магнитных полей Земли и самолета (вертолета). Векторный характер этой суммы обусловливает зависимость результатов измерений от магнитного азимута носителя (курсовая девиация) и от угла его наклона относительно горизонтальной плоскости (креновая девиация). Различают источники типа постоянных магнитов, магнитный момент которых жестко связан с носителем (к этому типу относятся и постоянные токи, текущие по бортсети), и источники, магнитный момент которых всегда направлен вдоль внешнего (геомагнитного) поля. Источники первого типа определяют жесткую, или постоянную, компоненту поля носителя и вызывают так называемую полукруговую девиацию; источники второго типа, с которыми связана мягкая, или индуктивная компонента, обусловливают четвертную девиацию.

Задачами компенсации являются устранение курсовой и креновой девиации и при полной компенсации помех носителя получение истинных, неискаженных значений геомагнитного поля. Если для компенсации используется трехкатушечный компенсатор, эти задачи одновременно решены быть не могут. В частности, такой компенсатор позволяет устранить курсовую девиацию только при условии, если средние значения измеренного поля при пролете ориентира курсами 0 и 180° равны средним значениям для курсов 90 и 270°. Различие же этих значений указывает на наличие индуктивной компоненты, которую невозможно скомпенсировать катушечным компенсатором. В этом случае устранение или уменьшение креновой девиации часто приводит к тому, что измеренное значение поля может существенно отличаться от истинного (неискаженного) его значения. Полная компенсация магнитных помех может быть осуществлена с дополнительным использованием компенсатора индуктивных помех и по довольно сложной методике. Поэтому при использовании только трехкатушечного компенсатора, как это предусмотрено в аэромагнитометре ЯМП-3, обычно приходится довольствоваться устранением курсовой девиации на противоположных курсах и минимизацией влияния кренов.

Компенсация девиации на самолете производится по нижеследующей методике.

1. Компенсатор устанавливается так, чтобы центры всех катушек и центр датчика лежали на одной прямой, параллельной строительной оси самолета, которая в полете горизонтальна. Ось катушки X должна быть направлена вдоль этой оси, ось катушки Y перпендикулярно к ней в горизонтальной плоскости, ось катушки Z — вертикально.

2. На участке со спокойным магнитным полем (с горизонтальным градиентом не более 10—20 гамма/км) производится градуировка компенсатора, для чего:

— на всех катушках выставляются токи 0,5 А;

— при пролете курсом 0° последовательно переключаются полярности токов в каждой катушке; по магнитограмме определяются ступени, образующиеся при переключении полярности токов,— $П^0_X$, $П^0_Y$, $П^0_Z$; затем то же проделывается при курсах 90, 180 и 270°. При правильной установке катушек должны соблюдаться условия:

$$П^0_Y = П^{180}_Y = П^{90}_X = П^{270}_X = 0; \qquad П^0_X = -П^{180}_X = П_X;$$

$$П^{90}_Y = -П^{270}_Y = П_Y; \qquad П^0_Z = П^{90}_Z = П^{180}_Z = П^{270}_Z = П_Z.$$

3. При выключенном токе в катушках компенсатора производятся полеты на одной высоте над ориентиром курсами 0 и 180°; по результатам измерений определяется разность $\Delta T_X = T^0 - T^{180}$ и выставляется (измеряемый в амперах) ток в катушке X, равный $\Delta T_X / П_X$. Затем производятся измерения над

ориентиром с курсами 90 и 270° и по полученному значению $\Delta T_Y = T^{90} - T^{270}$ выставляют (измеряемый в амперах) ток в катушке Y, равный $\Delta T_Y / П_Y$*.

4. В спокойном магнитном поле производится пролет маршрута курсом 0° с периодическими кренами амплитудой ±15° и периодом 6—10 с. Изменяют ток в катушке Z до тех пор, пока амплитуда колебаний записи поля не будет сведена к минимуму (при дальнейшем изменении тока амплитуда вновь возрастает). Затем подобный по характеру поля маршрут пролетают с курсом 270° и аналогичными периодическими кренами. Если влияние кренов на магнитограмме заметно, то изменяют ток в катушке Z до уменьшения амплитуды колебаний записи вполовину.

5. Контроль достигнутой степени компенсации осуществляется путем определения курсовой девиации при пересечении одного и того же ориентира с последовательной сменой курсов через 45° и измерением креновой девиации при прохождении маршрутов курсами 0, 90, 180 и 270° с периодическими кренами и пикированием—кабрированием.

6. Окончательные результаты представляются в виде девиационных кривых (кривых зависимости поля от курса) и графиков магнитного поля на маршрутах с периодическими кренами при установленных (по вышеуказанным правилам) токах в компенсационных катушках.

7. Настройка компенсатора производится один раз после установки аппаратуры на самолет и проверяется каждый раз после регламентных работ по самолету или любых работ, могущих привести к изменению девиации (например, при установке дополнительной аппаратуры).

8. Ежедневно перед началом работ (после 15-минутного прогрева аппаратуры) производится контроль токов в катушках компенсатора по контрольному прибору блока управления компенсатором.

Перед работами по компенсации необходимо в наземных условиях произвести проверку влияния на запись поля основных энергопотребляющих систем самолета (радиостанции, преобразователи ориентации самолета, триммеры). Проверка производится при ориентации самолета четырьмя основными курсами по изменению уровня записи при включении и выключении каждого из потребителей. Если влияние энергопотребителей самолета превышает 2 гаммы хотя бы на одном курсе, следует избегать включения (выключения) этих источников помех в процессе съемки; в случае, если без таких переключений полет невозможен, надо делать соответствующие пометки на магнитограмме.

Особенности компенсации на вертолете при креплении датчика аэромагнитометра к хвостовой балке состоят в следующем. Проверка правильности установки компенсатора и подбор токов в катушках X и Y осуществляются в наземных условиях, причем подбор токов производится непосредственно по показаниям магнитометра: на курсе 180° выставляется с помощью катушки X значение поля, равное среднему из значений, полученных на курсах 0 и 180°, а на курсе 270° с помощью катушки Y выставляют среднее из показаний на курсах 90 и 270°. При этом необходимо следить за горизонтальностью вертолета на земле и точностью установки датчика над выбранным ориентиром. В процессе измерений и компенсации режим двигателей и систем вертолета должен быть максимально приближен к полетному. Выбор тока в катушке Z и окончательная проверка остаточной девиации производятся в полете по методике, которая описана выше применительно к съемке на самолете.

---

* В очень спокойном поле (градиент до 5 гамма/км) можно избежать градуировки компенсатора и подбор тока в катушках X и Y производить непосредственно по показаниям магнитометра, однако, и в этом случае необходимо убедиться, что катушка Z вносит одинаковый вклад на всех курсах.

П13. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ СЪЕМКЕ ПРОТОННЫМИ АЭРОМАГНИТОМЕТРАМИ (АМП-7, ЯМП-3, МАГНИТНЫЙ КАНАЛ СТАНЦИИ АГС-71СМ)

П13.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1. Обработка начинается, как обычно, с уточнения и восстановления записей на аэромагнитограмме, сделанных бортоператором в полете; производится сверка записей на ленте с данными бортового журнала штурмана и бортового журнала аэрофотосъемщика. Далее проверяется масштаб записи, продолжительность цикла измерения, равномерность лентопротяжки, выявляются и по возможности восстанавливаются пропуски в записи диапазонных линий (прибор АМП-7) или перерывы в записи по грубой шкале (аппаратура АГС-71СМ); желательно также восстановление пропущенных временных отметок, номеров ориентиров, отметок экспозиции АФА.

2. В первичную обработку графической (непрерывной аналоговой) записи (приборы АГС-71СМ и ЯМП-3) входят устранение ложных аномалий, вызванных «отписками», проведение средней линии в тех местах, где запись осложнена флюктуациями (помехами, имеющими явно не геологическую природу), и, наконец, расшифровка записи в местах частой смены диапазонов, т. е. прежде всего в сложных полях или в полях, близких к значениям границ диапазонов. Перед началом обработки должно быть проверено наличие необходимого количества калибровок (по грубой и точной шкалам), их правильность, а также соответствие друг другу показаний по грубой и точной шкалам.

3. Передача аэромагнитограммы для дальнейшей камеральной обработки разрешается только после выполнения всех вышеперечисленных операций, а также указания на диаграммной ленте всех участков, не подлежащих обработке (с разъяснением причин брака) или пригодных к обработке с пониженной точностью (какой именно).

4. Поскольку аналоговая графическая запись (аппаратура АГС-71СМ и ЯМП-3) не позволяет оценить погрешность аэромагнитных измерений *, такая оценка должна быть произведена путем записи показаний по ламповому табло. Эти данные необходимо иметь для сравнения со средней квадратической погрешностью съемки, которая определяется по секущим маршрутам и, естественно, всегда превышает погрешность аэромагнитных измерений. При оценке погрешности измерений необходимо учитывать девиационную погрешность, которая оказывает влияние на величину флюктуации записи, т. е. на возможность выделения локальных аномалий.

П13.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТОЧЕЧНОЙ (ДИСКРЕТНОЙ) ЗАПИСИ (ПРИБОР АМП-7)

1. При предварительной обработке точечной записи осуществляется превращение дискретной записи мгновенных полных значений поля в непрерывный график; при этом решается задача разделения аномалий на ложные, вызванные помехами измерений, и полезные, обусловленные геологическими объектами.

2. Необходимо обращать внимание на амплитуду выделяемых аномалий, имея в виду, что отклонения в 20, 40 и 80 нТл (т. е. 1, 2 и 4 единицы второго разряда) при отсчетной единице 2 нТл более вероятны в качестве приборных ошибок, чем, скажем, 10, 30 и 50 нТл (не говоря уже о «некруглых» числах). Во всех случаях следует убедиться, что около выделяемой аномалии нет выбросов той же амплитуды, что и предполагаемая аномалия.

---

* Синоним погрешности записи аэромагнитометра.

3. Характеристика работы прибора, определяемая по качеству аэромагнитограммы (качеству записи поля), выражается средней квадратической погрешностью записи $m_з$, вычисляемой по формуле

$$m_з = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i^2},$$

где n — количество точек, по которым определяется погрешность; $\Delta_i = T_i - \overline{T}_i$ — разность между наблюденным значением поля в i-й точке T_i и осредненным значением поля (значением по кривой проведенного графика) в этой же точке $\overline{T}_i$.

Погрешность записи, практически совпадающую с погрешностью аэромагнитных измерений, следует, как и погрешность съемки, определять еще на стадии предварительной обработки, с тем чтобы убедиться, насколько полученные цифры соответствуют требованиям проекта.

4. Учитывая, что погрешность записи (разброс) наиболее четко проявляется в областях спокойных полей, тогда как в зонах больших градиентов этот разброс незаметен и трудно поддается оценке, практически следует рекомендовать определение качества работы при таких изменениях поля, когда угол наклона между касательной к кривой записи поля и осью абсцис (время, расстояние) не превышает ±45°. При достаточно стабильной работе аппаратуры нет необходимости производить вычисления по всей аэромагнитограмме, что потребовало бы больших затрат времени; вполне можно ограничиться несколькими участками, включающими по 100 точек измерения. Для более детальной оценки можно рекомендовать вычисление средней квадратической погрешности на каждом маршруте, заснятом во время данного вылета.

5. Поскольку при нормальной работе аппаратуры помехи имеют случайный характер (распределены по нормальному закону с нулевым средним, стационарны и некоррелированы между собой), решение указанной задачи разделения аномалий может быть осуществлено на основе вероятностного подхода, но с учетом возможного проявления на высоте съемки возмущающего влияния реальных геологических объектов. При этом горизонтальные размеры (ширина на уровне полумаксимума) реальных аномалий, фиксируемых на уровне съемки, не могут быть меньше высоты полета. В обычных условиях съемки это означает, что полезная аномалия не может проявляться на записи менее чем тремя точками. Предполагается также, что спектральные характеристики аномалий и помех (связанных, например, с возможным девиационным влиянием при раскачке гондолы) различны.

Однако и при непосредственных помехах имеется конечная вероятность появления ложной аномалии, сопоставимой по амплитуде и ширине с аномалией от геологического объекта; для разделения необходимо на основе практического опыта задать уровень значимости, т. е. граничную вероятность появления ложной аномалии, которую можно считать пренебрежимо малой (например, 1 нТл).

6. Вероятностный подход позволяет при обработке точечной записи руководствоваться двумя очевидными положениями: а) сумма положительных и отрицательных отклонений от сглаженной кривой должна быть равна нулю; б) каждая отдельная точка не может рассматриваться как абсолютно достоверная. Поэтому, выделяя на записи какую-либо аномалию, следует проверить, не нарушается ли баланс положительных и отрицательных отклонений и не «исчезает» ли эта аномалия, если из совокупности точек, ее образующих, исключить наиболее характерную.

7. Основным критерием для выделения аномалий является средняя квадратическая погрешность записи. При допустимом для прибора АМП-7 разбросе записи в пределах ±2 нТл (количество более значительных отклонений не выше 1—2 %) средняя квадратическая погрешность (без учета выбросов) будет, очевидно, менее ±2 нТл и окажется в диапазоне ±(1,4÷1,8) нТл.

8. Для разделения аномалий на полезные и ложные составлены и опубликованы [7] таблицы для разных значений средней квадратической погреш-

РАЗДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ НА ПОЛЕЗНЫЕ И ЛОЖНЫЕ

Количество точек	Амплитуда аномалий (максимальное значение), нТл			
	4	3	2	1
2	(4, 1)	(3, 2)	(*2, 2*)	(*1, 1*)
3	+	(3, 2, 1)	(*2, 2, 2*)	(*1, 1, 1*)
4	+	(3, 1, 1, 1)	(2, 2, 1, 1)	(*1, 1, 1, 1*)
5	+	+	(2, 2, 1, 1, 1)	(*1, 1, 1, 1, 1*)
6	+	+	(2, 1, 1, 1, 1, 1)	(*1, 1, 1, 1, 1, 1*)
7	+	+	+	(*1, 1, 1, 1, 1, 1, 1*)
8	+	+	+	+

ности записи, выбранного уровня значимости и заданной высоты полета. В качестве примера дается таблица разделения аномалий на полезные и ложные при погрешности ±1,0 нТл, уровне значимости 0,00001/n (где n — число точек, образующих аномалию) и при высоте полета 50 м (см. таблицу). Каждая ячейка таблицы соответствует комбинациям значений, представляющих собой аномалии с указанными амплитудой и количеством точек. Цифры, выделенные курсивом, расположены в ячейках, все комбинации отклонений в которых являются ложными аномалиями. Ниже расположены ячейки, содержащие как ложные, так и полезные аномалии; приведенная совокупность точек соответствует максимально возможным значениям, составляющим ложную аномалию: если в любой из совокупностей увеличить хоть одно значение на 1 нТл, то аномалию при выбранном уровне значимости уже следует выделять как полезную. Любые аномалии, соответствующие по амплитуде и количеству точек ячейкам, обозначенным знаком плюс, не являются ложными.

9. Для приближенной оценки при условии $\pm 1{,}5 \leqslant m_3 \leqslant +2$ нТл таблицы могут быть заменены формулой

$$\sum \Delta = 6{,}5 m_3,$$

где $\Sigma\Delta$ — сумма образующих аномалию отклонений от сглаженной кривой на данном участке.

Так, например, для выделения по трем точкам аномалии в 4 нТл или аномалии в 3 нТл по четырем точкам ($\Sigma\Delta = 12$ нТл) получаем $m_3 = 12/6{,}5 \leqslant \leqslant 1{,}85$ нТл.

П13.3. ПОДГОТОВКА ПЕРФОЗАПИСЕЙ К ОБРАБОТКЕ НА ЭВМ (ПРИБОР ЯМП-3)

1. Перфоленты перед сдачей на обработку с применением ЭВМ должны быть просмотрены бортоператором. При этом должно быть проверено наличие даты и номера вылета в начале и в конце каждого рулона перфоленты.

2. Каждая перфолента снабжается составляемым бортоператором журналом, в котором перечисляются: номера записанных на данной перфоленте маршрутов (с указанием направления полетов), количество ориентиров на маршруте, время начала и конца полета по маршруту. В журнале отмечается наличие отметок «граница», поставленных бортоператором на перфоленте, т. е. деление записей на отдельные массивы для последующей обработки.

3. Бортоператор должен проверить и отметить в журнале правильность регистрации на перфоленте (в начале и в конце полета) контрольных часов.

4. При наличии разрывов перфоленты, отдельные куски ее должны быть склеены друг с другом по возможности без потери информации. В случае выпадения результатов отдельных измерений или частей маршрутов об этом делается запись в журнале.

5. При наличии систематических ошибок на перфоленте (пропуск каких-либо отметок или пробивок, появление лишних пробивок, сдвиг строк и т. п.) следует сделать специальную запись в журнале, с тем чтобы в программу машинной обработки было внесено соответствующее изменение.

6. Решение о передаче перфоленты в обработку на ЭВМ принимает начальник партии, который делает соответствующие записи в журнале, сопровождающем перфоленту.

П14. ПРИМЕР УРАВНИВАНИЯ ОПОРНОЙ АЭРОМАГНИТНОЙ СЕТИ ИЗ ЧЕТЫРЕХ ПОЛИГОНОВ (СПОСОБ ВНИИГЕОФИЗИКИ)

Рассмотрим опорную сеть, состоящую из четырех полигонов (см. рисунок), три из которых (*АБДГ, БВЕД* и *ГДЗЖ*) представляют собой квадраты со сторонами 5 см и один — четырехугольник *ДЕИЗ*, стороны которого *ДЕ-ДЗ*-5 см, *ЕИ*-2,9 см, *ИЗ*-7,1 см. Приращения поля между узловыми точками опорной сети, вычисленные по независимо выполненным опорным маршрутам *АБ, БД, ДГ, ГА, БВ* и т. д., соответственно равны 280, 300, 120, 100, 450 гамм и т. д.

Для уравнивания необходимо построить схему опорной сети в определенном масштабе (см. рисунок, *а*). С графиков опорных маршрутов берутся разности ΔT в узловых точках и записываются на сторонах полигона (100, 280 и т. д.). Стрелками указывается направление возрастания поля. Римскими цифрами обозначаются номера полигонов.

Первой операцией будет подсчет невязок в полигонах. Для этого наблюденные приращения поля суммируются обходом по часовой стрелке, причем возрастающие значения поля (стрелки совпадают с направлением обхода) учитываются с положительным знаком, а убывающие (стрелки против направления обхода) получают отрицательный знак. Так, для полигона *I* невязка равна 100+280—300—120= —40 гамм, для полигона *II* 300+450—−370—320=60 гамм и т. д. Невязки записываются в середине каждого полигона. Около каждого звена за пределами полигона заготовляется табличка для поправок (см. рисунок, *б*).

Для определения весовых коэффициентов вычисляем до сотых долей отношения длин звеньев каждого полигона к его периметру. Если периметр полигона *III* 5+5+7,1+2,9=20, то соответственно для каждого звена получим $\frac{5}{20}=0{,}25$; $\frac{5}{20}=0{,}25$; $\frac{7{,}1}{20}=0{,}35$; $\frac{2{,}9}{20}=0{,}15$. Сумма этих чисел должна равняться единице (контроль). На схеме их следует писать вне полигона за теми звеньями, к которым они относятся, притом красными чернилами, вследствие чего назовем их «красными числами» (веса звеньев). Для равносторонних полигонов вычисления красных чисел не делаются. Распределение невязок полигонов на отдельные звенья пропорционально красным числам, для наглядности можно трактовать как «выбрасывание» невязок из полигонов за их границы *.

Очередность распределения невязок теоретически безразлична, но для ускорения работы полезно увязывать в первую очередь полигоны с более крупными невязками. В нашем примере начнем с полигона *II*. Вследствие равенства звеньев невязка в 60 гамм распределяется поровну на каждое звено: 60/4=15 гамм. Записываем число 15 в таблички, стоящие за соответствующими звеньями. Сумма этих чисел должна равняться невязке, что может служить контролем. Поскольку невязка удалена (разбросана), обводим ее кружком.

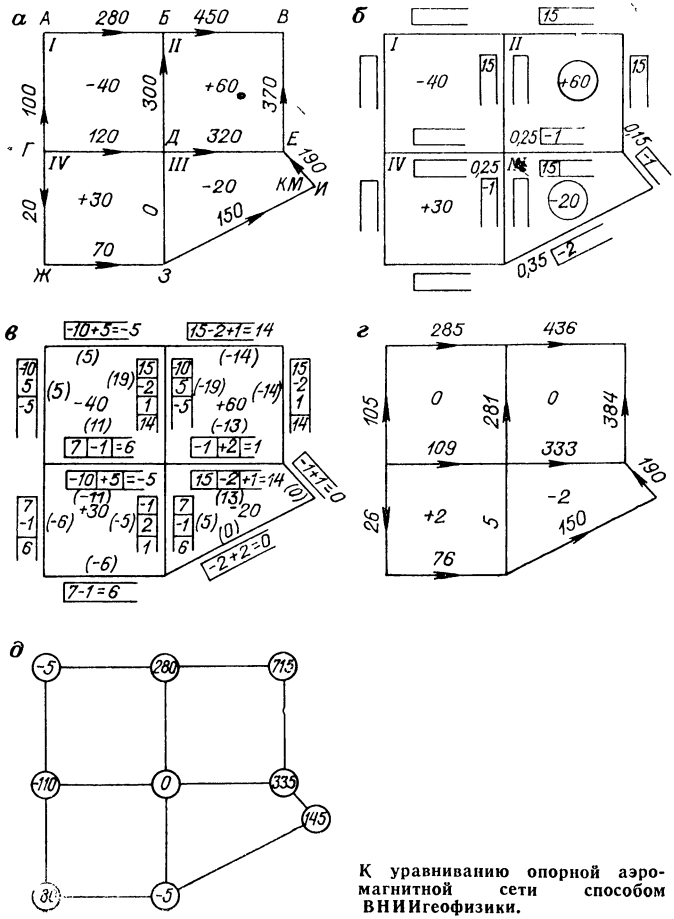
---

* При увязке внутренних опорных сетей, созданных с применением протонных и квантовых аэромагнитометров, веса сторон полигонов принимаются одинаковыми.

Переходим в полигон *III*. Здесь имеется своя невязка —20 гамм и, кроме того, перешло 15 гамм из полигона *II*. Следовательно, новая невязка полигона *III* оказалась 15—20=—5 гамм. В этом полигоне невязка распределяется уже не поровну, а пропорционально красным числам. Умножая невязку на соответствующее красное число и округляя до целых единиц, имеем: —1, —1, —1, —2 гаммы. Как и в полигоне *II*, обводим невязку, стоящую в середине, кружком, а цифру в табличке отчеркиваем.

Повторяя эту операцию для каждого полигона по нескольку раз, мы убедимся, что значения невязок, остающихся по полигонам, убывают после каждой такой операции. Распределение невязок заканчивается, когда невязки в полигонах составляют не более 1—2 гамм.

В квадратных полигонах во избежание больших погрешностей при округлении исключать из полигона следует те числа из суммы чисел, которые делятся на 4 с минимальным остатком. Оставшиеся в полигоне числа при этом не отчеркиваются до тех пор, пока они не войдут в подходящую «комбинацию». Такой способ вычисления дает результат с погрешностью не более 1—2 гамм.



К уравниванию опорной аэромагнитной сети способом ВНИИгеофизики.

В зависимости от очередности распределения невязок цифры в табличках могут быть различными, но сумма в итоге (определяющая значение поправки для каждого звена) получается одинаковой (см. рисунок, *в*). Неотчеркнутые цифры внутри полигонов представляют собой остаточную, не исключенную невязку, которая в рассматриваемом примере не превышает 2 гамм.

Суммируем цифры в табличках и там же записываем суммы. Вычисляем окончательные суммарные поправки по звеньям. Окончательная поправка для звена равна сумме поправок, записанных около звена внутри полигона, минус сумма поправок, записанных около того же звена вне полигона. Для внешних звеньев переносим суммарную поправку внутрь полигона с обратным знаком. Окончательные поправки записаны около соответствующих звеньев в скобках. Контролем может служить сумма окончательных поправок, которая должна равняться невязке с обратным знаком.

Наблюденные приращения поля исправляются на значение вычисленных поправок простым сложением. Для полигона *I* имеем: $+280+5=285$; $-300+19=-281$; $-120+11=-109$; $100+5=105$. Контроль: сумма исправленных приращений должна равняться нулю (с погрешностью не более $1—2\,\gamma$).

Проделав аналогичную операцию со всеми полигонами, получим исправленные приращения между узловыми точками (см. рисунок, *г*). В середине указаны оставшиеся невязки.

Приняв какую-либо точку за нуль (см. рисунок, *д*), получим значения ΔT в узловых точках относительно выбранного нулевого уровня (значения округляются до 5 гамм).

В приведенном примере значения приращений поля — в гаммах, невязки, допустимые погрешности невязки отдельных полигонов и допустимые округления цифр приведены применительно к съемке с аэромагнитометром АММ-13. При работе с другими приборами разброс невязок и округления не должны превышать проектной погрешности или цены 1 мм отчетных графиков магнитного поля в гаммах.

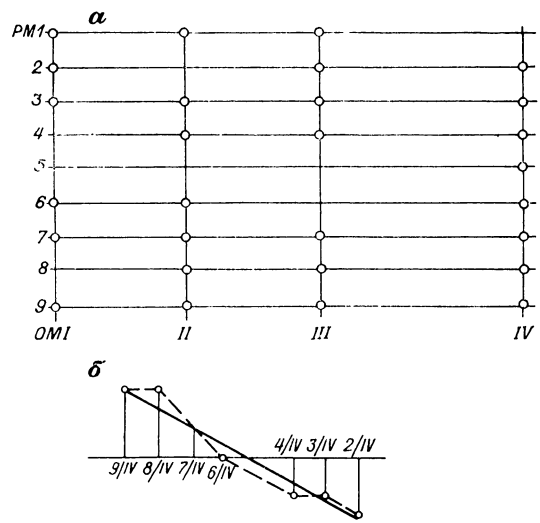
П15. ПРИМЕР УВЯЗКИ ГРАФИКОВ ΔT СЕТИ ОПОРНЫХ МАРШРУТОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГИХ РЯДОВЫХ МАРШРУТОВ ПЛОЩАДНОЙ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ (СПОСОБ ВИРГ)

Технику увязки в этом варианте удобно показать на примере небольшого участка (см. рисунок *а*) с четырьмя опорными (ОМ) и девятью * рядовыми маршрутами (РМ). Последовательность операций увязки опорной сети (ОС) такова.

1. Выделим на всех опорных маршрутах те точки пересечения с рядовыми маршрутами, где сравнение ординат графиков ΔT наиболее корректно. В качестве основных критериев примем точность плановой привязки, различие истинных высот на пересекающихся маршрутах, характер магнитного поля в точке пересечения и его градиент. Поскольку съемка на ОМ выполняется дважды в обоих направлениях и результаты измерений осредняются, учитывается также и надежность осреднения графиков ΔT на ОМ в районе точки пересечения. Пусть на участке (см. рисунок *а*) будет 28 таких «надежных» точек; обозначим их кружками.

2. Примем за основной (исходный) один из ОМ, расположенных в середине участка. Желательно, чтобы на нем было как можно больше «надежных» точек пересечения. К нулевой (отсчетной) линии графика исходного ОМ с помощью последующих операций увязки приводятся все остальные ОМ. Как выбрана эта нулевая линия исходного ОМ, в принципе не имеет значения; работа может упроститься, если предварительно на всех графиках ΔT исключить нормальный градиент и если нулевую линию на исходном ОМ поднять и опустить так, чтобы по обе стороны от нее график оконтуривал примерно равные площади (при этом имеется в виду параллельное перемещение нулевой линии от начальной, получившейся при построении графика ΔT на миллиметровке). В рассматриваемом примере примем за исходный ОМII.

3. Увяжем ОМIII с ОМII. Выделим те РМ, которые пересекают ОМII и ОМIII в надежных точках; в выбранном примере это РМ1, 3, 4, 7, 8 и 9.



К увязке графиков ΔT сети опорных маршрутов способом ВИРГ.

* Такое количество РМ взято для сокращения таблиц в рассматриваемом примере. В реальной практике используются десятки, а иногда сотни рядовых маршрутов и чем их больше, тем надежнее результат.

ТАБЛИЦА П15.1. **УВЯЗКА ОМIII С ОМII. ПЕРВЫЙ ЭТАП. ПРИВЕДЕНИЕ ИЗБРАННЫХ ДЛЯ УВЯЗКИ ОС РЯДОВЫХ МАРШРУТОВ К УРОВНЮ ОМII ПО РАЗНОСТИ ОРДИНАТ В ТОЧКАХ ИХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ**

Точки пересечения	1, II	3, II	4, II	7, II	8, II	9, II	Контрольные суммы
Ординаты графиков ΔT рядовых маршрутов в точках пересечения с ОМII	+20	+20	+10	+10	+10	+15	+85
	Снимаются с неувязанных графиков ΔT рядовых маршрутов, построенных от произвольной нулевой линии						
Соответствующие ординаты графиков ΔT на ОМII	+10	+15	+15	—10	—5	—5	+20
	Снимаются с осредненного графика ΔT ОМII, нулевая линия которого принята базисной (уровень, к которому приводятся далее все ОМ, а затем и все РМ)						
Разность ординат (поправки для увязки рядовых маршрутов с ОМII)	—10	—5	+5	—20	—15	—20	—65
	На столько миллиметров надо уменьшить (—) или увеличить (+) ординаты графиков рядовых маршрутов для приведения их к уровню ОМII						

Контроль: 85—65 = 20

ТАБЛИЦА П15.2. **УВЯЗКА ОМIII С ОМII. ВТОРОЙ ЭТАП. РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ΔT НА ИЗБРАННЫХ РЯДОВЫХ МАРШРУТАХ В ТОЧКАХ ИХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ОМIII С УЧЕТОМ ПОПРАВОК НА УВЯЗКУ С ОМII**

Точки пересечения	1, III	3, III	4, III	7 III	8 III	9, III	Контрольные суммы
Ординаты графиков ΔT рядовых маршрутов в точках их пересечения с ОМIII	—10	—10	—5	—15	+10	+5	—25
	Снимаются с неувязанных графиков ΔT рядовых маршрутов, построенных от произвольного нулевого уровня						
Поправки на увязку этих РМ с ОМII, полученные в табл. П15.1	—10	—5	+5	—20	—15	—20	—65
Ординаты графиков ΔT рядовых маршрутов в точках их пересечения с ОМIII с учетом поправок на увязку с ОМII	—20	—15	0	—35	—5	—15	—90

Контроль: —90—(—65) = —25

ТАБЛИЦА П15.3. УВЯЗКА ОМIII С ОМII. ТРЕТИЙ ЭТАП. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОПРАВКИ К НУЛЕВОМУ УРОВНЮ ОМIII

Точки пересечения	1 III	3 III	4 III	7 III	8 III	9 III	Контрольные суммы
Ординаты графика ΔT ОМIII	—10	—20	+10	—25	+15	—30	—60
	Снимаются с осредненного графика ΔT ОМIII, нулевая линия которого произвольна						
Исправленные ординаты графиков РМ (после увязки с ОМII, см. табл. П15.2)	—20	—15	0	—35	—5	—15	—90
Разности ординат (поправки к уровню ОМIII для увязки с ОМII)	—10	+5	—10	—10	—20	+15	—30
	На столько миллиметров надо уменьшить (—) или увеличить (+) ординаты графика ΔT ОМIII для увязки его с ОМII						
Средняя арифметическая разность (поправка для увязки ОМIII с ОМII)	—5						
	Окончательный результат увязки ОМIII с ОМII. Нулевая линия ОМIII должна быть поднята на 5 мм						
	Контроль: —90—(—60) = —30						

Поскольку результаты съемки еще не увязаны, на графиках ΔT опорных и рядовых маршрутов точкам пересечения будут соответствовать разные ординаты. Выпишем соответствующие ординаты в таблицу, причем здесь и в дальнейшем будем оперировать для удобства не значениями магнитного поля в гаммах, а ординатами графиков ΔT в миллиметрах. Допустим, что была получена табл. П15.1. Каждая из разностей в нижней строке таблицы показывает, как нужно изменить нулевую линию данного РМ, чтобы разность ординат графиков ΔT в точке его пересечения с ОМII стала равна нулю. Так, цифра —5 означает, что нулевую линию рядового маршрута нужно поднять на 5 мм;

Пусть в точках пересечения тех же рядовых маршрутов с ОМIII их графики ΔT имеют следующие ординаты: —10, —10, —5, —15, +10, +5. Однако нам необходимо сопоставить нулевой (отсчетный) уровень графиков ΔT на ОМII и ОМIII; поэтому сначала нужно внести поправки, полученные в табл. П15.1. В нижней строке табл. П15.2 приведены ординаты графиков ΔT рядовых маршрутов в точках их пересечения с ОМIII после увязки этих РМ с ОМII. Теперь сопоставим с этими значениями соответствующие ординаты графика ΔT, построенного для маршрута ОМIII. Эту операцию также представим в табличной форме (табл. П15.3).

Никакой закономерности в полученных разностях не усматривается; они имеют случайный характер. В качестве поправки можно принять среднее арифметическое, т. е. —5 мм. Введением этой поправки мы увяжем ОМIII с ОМII.

4. Увяжем ОМIV с ОМII и ОМIII. Для этого осуществим передачу нулевого уровня от ОМIII к ОМIV, так как интервалы времени между парами точек пересечения будут при этом наименьшими. В случае необходимости воспользуемся и точками пересечения на ОМII. Операции при этом аналогичны вышеописанным.

Выделим рядовые маршруты, пригодные для увязки. В выбранном примере это 2, 3, 4, 7, 8, 9; кроме того, можно использовать РМ6, на котором имеется надежная точка пересечения с ОМII. Составим табл. П15.4, аналогичную табл. П15.1. Вводя полученные поправки, мы приводим избранные рядовые маршруты к уровню ОМIII (РМ6 к уровню ОМII).

ТАБЛИЦА П15.4. УВЯЗКА OMIV С OMIII И OMII. ПЕРВЫЙ ЭТАП. ПРИВЕДЕНИЕ ИЗБРАННЫХ ДЛЯ УВЯЗКИ ОС РЯДОВЫХ МАРШРУТОВ К УРОВНЮ OMIII С УЧЕТОМ РАНЕЕ УСТАНОВЛЕННОЙ ПОПРАВКИ К УРОВНЮ OMIII, ПОЛУЧЕННОЙ НА ОСНОВЕ ЕГО УВЯЗКИ С OMII

Точки пересечения	2 III	3 III	4 III	6 II	7 III	8 III	9 III	Контрольные суммы
Ординаты графиков ΔT на рядовых маршрутах в точках их пересечения с OMIII (кроме PM6)	+10	—10	—5	—20	—15	+10	+5	—25
	Снимаются с неувязанных графиков ΔT рядовых маршрутов, построенных от произвольного нулевого уровня							
Ординаты ΔT на OMIII до увязки OMIII с OMII	+5	—20	+10	+5 *	—25	+15	—30	
	Снимаются с осредненных графиков ΔT опорных маршрутов с произвольными нулевыми линиями							
То же, но после увязки OMIII с OMII (с учетом поправки —5)	0	—25	+5	+5	—30	+10	—35	—70
Разности ординат (поправки для увязки рядовых маршрутов с OMIII)	—10	—15	+10	+25**	—15	0	—40	—45
	На столько миллиметров надо уменьшить (—) или увеличить (+) ординаты графиков рядовых маршрутов для приведения их к уровню OMIII (OMII)							

Контроль: —70—(—25) = —45

* Здесь ордината снята в точке пересечения PM6 с OMII; поэтому ниже поправку —5 вводить не нужно.

** Эта поправка получена на OMII, а остальные — на точках пересечения с OMIII, но с учетом разницы в уровнях OMIII и OMII (поправка —5). Поэтому все указанные здесь поправки приводят рядовые маршруты, избранные для увязки ОС в данном интервале, к уровню OMII.

Выпишем и исправим ординаты графиков ΔT тех же PM в точках их пересечения с OMIV (табл. П15.5) и увяжем OMIII с OMIV (табл. П15.6). В данном случае наблюдается закономерное изменение поправок вдоль OMIV, что указывает на перекос (систематическую погрешность измерений) на данном опорном маршруте, например за счет неучтенных вариаций. При этом полезно построить график полученных разностей, изображенный на рисунке *б* (штриховая линия); ординаты разностей откладывают с учетом расстояний между использованными точками пересечений. Проведем наклонную прямую (сплошная линия), отсекающую по обе стороны от нее на графике разностей равные площади. Ординаты этой линии укажут, как надо изменить нулевую линию графика ΔT, полученного для OMIV, с целью увязки его с OMII и OMIII при линейной аппроксимации поправок. В точке пересечения с PM1 окончательная поправка будет равна —20, на пересечении с PM9 — +20.

Увязку OMI выполняем по такой же схеме путем передачи уровня от OMII (PM 1, 3, 6, 7, 9) и от OMIII (PM2).

Описанные приемы позволяют увязать опорную сеть (ОС): все опорные маршруты получают единый условный отсчетный уровень.

Таким образом, способ увязки ОС в данном варианте сводится к следующему:

1) графики ΔT рядовых маршрутов, избранных для передачи уровней от одного ОМ к другому, сначала увязываются с графиком ΔT исходного ОМ (точнее, определяются поправки, которые нужно внести в их нулевые уровни,

ТАБЛИЦА П15.5. **УВЯЗКА OMIV С OMIII И OMII. ВТОРОЙ ЭТАП. РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ΔT НА ИЗБРАННЫХ РЯДОВЫХ МАРШРУТАХ В ТОЧКАХ ИХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С OMIV С УЧЕТОМ ПРИВЕДЕНИЯ ИХ К УРОВНЮ OMIII (OMII)**

Точки пересечения	2 IV	3 IV	4 IV	6 IV	7 IV	8 IV	9 IV	Контрольные суммы
Ординаты графиков ΔT рядовых маршрутов в точках их пересечения с OMIV	—30	+5	—25	—25	+50	+30	+85	+90
	Снимаются с неувязанных графиков ΔT рядовых маршрутов, построенных от произвольного нулевого уровня							
Поправки в уровни этих рядовых маршрутов, полученные в табл. П15.4	—10	—15	+10	+25	—15	0	—40	—45
Исправленные ординаты графиков ΔT рядовых маршрутов в точках их пересечения с OMIV (увязанные с OMIII и OMII)	—40	—10	—15	0	+25	+30	+45	+45

Контроль: +90—45 = +45

ТАБЛИЦА П15.6. **УВЯЗКА OMIV С OMIII И OMII. ТРЕТИЙ ЭТАП. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОПРАВОК К НУЛЕВОМУ УРОВНЮ OMIV**

Точки пересечения	2 IV	3 IV	4 IV	6 IV	7 IV	8 IV	9 IV	Контрольные суммы
Ординаты ΔT на OMIV в точках его пересечения с избранными рядовыми маршрутами	—25	0	—5	0	+25	+10	+25	+30
	Снимаются с осредненного графика ΔT OMIV, нулевая линия которого пока произвольна							
Исправленные ординаты графиков рядовых маршрутов в соответствии с табл. П15.5 для тех же точек пересечения	—40	—10	—15	0	+35	+30	+45	+45
Разности ординат (поправки к уровню OMIV для увязки графика ΔT этого маршрута с OMIII и OMII)	—15	—10	—10	0	+10	+20	+20	+15
	В данном случае осреднение нецелесообразно и наклонная линейная поправка, отражающая перекос графика ΔT, определяется графически (рисунок *б*)							

Контроль: +45—30 = 15

чтобы разности ординат в точках пересечения РМ с исходным ОМ были равны нулю);

2) далее эти поправки вводятся в ординаты избранных РМ в точках их пересечения со следующим ОМ, который предполагается увязать с исходным. Это позволяет сопоставить ординаты графика ΔT ОМII с ординатами графиков РМ, отсчитанными не от произвольных нулевых линий, а от уровня исходного ОМ;

3) в результате определяется средняя поправка к нулевой линии графика ΔT ОМII, введение которой приводит его к уровню исходного опорного маршрута, т. е. обеспечивает их взаимную увязку. Действуя таким образом со всеми парами опорных маршрутов, мы определяем разности нулевых уровней соответствующих графиков ΔT — поправки на увязку всех ОМ с исходным и выявляем перекосы отдельных ОМ; эти операции надежны, поскольку в реальной практике используется много рядовых маршрутов. Влияние отдельных грубых погрешностей измерений ΔT в точках пересечения исключается за счет осреднения данных по большому количеству РМ, используемых для передачи уровней.

Надежность этого способа увязки ОС широко проверена на практике и подтверждена анализом графоаналитических моделей опорных сетей.

Те же операции можно делать и без таблиц, однако последние позволяют:

— выявлять и отбраковывать ненадежно полученные (резко отличающиеся от остальных) разности ΔT в точках пересечения маршрутов;

— выявлять и исправлять систематические погрешности (перекосы нулевых линий) исходных графиков ОМ;

— документально фиксировать ход увязки, что упрощает контроль выполненной работы.

В процессе увязки ОС избранные РМ приводились к уровню отдельных опорных маршрутов. Однако это была только техническая операция для данной конкретной цели (для увязки маршрутов опорной сети), которую не следует путать с операцией увязки рядовых маршрутов площадных съемок с готовыми опорными сетями; полученные в процессе увязки ОС поправки к нулевым линиям РМ нельзя вводить в их окончательные графики ΔT. Увязка рядовых маршрутов с опорной сетью — отдельная операция, которая осуществляется по правилам, описанным в § 87, 133.

В приведенном примере был выявлен перекос крайнего опорного маршрута ОМIV. Если внести установленную поправку в нулевую линию ОМIV (сделать ее наклонной), то перекос исчезает. Обнаружение и исключение этого перекоса никак не повлияло на нулевой уровень остальных опорных маршрутов *. В подобных ситуациях, однако, возникает вопрос: на каком основании поправка вводится именно в этот опорный маршрут, поскольку перекос мог быть не в ОМIV, а в исходном опорном маршруте (ОМII). При правильном выполнении съемки опорных маршрутов с современной аппаратурой перекосы в них практически отсутствуют, что доказано опытным путем. Для этого надо лишь соблюдать правила, описанные в разделе об увязке в основном тексте инструкции. Случай, рассмотренный в приведенном примере, может возникнуть, если при выполнении съемки на каком-либо опорном маршруте было допущено отступление от правил, например съемка выполнялась однократно или отсутствовал учет вариаций, а перезалет этого ОМ был невозможен. О ненадежности съемки на том или ином опорном маршруте в подобной ситуации может быть заранее известно, и остается лишь исправить перекос нулевой линии; соответствующий способ указан. В том маловероятном случае, когда анализ методики и условий съемки на опорных маршрутах не подсказывает, какой из них наименее надежен, можно воспользоваться сопоставлением всех ОМ друг с другом. Так, если увязкой установлено, что между ОМI, ОМII и ОМIII нет взаимного перекоса и он обнаружен только у одного ОМIV, есть все основания считать именно этот маршрут наименее надежным.

* Что отличает этот способ увязки от другого метода уравнивания опорных сетей — по способу ВНИИгеофизики.

П16. ТЕХНИКА РАБОТЫ С РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ «ПОИСК»

П16.1. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛЕТОВ ПО ИЗОФАЗНЫМ ЛИНИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ

До вылета штурман-аэросъемщик переносит на полетную карту и нумерует изофазные линии, наиболее близко совпадающие с намеченными аэромагнитными маршрутами, а также отмечает кружками и нумерует опорные пункты привязки (ОП). Он должен иметь список гиперболических координат точек намеченных маршрутов. Второй бортоператор (радиогеодезист) устанавливает перед штурманом-аэросъемщиком цифровой репитер.

В начале полета штурман * выводит самолет (вертолет) на первый ОП. По команде штурмана бортоператор-радиогеодезист * заранее производит блокировку следящих систем цифровых визуальных счетчиков (а соответственно и цифрового репитера) и устанавливает на них значения гиперболических координат первого ОП. В момент пересечения ОП штурман нажимает кнопку оперативных отметок (КОО). С этого момента показания счетчиков репитера начинают изменяться в соответствии с перемещением летательного аппарата в фазовом поле радиогеодезической системы. Сопоставляя имеющиеся у него координаты начальной точки съемочного маршрута с показаниями счетчиков репитера, штурман выводит самолет на первый маршрут аэромагнитной съемки. Пилот удерживает летательный аппарат на этом маршруте, плавно подворачивая его при малейших отклонениях показаний счетчика от заданных. В момент появления на счетчике координаты конечной точки маршрута штурман нажимает КОО; при этом происходит остановка счетчиков фиксированного отсчета, а на фазограмме выполняется отметка, около которой бортоператор-радиогеодезист записывает номер точки и номер маршрута. Показания цифрового счетчика фиксированного отсчета бортоператор-радиогеодезист отмечает в своем журнале. В отличие от способа вождения летательного аппарата с курсопрокладчиком, при залетах по изофазным линиям остановка счетчиков репитера при нажатии кнопки КОО не производится.

После окончания маршрута пилот делает плавный разворот и, пользуясь показаниями цифрового счетчика, выводит летательный аппарат на соседний маршрут, отстоящий от предыдущего на определенное (целое или дробное) число фазовых циклов.

По окончании съемки на маршрутах производится их привязка к опорному пункту, после чего аппаратура выключается и летательный аппарат возвращается на базу.

П16.2. РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ АКТИВНОМ СПОСОБЕ ВОЖДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО ЗЛП С ПОМОЩЬЮ КУРСОПРОКЛАДЧИКА

Перед вылетом бортоператор-радиогеодезист производит проверку работы набортной аппаратуры и заправляет курсограмму в самописец курсографа, установив при этом один из карандашей самописца в точке, соответствующей первому ОП. Затем он блокирует муфты включения следящих систем курсопрокладчика.

После взлета самолета (вертолета) и проверки аппаратуры в динамическом режиме бортоператор-радиогеодезист записывает в бортовой журнал число, месяц, год, время взлета и время включения аппаратуры (прил. 1.6).

---

* Далее для краткости штурман-аэросъемщик именуется штурманом, а второй бортоператор (радиогеодезист) — бортоператором-радиогеодезистом.

За 2—3 мин до пересечения ОП штурман дает сигнал обоим бортоператорам. Если в набортной аппаратуре имеется устройства блокировки следящих систем цифровых счетчиков, то бортоператор-радиогеодезист производит их блокировку и устанавливает на лимбах счетчиков значения координат первого опорного пункта привязки. Если в набортной аппаратуре отсутствуют устройства блокировки, то установка координат на цифровых счетчиках не производится и в дальнейшем списывание в бортовой журнал координат со счетчиков в процессе съемки не выполняется. Засечка ОП производится одним из методов, указанных в § 111. В момент нажатия КОО происходит разблокировка следящих систем цифровых счетчиков и курсопрокладчика. После засечки пункта бортоператор-радиогеодезист с помощью переключателя разрывает цепь разблокировки следящих систем цифровых счетчиков и курсопрокладчика от КОО, оставляя подключенными к ней только цепь остановки цифровых счетчиков фиксированного отсчета и цепь подачи команды списывания радиогеодезической информации в цифровой регистратор.

После засечки первого ОП штурман прокладывает курс на начальную точку первого съемочного маршрута. Положение летательного аппарата относительно начальной точки маршрута штурман, как правило, определяет по графической записи линии полета на курсограмме. О подходе к начальной точке съемочного маршрута штурман предупреждает всех бортоператоров.

В момент подхода карандаша самописца курсографа к начальной точке маршрута штурман нажимает КОО и сообщает по самолетному переговорному устройству (СПУ) номер маршрута и номер точки. В момент нажатия КОО помимо отметок на фазограмме одновременно производится остановка цифровых счетчиков фиксированного отсчета и цифровых счетчиков электронного репитера. Бортоператор-радиогеодезист надписывает на фазограмме номер точки и номер маршрута и записывает в бортовой журнал значения гиперболических координат со счетчиков фиксированного отсчета. Одновременно показания счетчиков фиксированного отсчета сверяются со значениями гиперболических координат на цифровом электронном регистраторе. В дальнейшем это необходимо производить периодически. После выполнения вышеуказанных операций бортоператор-радиогеодезист нажимает кнопку «сброс». При этом на счетчиках фиксированного отсчета автоматически устанавливаются значения гиперболических координат, соответствующие местоположению летательного аппарата в момент нажатия кнопки.

При подходе карандаша к каждой следующей точке проектного маршрута штурман снова нажимает КОО и сообщает номер точки бортоператору-радиогеодезисту, который каждый раз записывает показания цифровых визуальных счетчиков и периодически проверяет работу преобразователя угол—код по электронному репитеру. Одновременно с этим происходит автоматическое списывание кодовой информации в магнитный регистратор или на перфоратор.

Пилот осуществляет управление курсом летательного аппарата так, чтобы линия фактического маршрута, регистрируемая на курсограмме, и линия проектного маршрута, нанесенная на курсограмму заранее, как можно ближе совпадали.

По окончании залета по первому маршруту выполняют плавный заход на следующий аэромагнитный маршрут, который отрабатывается аналогично. После отработки последнего маршрута бортоператор-радиогеодезист записывает в бортовой журнал время, а штурман выводит летательный аппарат на исходный (первый) или на другой ОП, который должен быть намечен еще перед полетом. При полете над конечным опорным пунктом производится засечка его координат. Далее бортоператор-радиогеодезист списывает с цифровых счетчиков гиперболические координаты ОП и выключает всю набортную радиогеодезическую аппаратуру.

При крупномасштабных съемках, когда интервалы времени между засечкой координат контрольных точек маршрута оказываются меньше 3—5 мин, контакты КОО после засечки координат начальной точки маршрута подключают к контактным часам, которые в дальнейшем автоматически замыкают цепь КОО через заданные интервалы времени и тем самым подают отметки

на фазограмму и магнитограмму. При подключении контактных часов к КОО бортоператор-радиогеодезист отключает от нее цепь остановки счетчиков фиксированного отсчета, оставив подключенной только цепь отметок на фазограмме и цепь подачи команды списывания радиогеодезической информации в цифровой регистратор. При подлете к конечной точке маршрута бортоператор отключает от КОО контактные часы и включает их только с нажатием КОО в начальной точке следующего съемочного маршрута. На это же время к КОО подключается цепь остановки счетчиков. При засечках координат точек маршрута по временны́м интервалам от контактных часов списывание гиперболических координат рядовых точек маршрута в бортовой журнал не производится, за исключением начальных и конечных точек маршрута.

После полета бортоператор-радиогеодезист сдает старшему геодезисту фазограмму и отработанную курсограмму. Перед этим он должен сверить нумерацию точек маршрутов, записанных в бортовом журнале, с их нумерацией на фазограмме.

П16.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК ЗА НЕТОЧНОСТЬ ЗАСЕЧКИ («ЗА ПРОХОЖДЕНИЕ») ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ПРИВЯЗКИ

Поправки определяются с помощью аэронегативов, полученных в момент засечки ОП, и специальных палеток, вычерченных на прозрачном материале. Палетка (рис. П16.1) представляет собой круг с радиальными линиями и прямоугольной сеткой, расчерченной параллельно направлениям север—юг (ось x) и запад—восток (ось y).

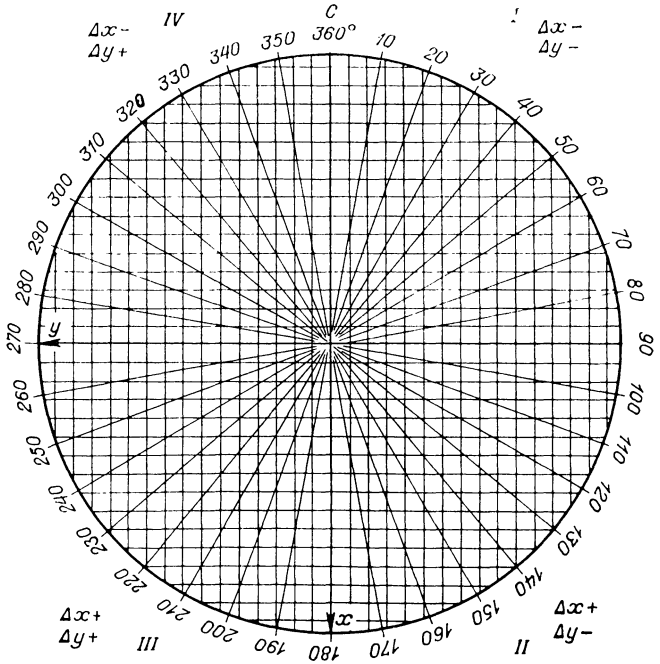


Рис. П16.1. Палетка для определения погрешности прохождения пункта по аэрофотоснимку.

Знаки по квадрантам даны для случая совмещения центра палетки с центром негатива.

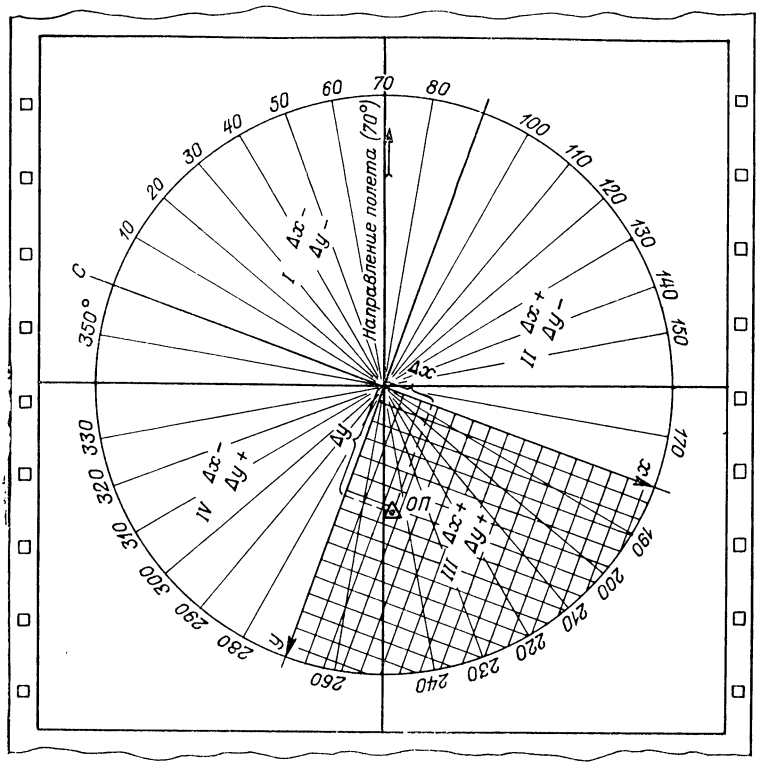


Рис. П16.2. Совмещение палетки и негатива.

Порядок определения поправки следующий:

— в ПДН (приборе для дешифрирования негативов) укрепляют аэронегатив подложкой (стороной без эмульсии) к себе;

— по записям в бортовом журнале и по полетной карте штурмана определяют курс полета над опорным пунктом;

— центр палетки накладывают на центр аэронегатива (точку надира), совмещая с линией полета тот луч палетки, который соответствует магнитному курсу полета (рис. П16.2);

— определяют в миллиметрах расстояния Δx и Δy от центра снимка (центра палетки) до центра опорного пункта; при углах наклона аэронегатива (самолета), превышающих 1,5°, учитывают соответствующие поправки;

— по формуле $M = F/H_{ист}$ определяют масштаб негатива; здесь F — фокусное расстояние объектива аэрофотокамеры; $H_{ист}$ — истинная высота полета над опорным пунктом, которая устанавливается по бортовому журналу штурмана и контролируется по записям высоты на магнитограмме;

— с учетом масштаба негатива снятые значения Δx и Δy переводят в метры;

— определяют гиперболические координаты центра негатива (рис. П16.3), для чего через центр опорного пункта, нанесенного на топографическую основу с гиперболической сеткой, проводят линии x и y, параллельные осям координат x и y; затем, принимая опорный пункт за начало координат, по значениям Δx и Δy (с учетом их знаков) с помощью специальной палетки на-

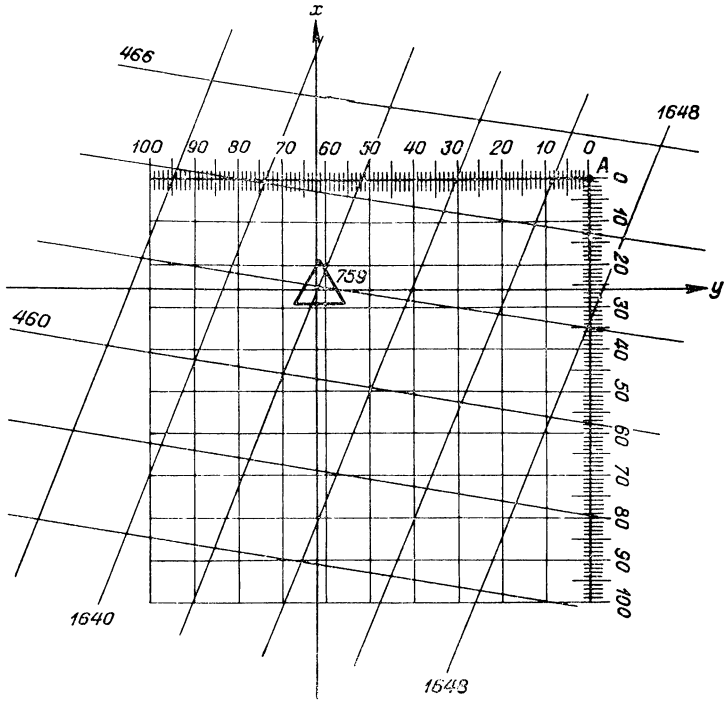


Рис. П16.3. Определение гиперболических координат центра аэрофотоснимка.

носят положение центра негатива и снимают значения гиперболических координат полученной точки;

— определяют поправки «за прохождение» в фазовых циклах по обоим каналам по формулам

$$\delta\varphi_{\text{прох}} = \varphi_{\text{п}} - \varphi_{\text{п}}; \qquad \delta\eta_{\text{прох}} = \eta_{\text{п}} - \eta_{\text{п}},$$

где $\varphi_{\text{п}}$ и $\eta_{\text{п}}$ — теоретически вычисленные значения гиперболических координат опорного пункта; $\varphi_{\text{п}}$ и $\eta_{\text{п}}$ — гиперболические координаты центра негатива;

— полученные значения $\delta\varphi_{\text{прох}}$ и $\delta\eta_{\text{прох}}$ с учетом их знака вводят в снятые с фазограммы значения координат опорного пункта; в случае, если на опорный пункт в начале полета было сделано несколько заходов, для каждого захода определяют свою поправку «за прохождение», отсчеты исправляют и для дальнейшей обработки берут средние исправленные значения координат ОП.

П16.4. ПОСТРОЕНИЕ ГИПЕРБОЛ ОБЗОРНОГО ПЛАНШЕТА, КОГДА РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ БАЗИСНЫМИ СТАНЦИЯМИ НЕ КРАТНЫ ИНТЕРВАЛУ МЕЖДУ ГИПЕРБОЛАМИ

1. Вокруг центральной станции, как центра, строят семейство концентрических окружностей с радиусами, равными $Q\Delta\varphi$, $2Q\Delta\varphi$, $3Q\Delta\varphi$, ..., $pQ\Delta\varphi$, $(p+1)Q\Delta\varphi$, ..., где Q — линейный эквивалент фазового цикла; $\Delta\varphi$ — разность циклов, соответствующая интервалу между гиперболами; 1, 2, 3, ..., p, $p+1$ — номера окружностей.

ФОРМА ЖУРНАЛА И ПРИМЕР ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ХОДА

Номера ориентиров и ОП	Межориентирные расстояния в масштабах 1 : 10 000	Межориентирные расстояния в масштабах 1 : 25 000	Первый канал: Значения координат, снятые с фазограмм	Первый канал: Суммарная поправка	Первый канал: Исправленные значения	Первый канал: Примечание	Второй канал: Значения координат, снятые с фазограмм	Второй канал: Суммарная поправка	Второй канал: Исправленные значения	Второй канал: Примечание
20 сентября 1973 г. участок «Горный» Фазограмма № 42, маршруты 266 и 267. Пункты привязки 759, 732										
ОП 759, курс 70°			462,21 $\delta\varphi_{прох} = -0,32$ 461,89 $\delta\varphi_{нач} = +0,09$ 461,98	+0,09	$\varphi_{теор} = 461,98$ (суммарная поправка для начального пункта равна поправке за начало)		1642,30 $\delta\eta_{прох} = -0,12$ 1642,18 $\delta\eta_{нач} = -0,18$ 1642,00	−0,18	$\eta_{теор} = 1642,00$	
Маршрут 266, курс 180°										
30			465,00	+0,01	465,01		1644,51	−0,15	1644,36	
32			465,31	−0,02	465,29		1646,60	−0,14	1646,46	
33			465,40	−0,06	465,34		1647,01	−0,13	1646,88	
34			465,85	−0,10	465,75		1648,04	−0,12	1647,92	
37			466,01	−0,13	465,88		*1649,23*	*−0,10*	*1649,13*	
40			466,94	−0,15	466,79		1650,98	−0,08	1650,90	
41			467,53	−0,18	467,35		1651,54	−0,05	1651,49	
43			471,41	−0,20	471,21		1652,30	−0,03	1652,27	
48			476,80	−0,22	476,58		1653,85	−0,01	1653,84	
50			480,64	−0,25	480,39		1654,32	+0,01	1654,33	

Маршрут 267, курс 360°

50			480,20	—0,31	479,89	1658,21	+0,06	1658,27
48			477,35	—0,33	477,02	1657,13	+0,07	1657,20
43			474,50	—0,35	474,15	1656,29	+0,09	1656,38
41			469,92	—0,37	469,55	1655,87	+0,12	1655,99
40			468,35	—0,39	467,96	1653,25	+0,13	1653,38
37			467,81	—0,42	467,39	1652,01	+0,14	1652,15
34			466,31	—0,45	465,86	1650,24	+0,15	1650,39
33			466,04	—0,47	465,57	1649,31	+0,16	1649,47
32			465,20	—0,49	464,71	1646,31	+0,17	1646,48
30			464,81	—0,50	464,31	1645,74	+0,18	1645,92
ОП 732 курс 20°			684,65			1364,40		
			$\delta\varphi_{прох} = +0,15$		684,80	$\delta\eta_{прох} = +0,16$		
			684,80			1364,56		1364,56
ОП 732, курс 200°			685,05			1364,70		
			$\delta\varphi_{прох} = +0,01$		685,06	$\delta\eta_{прох} = -0,17$		1364,53
			685,06		$\varphi_{ср} = 684,93$	1364,53		$\eta_{ср} = 1364,54$
			$\varphi_{ср} = 684,93$			$\eta_{ср} = 1364,54$		
			$\delta\varphi_{нач} = +0,09$			$\delta\eta_{нач} = -0,18$		
			685,02	—0,59	$\varphi_{теор} = 684,34$	1364,36	+0,20	$\eta_{теор} = 1364,74$

$\delta\varphi_{н.х} = 684,34 - 685,02 = -0,68$;
$\delta\varphi_{\Sigma} = +0,09 + (-0,68) = -0,59$;
или $\delta\varphi_{\Sigma} = 684,34 - 684,93 = -0,59$

$\delta\eta_{н.х} = 1364,74 - 1364,36 = +0,38$;
$\delta\eta_{\Sigma} = (-0,18) + (0,38) = +0,20$
или $\delta\eta_{\Sigma} = 1364,74 - 1364,54 = +0,20$

2. Вокруг боковой станции строят концентрические окружности, касающиеся окружностей первого семейства в точках, расположенных вдоль базиса. Эти окружности, следовательно, имеют радиусы $2C-pQ\Delta\varphi$, $2C-(p-1)Q\Delta\varphi$, ..., $2C-Q\Delta\varphi$, $2C$, $2C+Q\Delta\varphi$, ..., где $2C$ — базис, для которого идет построение окружностей.

П16.5. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ХОДА ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКЕ

Ход начался на ОП 759 (курс полета 70°) и закончился на ОП 732 (курсы 20 и 200°). Совмещаем центр палетки (рис. П16.2) с центром негатива, полученного при заходе на ОП 759. Определяем значения Δx и Δy в миллиметрах, которые соответственно составили +13 и +31 мм. Пусть масштаб негатива 1 : 2000. Переводим значения Δx и Δy в метры с учетом масштаба негатива: $\Delta x = +26$ м, $\Delta y = +62$ м.

Снимаем выкопировку с топографической основы рабочего планшета масштаба 1 : 10 000 с нанесенным ОП 759, а также гиперболическими и прямоугольными координатами. С помощью палетки наносим центр негатива (точку A на рис. П16.3). Поскольку Δx и Δy в масштабе планшета обычно очень малы, то откладываем их с десятикратным увеличением, т. е. отложим не 2,6 и 6,2 мм, а соответственно 26 и 62 мм. Снимаем значения гиперболических координат точки A (центра негатива): $\varphi_{\text{п}}=465{,}20$, $\eta_{\text{п}}=1643{,}25$. Теоретически рассчитанные значения ОП 759: $\varphi_{\text{п}}=461{,}98$, $\eta_{\text{п}}=1642{,}00$. Удесятиренные значения поправок «за прохождение» в циклах равны:

$$10\delta\varphi_{\text{прох}} = 461{,}98 - 465{,}20 = -3{,}22;$$

$$10\delta\varphi_{\text{прох}} = 1642{,}00 - 1643{,}25 = -1{,}25.$$

Полученные значения уменьшаем в 10 раз, поскольку ранее при нанесении точки A на топографическую основу увеличивали в соответствующее количество раз Δx и Δy. Отсюда $\delta\varphi_{\text{прох}}=-0{,}32$, $\delta\eta_{\text{прох}}=-0{,}12$.

В снятые с фазограммы координаты ОП 759 ($\varphi=462{,}21$, $\eta=1642{,}30$) вводятся полученные поправки со своим знаком. Исправленные значения: $\varphi=461{,}89$, $\eta=1642{,}18$.

Определяем поправку «за начало». Для этого из теоретических значений гиперболических координат ОП 759 вычитаем полученные с фазограмм значения координат (после исправления их за истинное прохождение пункта):

$$\delta\varphi_{\text{нач}} = 461{,}98 - 461{,}89 = +0{,}09;$$

$$\delta\eta_{\text{нач}} = 1642{,}00 - 1642{,}18 = -0{,}18.$$

Конечный ОП 732 был привязан двумя заходами с разными курсами. Для каждого захода отдельно определяем поправки «за прохождение» и полученные с фазограмм значения координат исправляем. Находим среднее значение исправленных координат. Например, для φ получаем такое среднее значение:

$$\varphi_{\text{ср}} = (684{,}80 + 685{,}06)/2 = 684{,}93.$$

Определяем невязку радиогеодезического хода (по φ)

$$\delta\varphi_{\text{н.х}} = \varphi_{\text{теор}} - (\varphi_{\text{ср}} + \delta\varphi_{\text{нач}}) = 684{,}34 - (684{,}93 + 0{,}09) = -0{,}68.$$

Определяем суммарную поправку для ОП 732: $\delta\varphi_{\Sigma}=(+0{,}09)+(-0{,}68)=-0{,}59$; или другим способом: $\delta\varphi_{\Sigma}=684{,}34-684{,}93=-059$. Невязку радиогеодезического хода, равную −0,68, разбрасываем пропорционально времени радиогеодезического хода и вводим в измерения координат геофизических точек рядовых маршрутов. При этом учитываем, что для ОП 759 поправка равна +0,09, а для конечного ОП 732 она равна −0,59. В журнале это фиксируется так, как показано в таблице.

Так же действуют и с поправками по второй координате.

П17. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ «ЧЕРНИЛ»

Магнитные «чернила» применяются для послеполетной проверки качества записи результатов магнитных измерений на магнитную ленту. Они приготовляются заранее.

Смоченным в ацетоне тампоном из ваты и марли или мягкой кистью смыть магнитный слой с неиспользованной магнитной ленты. Затем дать раствору отстояться в течение 2—3 ч. Более тяжелая по удельному весу суспензия порошка и клеящего слоя осядут на дно, а ацетон, растворивший в себе клей, окажется сверху. Верхний слой жидкости слить. Снова налить 0,5—0,7 л ацетона и промыть энергичным взбалтыванием суспензию магнитного порошка, красящего вещества и клея. Дать отстояться. Верхний слой слить снова. Повторить промывку 4—6 раз. После последней промывки осадок высушить, размельчить и растворить в техническом спирте (1 чайная ложка порошка на 100 мл спирта). Для изготовления магнитных «чернил» необходимо следующее:

Магнитная лента	60—80 м
Ацетон	5—7 л
Спирт технический	100 мл

С помощью 100 мл магнитных «чернил» можно обработать 25—30 м магнитной ленты. Добавлять спирт по мере расходования «чернил».

Обработка рабочих (несущих геофизическую информацию) магнитных лент заключается в следующем:

— взболтать магнитные «чернила»;

— необходимый участок рабочей магнитной ленты окунуть полностью в «чернила», осторожно вынуть и просушить. Магнитный порошок из магнитных «чернил» осядет на намагниченных участках ленты, а с «чистых» участков смоется спиртом. Записанная информация обозначится четкими вертикальными штрихами;

— после обработки магнитную ленту протереть сухим ватным тампоном.

Обработка магнитных лент с помощью магнитных «чернил» (даже многократная) на качество записанной на магнитной ленте информации не влияет.

П18. МАГНИТНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ СССР

Название	Координаты			
	географические		геомагнитные	
	широта φ	долгота λ	широта Φ	долгота λ
о. Хейса	80° 37′	58° 03′	71,3°	156,1°
Челюскин	77 43	104 17	66,3	176,5
о. Диксон	73 33	80 34	63,0	161,6
Тикси	71 35	129 00	60,4	191,4
Лопарская (Мурманск)	68 15	33 05	63,5	125,8
Уэлен	66 10	190 10	61,8	237,1
Якутск	62 01	129 43	51,0	193,8
Подкаменная Тунгуска	61 36	90 00	57,2	170,3
Стекольный (Магадан)	60 07	151 01	50,2	210,0
Воейково (Ленинград)	59 57	30 42	56,2	117,3
Высокая Дубрава (Свердловск)	56 44	61 04	48,5	140,7
Займище (Казань)	55 50	48 51	49,3	130,4
Красная Пахра (Москва)	55 28	37 19	50,9	130,5
Ключи (Новосибирск)	55 02	82 54	45,3	150,0
Плещеницы (Минск)	54 30	27 53	51,5	110,4
Паратунка (Петропавловск-Камчатский)	52 54	158 26	44,7	218,6
Патроны (Иркутск)	52 10	104 27	40,7	174,6
Дымер (Киев)	50 43	30 18	47,6	122,2
Львов	49 54	23 45	48,0	105,0
Березняки (Караганда)	49 49	75 05	40,0	148,4
Южно-Сахалинск	46 57	142 43	36,9	206,7
Степановка (Одесса)	46 47	30 53	43,7	111,1
Новоказалинск	45,8	62,1	39,9	138,6
Горнотаежная (Владивосток)	43 41	132 10	32,8	198,1
Алма-Ата	43 15	76 55	33,4	150,7
Душети (Тбилиси)	42 05	44 42	36,7	122,1
Янги-Базар (Ташкент)	41 20	69 37	32,3	144,0
Ванновская (Ашхабад)	37 57	58 06	30,5	133,1

Примечание. Географические координаты магнитных обсерваторий приведены по работе А. Н. Пушкова и М. П. Ивченко «Сводные таблицы среднегодовых значений магнитных элементов мировой сети магнитных обсерваторий с 1970 г.» (М., ИЗМИРАН, 1975).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александров В. А.* Краткое наставление по учету переменного магнитного поля при аэромагнитных съемках в Арктике и Субарктике. Л., 1964. 42 с. (НИИГА).

2. *Аппаратура* геофизическая. Типовая программа испытаний опытных образцов. Л., 1972. 24 с. (ВИТР).

3. *Аттестация* промышленной продукции. Методические указания. М., Изд-во стандартов, 1976. 68 с.

4. *Аэромагнитные* методы в геофизике. Пер. с англ. Под ред. В. Е. Никитского. М., Мир, 1966. 224 с.

5. *Беньков Н. П. К*-индекс магнитной активности.— Космические данные НИИЗМ, 1940, декадный обзор 115, с. 3—41.

6. *Берлянд Н. Г., Цирель В. С.* Анализ и использование материалов опорной картографической аэромагнитной сети. Л., Недра, 1972. 66 с.

7. *Берлянд Н. Г., Цирель В. С.* О критериях выделения слабых аномалий при обработке записей протонных аэромагнитометров.— Методика и техника разведки, 1972, № 82, с. 5—17.

8. *Бошнякович И. Д., Глебовский Ю. С.* Фотопривязка аэрогеофизических маршрутов и аномалий. 2-е изд. Л., Недра, 1969. 208 с.

9. *Брюнелли Б. Е., Логинов Г. А.* Особенности геомагнитных вариаций в высоких широтах.— В кн.: Высокоширотные геофизические явления. Л., 1974, с. 62—80.

10. *Вакье В.* Геомагнетизм в морской геологии. Пер. с англ. Под ред. А. М. Карасика и А. Н. Храмова. Л., Недра, 1976. 192 с.

11. *Васюточкин Г. С.* Факторы аномального поведения вариаций в средних широтах и учет их при высокоточных наземных компонентных съемках.— Экспресс-информация ВИЭМС. Регион. развед. и промысл. геофизика, 1976, № 19, с. 16—35.

12. *Васюточкин Г. С.* Мера активности вариаций магнитного поля.— Развед. геофизика, 1977, вып. 75, с. 86—90.

13. *Васюточкин Г. С., Ломаный В. Д.* Способы оценки метрологических параметров цифровых квантовых магнитометров.— Геофиз. аппаратура, 1977, вып. 61, с. 37—46.

14. *Васюточкин Г. С.* О средней квадратической погрешности наземной магнитной съемки.— Развед. геофизика, 1978, вып. 86, с. 124—133.

15. *Васюточкин Г. С.* Циклические геомагнитные вариации и учет их в магниторазведке. М., 1978. 52 с. (ВИЭМС)

16. *Веденко В. С., Ашарин В. П.* Обработка палеомагнитных данных на ЭЦВМ. Вып. 2, ч. 1 и 2. Препринты ИФСО-2М, ИФСО-4М. Красноярск, 1974. 21 и 26 с.

17. *Волк В. Э., Иванов С. С., Шимараев В. Н.* Методика интерпретации аэромагнитных данных при изучении земной коры на примере исследования шельфов северных морей СССР. Л., 1973. 88 с. (НИИГА).

18. *Вопросы* методики и интерпретации магниторазведки. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 132 с.

19. *Генкин Б. С., Политиков М. И., Удмадтуридзе В. А.* Опыт применения радиогеодезических измерений при аэрогеофизических съемках крупного масштаба.— Развед. и промысл геофизика, 1964, вып. 47, с. 72—78.

20. *Геомагнитные* пульсации/Л. Л. Ваньян, Л. А. Абрамов, Л. С. Альперович и др. М., 1973. 95 с.

21. *Голуб Д. Е.* К методу характерных точек Петерса.— Геомагнетизм и аэрономия, 1970, т. 10, № 6, с. 1126—1128.

22. *Двухгоризонтная* аэромагнитная съемка при поисках кимберлитовых тел в Западной Якутии (методические рекомендации)/Сост. Б. Д. Миков, Ю. М. Эринчек. Новосибирск, 1975. 80 с. (СНИИГГИМС).

23. *Дополнение* к единым нормам выработки и времени на полевые геофизические работы. Полевые гравиразведочные и магниторазведочные работы. М., Недра, 1975. 32 с.

24. *Дунин-Барковский И. В.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., Машиностроение, 1975. 352 с.

25. *Ермолаев М. М.* Введение в физическую географию. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. 260 с.

26. *Зыков К. А.* О построении рабочих зон радиогеодезических систем.— Геодезия и картография, 1966, № 1, с. 36—43.

27. *Игнатьева Т. С.* Применение метода микромагнитной съемки к изучению трещиноватости пород. Л., 1958. (ВИТР).

28. *Инструкция* по составлению и изданию карт аномального магнитного поля $(\Delta T)_a$ и Z_a масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000. Л., 1977. (ВСЕГЕИ). 24 с.

29. *Инструкция* по составлению и подготовке к изданию карт аномального магнитного поля масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000.— В кн.: Техническая инструкция по магнитной разведке. М., 1963, с. 165—184.

30. *Карасик А. М., Крюков С. М.* Введение поправок за вариации по трем станциям при магнитной съемке.— Развед. геофизика, 1965, вып. 3, с. 104—112.

31. *Колюбакин В. В., Лапина М. И.* Обзор способов решения прямой и обратной задач магнитной разведки. М., Изд-во АН СССР, 1960. 356 с.

32. *Комплексирование* геофизических методов при решении геологических задач. Под ред. В. Е. Никитского и В. В. Бродового. М., Недра, 1976. 496 с.

33. *Кондрашов С. Н., Оксман В. В., Страхова Н. А.* Основные вопросы применения микромагнитной съемки. М., 1965. 63 с. (ВИЭМС).

34. *Копаев В. В., Лапина М. И., Распопов О. М.* Вариационный метод определения магнитных свойств сильномагнитных горных пород.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1961, № 9, с. 1354—1362.

35. *Крюков С. М., Левин Д. В.* Учет вариации магнитного поля по трем станциям.— Геофиз. методы разведки в Арктике, 1962, вып. 4.

36. *Логачев А. А., Захаров В. П.* Магниторазведка. 4-е изд. Л., Недра, 1973. 352 с.

37. *Магнитные* измерения/Е. Т. Чернышев, Е. Н. Чечурина, Н. Г. Чернышева, Н. В. Студенцов. М., Изд-во стандартов, 1969. 248 с.

38. *Меньковский В. Н., Радивилин Н. И., Юросов А. В.* В помощь партиям и экспедициям, выезжающим на сезонные полевые работы. М., Недра, 1966. 148 с.

39. *Методика* интерпретации аэромагнитных данных при изучении земной коры на примере исследования шельфов северных морей СССР. Л., 1973. 88 с. (НИИГА).

40. *Методические* рекомендации по математическому и техническому обеспечению обработки данных цифровой аэромагниторазведки. Новосибирск, 1977. 86 с. (СНИИГГИМС).

41. *Методические* рекомендации по интерпретации геофизических материалов при крупномасштабном геологическом картировании. Свердловск, 1974. 216 с.

42. *Методическое* пособие и программы по подготовке и обработке радиогеодезических измерений на ЭВМ «Минск-22», «Минск-32» и БЭСМ-4 при геофизических съемках. Под ред. Е. В. Пасхина. Ашхабад, 1973. 58 с.

43. *Методическое* руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых. Под ред. Н. Б. Дортман и М. Л. Озерской. М., Госгеолтехиздат, 1962. 458 с.

44. *Миков Б. Д.* Практические приемы интерпретации магнитных аномалий в условиях сложного рельефа местности. Методическое пособие. Новосибирск, 1963. 74 с. (ИГГ СО АН СССР).

45. *Миков Д. С.* Определение глубины залегания геологических тел по отношению площади аномальных графиков к максимальным напряжениям.— Геофиз. разведка, 1961, вып. 3, с. 62—72.

46. *Модернизированная* радиогеодезическая система «Поиск-М» для привязки геофизических съемок/А. М. Агафонников, А. В. Крюков, В. И. Лебедев и др.— Развед. геофизика, 1971, вып. 45, с. 60—64.

47. *Морские* геофизические исследования. М., Недра, 1977. 376 с.

48. *Нагата Т.* Магнетизм горных пород. М., Мир, 1965. 346 с.

49. *Наставление* по проведению гидромагнитной съемки. Л., 1972. 46 с. (НИИГА).

50. *Основные* погрешности аэромагнитных измерений и применение полигональных аэромагнитных опорных сетей в магнитной картографии/ Р. Т. Васильев, М. А. Васильева, И. П. Мошинская и др. М., 1978. 39 с. (ВИЭМС).

51. *Основные* положения по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ. М., 1974. 40 с.

52. *Отраслевой* стандарт ОСТ 41-14—78. Аппаратура геофизическая широкого применения. М., 1972. 41 с.

53. *Пак В. П., Трипольский В. П.* Методическое пособие по автомагнитной съемке с магнитометрической самоходной станцией (МСС). Алма-Ата, 1973. 88 с.

54. *Палеомагнетизм* палеозоя/А. Н. Храмов, Г. И. Гончаров, Р. А. Комиссарова и др. Л., Недра, 1974. 238 с.

55. *Парощелочные* квантовые магнитометры и их применение. Л., 1976. 116 с. (НПО «Геофизика»).

56. *Полевой В. А.* Математическая обработка результатов радиогеодезических измерений. М., Недра, 1971. 342 с.

57. *Попов В. В.* Уравновешивание полигонов. 8-е изд. М., Геодезиздат, 1954. 160 с.

58. *Правила* безопасности при геологоразведочных работах. М., Недра, 1979. 249 с.

59. *Радиогеодезические* работы при геофизических съемках. Практическое пособие. М., 1965. 223 с. (ВНИИгеофизика).

60. *Рекомендации* по проектированию и выполнению авиатранспортных и аэросъемочных работ в геологии/Сост. А. А. Гаврилов, В. Г. Горшков, А. Н. Рязанов. М., 1973. 142 с. (ВИЭМС).

61. *Рикитаке Т.* Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. Л., Недра, 1968. 332 с.

62. *Рокитянский И. И.* Геофизические методы магнитовариационного зондирования и профилирования. Киев, Наукова думка, 1972. 226 с.

63. *Руководство* по съемочным полетам. Под ред. П. А. Борисова. М., 1977. 144 с.

64. *Рыманов В. М., Соловьев О. Н.* Методика аэромагнитной съемки с применением воздушной опорной сети. М., ОНТИ ГГК СССР, 1963. 18 с.

65. *Симоненко Т. Н.* Строение магнитоактивной оболочки континента.— Геомагн. исследования, 1976, вып. 17.

66. *Соколов К. П.* Геологическое истолкование магниторазведочных данных. М., Госгеолтехиздат, 1956. 128 с.

67. *Справочник* геофизика. Т. 6. Магниторазведка. Под ред. А. И. Заборовского и В. Е. Никитского. М., Недра, 1969. 400 с.

68. *Справочник* по переменному магнитному полю СССР. Л., Гидрометеоиздат. 1954. 268 с.

69. *Страхов Б. И., Гринкевич Г. И.* Методика магнитной съемки высокой точности.— В кн.: Сборник статей по геофизическим методам разведки Свердловского горного института. М., 1955, с. 67—73.

70. *Тархов А. Г., Сидоров А. А.* О математической обработке геофизических данных.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1960, № 10, с. 1450—1457.

71. *Тархов А. Г., Никитин А. А., Демидович О. А.* Об использовании корреляционных функций при обработке и интерпретации геофизических данных.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 5, с. 118—126.

72. *Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Никитин А. А.* Принципы комплексирования в разведочной геофизике. М., Недра, 1977. 222 с.

73. *Техническая* инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке. М., 1977. 188 с.

74. *Техническая* инструкция по магнитной разведке. Госгеолтехиздт, 1963. 247 с.

75. *Федынский В. В.* Разведочная геофизика. М., Недра, 1967. 672 с.

76. *Федюк В. И.* Микромагнитная съемка и ее геологические возможности. М., Госгеолтехиздат, 1958.

77. *Физические* основы прогнозирования магнитосферных возмущений. М., Наука, 1977. 312 с.

78. *Физические* свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. Под ред. Н. Б. Дортман. М., Недра, 1976. 528 с.

79. *Флуктуации* электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. М., Наука, 1972. 196 с.

80. *Храмов А. Н., Шолпо Л. Е.* Палеомагнетизм. Принципы, методы и геологические приложения палеомагнитологии. Л., Недра, 1967. 251 с.

81. *Цирель В. С., Яковлев Г. Я.* Аэромагнитометр АМП-7. Руководство по эксплуатации. Л., 1976. 70 с. (ВИТР).

82. *Чепик А. Ф., Сушко Г. М.* Рекомендации по методике аэромагнитных съемок с квантовыми аэромагнитометрами КАМ-28.— Геофиз. аппаратура, 1976, вып. 59, с. 39—42.

83. *Шолпо Л. Е.* Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. Л., Недра, 1977. 189 с.

84. *Эринчек Ю. М., Пасхин Е. В., Джевелегян В. К.* Опыт применения радиогеодезической системы «Поиск-М» для планового обоснования аэромагнитных съемок крупного масштаба в Западной Якутии.— Экспресс-информация ВИЭМС. Регион. развед. и промысл. геофизика, 1974, № 5, с. 31—35.

85. *Эффективность* геофизических методов при поисках рудных месторождений/Д. М. Карпушин, В. Д. Шеврыгина, О. Т. Преображенская, Л. В. Лазарева. М., Недра, 1976. 64 с.

86. *Яновский Б. М.* Земной магнетизм. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 592 с.

87. *Breiner S.* Applications manual for portable magnetometers geometrics. 395. Java Drive. USA, 58 p.

88. *Fraser B. J., Ellyett C. D.* Man-made magnetic micropulsations — Geophys. Res., 1964, vol. 69, № 17, p. 3003—3006.

89. *Irving E.* Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems. N. Y., Wiley, 1964. 399 p.

90. *Krs M.* Paleomagnetism. Praha, Academia, 1969. 207 p.

91. *McElhinny M. W.* Paleomagnetism and plate tectonisc. Cambridge Univ. Press. London, 1973.

92. *Lynch V., Slack H., Langan L.* The rubidium vapor gradiometer and its application in the Delavare basin. 13-th annual exploration meeting Permian besin. geophys. soc. Aero Service corp., 1966.

93. *Methods* in paleomagnetism Elsevier. Amsterdam — London, 1967, № 4. 609 p.

94. *Whitham K., Niblett E.* The diurnal problem in Aeromagnetic Surveying in Canada.— Geophys., 1961, vol. 26, № 2, p. 211—228.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 6

1. Общие положения 13

1.1. Проектирование магниторазведочных работ . . . . . —
1.2. Организация работ 18
1.3. Служба времени 19
1.4. Учет геомагнитных вариаций 20
1.5. Документация и контроль качества полевых и камеральных работ 33
1.6. Графическое представление результатов работ в окончательных отчетах 37
1.7. Отчетность 43

2. Наземная магнитная съемка 45

2.1. Общие указания . . . . . —
2.1.1. Масштабы, густота сети наблюдений и точность съемок . . —
2.1.2. Топографо-геодезическое обеспечение 47
2.1.3. Общие правила работы с приборами 52
2.1.4. Методика проведения рядовых и высокоточных съемок . . 53
2.1.5. Измерения на расчетных профилях 56
2.1.6. Особенности наземной магнитной съемки в осложненных условиях 57
2.1.7. Обработка материалов съемки 59
2.1.8. Определение качества полевых и камеральных работ . . . 64
2.2. Специальные виды наземной съемки 68
2.2.1. Автомобильная магнитная съемка . . . . . —
2.2.2. Микромагнитная съемка 71
2.2.3. Измерение градиентов магнитного поля 73
2.3. Основные положения по применению наземной магнитной съемки при решении геологических задач 75

3. Аэромагнитная съемка 79

3.1. Аппаратура . . . . . —
3.2. Виды аэромагнитных съемок и съемочных маршрутов 82
3.3. Методика и техника работ 84
3.3.1. Общие указания, технологическая схема работ . . . . . —
3.3.2. Масштабы площадных съемок, высоты полетов, системы залета площадей, направление и длина маршрутов . . . . —
3.3.3. Работа экипажа съемочного самолета 92
3.3.3.1. Предполетная подготовка . . . . . —
3.3.3.2. Работа во время съемочного полета 93
3.3.3.3. Работа после полета 95

3.3.4. Увязка результатов аэромагнитных измерений и определение аномальных значений магнитного поля $(\Delta T)_a$ . . . 96
3.3.4.1. Внутренняя увязка . . . . . —
3.3.4.2. Внешняя увязка и определение $(\Delta T)_a$ 103
3.3.5. Картографическое обеспечение 107
3.3.6. Плановая и высотная привязка 108
3.3.6.1. Фотопривязка 109
3.3.6.2. Радиогеодезическая привязка 113
3.3.6.3. Высотная привязка 123
3.3.7. Методика специальных видов аэромагнитной съемки . . . 126
3.3.7.1. Маршрутные, детализационные, повысотные съемки и измерения на расчетных маршрутах . . . . . —
3.3.7.2. Двухгоризонтная съемка 128
3.3.8. Особенности методики аэромагнитной съемки в осложненных условиях и над акваториями 129
3.3.8.1. Съемка в низких и высоких широтах, при низких и высоких температурах . . . . . —
3.3.8.2. Съемка в горных районах 130
3.3.8.3. Съемка над акваториями 131
3.3.9. Обработка результатов аэромагнитных измерений 132
3.4. Оценка погрешности аэромагнитных съемок и карт 139

4. Гидромагнитная съемка 142

Приложения

П1. Формы документации магниторазведочных работ 146

П1.1. Журналы записей полевых измерений магнитного поля и регистрации лент при наземной магнитной съемке . . . . . —
П1.2. Полетное задание 147
П1.3. Заявка на полет 150
П1.4. Бортовой журнал штурмана 152
П.1.5. Бортовой журнал второго бортоператора (аэрофотосъемщика) 155
П1.6. Бортовой журнал второго бортоператора (радиогеодезиста) . 157
П1.7. Записи оператора в начале магнитограммы для феррозондовых приборов 158
П1.8. Примерная форма наклейки (штампа) на аналоговую магнитограмму для прибора КАМ-28 и протонных аэромагнитометров . 159
П1.9. Примерная форма наклейки на аналоговую запись МВС . . —
П1.10. Регистрационный журнал материалов съемки с прибором КАМ-28 160
П1.11. Журнал регистрации аэронегативов и отпечатков . . . . . —
П1.12. Журнал учета данных фотопривязки аэромагнитных маршрутов и аномалий 161
П1.13. Записи оператора в начале магнитограммы при выполнении гидромагнитной съемки 162
П1.14. Рабочий журнал, заполняемый при регистрации вариаций . . —
П1.15. Журнал регистрации вариаций δT квантовым магнитометром М-33 . . . . . —

П2. Общетехнические термины, применяемые в магниторазведке . . . 163
П2.1. Измерения. Виды, структурные элементы и свойства средств измерений . . . . . —
П2.2. Качество измерений и способы его оценки 166

П3. Справочные сведения об основной и вспомогательной магниторазведочной аппаратуре 168
П3.1. Полевые магнитовариационные станции . . . . . —
П3.2. Магнитометры для наземных съемок 170

П3.3. Магнитометры для высокоточных и прецизионных наземных съемок . . . 172
П3.4. Аппаратура для автомагнитных съемок . . . 173
П3.5. Аэромагнитометры . . . 174
П3.6. Средства градуировки магнитометров . . . 176
П3.7. Параметры, регистрируемые прибором КАМ-28 . . . 177
П3.8. Вспомогательное оборудование для проверки и регулировки аэромагнитометров . . . 178
П3.9. Основные отечественные аэрофотоаппараты, пригодные для плановой привязки . . . —
П3.10. Технические данные радиогеодезических систем . . . 179
П3.11. Аппаратура для гидромагнитных съемок . . . 180

П4. Основные формулы для расчета полей намагниченных тел . . . 182

П5. Важнейшие экспресс-методы решения прямой и обратной задач в магниторазведке . . . 188
П5.1. Экспресс-методы расчета полей намагниченных тел (прямая задача) —
П5.1.1. Метод Неттльтона . . . —
П5.1.2. Прямая экспресс-оценка аномальных эффектов, создаваемых металлическими предметами . . . 193
П5.1.3. Качественные методы выделения полезной аномалии из помех . . . 194
П5.2. Экспресс-методы решения обратной задачи — определения глубины залегания и параметров возмущающих тел . . . 199
П5.2.1. Сглаживание аномалий . . . —
П5.2.2. Номографический метод вычисления глубины залегания тонкого пласта (по В. Э. Волку) . . . 200
П5.2.3. Метод полумаксимума . . . 201
П5.2.4. Метод касательных (в модификации А. К. Вейнберга) 202
П5.2.5. Метод, основанный на применении уравнения Эйлера 204
П5.2.6. Определение глубины залегания геологических тел по отношению площади аномального графика к максимальному значению ΔZ в эпицентре (по Д. С. Микову) . . 205
П5.2.7. Метод Петерса—Голуб . . . 206

П6. Сведения о магнитных вариациях во времени . . . 208

П7. Способ определения вариационной поправки по данным трех МВС . 212

П8. Способы оценки достоверности магнитных аномалий . . . 214

П9. Справочные сведения о выполнении и увязке опорных сетей наземных магнитных съемок . . . 215
П9.1. Требования к разбивке опорной сети и наблюдениям в ее узлах —
П9.2. Уравнивание наземной опорной сети . . . 216

П10. Пример увязки двух опорных магистралей по рядовым пересекающим их профилям . . . 225

П11. Техника работы с аэромагнитометрами . . . 227
П11.1. Феррозондовые аэромагнитометры . . . —
П11.2. Протонные аэромагнитометры . . . 228
П11.3. Квантовый цезиевый аэромагнитометр КАМ-28 . . . 229

П12. Справочные сведения о способах компенсации девиационных магнитных помех . . . 231

П13. Практические приемы первичной обработки данных, получаемых при съемке протонными аэромагнитометрами (АМП-7, ЯМП-3, магнитный канал станции АГС-71СМ) . . . 233
П13.1. Общие указания . . . —

П13.2. Предварительная обработка точечной (дискретной) записи (прибор АМП-7) . . . . . —
П13.3. Подготовка перфозаписей к обработке на ЭВМ (прибор ЯМП-3) 235
П14. Пример уравнивания опорной аэромагнитной сети из четырех полигонов (способ ВНИИгеофизики) 236
П15. Пример увязки графиков ΔT сети опорных маршрутов с помощью многих рядовых маршрутов площадной аэромагнитной съемки (способ ВИРГ) 239
П16. Техника работы с радиогеодезическими системами «Поиск» . . . 245
П16.1. Выполнение полетов по изофазным линиям положения . . —
П16.2. Радиогеодезические измерения при активном способе вождения летательного аппарата по ЗЛП с помощью курсопрокладчика . . . . . —
П16.3. Определение поправок за неточность засечки («за прохождение») опорных пунктов привязки 247
П16.4. Построение гипербол обзорного планшета, когда расстояния между базисными станциями не кратны интервалу между гиперболами 249
П16.5. Пример обработки радиогеодезического хода при крупномасштабной аэромагнитной съемке 252
П17. Приготовление и использование магнитных «чернил» 253
П18. Магнитные обсерватории СССР 254
Список литературы 255

ИНСТРУКЦИЯ
ПО МАГНИТОРАЗВЕДКЕ

Редакторы издательства *З. С. Смелянова, В. С. Селиванов*
Переплет художника *В. Т. Левченко*
Технический редактор *А. Б. Ящуржинская*
Корректоры *М. И. Витис, Н. Н. Степанова*

ИБ № 3830

Сдано в набор 17.11.80. Подписано в печать 24.03.81. М-29790. Формат 60×90¹/₁₆ Бумага тип. № 2. Печать высокая Гарнитура литературная. Усл. печ. л. 16,5 Усл. кр.-отт. 16,5. Уч.-изд. л. 23,2. Тираж 7950 экз. Заказ № 1/582. Цена 1 р 40 к.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение 193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.