

---

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральная служба по гидрометеорологии  
и мониторингу окружающей среды  
(Росгидромет)**

---

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

**РД  
52.26.900–  
2020**

---

**РУКОВОДСТВО  
ПО ИОНОСФЕРНЫМ, МАГНИТНЫМ  
И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ**

**Часть II  
Магнитные наблюдения**

Москва  
2020

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова» (ФГБУ «ИПГ») и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «АНИИ»)

2 РАЗРАБОТЧИКИ: Ю.М. Качановский (руководитель разработки); А.В. Алексеева (ответственный исполнитель); В.И. Денисова; В.Л. Кравченко, канд. техн. наук; В.Т. Минлигареев, д-р техн. наук; Е.А. Панышин; Ю.В. Писанко, д-р физ.-мат. наук (ФГБУ «ИПГ»); А.С. Калишин, канд. техн. наук; Ю.Г. Турбин, канд. физ.-мат. наук; А.В. Франк-Каменецкий, канд. физ.-мат. наук (ФГБУ «АНИИ»)

3 СОГЛАСОВАН:

- с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун») письмом от 25.12.2019 исх. № 01-46/3502;

- с Управлением геофизического мониторинга, активных воздействий и государственного надзора Росгидромета 30.09.2020

4 УТВЕРЖДЁН Руководителем Росгидромета 30.09.2020.

ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 30.09.2020 № 379

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН головной организацией по стандартизации Росгидромета ФГБУ «НПО «Тайфун» 30.09.2020.

ОБОЗНАЧЕНИЕ РУКОВОДЯЩЕГО ДОКУМЕНТА РД 52.26.900–2020

6 ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ

7 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2026 год.

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ 5 лет

## Содержание

1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	2
3 Термины и определения.....	4
4 Обозначения и сокращения .....	13
5 Организация магнитных наблюдений на государственной наблюдательной сети.....	19
6 Средства измерений геомагнитного поля.....	32
7 Порядок проведения магнитных наблюдений .....	34
8 Передача данных магнитных наблюдений .....	56
9 Безопасность труда на стационарных пунктах магнитных наблюдений .....	59
Приложение А (справочное) Перечень информации об ожидаемом или регистрируемом опасном природном гелиогеофизическом явлении.....	61
Приложение Б (обязательное) Организация магнитной наблюдательной сети ...	63
Приложение В (обязательное) Типовые нормы штатной численности стационарных пунктов магнитных наблюдений .....	76
Приложение Г (обязательное) Формы технических журналов .....	84
Приложение Д (обязательное) Типовая программа магнитных наблюдений ....	86
Приложение Е (справочное) Средства измерений геомагнитного поля .....	96
Приложение Ж (обязательное) Инструкция по измерению абсолютных значений составляющих геомагнитного поля нуль-методом .....	118
Приложение И (обязательное) Инструкция по проведению абсолютных измерений офсетным методом .....	128
Приложение К (обязательное) Расчёт абсолютных и базисных значений.....	140

Приложение Л (справочное) Перечень и параметры анализируемой информации и выходная продукция.....	142
Приложение М (справочное) Геомагнитное поле.....	147
Приложение Н (справочное) Метрологическое, нормативное и техническое обеспечение магнитных наблюдений.....	178
Библиография.....	183

## Введение

Давно было замечено, что во время геомагнитных бурь прерывается телефонная и телеграфная связь. Электрические токи, индуцированные в проводах, создают в это время разрывы в линиях проводной связи дальнего действия, выводят из строя предохранители. Геомагнитные вариации оказывают влияние на радионавигацию, влияют на работу магнитного оборудования. Во время сильных геомагнитных бурь увеличивается радиационное воздействие на конструкции и экипажи летательных аппаратов.

Процессы, протекающие в биосфере – области активной жизни, охватывающей нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, зависят от состояния возмущённости геомагнитного поля. В последнее время было проведено много исследований, доказывающих статистическую связь между геомагнитной активностью и различными явлениями в природе: изменением погоды, сейсмической активностью, колебаниями уровней озёр, вероятностью сердечно-сосудистых заболеваний, поведением животных и насекомых. Всё это заставляет специалистов многих областей науки и отраслей народного хозяйства (геофизиков, инженеров, микробиологов, медиков и т.д.) обращаться к геомагнитным данным, в том числе и к индексам геомагнитной активности.

В настоящем руководящем документе приведена общая информация об организации магнитных измерений на сети стационарных пунктов магнитных наблюдений, о средствах измерений величины геомагнитного поля, устанавливаемых на государственной наблюдательной сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), определён порядок проведения магнитных измерений, обработки данных и передачи их в центры сбора и анализа информации для составления прогнозов гелиогеофизических явлений и процессов, а также оповещений о штормовой обстановке.

Настоящий руководящий документ организационно входит в «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям», которое состоит из четырёх частей:

- Часть I – «Ионосферные наблюдения»;
- Часть II – «Магнитные наблюдения»;
- Часть III – «Гелиогеофизические наблюдения»;
- Часть IV – «Передача оперативных данных наблюдений и организация удалённой технической поддержки».

Основные положения настоящего руководящего документа учитывают требования Всемирной метеорологической организации, распространяющиеся на международную сеть магнитных наблюдений.

При разработке настоящего руководящего документа экспертную помощь оказали сотрудники учреждений Российской академии наук, работающие в области магнитных наблюдений: Н.А. Заболотная, канд. геолого-минерал. наук; В.Г. Петров, канд. физ.-мат. наук (ИЗМИРАН); С.А. Нечаев (ФГБУН ИСЗФ СО РАН); С.Ю. Хомутов, канд. физ.-мат. наук (ФГБУН ИКиР ДВО РАН).

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

---

**РУКОВОДСТВО  
ПО ИОНОСФЕРНЫМ, МАГНИТНЫМ  
И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ****Часть II  
Магнитные наблюдения**

---

Дата введения – 2021–01–01

**1 Область применения**

Настоящий руководящий документ устанавливает организацию, порядок проведения, основные принципы, методы и средства наблюдений геомагнитного поля и разработан в целях формирования единого подхода к организации и проведению работ в области наблюдений геомагнитного поля, обеспечения качества измерений и сопоставимости данных.

Настоящий руководящий документ предназначен для инженерного и технического персонала стационарных пунктов магнитных наблюдений и специалистов научно-исследовательских учреждений Росгидромета.

Настоящий руководящий документ может быть использован преподавателями и студентами профильных учебных заведений при изучении курса «Постоянное магнитное поле», «Физика магнитосферы» и других смежных дисциплин, а также организациями, которые проводят магнитные наблюдения и предоставляют данные о геомагнитном поле.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.0.003–2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

ГОСТ 12.0.007–2009 Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию

ГОСТ 12.0.230–2007 Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования

ГОСТ 22261–94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия

ГОСТ 25645.126–85 Поле геомагнитное. Модель поля внутриземных источников

РД 52.04.567–2003 Положение о государственной наблюдательной сети

РМГ 51–2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения

**Примечание** – При пользовании настоящим РД 52.26 целесообразно проверять действие ссылочных документов:

- стандартов – в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год;

- межгосударственных рекомендаций (РМГ) – по информационному указателю «Руководящие документы, рекомендации и правила», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года;



- нормативных документов по метрологии – по ежегодно издаваемому «Перечню нормативных документов в области метрологии», опубликованному по состоянию на 1 января текущего года;

- нормативных документов Росгидромета – по РД 52.18.5 «Перечень нормативных документов (по состоянию на 01.08.2012)» и ежегодно издаваемому информационному указателю нормативных документов, опубликованному по состоянию на 1 января текущего года.

Если ссылочный документ заменён (изменён), то при пользовании настоящим РД следует руководствоваться заменённым (изменённым) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменён без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем руководящем документе применены термины с соответствующими определениями:

**3.1 авроральная зона (зона полярных сияний, зона Фрица):** Область широт максимальной повторяемости полярных сияний.

3.2

**аттестация методик (методов) измерений:** Исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям.

[ГОСТ Р 8.563–2009, статья 3.2]

**3.3 алидада:** Приспособление для измерения углов (вращающееся вокруг оси, проходящей через центр лимба) в астрономических, геодезических и физических угломерных инструментах.

**3.4 бухтообразное возмущение (бухта):** Проявление магнитосферной суббури в виде возмущения геомагнитного поля, запись которого на магнитограмме имеет очертание, напоминающее по форме морскую бухту.

3.5

**вариация геомагнитного поля:** Изменение элементов геомагнитного поля во времени.

[ГОСТ 24284–80, статья 28]

3.6

**вековая вариация геомагнитного поля:** Вариация геомагнитного поля, период которой оценивается сотнями лет.

[ГОСТ 24284–80, статья 29]

## 3.7

**вертикальная составляющая геомагнитного поля:** Проекция вектора индукции геомагнитного поля на вертикальную плоскость.

[ГОСТ 24284–80, статья 24]

**3.8 внезапное начало бури:** Резкое увеличение геомагнитного поля типа изолированного импульса амплитудой до десятков нанотесла.

**3.9 внезапные импульсы:** Импульсы в геомагнитном поле, возникающие вследствие резких градиентов параметров солнечного ветра.

**3.10 возмущённые геомагнитные вариации:** Изменения геомагнитного поля, которые имеют нерегулярный, спорадический характер.

## 3.11

**географический меридиан:** Линия пересечения земной поверхности условной плоскостью, проходящей через Северный и Южный географические полюсы.

[ГОСТ 23634–83, статья 4]

**3.12 геомагнитная активность:** Величина, выражающая степень возмущённости геомагнитного поля за определённый промежуток времени.

**3.13 геомагнитная буря (магнитная буря):** Возмущение геомагнитного поля, охватывающее всю магнитосферу и длящееся несколько суток, приводящее, в частности, в низких широтах на поверхности Земли к уменьшению магнитной индукции на 50 нТл и больше.

## 3.14

**геомагнитное поле:** Магнитное поле Земли.

[ГОСТ 24284–80, статья 17]

3.15

**геомагнитный полюс:** Точка выхода на поверхность Земли оси магнитного диполя, поле которого аппроксимирует главное магнитное поле Земли.

[ГОСТ 24284–80, статья 20]

**3.16 геомагнитные пульсации:** Флуктуации геомагнитного поля с периодом от долей секунды до десятков минут.

3.17

**геомагнитный хвост:** Область магнитосферы Земли, находящаяся на ночной стороне и образованная магнитными силовыми линиями, вытянутыми в направлении от Солнца.

[ГОСТ 25645.109–84, статья 9]

3.18

**горизонтальная составляющая геомагнитного поля:** Проекция вектора индукции геомагнитного поля на горизонтальную плоскость.

[ГОСТ 24284–80, статья 25]

3.19

**квантовый магнитометр:** Магнитометр с квантовым чувствительным элементом, основанным на явлении оптической накачки в парах некоторых щелочных металлов (обычно цезия и рубидия) или в гелии.

[ГОСТ 24284–80, статья 85]

3.20

**короткопериодная вариация геомагнитного поля:** Вариация геомагнитного поля с периодом от долей секунды до десятков минут.

[ГОСТ 24284–80, статья 30]

**3.21 космическая погода:** Комплекс явлений на Солнце и в межпланетном пространстве и определяемых ими явлений в магнитосфере и ионосфере Земли.

**3.22 лимб:** Цилиндрическое или коническое кольцо, или диск, разделённый штрихами на равные доли, как правило угловые (градусы, минуты и т.д.).

**3.23 лунно-суточные вариации:** Геомагнитные вариации периодического характера, контролируемые положением Луны.

**3.24 магнитная обсерватория:** Научное учреждение, в котором длительное время осуществляется непрерывная регистрация вариаций геомагнитного поля, производятся регулярные абсолютные наблюдения (контроль вековых вариаций геомагнитного поля), первичная обработка и анализ данных.

**Примечание** – Магнитные обсерватории располагают штатом опытных магнитологов и научных сотрудников, осуществляющих в том числе работы научно-исследовательского характера, метрологические испытания и настройку магнитометров (поверку оборудования). Магнитные обсерватории являются хранителями уровней элементов геомагнитного поля, по которым производится сравнение рабочих магнитометров и буссолей.

**3.25 магнитная станция:** Стационарное наблюдательное подразделение, проводящее магнитные наблюдения по утверждённой схеме и передающее данные в центр сбора и обработки информации.

**3.26 магнитное наклонение:** Угол между вектором напряжённости геомагнитного поля и горизонтальной плоскостью в рассматриваемой точке земной поверхности.

**3.27 магнитное склонение:** Угол между плоскостями географического и магнитного меридианов в точке наблюдения.

**3.28 магнитный диполь:** Идеализированная система, служащая для приближённого описания распространения геомагнитного поля.

**Примечание** – В качестве модели магнитного диполя можно рассматривать небольшую (по сравнению с расстояниями, на которых изучается генерируемое диполем магнитное поле) плоскую замкнутую проводящую рамку площади  $S$ , по которой течёт ток  $i$ . При этом магнитным моментом диполя называют величину  $M = i \cdot S \cdot n$ , где  $n$  – единичный вектор, направленный перпендикулярно плоскости рамки в том направлении, при наблюдении в котором ток в рамке представляется текущим по часовой стрелке.

**3.29 магнитные наблюдения:** Комплекс мероприятий, проводимых регулярно, по определённой программе, обеспечивающий измерение параметров геомагнитного поля или отдельных его составляющих, для оценки состояния магнитосферы и анализа происходящих в ней процессов.

**Примечание** – Включает в себя обеспечение условий внешней среды, работоспособности, технического обслуживания и правил эксплуатации оборудования, сбора, хранения и передачи информации об измерениях.

**3.30 магнитовариационная станция:** Прибор для измерения величины вариаций геомагнитного поля по трём составляющим в прямоугольной или геомагнитной системе координат.

**3.31 магнитосфера Земли:** Область околоземного пространства, занятая геомагнитным полем.

**3.32 магнитосферная суббуря:** Комплекс возмущений в магнитосфере, который генерируется изменениями в солнечном ветре, сопровождается повышенной диссипацией поступающей и (или) уже поступившей в магнитосферу (накопленной) энергии солнечного ветра.

**Примечание** – Проявляется в наибольшей степени в зоне полярных сияний Северного и Южного полушарий Земли.

3.33

**магнитосферный кольцевой ток:** Электрический ток, созданный захваченными частицами в магнитосфере.

**Примечание** – Усиление магнитосферного кольцевого тока является одним из проявлений геомагнитной бури.

[ГОСТ 25645.109–84, статья 23]

**3.34 нормаль:** Единичный вектор, перпендикулярный к касательной прямой в указанной точке кривой.

**3.35 овал полярных сияний (авроральный овал):** Мгновенная область сияния в авроральной зоне; имеет вид овала, смещённого по широте на ночную сторону относительно магнитного полюса.

**Примечание** – Овал является проекцией плазменного слоя и каспа на ионосферу вдоль силовых линий геомагнитного поля. Усреднённая конфигурация овала изменяется в зависимости от уровня магнитной активности.

**3.36 опасные гелиогеофизические явления:** Процессы и явления, возникающие в верхней атмосфере Земли и околоземном космическом пространстве, которые по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности оказывают или могут оказать поражающее воздействие на функционирование технических и биологических систем как на Земле, так и в околоземном космическом пространстве.

**3.37 пеленгация миры:** Направление от места установки теодолита на миру, измеряемое углом в горизонтальной плоскости между северным направлением меридиана, проходящего через место установки теодолита, и направлением от этого места на миру, отсчитываемым по часовой стрелке от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

3.38

**полная интенсивность геомагнитного поля:** Модуль полного вектора индукции геомагнитного поля.

[ГОСТ 24284–80, статья 22]

3.39

**полярный касп:** Область в околополуденной части магнитосферы, имеющая вид воронки, расширяющейся от Земли до магнитопаузы, и разделяющая силовые линии дневной магнитосферы и геомагнитного хвоста.

[ГОСТ 25645.109–84, статья 13]

3.40

**полярная шапка:** Область высокоширотной ионосферы, ограниченная авроральным овалом.

[ГОСТ 25645.109–84, статья 22]

**3.41 полярное сияние:** Свечение верхних слоёв атмосферы, вызванное возбуждением атомов и молекул потоками электронов и протонов с энергиями от сотен электронвольт до десятков килоэлектронвольт, вторгающихся в атмосферу.

**Примечание** – Наиболее часто интенсивные вторжения наблюдаются в авроральной зоне.

3.42

**протонный магнитометр:** Магнитометр с протонным магниточувствительным элементом.

[ГОСТ 24284–80, статья 86]

**3.43 рекуррентные (27-дневные) вариации:** Тенденция повторения характеристик геомагнитной активности через каждые 27 дней, соответствующих периоду вращения приэкваториальных областей Солнца вокруг своей оси.

**3.44 сезонные вариации магнитной активности:** Характеристики магнитной активности, полученные путём обработки наблюдений за несколько сезонов.

**3.45 солнечный ветер:** Поток ионизированных частиц (в основном гелиево-водородной плазмы), с вмороженным магнитным полем, истекающий в окружающее космическое пространство из солнечной короны со скоростью от 300 до 1 200 км/с.

**3.46 солнечно-суточные вариации:** Изменения элементов земного магнетизма с периодом, равным продолжительности солнечных суток.



3.47

**средство измерений:** Техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики.

[РМГ 29–2013, статья 6.2]

3.48

**суточная вариация геомагнитного поля:** Изменение значения элементов геомагнитного поля в течение суток относительно их среднесуточных значений.

[ГОСТ 24284–80, статья 31]

3.49

**феррозондовый магнитометр:** Магнитометр с феррозондовым магниточувствительным элементом.

[ГОСТ 24284–80, статья 87]

**3.50 штормовое оповещение:** Сообщение о начавшемся опасном гелиогеофизическом явлении.

**3.51 штормовое предупреждение:** Прогноз возникновения, сохранения или усиления опасного гелиогеофизического явления.

**3.52 штормовое сообщение:** Сообщение, в котором содержатся сведения о возникновении, усилении опасного гелиогеофизического явления и значениях величин, характеризующих его.

**3.53 экваториальная электроструя:** Электрический ток в зоне геомагнитного экватора, возникающий вследствие существенно анизотропной проводимости ионосферной плазмы на высотах от 90 до 130 км на дневной стороне.

3.54

**элемент геомагнитного поля:** Величина, характеризующая геомагнитное поле.

**Примечание** – К элементам (компонентам) геомагнитного поля следует относить магнитное склонение ( $D$ ), магнитное наклонение ( $I$ ), горизонтальную составляющую ( $H$ ), вертикальную составляющую ( $Z$ ), северную составляющую ( $X$ ), восточную составляющую ( $Y$ ) и полную интенсивность геомагнитного поля ( $B$ ).

[ГОСТ 24284–80, статья 18]

## 4 Обозначения и сокращения

4.1 В настоящем руководящем документе применены следующие обозначения:

- $A$  – азимут мира;
- $\mathbf{B}$  – вектор индукции геомагнитного поля;
- $B$  – модуль вектора индукции геомагнитного поля;
- $B_0$  – магнитное поле диполя;
- $B_a$  – аномальное магнитное поле;
- $B_e$  – внешнее поле;
- $B_T$  – магнитное поле на поверхности Земли;
- $B_m$  – материковое геомагнитное поле;
- $c$  – скорость света;
- $d_n$  – значение угла, отсчитываемое по шкале теодолита;
- $D$  – угол склонения (магнитное склонение);
- $D_0$  – базисное значение магнитного склонения для конкретной магнитовариационной станции;
- $D_t$  – полная величина угла склонения в любой заданный момент времени;
- $DCF$  – возмущения, связанные с непосредственным воздействием солнечных корпускулярных потоков на магнитосферу Земли (disturbance of corpuscular flux);
- $DPI$  – полярные магнитные возмущения, достигающие максимальной величины в авроральной зоне;
- $DPC$  – возмущения в полярной шапке (disturbance of polar cap);
- $DR$  – магнитные эффекты, связанные с развитием кольцевых токов, текущих вокруг Земли, внутри магнитосферы (disturbance of ring current);
- $e$  – заряд частицы (электрона или иона);
- $\mathbf{E}$  – вектор напряжённости электрического поля;

- $E$  – электрическое поле;
- $F$  – сила Лоренца;
- $G$  – постоянная прибора;
- $h$  – постоянная Планка;
- $H$  – горизонтальная составляющая вектора геомагнитного поля в направлении на магнитный север;
- $\mathbf{H}$  – вектор напряжённости геомагнитного поля;
- $H_{внеш}$  – внешнее измеряемое геомагнитное поле;
- $i$  – суммарный ток;
- $I$  – угол наклона (магнитное наклонение);
- $K$ -индекс – индекс геомагнитной активности (локальный индекс геомагнитной активности);
- $K_p$  – усреднённый планетарный индекс, характеризующий возмущённость геомагнитного поля в 3-часовых интервалах времени;
- $m$  – масса частицы;
- $M$  – магнитный момент;
- $M_e$  – магнетон Бора (магнитный момент электрона);
- $M_m$  – магнитный момент магнита;
- $n$  – нормаль;
- $N$  – плотность ионизации;
- $P_c$  – регулярные пульсации (pulsations continuous);
- $P_i$  – иррегулярные пульсации (pulsations irregular);
- $PC$  – индекс, характеризующий количество энергии, поступающей в магнитосферу от солнечного ветра;
- $q$  – коэффициент кручения кварцевой нити;
- $Q$  – электрический заряд;
- $R_e$  – земной радиус;
- $R_i$  – зарегистрированные значения с датчика магнитометра в бланке абсолютных измерений;

- $S$  – площадь, через которую проходит магнитный поток;
- $S_o$  – звёздное время в полночь на Гринвичском меридиане;
- $S_d$  – обозначение солнечно-суточных вариаций в бурные дни;
- $S_q$  – обозначение солнечно-суточных спокойных геомагнитных вариаций;
- $SC$  – геомагнитная буря с внезапным началом;
- $SSC$  – геомагнитная буря с очень выраженным внезапным началом;
- $t$  – время;
- $t_s$  – часовой угол положения Полярной звезды в моменты наведения;
- $T$  – модуль вектора напряжённости магнитного поля;
- $T_s$  – местное звёздное время;
- $U_{BO3}$  – переменное напряжение у обмоток возбуждения;
- $U\phi\delta$  – напряжение фазового детектора;
- $\nu$  – частота волны;
- $\nu_n$  – число столкновений частиц в единицу времени;
- $V$  – скорость заряда в магнитном поле;
- $W_b$  – обмотка возбуждения;
- $W_u$  – измерительная обмотка;
- $X$  – горизонтальная составляющая географической системы координат в направлении на географический север;
- $Y$  – горизонтальная составляющая географической системы координат в направлении на географический восток;
- $Z$  – вертикальная составляющая в декартовой системе координат;
- $\Delta D$  – отклонения угла (вариация) склонения от выбранного или спокойного уровня;
- $\Delta H$  – отклонения в горизонтальной составляющей  $H$  геомагнитного поля от спокойного уровня;
- $\alpha$  – угол между перпендикуляром и плоскостью;
- $\beta$  – температурный коэффициент;

- $B_0$  – проводимость ионосферы;
- $B_C$  – проводимость Каулинга;
- $B_H$  – проводимость Холла;
- $B_P$  – педерсеновская проводимость ионосферы;
- $\delta$  – азимутальный угол Полярной звезды;
- $\delta B$  – магнитное поле вариаций;
- $\theta$  – угол между земным магнитным диполем и межпланетным магнитным полем;
- $\theta_g$  – положение на круге теодолита географического меридиана;
- $\theta_{ma}$  – геомагнитная коширота;
- $\theta_M$  – отсчёт горизонтального лимба при наведении зрительной трубы на миру;
- $\theta_m$  – отсчёт горизонтального лимба положения на круге магнитного меридиана;
- $\lambda$  – географическая долгота;
- $\mu$  – магнитная проницаемость;
- $\mu_0$  – магнитная постоянная или магнитная проницаемость вакуума;
- $\varphi$  – географическая широта;
- $k_m$  – индукционный коэффициент магнита;
- $\psi$  – угол закрученности нити;
- $\omega$  – круговая частота;
- $\omega_H$  – циклотронная частота частиц в плоскости, перпендикулярной  $H$ ;
- $\Phi$  – магнитный поток.

4.2 В настоящем руководящем документе применены следующие сокращения:

- ГЛОНАСС – глобальная навигационная спутниковая система;
- ИЗМИРАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова»;
- МВС – магнитовариационная станция;
- НИУ – научно-исследовательское учреждение;
- Программа наблюдений – программа магнитных наблюдений;
- Росгидромет – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
- СП – стационарный пункт;
- УГМС – управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
- ФГБУ «АНИИ» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики»;
- ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»;
- ФГБУ «ИПГ» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова»;
- ФГБУ «НПО «Тайфун» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун»;
- ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»;
- ФГУП «ВНИИФТРИ» – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений»;

- ФМ – типовое обозначение феррозондового магнитометра, устанавливаемого на космические аппараты гелиогеофизического назначения;
- GPS – Global Positioning System (глобальная навигационная система);
- IGRF – international geomagnetic reference field (международное отсчётное геомагнитное поле);
- INTERMAGNET – international real-time magnetic observatory network (международная сеть обсерваторий наблюдения за геомагнитным полем в реальном времени);
- PDD – угол в шкале теодолита в горизонтальной плоскости, при котором начинается измерение склонения  $D$ , т.е. соответствует положению 1 (датчик сверху, теодолит направлен на восток);
- PDI – угол в шкале теодолита в вертикальной плоскости, при котором начинается измерение наклонения  $I$ , т.е. соответствует положению 5 (датчик сверху, теодолит направлен на север), при этом угол в горизонтальной плоскости выставляется на  $PDD-90^\circ$ ;
- SMTP – simple mail transfer protocol (простой протокол передачи почты);
- UDP – user datagram protocol (протокол пользовательских датаграмм);
- USB – universal serial bus (универсальная последовательная шина);
- UT – universal time (всемирное время).



## **5 Организация магнитных наблюдений на государственной наблюдательной сети**

### **5.1 Общие положения**

5.1.1 Функции головной организации по ионосферно-магнитной службе возложены на Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова» (ФГБУ «ИПГ») Постановлением Совета Министров СССР от 12 ноября 1973 г. № 836-277.

Обязанности ионосферно-магнитной службы заключаются в обеспечении заинтересованных министерств и ведомств долгосрочными и краткосрочными прогнозами и оперативными данными о состоянии ионосферы, переменного геомагнитного поля и условиях радиосвязи, а также сведениями о магнитных бурях.

Объём, виды и сроки получения информации для каждого заинтересованного министерства и ведомства определяются взаимно согласованным планом обеспечения, составляемым на основе заявок, направляемых министерствами и ведомствами в Росгидромет.

5.1.2 Головными научно-исследовательскими учреждениями (НИУ) по магнитным наблюдениям в Росгидромете в соответствии с РД 52.04.567 являются:

- ФГБУ «ИПГ» – магнитные наблюдения (исключая зону Арктики);
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики» (ФГБУ «АНИИ») – магнитные наблюдения в Арктике и Антарктике.

Головные НИУ осуществляют методический контроль за стационарными пунктами (СП) магнитных наблюдений, разрабатывают программы магнитных наблюдений (Программа наблюдений) для каждого СП, инструкции и т.п.

Головные НИУ получают магнитометрическую информацию от СП и региональных информационно-аналитических центров мониторинга

геофизической обстановки с целью обработки, хранения и дальнейшей передачи головной организации по ионосферно-магнитной службе.

5.1.3 Региональные информационно-аналитические центры мониторинга геофизической обстановки организованы в составе управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). Задачами центров являются приём, обработка первичной геофизической информации с сети наземных станций региона и от центров, осуществляющих наблюдение и контроль за геофизической средой; своевременное и оперативное обеспечение региональных органов исполнительной и законодательной власти, населения и отраслей экономики региона информацией о геофизической обстановке, а также оперативными текущими данными и прогнозами гелиогеофизической обстановки, в том числе данными о геомагнитной активности.

5.1.4 Наземные магнитные наблюдения осуществляют СП магнитных наблюдений, которые объединены в государственную магнитную наблюдательную сеть.

5.1.5 Наблюдательное подразделение (СП магнитных наблюдений) магнитной наблюдательной сети в своей деятельности руководствуется документами Росгидромета, регламентирующими требования к методикам производства наблюдений (выполнения измерений) и работ, средствам измерений и установкам, обработке и обобщению результатов наблюдений, а также документами о порядке передачи информации по каналам связи, обеспечения потребителей информацией о геомагнитном поле, в том числе информацией об ожидаемом или регистрируемом опасном природном гелиогеофизическом явлении, перечень которых представлен в приложении А.

5.1.6 Порядок открытия, переноса и закрытия пунктов наблюдений и наблюдательных подразделений магнитной наблюдательной сети осуществляется в соответствии с РД 52.04.567–2003 (разделы 9, 11 и 10 соответственно).

5.1.7 СП магнитных наблюдений в зависимости от проводимых работ разделяются на магнитные обсерватории и магнитные станции (отличия представлены в подпунктах 3.24, 3.25 настоящего руководящего документа).

## **5.2 Размещение стационарных пунктов магнитных наблюдений**

5.2.1 Размещение СП магнитных наблюдений по территории определяется пространственной изменчивостью основных параметров геомагнитного поля. В соответствии с научно-организационными принципами построения сети, рекомендациями Всемирной метеорологической организации, приведёнными на официальном сайте, с учётом требований, изложенных в руководствах по развёртыванию и поддержке магнитных обсерваторий стандарта INTERMAGNET (International Real-Time Magnetic Observatory Network) [1, 2], СП магнитных наблюдений должны располагаться на расстоянии около 500 км вдоль меридиана и около 1 000 км вдоль параллели. В высокоширотной области необходима более густая сеть, расстояние между СП магнитных наблюдений выше  $60^\circ$  магнитной широты должно быть от 500 до 700 км вдоль параллели и от 100 до 250 км вдоль меридиана.

5.2.2 Открытие СП магнитных наблюдений осуществляют на территории, свободной от воздействия источников искусственных (промышленных) помех. Постоянство магнитной обстановки должно сохраняться на долгое время, поэтому в районе СП магнитных наблюдений не должно вестись строительство зданий и сооружений, прокладка дорог, трубопроводов и линий электропередачи. Особенное внимание при принятии решения об организации СП магнитных наблюдений следует уделять помехам гальванической природы, создаваемым электрифицированными железными дорогами: место установки СП магнитных наблюдений должно быть удалено от них как минимум на 10 км в зависимости от проводимости горных пород. Выбор места для СП магнитных наблюдений должен проводиться в соответствии с требованиями, изложенными в приложении Б.

Необходимым этапом при выборе места для СП магнитных наблюдений является исследование местности магнитной съёмкой. В руководстве Международной ассоциации геомагнетизма и аэрономии [1] рекомендовано проведение съёмки на месте установки будущего СП магнитных наблюдений с разрешением  $10 \times 10$  м, там же рекомендуется предварительно провести съёмку с более редким шагом на удалении нескольких километров от места установки будущего СП магнитных наблюдений, если карты аэромагнитной съёмки региона не доступны. Однако даже при наличии карт аэромагнитной съёмки ввиду того, что геомагнитное поле убывает с высотой обратно пропорционально квадрату расстояния от источников, по картам будет известно всего лишь общее представление о распределении и величине наиболее крупных и интенсивных аномалий, а поле будет иметь сглаженный характер. Поэтому рекомендуется выполнить рекогносцировочную магнитную съёмку, которая будет представлять собой своего рода «связующее звено» между масштабами аэромагниторазведки и детальной пешеходной съёмки. В [3] предложено производить магнитную съёмку с шагом от 100 до 200 м в радиусе от 1 до 2 км от места размещения СП магнитных наблюдений.

С точки зрения магниторазведки искомыми объектами являются зоны минимальных значений аномального магнитного поля и его вертикального градиента. Характерный средний размер павильона СП магнитных наблюдений составляет от 6 до 8 м. С учётом площади, окружающей павильоны, искомые свободные от влияния возмущений зоны минимума имеют характерный размер – около 30 м, поэтому шаг магнитной съёмки должен быть равным 10 м. Такое разрешение съёмки является оптимальным и удовлетворяющим требованию, согласно которому шаг съёмки должен быть хотя бы в три раза меньше ширины искомого объекта [4]. Расстояние между профилями также должно составлять 10 м.

В пределах площади выбираются две точки наблюдений, отстоящие друг от друга на 1,5 м. Значения аномального поля и градиента в этих точках

не должны превышать по модулю 1 нТл и 1 нТл/м соответственно. Это требование к величинам модулей градиентов при выборе точек наилучшего расположения постаментов для абсолютного павильона указано в [1]. В отечественном руководстве [3] тоже приводится аналогичное требование к величинам градиентов, но менее строгое: на участке расположения СП магнитных наблюдений горизонтальный и вертикальный градиенты геомагнитного поля не должны превышать 5 нТл/м, а непосредственно на площадках строительства павильонов должны быть менее 2 нТл/м.

Методические рекомендации по строительству зданий и сооружений СП магнитных наблюдений и установке магнитометрического оборудования изложены в приложении Б.

### **5.3 Общие требования к организации стационарных пунктов магнитных наблюдений**

5.3.1 Магнитная наблюдательная сеть входит в государственную наблюдательную сеть в соответствии с РД 52.04.567.

5.3.2 СП магнитных наблюдений являются станции магнитных наблюдений и магнитные обсерватории. СП магнитных наблюдений создаются с выполнением минимально необходимых требований по проведению магнитных наблюдений – по выбору места размещения, по устройству рабочих помещений и по приборному оснащению.

5.3.3 Для правильного выбора места под строительство СП магнитных наблюдений необходимо учитывать характер геомагнитной обстановки в данном районе. Для измерения естественных вариаций геомагнитного поля необходимо выбирать территорию без промышленных воздействий на это поле, максимально удалённую от промышленных предприятий, электрифицированных железных дорог, жилых массивов и др. Выбор места для СП магнитных наблюдений должен соответствовать Б.2.

5.3.4 Объекты на территории СП необходимо располагать таким образом, чтобы результаты измерений не искажались. Для этого необходимо соблюдать правила строительства по Б.2.1.

5.3.5 Важной составляющей качественных измерений на СП магнитных наблюдений является правильно возведённый приборный постамент. Правила выбора материалов постаментов, его проектирования и строительства должны соответствовать Б.2.2.

5.3.6 Для минимизации магнитных, температурных, климатических воздействий на показания магнитометров необходимо соблюдать правила выбора материалов для изготовления зданий (павильонов) по Б.2.3.

5.3.7 Правила освещения и обогрева павильонов должны соответствовать Б.2.4.

5.3.8 Для проведения абсолютных измерений необходима установка астрономической миры. Правила выбора места строительства и конструкции астрономической миры должны соответствовать Б.3, определение азимута миры – Б.4.

## **5.4 Организация работ стационарного пункта магнитных наблюдений**

5.4.1 Для организации и функционирования СП магнитных наблюдений органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления предоставляется земельный участок. Оптимальный размер земельного участка составляет 0,6 га. Он необходим для размещения абсолютного и вариационного павильонов с площадью не менее 25 м<sup>2</sup> каждый и технического здания с площадью не менее 45 м<sup>2</sup>, предназначенного для размещения обслуживающего персонала и измерительной аппаратуры.

5.4.2 Каждый СП магнитных наблюдений, оснащённый магнитометрическим оборудованием, обеспечивается кадрами соответствующей квалификации, служебными зданиями (помещениями), средствами измерений,

оборудованием, средствами связи, энерго- и теплоснабжения, транспортом, расходными материалами, производственно-технической литературой, оргтехникой и компьютерами.

5.4.3 Типовой штат СП магнитных наблюдений, оснащённого магнитометрическим оборудованием, представлен в приложении В настоящего руководства. В зависимости от географического положения, объёма решаемых задач штат СП магнитных наблюдений может корректироваться.

## **5.5 Документация стационарного пункта магнитных наблюдений**

5.5.1 Документация СП магнитных наблюдений состоит из:

- технической документации;
- хозяйственно-финансовой документации;
- организационно-оперативной документации;
- нормативной документации.

5.5.2 К технической документации СП магнитных наблюдений относятся:

- учётная карточка СП магнитных наблюдений;
- техническое дело СП магнитных наблюдений;
- руководства по эксплуатации, схемы и технические паспорта на применяемое оборудование;
- формуляры основного и электрического оборудования и средств связи.

5.5.3 Учётная карточка СП магнитных наблюдений содержит основные текущие данные СП магнитных наблюдений: название, синоптический индекс, координаты, разность между местным и московским временем, адрес, средства связи, характеристики служебных помещений и др. Учётная карточка СП магнитных наблюдений составляется в четырёх экземплярах: первый экземпляр хранится в пункте наблюдения, второй – в УГМС, третий – в Росгидромете, четвёртый – в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»).

5.5.4 Техническое дело СП магнитных наблюдений представляет собой журнал, в который записываются все необходимые сведения о СП магнитных наблюдений, ведётся его история, включая изменения в штате, и заносятся сведения об инспекторских осмотрах, проверках и испытаниях технических средств.

Техническое дело ведётся в двух экземплярах: первый (основной) хранится на СП магнитных наблюдений, а второй – в УГМС.

5.5.5 Хозяйственно-финансовая документация СП магнитных наблюдений включает инвентарные описи имущества СП магнитных наблюдений и архив в соответствии с перечнем оборудования.

5.5.6 К организационно-оперативной документации СП магнитных наблюдений относятся:

- технические журналы эксплуатации средств магнитных наблюдений и регистрации всех видов работ;
- организационно-оперативные журналы регистрации расхода электроэнергии, трафика канала связи, сдачи дежурств и т.д.

В техническом журнале эксплуатации и регистрации всех видов работ, производимых на СП магнитных наблюдений, отмечают все неисправности и вносят замечания о работе технических средств, а также сведения о проведении ремонтных и регламентных работ, контрольных или сравнительных наблюдений. Формы журналов приведены в приложении Г.

5.5.7 Обязательная документация на оборудование, установленное на СП магнитных наблюдений, состоит из документации на магнитометрическое оборудование и документации на программное обеспечение.

5.5.8 Документация на магнитометрическое оборудование состоит из:

- формуляра;
- паспорта;
- руководства по эксплуатации.



5.5.9 Документация на оборудование для регистрации и сбора данных состоит из:

- технического описания;
- руководства по эксплуатации.

5.5.10 Документация на встроенное программное обеспечение состоит из:

- описания применения;
- руководства оператора.

## **5.6 Основные требования к организации и производству наблюдений на стационарных пунктах магнитных наблюдений**

5.6.1 Наблюдения на магнитной наблюдательной сети должны быть организованы в соответствии с настоящим руководящим документом, документами Росгидромета и действующими нормативно-правовыми актами Российской Федерации, регламентирующими требования к методикам производства наблюдений (выполнения измерений) и работ, средствам измерений и установкам, обработке и обобщению результатов наблюдений, документам о порядке передачи информации по каналам связи, обеспечения потребителей гидрометеорологической информацией, а также в соответствии с ГОСТ 22261, РД 52.04.567.

5.6.2 Порядок проведения магнитных наблюдений на конкретном СП магнитных наблюдений, обработка их результатов, частота выполнения абсолютных измерений, частота посещения наблюдателем магнитных павильонов, формы и сроки отчётности, а также другие особенности проведения измерений на конкретном СП магнитных наблюдений устанавливаются Программой наблюдений на данном СП. Типовая форма Программы наблюдений приведена в приложении Д.

В разработке Программы наблюдений принимают участие представители головного НИУ, УГМС и начальник СП магнитных наблюдений. Программа

наблюдений утверждается директором головного НИУ и начальником УГМС, на территории которого находится СП магнитных наблюдений. Один экземпляр Программы наблюдений должен храниться на СП магнитных наблюдений, второй – в головном НИУ, третий – в УГМС.

5.6.3 При производстве магнитных наблюдений наблюдатель обязан выполнять работы в соответствии с Программой наблюдений, бережно и аккуратно обращаться с оборудованием, строго соблюдать порядок выполнения работ, определённых инструкцией по проведению измерений и обслуживанию оборудования, сроки передачи информации и отчётов, фиксировать ситуации, которые могут привести к срыву измерений (появление посторонних, транспорта, отказы электропитания и т.п.). Функциональные обязанности персонала разрабатываются и утверждаются начальником СП магнитных наблюдений, подписываются работником и находятся на объекте.

5.6.4 Категорически запрещаются любые перестановки приборов и переоборудование павильонов без согласования с головным НИУ.

5.6.5 В случае возникновения поломок оборудования, сбоев в работе оборудования и при возникновении иных непредвиденных обстоятельств, мешающих выполнению Программы наблюдений, персонал СП магнитных наблюдений обязан принять все возможные меры для устранения возникших помех, при необходимости согласовывать действия с головным НИУ.

5.6.6 Наблюдатель обязан обеспечить ежедневную, непрерывную и качественную запись вариаций геомагнитного поля и выполнение абсолютных измерений его составляющих. Измерения выполняются по Всемирному времени (UT).

5.6.7 Наблюдатель СП магнитных наблюдений обязан обеспечить своевременную обработку данных, подготовку оперативной информации в виде расчёта  $K$ -индекса, текстов сообщений в кодах МАГМА, АМПЛИ, УМАГФ и передачу их в головное НИУ в установленные сроки в соответствии с Программой наблюдений.

5.6.8 Наблюдатель СП магнитных наблюдений обязан выполнять ежедневные операции дежурств, в которые входят:

а) постоянный контроль работы магнитовариационной станции (МВС) по данным, выводимым на экран компьютера в лаборатории;

б) посещение магнитного павильона в соответствии с порядком, установленным Программой наблюдений.

При каждом посещении магнитного павильона наблюдатель обязан:

а) проверить работу вариометра (провести внешний осмотр прибора, правильность установки уровней платформы датчиков, степень заряда аккумуляторов, надёжность контактов);

б) проверить работу приборов отопления павильона;

в) записать показания цифровых термодатчиков и аналоговых термометров внутри павильона, датчиков вариометра и, при необходимости, откорректировать режим работы приборов отопления, сделав при этом соответствующую запись в журнале павильона.

Запись в журнале павильона должна быть сделана как в бумажном, так и в электронном виде и должна содержать:

а) дату и время посещения павильона;

б) фамилию, имя и отчество наблюдателя;

в) температуру датчиков вариометра;

г) в зависимости от типов применяемых вариометров, поправки часов вариометров на момент проверки и после коррекции, если она проводилась (поправка вводится в показания прибора со своим знаком, т.е. если часы спешат на 1 с, то поправка будет минус 1 с); максимальное значение поправки не должно превышать  $\pm 2$  с;

д) сведения о работе МВС (неполадки в работе, перестройки, ремонт и т.д.);

е) сведения о всех работах в рабочих помещениях и вблизи них, которые могут отразиться на полученных результатах;

ж) причины отсутствия записи, наличия скачков и т.д. (в случае возникновения);

з) время проведения абсолютных измерений в случае их выполнения.

Продолжительность и частоту посещений вариационного магнитного павильона необходимо свести до минимума, так как это существенно нарушает стабильность температурного режима внутри и является источником возможных магнитных помех.

5.6.9 Наблюдатель должен раз в 5-6 дней:

а) проводить абсолютные измерения и рассчитывать базисные значения вариационных магнитометров. Эффективность абсолютных наблюдений определяется стабильностью базисных линий и может составлять от одних суток и более, но не реже недели. Абсолютные измерения обязательно выполняются до и после проведения работ в магнитных павильонах и рядом с ними и работ с оборудованием;

б) отражать в специальном бланке данные каждой серии абсолютных измерений (дата, место, используемые приборы, фамилия, имя и отчество наблюдателя, точное время снятия отсчётов по теодолиту, величины углов и данные протонного магнитометра, если они не регистрируются автоматически в режиме непрерывной записи);

в) проводить измерения абсолютных значений геомагнитного поля в периоды с наиболее спокойным состоянием геомагнитного поля;

г) проводить вычисление базисных значений непосредственно после проведения абсолютных наблюдений;

д) вносить в соответствующие таблицы полученные абсолютные и базисные значения и по этим данным строить графики.

В случае появления резких изменений (скачков) базисных линий должны быть установлены их причины и проведены повторные измерения (скачком считается отклонение выбранного единичного значения от среднего его значения на величину более чем в два раза превышающую среднеквадратическую погрешность предыдущих 6–9 измерений).

5.6.10 Рассчитывать среднесуточные и среднемесячные значения модуля и составляющих геомагнитного поля.

5.6.11 Заносить всю полученную информацию (первичные данные, записи в электронном журнале павильона, результаты измерений абсолютных значений, расчёты базисных уровней, ежемесячные отчёты, таблицы среднесуточных значений с расчётом среднемесячных значений, графики и др.) на два электронных носителя и хранить их в разных помещениях.

5.6.12 Персоналу СП магнитных наблюдений запрещается вести черновые записи результатов посещения павильона и абсолютных измерений. В головное НИУ предоставляются только подлинные документы – журнал магнитного павильона и заполненные бланки протоколов абсолютных наблюдений.

5.6.13 Наблюдатель не позднее первого числа следующего месяца должен:

а) подготовить краткий отчёт о работе СП магнитных наблюдений по установленному образцу;

б) отправлять отчёт в адрес головного НИУ;

в) при проведении инспекции производить не менее трёх серий измерений с каждым прибором (в разные дни);

г) включать результаты сличения приборов в отчёт за текущий месяц и в годовой отчёт.

Следует прикладывать к годовому отчёту фотографии общего вида и состояния СП магнитных наблюдений.

5.6.14 Контроль качества работы СП магнитных наблюдений оценивается по количеству часов, в которых не проводились измерения по техническим причинам. В этом случае составляется краткий технический отчёт о времени начала и окончания перерыва наблюдений, характере неисправности или других причинах, предлагаемых способах их устранения, который отправляется в головное НИУ Росгидромета по видам наблюдения.

В случае невозможности устранения технических неисправностей собственными силами отправляется сообщение с просьбой о технической или методической поддержке.

## **6 Средства измерений геомагнитного поля**

### **6.1 Оборудование, используемое на стационарных пунктах магнитных наблюдений в высоких и средних широтах**

#### **6.1.1 Феррозондовый магнитометр для проведения абсолютных измерений магнитного склонения и наклонения**

При производстве абсолютных измерений магнитного склонения и наклонения на СП магнитных наблюдений должны применяться феррозондовые магнитометры следующих типов:

- феррозондовый деклинометр/инклинометр (Е.2.1.1);
- кварцевый *H*-магнитометр (Е.2.1.2).

#### **6.1.2 Скалярный магнитометр для измерения величины модуля геомагнитного поля**

При производстве измерений величины модуля геомагнитного поля на СП магнитных наблюдений должны применяться скалярные магнитометры следующих типов:

- протонный магнитометр свободной прецессии (Е.2.2.1);
- протонный магнитометр на эффекте Оверхаузера (Е.2.2.2);
- квантовый магнитометр (Е.2.2.3).

#### **6.1.3 Векторный магнитометр для измерения вариаций составляющей вектора геомагнитного поля**

При производстве измерений вариаций составляющих вектора геомагнитного поля на СП магнитных наблюдений должны применяться векторные магнитометры (Е.2.3).

#### **6.1.4 Система регистрации, сбора и хранения магнитных данных**

При производстве наблюдений за геомагнитным полем на СП магнитных наблюдений должны применяться следующие системы регистрации, сбора и хранения магнитных данных:

- система регистрации и накопления информации (Е.2.4.1);
- система передачи данных в каналы связи (Е.2.4.2);
- рабочее место наблюдателя (Е.2.4.3);
- система бесперебойного энергообеспечения (Е.2.4.4).

#### **6.2 Оборудование перспективной космической наблюдательной системы магнитной наблюдательной сети**

При производстве измерений геомагнитного поля в околоземном космическом пространстве на магнитной наблюдательной сети планируется применение феррозондовых магнитометров (ФМ) для космических аппаратов (Е.3).

## **7 Порядок проведения магнитных наблюдений**

### **7.1 Условия проведения измерений**

Для обеспечения нормального функционирования магнитометрического оборудования на СП магнитных наблюдений необходимо выполнять следующие требования:

- обеспечить вокруг павильонов наличие охранной зоны, т.е. такой зоны, куда нельзя вносить магнитные предметы и за границу которой не разрешается въезжать транспортным средствам; граница зоны должна проходить на расстоянии не меньше 80 м от павильона;

- исключить (по возможности) размещение в павильонах магнитных предметов, а также вспомогательных магнитных приборов и устройств;

- в случае использования для абсолютных и вариационных измерений одного павильона необходимо размещать магнитометры на таком расстоянии, которое практически исключает их взаимное влияние;

- обеспечить диапазон изменения температуры в павильонах в пределах  $\pm 5$  °С от среднего значения, который может вызывать температурный сдвиг измерений в пределах  $\pm 1$  нТл;

- исключить (по возможности) все перемещения магнитометрического оборудования на постаментах;

- обеспечить «магнитную чистоту» наблюдателя, проводящего работы в павильоне, не допускать использования одежды и обуви с магнитными элементами, магнитных очков и т.п.

### **7.2 Виды и содержание проводимых наблюдений на стационарном пункте магнитных наблюдений**

Персонал СП магнитных наблюдений должен выполнять следующие обязательные измерения:

- абсолютных значений составляющих геомагнитного поля;



- значений модуля геомагнитного поля;
- вариаций составляющих геомагнитного поля.

Все измерения производятся по времени, которое поступает от навигационных систем ГЛОНАСС – GPS (Всемирное координированное время UT).

Измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля проводятся для того, чтобы привести относительные измерения МВС к абсолютным значениям геомагнитного поля. Проводятся они наблюдателем СП магнитных наблюдений.

Вариации геомагнитного поля обычно измеряются по трём его ортогональным составляющим с использованием векторных магнитометров – МВС. Рекомендуемая частота измерений – не менее 1 Гц. Измерения вариаций составляющих геомагнитного поля могут быть дополнены постоянными измерениями модуля с использованием квантовых магнитометров.

Степень постоянства разницы между одноимёнными составляющими геомагнитного поля по данным приборов для абсолютных измерений и МВС служит индикатором нормальной работы приборов и неизменности магнитного поля павильона.

## **7.2.1 Измерение абсолютных значений составляющих геомагнитного поля**

### **7.2.1.1 Процесс измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля нуль-методом**

Для выполнения абсолютных измерений необходимо:

- выбрать период времени с минимальными значениями вариаций геомагнитного поля;
- убедиться, что в выбранный момент времени может быть проведена пеленгация мира (достаточная освещённость, отсутствие шторма и т.п.);

- выставить часы точно по времени GPS-приёмника или использовать этот приёмник для отсчёта времени при проведении измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля;

- включить протонный магнитометр, если на станции он не используется в режиме записи вариаций модуля геомагнитного поля;

- сверить показания часов на магнитометрах со временем GPS, при необходимости выполнить их коррекцию или записать в таблицу поправку часов МВС и протонного магнитометра;

- подготовить таблицу для записи результатов измерений (оформление в соответствии с таблицей Ж.1);

- записать в таблицу Ж.1 дату проведения измерений, температуру электронного блока МВС и измерительного блока;

- включить деклинометр/инклинометр и провести измерения.

Пошаговая инструкция проведения абсолютных измерений нуль-методом приведена в приложении Ж.

Буквы А и В, нанесённые на зрительную трубу теодолита, – это метки, определяющие её положение относительно вертикального угломерного круга: А – «вертикальный круг справа», В – «вертикальный круг слева» со стороны наблюдателя. Цифрами, рядом с буквами, обозначены номера позиций теодолита относительно направления вектора геомагнитного поля.

Измерения начинаются с пеленгации миры с позиции А1 «круг справа», время измерения и отсчёт угла записываются в таблицу. Затем зрительная труба переводится через зенит в положение В1 «круг слева» – и пеленгация миры повторяется.

При измерении склонения зрительная труба устанавливается в горизонтальную плоскость, а позиция А2 «круг справа» соответствует такому её положению, когда феррозонд перпендикулярен плоскости магнитного меридиана, и величина измеряемой прибором составляющей геомагнитного поля равна нулю, а зрительная труба направлена на восток (относительно

магнитного меридиана). Позиция А3 соответствует такому положению, когда «круг тоже справа», но зрительная труба направлена на запад (относительно магнитного меридиана), т.е. при переходе из позиции А2 в позицию А3 теодолит поворачивается вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$ . Позиции В2 и В3 определяют положения «круг слева», а зрительная труба направляется на восток и на запад (относительно магнитного меридиана) соответственно.

В каждой из указанных четырёх позиций в тот момент времени, когда значение измеряемой магнитометром составляющей геомагнитного поля будет выведено в нуль (феррозонд располагается в горизонтальной плоскости перпендикулярно плоскости магнитного меридиана [5]), берётся отсчёт времени и записывается в таблицу Ж.1, после чего берётся отсчёт угла  $d_n$  ( $n = 1, \dots, 4$ ) и тоже записывается в таблицу Ж.1.

Место магнитного меридиана на лимбе – это условная линия пересечения лимба плоскостью магнитного меридиана. Эта линия проходит через две точки лимба со значениями  $D_1$  и  $D_2$ . Значение  $D_1$  определяется расчётом среднего значения из полученных четырёх угловых отсчётов по формуле

$$D_1 = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4}. \quad (1)$$

Значение  $D_2$  рассчитывается по формуле

$$D_2 = D_1 \pm 180^\circ. \quad (2)$$

Для измерения наклона зрительная труба теодолита с размещённым на ней феррозондом устанавливается в плоскость магнитного меридиана, т.е. теодолит устанавливается в такое положение, когда отсчёт на его горизонтальном угломерном круге равен рассчитанному значению  $D_1$  (или  $D_2$ ).

После этого зрительная труба выводится в положение В4, в котором значение измеряемой составляющей станет равным нулю (феррозонд – в плоскости магнитного меридиана, перпендикулярно вектору геомагнитного поля). Когда это положение зрительной трубы достигнуто, берётся отсчёт

времени и значение модуля геомагнитного поля с квантового магнитометра (если этот магнитометр не работает на запись в непрерывном режиме) и отсчёт угла по вертикальному кругу. Эти операции повторяются для остальных трёх положений зрительной трубы (А5, А4, В5). Указанная последовательность установки зрительной трубы с теодолитом выбрана так, чтобы уменьшить количество её необходимых переустановок в горизонт и в плоскость магнитного меридиана при измерениях углов склонения и наклонения соответственно. Затем повторно пеленгуется мира, и на этом измерения заканчиваются.

Измерения модуля и углов склонения и наклонения вектора геомагнитного поля, которые являются абсолютными составляющими геомагнитного поля, позволяют рассчитать любые другие составляющие геомагнитного поля, т.е. абсолютные значения составляющих геомагнитного поля в любой другой системе координат.

### **7.2.1.2 Проведение абсолютных измерений офсетным методом**

Офсетный метод (метод отклонений) абсолютных измерений магнитного склонения и наклонения заключается в определении смещений оси феррозондового датчика относительно магнитного меридиана (англ. *offsets* – отсюда название метода) при восьми положениях теодолита, перпендикулярных магнитному вектору. При измерении склонения  $D$  выбираются такие положения, при которых ось датчика перпендикулярна горизонтальной составляющей  $H$  (зрительная труба теодолита вращается вокруг вертикальной оси):

- а) датчик сверху, теодолит направлен на восток;
- б) датчик снизу, теодолит направлен на запад;
- в) датчик снизу, теодолит направлен на восток;
- г) датчик сверху, теодолит направлен на запад.

При измерении наклона  $I$  выбираются такие положения, при которых ось датчика перпендикулярна вектору геомагнитного поля  $\mathbf{B}$  (при поиске таких положений зрительная труба прибора вращается вокруг своей горизонтальной оси):

- а) датчик сверху, теодолит направлен на север;
- б) датчик снизу, теодолит направлен на юг;
- в) датчик снизу, теодолит направлен на север;
- г) датчик сверху, теодолит направлен на юг.

При каждом из положений регистрируются значения с датчика магнитометра  $R_i$ . Они представляют собой значения проекции вектора на ось датчика магнитометра. Эти значения, как правило, малы, поскольку датчик во всех положениях почти перпендикулярен вектору  $i = 1, \dots, 8$ .

Выполняются две серии измерений, поэтому бланк измерений для удобства разделён на две части («Измерение 1», «Измерение 2»), в которые вносятся значения в процессе измерений. В начале и конце каждой серии производятся измерения направлений на миру (одно – при датчике сверху, второе – при датчике снизу), вычисляется среднее значение (направления на миру) и производится вычисление абсолютного значения магнитного склонения.

Подробная пошаговая инструкция по проведению абсолютных измерений офсетным методом приведена в приложении И согласно [6].

Все измерения заносятся в таблицу, форма и пример заполнения приведены в таблице И.1.

Углы направления на миру измеряются в гонах (gon),  $400,0 \text{ gon} = 360^\circ$ . Показания магнитометра регистрируются в моменты времени, соответствующие началу минуты, с обязательным указанием знака: «+» или «-».

### **7.2.1.3 Обработка результатов абсолютных измерений значений составляющих геомагнитного поля**

Для расчёта базисных значений МВС используются величины магнитных вариаций, полученные от МВС, и данные, полученные в процессе измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля. Запись вариаций ведётся в суточные файлы, которые запускаются автоматически в 00 часов 00 минут 00 секунд UT. Перезапускать их в ручном режиме, за исключением нештатных ситуаций, не следует. Поэтому обработку абсолютных измерений и расчёт базисных значений МВС можно проводить на следующий день, но не позже.

Базисное значение по каждой из измерительных осей МВС равно разности абсолютного значения составляющей геомагнитного поля, пересчитанного из значений, полученных приборами для абсолютных измерений на направление измерительной оси МВС, и величины вариации, полученной по этой же оси по записям МВС.

На моменты времени, зафиксированные при проведении измерений, из соответствующего файла МВС надо выбрать величины вариаций и занести их в столбцы  $E$ ,  $H$ ,  $Z$  ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) таблицы К.1 абсолютных измерений.

**Примечание** – Это рекомендуется делать (несмотря на то, что эти данные можно заносить сразу в компьютер), так как наличие в таблице всех данных, необходимых для расчётов, позволяет проверить и правильность переноса данных из таблицы на компьютер, и правильность самих расчётов.

Затем данные из таблицы К.1 измерений абсолютных значений надо перенести на компьютер. Расчёты абсолютных значений и базисных значений составляющих геомагнитного поля выполняются автоматически, и по этим значениям должны быть построены графики.

Угол (вариаций)  $\Delta D_t$  между измерительной осью  $x$  МВС и магнитным меридианом (горизонтальной составляющей) в момент измерения  $t$  определяют по формуле

$$\Delta D_t = \text{arctg}(Y_t / X_t). \quad (3)$$

Для расчёта абсолютных значений  $Z_{abc}$ ,  $H_{abc}$ ,  $X_{abc}$  и  $Y_{abc}$  используются следующие формулы

$$\begin{aligned} Z_{abc} &= T_{abc} \cdot \sin I_{abc}; \\ H_{abc} &= T_{abc} \cdot \cos I_{abc}; \\ X_{abc} &= H_{abc} \cdot \cos \Delta D_t; \\ Y_{abc} &= H_{abc} \cdot \sin \Delta D_t. \end{aligned} \quad (4)$$

Если МВС установлена в позицию  $XYZ$ , то расчёт абсолютных значений составляющих геомагнитного поля по осям выполняется по формулам

$$\begin{aligned} Z_{abc} &= T_{abc} \cdot \sin I_{abc}; \\ H_{abc} &= T_{abc} \cdot \cos I_{abc}; \\ X_{abc} &= H_{abc} \cdot \cos D_{abc}; \\ Y_{abc} &= H_{abc} \cdot \sin D_{abc}. \end{aligned} \quad (5)$$

Расчёт базисных значений производится для каждого момента времени  $t$ , когда были измерены абсолютные значения составляющих геомагнитного поля, по формулам

$$\begin{aligned} D_0 &= D_{abc} - \Delta D_{вар}; \\ X_0 &= X_{abc} - X_{вар}; \\ Y_0 &= Y_{abc} - Y_{вар}; \\ Z_0 &= Z_{abc} - Z_{вар}; \\ H_0 &= H_{abc} - H_{вар}; \\ H_0 &= (X_t^2 + Y_t^2)^{0.5}; \\ T_{вар} &= (X_t^2 + Y_t^2 + Z_t^2)^{0.5}. \end{aligned} \quad (6)$$

где  $X_t$ ,  $Y_t$  и  $Z_t$  – полные значения составляющих геомагнитного поля на момент времени  $t$  по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно.

**Примечание** – В приложении К в таблице К.1 приведён пример заполнения формы таблицы из книги Excel для расчёта абсолютных и базисных значений. Заполненная таблица приведена на рисунке К.1. Каждый цикл измерений отражается на своём листе. Таких листов в книге – 7, т.е. книга используется в течение одного месяца. Обязательных измерений в течение месяца должно быть не менее четырёх, остальные листы – запасные. Все формулы для расчёта абсолютных и базисных значений внесены в соответствующие ячейки. Форма таблицы в интервале ячеек от А2 до П6 повторяет форму бланка измерений абсолютных значений. Это облегчает перенос данных из таблицы на компьютер. Внизу заполненной таблицы размещается сводная таблица значений за месяц. Она используется для составления наблюдателем его месячного отчёта в головное НИУ.

Базисные значения составляющих геомагнитного поля используются для пересчёта вариаций геомагнитного поля, полученных МВС, в абсолютные величины. Стабильность базисных значений свидетельствует о стабильной работе МВС. В случае скачков базисных значений необходимо выявлять причину скачка или провести дополнительные абсолютные измерения.

Базисные значения, рассчитанные по формулам (3)–(6), включают все источники погрешностей, имеющих место при измерениях. К ним относятся возможные нестабильности феррозондовых датчиков МВС, неоднородность поля в павильоне, случайные погрешности, шумы феррозондового магнитометра и др. Стабильность базисных значений свидетельствует о том, что магнитное поле в павильоне/павильонах (если измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля и его вариаций проводятся в разных павильонах), уровень помех и режим работы МВС не изменялись. Если же базисные значения изменились, то это свидетельствует об изменении поля в павильоне, на прилегающей территории или об изменениях в работе МВС.

Неизменность магнитного поля на территории проведения магнитных измерений (в павильоне) может контролироваться путём стабилизации разности величины модулей двух или более квантовых магнитометров, установленных на расстоянии нескольких метров один от другого. Можно предположить, что магнитное поле может измениться так, что изменятся только составляющие, а модуль сохранит свою величину. Такую возможность следует



отнести к экстраординарным, но в этом случае изменятся составляющие и базисные значения МВС.

### **7.2.2 Измерение модуля геомагнитного поля**

Значения модуля геомагнитного поля измеряются для определения базисных значений МВС. Для этих целей на СП магнитных наблюдений используются скалярные протонные и оверхаузеровские магнитометры [7].

Измерения выполняются согласно Программе наблюдений и инструкции по эксплуатации магнитометра, прилагаемой к каждому прибору. Измерения могут проводиться либо в непрерывном режиме, либо только в процессе выполнения измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля.

При выполнении измерений в непрерывном режиме магнитометр автоматически выполняет измерение модуля вектора геомагнитного поля с периодичностью раз в 1-3 с, результаты передаются на персональный компьютер наблюдателя. Программное обеспечение, установленное на персональный компьютер (в случае наличия), сохраняет полученные результаты и отображает кривую зависимости значения модуля вектора геомагнитного поля от времени.

При выполнении измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля значения полного вектора геомагнитного поля заносятся в таблицу Ж.1 после всех проведённых измерений. После проведения расчётов значения модуля вектора геомагнитного поля в соответствующие моменты времени переписываются вручную в таблицу Ж.1.

Если измерения модуля геомагнитного поля являются составной частью измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля, то их необходимо проводить в следующем порядке:

а) перед проведением измерений необходимо проверить отсутствие магнитных изделий вблизи датчика и у наблюдателя;

б) включить скалярный магнитометр непосредственно перед проведением измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля на феррозондовом магнитометре;

в) снять показания векторного магнитометра и занести в таблицу К.1 в указанные в пошаговой инструкции измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля моменты времени;

г) выключить магнитометр после выполнения измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля.

### **7.2.3 Измерение вариаций геомагнитного поля**

#### **7.2.3.1 Ориентация *HDZ* на магнитный север**

При ориентации МВС на магнитный север ось  $z$  направлена вверх по местной вертикали, а платформа блока датчиков и измерительные оси  $x$ ,  $y$  располагаются в горизонтальной плоскости. Если платформа с датчиками поворачивается вокруг вертикальной оси в такое положение, при котором значение по оси  $y$  будет равным или почти равным нулю, тогда ось  $x$  будет направлена по магнитному меридиану или почти совпадать с его направлением.

Для феррозондовых МВС, ориентированных на магнитный север (ориентация *HDZ*), надо иметь в виду следующее:

- по оси  $x$  величина  $H$  точно измеряется только в тот момент времени, когда её направление совпадает с направлением оси  $x$ , а при вариациях угла склонения  $D$  такое совпадение является случайным. В остальное время по оси  $x$  измеряется величина, близкая по значению к величине  $H$ , но не равная ей;

- по оси  $y$  измеряется малая горизонтальная составляющая, которая возникает за счёт отклонения  $H$  на угол  $\Delta D$  от направления оси  $x$ , заданного при установке МВС;

- сам угол склонения  $D$  по данным МВС при такой её ориентации не может быть рассчитан, рассчитывается только измерение угла  $\Delta D$  за счёт отклонения  $H$  от оси  $x$ , т.е. величина вариации угла склонения  $D$ ;

- по оси  $z$  измеряется величина  $Z$ , т.е. величина вертикальной составляющей геомагнитного поля.

Величина  $\Delta D$  определяется по формуле

$$\Delta D = \arctg (Y/X), \quad (7)$$

где  $\Delta D$  – величина вариации;

$X$  и  $Y$  – полные значения составляющих геомагнитного поля в заданный момент времени по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

Угол, который ось  $x$  образовала при установке МВС с плоскостью географического меридиана (с направлением на географический север), является базисным значением  $D_0$  и определяется при измерении абсолютных значений составляющих геомагнитного поля. Полная величина угла склонения в любой заданный момент времени  $D_t$  определяется формулой

$$D_t = D_0 + \Delta D_t, \quad (8)$$

где  $\Delta D_t$  – величина вариации  $\Delta D$  в момент времени  $t$ .

В современных цифровых МВС используется принцип обратной связи, вследствие чего при вариациях геомагнитного поля измерительный элемент (магнит на кварцевой нити) практически не меняет своего положения. На него всегда действует (с учётом полей компенсации) только та составляющая геомагнитного поля, которая ориентирована вдоль практически постоянного направления, определяемого фиксированным положением этого магнита.

### 7.2.3.2 Ориентация XYZ на географический север

При ориентации МВС на географический север (ориентация XYZ) ось  $z$  направлена вниз вдоль местной вертикали. Оси  $x$  и  $y$  располагаются в горизонтальной плоскости, при этом ось  $x$  направлена на географический север, ось  $y$  – на восток.

При такой ориентации МВС по оси  $x$  измеряется северная составляющая геомагнитного поля, по оси  $y$  – восточная, а по оси  $z$  – вертикальная

составляющая геомагнитного поля. Величина угла склонения  $D$  в любой заданный момент времени определяется по формуле

$$D_t = \arctg(Y_t / X_t). \quad (9)$$

При обоих вариантах ориентации МВС на каждый момент времени величина горизонтальной составляющей  $H$  определяется по формуле

$$H_t = (X_t^2 + Y_t^2)^{0,5}, \quad (10)$$

а величина модуля геомагнитного поля – по формуле

$$T_t = (X_t^2 + Y_t^2 + Z_t^2)^{0,5}, \quad (11)$$

где  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  – полные значения составляющих геомагнитного поля по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно;

$t$  – любой выбранный момент времени.

### **7.3 Содержание пакета оперативной информации**

#### **7.3.1 Общие сведения о пакете оперативной информации**

Стандартно в состав пакета оперативной информации СП магнитных наблюдений входят:

- информация кодом АМПЛИ (AMPLI);
- информация кодом МАГМА (MAGMA);
- информация кодом УМАГФ (UMAGF).

*Примечание* – Написание кодового слова допускается как русскими буквами, так и английскими.

Суточный пакет оперативной информации СП магнитных наблюдений состоит из 24 сводок АМПЛИ, восьми сводок МАГМА и одной сводки УМАГФ.

Результаты первичных измерений вариаций геомагнитного поля передаются непрерывно в режиме реального времени в головное НИУ. Объем и периодичность передаваемой информации, перечень адресов её передачи определяется головным НИУ и указывается в Программе наблюдений каждого

СП магнитных наблюдений. Оценка полноты и качества передаваемых результатов первичных измерений осуществляется головным НИУ.

Минимальный объём данных результатов измерений МВС, передаваемых UDP пакетами с периодичностью одна минута в режиме реального времени, составляет 11 Мбайт в год. По резервному каналу при помощи SMTP-пакетов передаётся ещё 47 Мбайт в год.

При передаче односекундных данных МВС в режиме реального времени необходимо зарезервировать 660 Мбайт в год, а для организации резервного канала потребуется 530 Мбайт в год.

Объём данных результатов измерений модуля вектора геомагнитного поля, передаваемых в режиме реального времени, составляет 40 Мбайт в год, при этом по резервному каналу передаётся 101 Мбайт в год.

Перечень и параметры анализируемой первичной информации и выходная продукция приведены в приложении Л.

### 7.3.2 Код АМПЛИ

Кодом АМПЛИ (AMPLI) двадцать четыре раза в сутки передаётся величина амплитуды (от минимума до максимума) горизонтальной составляющей  $H$  в нанотеслах (объём одной телеграммы приблизительно 30 байт).

Содержание кода «AMPLI IIII DDMNH aaaa/» приведено в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Содержание кода АМПЛИ

Часть кода	Значение	Условное обозначение	Содержание кода
АМПЛИ (AMPLI)	Кодовое слово	–	–
III	Индекс станции	–	–
DDMNH	Дата и час измерения горизонтальной составляющей $H$	DD	День месяца в UT
		M	Последняя цифра месяца
		NN	Час измерения от 1 до 24 в UT
aaaa/	Величина амплитуды горизонтальной составляющей $H$	aaaa	Размах горизонтальной составляющей $H$ от min до max в нанотеслах
		/	Всегда косая черта

*Пример – Передача информации кодом АМПЛИ:*

*АМПЛИ 33702 23105 0016/*

*АМПЛИ (кодовое слово) – информация о величине амплитуды горизонтальной составляющей  $H$  (от минимума до максимума).*

*33702 – индекс станции (станция Ловозеро).*

*25511 – 25 – день месяца, 5 – последняя цифра месяца (дата наблюдения 25.05.2019 г.), 11 – час измерения (11:00 UT).*

*0016/ – 16 нТл – максимальное отклонение горизонтальной составляющей  $H$  от кривой спокойного дня.*

### **7.3.3 Код МАГМА**

Кодом МАГМА (MAGMA) передаются 3-часовые оценки состояния геомагнитного поля –  $K$ -индексы (объём одной телеграммы приблизительно 30 байт). История введения в практику  $K$ -индекса и порядок его расчётов описаны в [8], краткое описание  $K$ -индекса приведено в приложении М.

Для расчёта  $K$ -индекса необходимо установить суточный ход геомагнитного поля по составляющим  $D$  и  $H$  по данным пяти магнитоспокойных дней за декаду.

Так как  $K$ -индекс входит в состав оперативной информации, необходима его оценка в квазиреальном времени. Для этого используются либо модификации методов, одобренных Международной ассоциацией по геомагнетизму и аэрномии, либо данные спокойных дней предыдущего периода. Одним из возможных модифицированных методов расчёта  $K$ -индекса является, например, замена не имеющихся ещё данных данными экстраполяции. Вычисленный таким способом  $K$ -индекс называют предварительным, и впоследствии он должен быть пересчитан стандартным методом.

Информация передаётся каждые три часа (восемь раз в сутки). Содержание кода «MAGMA III YMMDD NNOOK CC///» приведено в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Содержание кода МАГМА

Часть кода	Значение	Признак	Содержание кода
МАГМА (MAGMA)	Кодовое слово	–	Для всех станций одинаковое
III	Индекс станции	–	–
YMMDD	Дата	Y	Последняя цифра года
		MM	Месяц
		DD	День месяца в UT
NNOOK	Часовой интервал и 3-часовой K-индекс	NN	Начало 3-часового интервала в UT
		OO	Конец 3-часового интервала в UT
		K	K-индекс
CC/// или CCXXX	Служебная группа	CC	Сумма всех цифр четвёртой группы
		///	Всегда 3 косые черты или 3 буквы X

*Пример – Передача информации кодом МАГМА:*

*МАГМА 33702 91123 00032 05///*

*МАГМА (кодированное слово) – информация о 3-часовой оценке состояния геомагнитного поля (K-индекс).*

*33702 – индекс станции (станция Ловозеро).*

*91123 – 9 – последняя цифра года; 11 – месяц; 23 – день месяца (дата наблюдения – 23.11.2019 г.).*

*00032 – часовой интервал наблюдения и величина 3-часового K-индекса (трёхчасовой интервал с 00 до 03 часов по UT; K-индекс равен 2).*

*05/// – служебная группа (сумма всех цифр четвёртой группы  $0+0+0+3+2=5$ ;*

*/// – всегда три косые черты или три буквы X).*

### 7.3.4 Код УМАГФ

Кодом УМАГФ (UMAGF) передаётся суточная оценка состояния геомагнитного поля –  $A_k$  и K-индексы, геомагнитные возмущения и время их проявления. Информация кодом УМАГФ передаётся один раз в сутки, объём передаваемой информации зависит от регистрации явления (объём одной телеграммы приблизительно 60 байт). Содержание кода: «UMAGF III YMMDD HHmm/ DDHHa 1/bbb 2KKKK 3KKKK cHHmm dHHmm (eeee)», приведено в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Содержание кода УМАГФ

Часть кода	Признак	Содержание кода
УМАГФ (UMAGF)	–	Кодовое слово
III	–	Индекс станции
YMMDD	Y	Последняя цифра года
	MM	Месяц года, 01 = январь, 02 = февраль и т. д.
	DD	День месяца в UT
HHmm	HHmm	Часы и минуты (UT) начала сообщаемого 24-часового периода
	/	Всегда косая черта
DDHNa	DD	Дата начала сообщаемого 24-часового периода в UT
	HH	Час начала сообщаемого 24-часового периода в UT
	a	Последняя цифра контрольной суммы цифр $A_K$ (bbb) и 8 $K$ -индексов
1/bbb	1	Индикатор для индекса $A_K$
	/	Всегда косая черта
	bbb	Индекс $A_K$
2KKKK	2	Индикатор для первых 4 $K$ -индексов
	KKKK	Первые 4 $K$ -индекса
3KKKK	3	Индикатор для последних 4 $K$ -индексов
	KKKK	Последние 4 $K$ -индекса
сHHmm	c	Индикатор события
	c = 1	Конец бури
	c = 2	Бухта (PSC)
	c = 3	Типичное
	c = 4	Предварительные цифры
	c = 6	Буря с постепенным началом
	c = 7	Буря с внезапным началом (SC)
	c = 8	Буря с очень выраженным внезапным началом (SSC)
	c = 9	Внезапный импульс
HHmm	Час и минуты явления, определяемого индикатором события «с». Если c = 4, то HHmm используется для сообщения о четырёх дополнительных $K$ -индексах (3-часовые периоды) после 24-часового интервала, о которых сообщалось 2 и 3 группами	
dHHmm	D = 5	Означает, что время относится к моменту минимума горизонтальной составляющей $H$ геомагнитного поля
	HHmm	Время минимума в часах и минутах в UT <sup>1</sup>
ееее		Минимальная интенсивность, выраженная в нТл <sup>2</sup>
<p>Примечания:</p> <p>1 Группа dHHmm пропускается, если данные отсутствуют.</p> <p>2 Группа «ееее» пропускается, если эти измерения не производятся.</p>		



*Примеры – Передача информации кодом УМАГФ:*

*1 УМАГФ 31802 91122 0000/ 21002 1/// 22323 33234 62100*

*УМАГФ (кодированное слово) – суточной оценке состояния геомагнитного поля ( $A_K$  и  $K$ -индексы), о геомагнитных возмущениях и времени их проявления.*

*31802 – индекс станции (станция о. Визе).*

*91122 – 9 – последняя цифра года; 11 – месяц; 22 – день месяца (дата передаваемого сообщения – 22.11.2019 г.).*

*0000/ – часы и минуты (UT) начала сообщаемого 24-часового периода (00:00 по UT; / – всегда косая черта).*

*21002 – дата и час начала сообщаемого 24-часового периода по UT (21 – 21.11.2019 г.; 00:00 по UT); 2 – последняя цифра контрольной суммы цифр  $A_K$ -индекса ( $bbb$ ) и 8  $K$ -индексов (станция не вычисляет  $A_K$ -индекс, поэтому считается только сумма  $K$ -индексов:  $2 + 3 + 2 + 3 + 3 + 2 + 3 + 4 = 22$ ) и записывается последняя цифра суммы, которая равна 2).*

*1/// – 1 – индикатор для  $A_K$ -индекса; / – косая черта (разделитель между индикатором и значением  $A_K$ -индекса); /// – так как на станции  $A_K$ -индекс не вычисляется.*

*22323 – 2 – индикатор для первых 4  $K$ -индексов; значение  $K$ -индекса, с 00 до 03:00 часов UT – 2; значение  $K$ -индекса с 03:00 до 06:00 часов UT – 3; значение  $K$ -индекса с 06:00 до 09:00 часов UT – 2; значение  $K$ -индекса с 09:00 до 12:00 часов UT – 3 (период наблюдения с 00:00 до 12:00 часов UT).*

*33234 – 3 – индикатор для последних 4  $K$ -индексов; значение  $K$ -индекса с 12:00 до 15:00 часов UT – 3; значение  $K$ -индекса с 15:00 до 18:00 часов UT – 2; значение  $K$ -индекса с 18:00 до 21:00 часов UT – 3; значение  $K$ -индекса с 21:00 до 00:00 часов UT – 4 (период наблюдения с 12:00 до 00:00 часов UT).*

*62100 – 6 (индикатор события) – геомагнитная буря с постепенным началом; 2100 – начало события в 21:00 часов UT.*

*2 UMAGF 38701 90217 0000/ 16007 1/176 22111 33753 21715 51719 24844*

*УМАГФ (кодированное слово) – суточной оценке состояния геомагнитного поля ( $A_K$  и  $K$ -индексы), о геомагнитных возмущениях и времени их проявления.*

*38701 – индекс станции (станция о. Колба имени В.В. Ходова).*

*90217 – 9 – последняя цифра года; 02 – месяц; 17 – день месяца (дата передаваемого сообщения – 17.02.2019 г.).*

*0000/ – часы и минуты (UT) начала сообщаемого 24-часового периода (00:00 по UT; / – всегда косая черта).*

*16007 – дата и час начала сообщаемого 24-часового периода по UT (16 – 16.02.2019 г.; 00:00 по UT); 7 – последняя цифра контрольной суммы цифр  $A_K$ -индекса (bbb) и 8 K-индексов ( $A_K$ -индекс – 176, сумма цифр индекса  $A_K$ :  $1 + 7 + 6 = 14$ , сумма 8 K-индексов:  $2 + 1 + 1 + 1 + 3 + 7 + 5 + 3 = 23$ , сумма цифр  $14 + 23 = 37$ , записывается последняя цифра суммы – 7).*

*1/176 – 1 – индикатор для  $A_K$ -индекса; 176 – значение  $A_K$ -индекса.*

*22111 – 2 – индикатор для первых 4 K-индексов; значение K-индекса с 00:00 до 03:00 часов UT – 2; значение K-индекса с 03:00 до 06:00 часов UT – 1; значение K-индекса с 06:00 до 09:00 часов UT – 1; значение K-индекса с 09:00 до 12:00 часов UT – 1 (период наблюдения 00:00 – 12:00 часов UT).*

*33753 – 3 – индикатор для последних 4 K-индексов; значение K-индекса с 12:00 до 15:00 часов UT – 3; значение K-индекса с 15:00 до 18:00 часов UT – 7; значение K-индекса с 18:00 до 21:00 часов UT – 5; значение K-индекса с 21:00 до 00:00 часов UT – 3 (период наблюдения 12:00 – 00:00 часов UT).*

*21715 – 2 (индикатор события) – зафиксирована бухта (PSC); 1715 – начало события в 17:15 часов UT.*

*51719 – 5 (индикатор события) – время минимума горизонтальной составляющей (окончание события); 1719 – окончание события в 17:19 часов UT.*

*24844 – минимальная интенсивность события составила 24 844 нТл.*

Числовая информация, содержащаяся в указанных трёх кодах, не исчерпывает всех способов числовой оценки степени возмущённости геомагнитного поля. Используются и другие индексы (приложение М).

## **7.4 Передача оперативной информации**

Вся подготовка оперативной информации и её передача осуществляется автоматически. В случае сбоя в аппаратуре формирования и передачи пакета оперативной информации соответствующий код должен быть составлен вручную и передан по тем каналам связи, которые сохранили работоспособность.

На входе канала дальней связи формат данных должен быть единым. Каждый СП магнитных наблюдений должен быть оснащён оборудованием, позволяющим создавать такой формат данных.

### **7.5 Виды проводимых наблюдений и способ передачи данных в перспективной космической наблюдательной системе**

7.5.1 Целевой информацией, планируемой к получению с помощью ФМ, является геомагнитное поле по трём ортогональным элементам (векторам). Дополнительно в приборе будет реализован режим «Тест», необходимый для получения телеметрической информации: температура, значения напряжений питания, что в перспективе позволит увеличить точность измеренного поля при наземной обработке данных. Измерения будут проводиться в непрерывном режиме с частотой 17 измерений в секунду.

7.5.2 Каждая из трёх элементов измеренного вектора геомагнитного поля будет передаваться в виде оцифрованного значения (код АЦП) в дополненном двоичном коде (отрицательные и положительные числа). Дополнительной обработки целевой информации, будь то использование цифровой фильтрации шумов (кроме фильтрации в сигма-дельта АЦП) либо расчёт метеорологических индексов, производится не будет. Это связано с тем, что для повышения качества измеренных показаний предполагается использование коэффициентов, полученных при калибровочных испытаниях прибора. Такие расчёты необходимо будет производить при наземной постобработке данных, оставив показания самого прибора максимально «прозрачными» на случай непредвиденных ситуаций.

7.5.3 ФМ один раз в секунду будет формировать и отправлять в блок накопления данных пакет с целевыми и служебными данными. Пакет будет содержать 17 измерений геомагнитного поля, равномерно распределённых в течение секунды. Другими словами, с частотой 17 Гц будут производиться

измерения, в блок накопления данных информация будет передаваться с частотой 1 Гц.

7.5.4 Блок накопления данных будет формировать для ФМ два синхронизирующих (тактовых) сигнала:

- а) 1 Гц – для отсчёта «рабочих» циклов и инициации передачи данных;
- б) 1кГц – частота для синхронизации передачи битов сформированного пакета данных из ФМ в блок накопления данных.

Сам прибор не будет иметь внутреннего буфера для хранения более одного пакета данных. Каждый пакет передаваемых данных будет дополняться контрольной суммой (CRC1 или бит чётности), что повысит сбоеустойчивость данных.

7.5.5 Данные с космического аппарата будут передаваться на рабочее место оператора один раз за виток.

## **7.6 Метрологическое обеспечение средств измерений магнитных величин**

В соответствии с приказом [9] измерение магнитной индукции на земной поверхности и в околоземном космическом пространстве относится к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Все средства измерений, отнесённые к этой сфере, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации – периодической поверке.

В настоящее время возможным методом оценки правильности показаний магнитометрического оборудования СП магнитных наблюдений может быть метод сличения этих приборов с рабочими эталонами, поверенными на рабочих эталонах высшего разряда аккредитованными в данной области измерения специализированными организациями. Рабочие эталоны устанавливаются в магнитном павильоне на специально устроенные фундаменты (как исключение – на рабочих фундаментах СП магнитных наблюдений).

Контрольно-поверочные работы включают 3-4 серии измерений по 1-2 серии в сутки (время проведения этих работ должно быть не меньше 2-4 суток). Это необходимо для того, чтобы учесть уровень фонового геомагнитного поля. Каждая серия должна состоять из измерения углов склонения, наклонения и модуля геомагнитного поля, как с использованием штатных (приборы СП), так и инспекторских приборов. По результатам проведённых наблюдений вычисляются базисные значения МВС и сравниваются с результатами, полученными с использованием штатного оборудования СП магнитных наблюдений.

После завершения инспекции рабочие эталоны проходят повторную поверку. Совпадение результатов поверок этих приборов до и после проведения инспекционных работ свидетельствует о возможности использования результатов сличения для оценки качества работы магнитометрического оборудования СП магнитных наблюдений.

Информация о процессе утверждения типа и поверке/калибровке магнитных средств измерения приведена в приложении Н.

## 8 Передача данных магнитных наблюдений

8.1 Информация, поступающая в ионосферно-магнитную службу, головные НИУ и региональные информационно-аналитические центры мониторинга геофизической обстановки, используется для решения следующих задач:

- оценки текущего состояния и прогноза солнечной активности, межпланетной среды, состояния магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы;
- контроля и прогноза радиационной обстановки;
- диагностики изменений состояния магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы.

8.2 Оперативная режимно-справочная информация распространяется через:

- сайт головной организации по ионосферно-магнитной службе (также при согласовании с Росгидрометом может быть размещена на сайтах головных НИУ по видам наблюдений в Росгидромете и региональных информационно-аналитических центров мониторинга геофизической обстановки для оперативного оповещения граждан о состоянии геомагнитного поля);
- телефонные автоинформаторы (ежечасные ионосферные и трёхчасовые геомагнитные данные, ежесуточные солнечные и геомагнитные данные);
- автоматизированную систему передачи данных Росгидромета («Погода»);
- электронную почту (E-mail);
- каналы GST WMO (глобальная система телесвязи Всемирной метеорологической организации);
- почту.

8.3 Потребители обеспечиваются оперативной магнитной информацией в соответствии с ведомственным заказом и заявками заинтересованных ведомств и организаций.

8.4 Информационное обеспечение потребителей (органов государственной власти, организаций и населения) текущей информацией о состоянии геомагнитного поля, входящей в состав гелиогеофизических прогнозов, проходит по следующим направлениям:

- ежедневное и по запросу оперативное гелиогеофизическое обеспечение деятельности федеральных, муниципальных и местных органов исполнительной и законодательной власти Российской Федерации, в том числе Росгидромета, Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Министерства обороны Российской Федерации;

- ежедневное обеспечение населения информацией о текущих и ожидаемых гелиогеофизических явлениях на Солнце, в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и высоких слоях атмосферы через средства массовой информации;

- ежедневное обеспечение российских и зарубежных организаций текущими данными и прогнозами гелиогеофизических явлений (Российская академия наук, Российская академия медицинских наук, Российские железные дороги, Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос», зарубежные научные, метеорологические и геофизические центры и др.);

- ежедневное обеспечение организаций экстренной информацией о возникновении опасных и аномальных геофизических и гелиофизических явлений (солнечные вспышки, геомагнитные бури и ионосферные возмущения, ухудшение радиационной обстановки), приводящих к изменению программ работы пилотируемых космических комплексов, выходу из строя аппаратуры спутников связи и других космических аппаратов, а также наземных технических систем;

- обеспечение межведомственной общероссийской комплексной системы оповещения населения информацией об опасных и аномальных гелиогеофизических событиях;

- ежедневная рассылка прогнозов по электронной почте, факсу и курьерская по соответствующему перечню организаций.

8.5 В рамках специализированного аппаратно-программного комплекса существует процедура формирования адресов, которая подготавливает данные для рассылки потребителям. Аппаратно-программный комплекс обеспечивает быстрое формирование информационных пакетов соответственно запросам.

8.6 Данные о геомагнитной обстановке содержат:

- ежедневную сводку «Обзор и прогноз космической погоды»;
- материалы, выпускаемые дважды в сутки, содержащие данные наблюдений и диагностические оценки;
- гелиогеофизические прогнозы солнечной активности, состояния геомагнитного поля, состояния ионосферы и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве (краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные);
- еженедельные бюллетени «Гелиогеофизические данные»;
- информацию об опасных гелиогеофизических явлениях. Данный вид информации поставляется в случаях, когда на основании солнечной, геомагнитной и ионосферной информации с наземных станций и обсерваторий и по наблюдениям на космических аппаратах, а также данных о потоках заряженных частиц ожидается или регистрируется опасное гелиогеофизическое явление.



## **9 Безопасность труда на стационарных пунктах магнитных наблюдений**

### **9.1 Цель проведения мероприятий по обеспечению безопасности труда**

9.1.1 Целью проведения мероприятий по обеспечению безопасности труда на СП магнитных наблюдений является защита персонала от воздействия опасных и вредных производственных факторов, исключение несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом, и профессиональных заболеваний на производстве.

9.1.2 Безопасность труда регламентируется нижеперечисленными нормативно-правовыми актами, национальными стандартами, документами Росгидромета и эксплуатационной документацией:

- Трудовой кодекс Российской Федерации (от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ) [10];
- ГОСТ 12.0.230, ГОСТ 12.0.007, ГОСТ 12.0.003;
- инструкции по технике безопасности при работе на СП магнитных наблюдений;
- инструкции по эксплуатации МВС и других средств магнитных наблюдений.

### **9.2 Мероприятия по обеспечению безопасности труда на стационарных пунктах магнитных наблюдений**

9.2.1 Все лица, проводящие техническое обслуживание, ремонт оборудования СП магнитных наблюдений, должны пройти проверку знаний по правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей [11] и иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже III.

Основными документами, устанавливающими условия эксплуатации оборудования и порядок работы с ним, являются составленные предприятиями-изготовителями технические описания и инструкции по эксплуатации приборов.

9.2.2 Перед началом эксплуатации устройств СП магнитных наблюдений необходимо изучить руководства по эксплуатации этих устройств.

Наблюдатель должен знать устройство прибора и назначение каждого блока, входящего в его комплект, чётко 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.

9.2.3 Не разрешается производить включение оборудования, если климатические условия в помещении, где оно установлено, не удовлетворяют требованиям руководства по эксплуатации.

Подключение устройств к сети переменного тока допускается только специальными кабелями, входящими в комплект поставки оборудования. Включение кабелей питания производится при выключенном рубильнике сетевого напряжения в помещении, где установлено оборудование.

9.2.4 Наблюдатель не должен иметь при себе магнитных предметов, способных повлиять на отсчёты приборов.

9.2.5 Регулировки прибора, требующие его вскрытия, выполняются только с разрешения руководителя в условиях, гарантирующих сохранность прибора и защиту от влаги и пыли.

## Приложение А

(справочное)

### **Перечень информации об ожидаемом или регистрируемом опасном природном гелиогеофизическом явлении**

В соответствии с РД 52.88.699 в случаях, когда на основании солнечной, геомагнитной и ионосферной информации с наземных станций и обсерваторий и по наблюдениям на космическом аппарате, а также данных о потоках заряженных частиц ожидается или регистрируется опасное природное явление (гелиогеофизическое) или резкое ухудшение радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, ФГБУ «ИПГ» обязано:

- представить руководству Росгидромета и в Управление геофизического мониторинга, активных воздействий и государственного надзора Росгидромета, а по окончании рабочего дня – ответственному дежурному Росгидромета экстренную информацию о возникновении опасного природного явления (гелиогеофизического) или резком изменении (ухудшении) радиационной обстановки и их влиянии на радиационную безопасность в околоземном космическом пространстве (таблица А.1);

- осуществлять в учащённом режиме обеспечение экстренной информацией Службы радиационной безопасности Минздравсоцразвития России в соответствии с согласованным с ним порядком;

- по окончании опасного природного явления (гелиогеофизического) подготовить доклад о его интенсивности, продолжительности и влиянии на радиационную безопасность в околоземном космическом пространстве и представить его руководству Росгидромета во время утреннего оперативного доклада.

При наблюдении полного замирания сигналов в коротковолновом диапазоне подготовить и передать специальное оповещение основным потребителям, а также информировать Управление геофизического мониторинга, активных воздействий и государственного надзора Росгидромета.

Т а б л и ц а А.1 – Перечень опасных гелиогеофизических явлений

Название опасного гелиогеофизического явления	Характеристики и критерии или определение опасного гелиогеофизического явления
Сильное возмущение радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве	Измеренный в полярных областях на орбитах космических аппаратов высотой более 1 000 км поток высокоэнергичных (с энергией $E_p \geq 30$ МэВ) протонов не менее 800 част./( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ). Расчётная максимальная мощность дозы проникающих излучений на орбите космического аппарата высотой от 300 до 500 км и наклоном $52^\circ$ за защитой $1 \text{ г/см}^2$ алюминия ( $P_{max} > 25$ рад/сут. (при магнитной буре, характеризуемой индексами геомагнитной возмущённости $K_p > 5$ или $A_p > 30$ ))
Сильная магнитная буря	Значения индексов геомагнитной возмущённости составляют: $K_p > 7$ или $A_p > 40$
Сильное возмущение ионосферы с нарушением коротковолновой связи	Появление и сохранение в течение не менее 3 ч подряд отрицательных отклонений максимальных применимых частот при ионосферном распространении радиоволн на величину более 50 % от медианных (средних) значений критических частот ( $\Delta F_0F_2 > 50 \%$ ) или полное поглощение сигналов в коротковолновом диапазоне в течение $> 1$ ч в полярных областях

## Приложение Б

(обязательное)

### Организация магнитной наблюдательной сети

#### **Б.1 Общие положения по организации стационарных пунктов магнитных наблюдений**

Магнитная наблюдательная сеть входит в государственную наблюдательную сеть. СП магнитных наблюдений создаются с выполнением минимально необходимых требований по проведению магнитных наблюдений – по размещению СП магнитных наблюдений, по устройству рабочих помещений и по приборному оснащению. Более высокие требования по указанным параметрам предъявляются к магнитным обсерваториям.

#### **Б.2 Обустройство стационарных пунктов магнитных наблюдений**

В зависимости от характера протекания ионосферно-магнитосферных и геомагнитных возмущений (суббурь) высокие широты разделяются на две зоны: зону полярных сияний (авроральную зону) и зону полярной шапки, которая занимает пространство от высокоширотной границы зоны полярных сияний до полюса. Со стороны приэкваториальной границы к зоне полярных сияний примыкает среднеширотная зона. Все эти зоны выделяются как в Северном, так и в Южном полушарии.

В соответствии с положением относительно зоны полярных сияний СП магнитных наблюдений государственной наблюдательной сети делятся на СП полярной шапки, СП зоны полярных сияний и среднеширотные.

Условия формирования ионосферы в указанных зонах принципиально отличаются, поэтому здесь различны как параметры среды, так и динамика магнито-ионосферных процессов во время протекания суббури. Наиболее полная информация о механизмах формирования и протекания этих процессов может быть получена с «цепочек» СП, расположенных как вдоль, так и поперёк зоны полярных сияний с выходом в соседние зоны.

В авроральной зоне вдоль меридиана цепочки СП должны располагаться на расстоянии около 100 км, а вдоль широты от 750 до 1000 км. В зоне полярной шапки и в среднеширотной зоне расстояние между СП может быть увеличено.

### Б.2.1 Территория стационарных пунктов магнитных наблюдений

Территория СП магнитных наблюдений должна быть огорожена и обеспечена круглосуточной охраной.

Выбранную территорию СП магнитных наблюдений условно (или физически) делят на две части: производственно-бытовую и измерительную.

Первая часть предназначена для главного технического здания и строений хозяйственно-бытового назначения. В этой части территории при строительстве зданий можно применять в ограниченном количестве магнитные материалы, размещать электрическую подстанцию, строить подъездную дорогу и трубопроводную систему. В главном техническом здании обычно предусматриваются следующие помещения: аппаратная, лабораторные помещения, архив, мастерская, кабинеты.

Вторая часть территории предназначена для немагнитных зданий, в которых размещаются магнитометры, вариометры и необходимое для измерений геомагнитного поля дополнительное оборудование (рисунок Б.1).

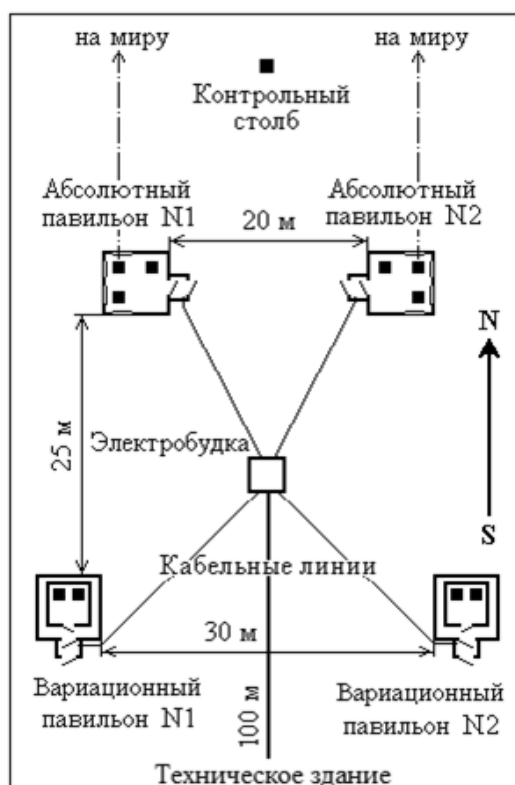


Рисунок Б.1 – Блок-схема территории СП магнитных наблюдений

Здесь строятся немагнитные абсолютные и вариационные павильоны, будка для электрооборудования и кабельных соединений, выделяется особая «чистая» зона

с постаментами для контрольных абсолютных наблюдений. В этой части территории действуют жёсткие ограничения на любые строительные и хозяйственные работы, на въезд транспорта и на размещение ферромагнитных материалов.

Чтобы исключить магнитные помехи производственного характера, расстояние от павильонов до технического здания и подъездных дорог должно быть не менее 100 м (грузовая машина или автобус на расстоянии 80 м дают магнитную помеху около 1 нТл).

Для обеспечения круглосуточного бесперебойного режима регистрации геомагнитного поля необходимо иметь два комплекта магнитометров, размещённых в двух разных вариационных павильонах. Оптимальный размер площади каждого павильона около 25 м<sup>2</sup>, а расстояние между павильонами – от 20 до 30 м. Это позволяет проводить сверку оборудования СП магнитных наблюдений с инспекторскими приборами без нарушения установок штатных приборов, не прерывать наблюдения на время проведения ремонтно-строительных работ в одном из павильонов и контролировать неизменность магнитного поля на территории СП магнитных наблюдений по постоянству разности величины поля в этих двух павильонах.

Если павильоны будут иметь минимальные размеры, то между ними нужно построить утеплённую будку размером 3×4 м<sup>2</sup>, предназначенную для установки распределительных силовых щитков и для размещения аккумуляторов. К электробудке от технического здания должны подходить трёхфазный силовой кабель и однофазный приборный кабель. Первый предназначен для электрообогрева павильонов и рассчитан на общую мощность около 10 кВт, а второй – для питания измерительных приборов с нагрузкой не более 1 кВт. Сигнальные 10-парные экранированные кабели от технического здания к павильонам целесообразно подключить к разделочным контрольным колодкам, установленным в электробудке. Если применяются оптоволоконные кабели передачи цифровой информации, то их необходимо проложить от вариационных павильонов непосредственно в аппаратную комнату технического здания.

На расстоянии от 30 до 50 м от павильонов выделяется площадка для устройства двух внешних контрольных постаментов, предназначенных для контроля градиентов магнитного поля на территории СП магнитных наблюдений и в павильонах.

Разметку территории под фундаменты павильонов производят с помощью теодолита по направлению географического или магнитного меридиана. Перед началом строительных работ необходимо произвести контрольные измерения составляющих в точках, предназначенных для устройства приборных постаментов с привязкой данных к главному выносному столбу. Все измерения градиентов геомагнитного поля должны быть оформлены

в виде магнитных карт и схем, которые являются первичным архивным документом СП магнитных наблюдений. На участке расположения обсерватории горизонтальный и вертикальный градиенты магнитного поля не должны превышать 5 нТл/м, а непосредственно на площадках строительства павильонов должны быть менее 2 нТл/м.

Только соблюдение всех этих условий позволяет создать СП магнитных наблюдений, обеспечивающую долговременный ряд высокоточных магнитных наблюдений.

Некоторые снижения требований приходится делать для СП магнитных наблюдений в труднодоступных полярных районах. Но надо точно знать, что эти снижения требований будут снижать и качество наблюдений. Поэтому при создании СП магнитных наблюдений в полярных районах необходимо принять меры для компенсации отрицательных влияний внешних факторов на её работу.

### **Б.2.2 Устройство фундаментов и приборных постаментов**

Приборные постаменты должны обладать высокой стабильностью и немагнитностью. Все образцы материалов, предназначенных для строительства павильонов, необходимо проверить на немагнитность (например путём определения их воздействия на какой-либо из магнитометров с расстояния от 0,3 до 0,5 м). Подходящими материалами для устройства фундаментов являются песчаник, белый мрамор, стеклоблоки, карьерный песок, известь. Слабомагнитными материалами являются асбоцементные трубы, белый силикатный или шамотный кислотоупорный кирпич, пенобетон. К магнитным материалам, запрещённым для применения в конструкции павильонов, относятся красный кирпич, железобетонные изделия, отходы металлургической и топливной промышленности. Гравий может оказаться в любой группе по магнитности в зависимости от содержания ферромагнитных фракций. Цемент до замеса почти не проявляет магнитных свойств, но после его застывания от воздействия геомагнитного поля часто приобретает остаточную намагниченность из-за наличия примеси тонкодисперсных частиц металла шаровых мельниц. Поэтому асбоцементные трубы должны быть проверены на намагниченность перед использованием для оборудования магнитных павильонов. Цемент нужно применять в ограниченных количествах и не выше уровня пола павильонов, заменяя его строительными клеями.

Строительство абсолютного и вариационного павильонов начинают с устройства приборных постаментов, под которые готовят котлованы глубиной ниже уровня промерзания почвы (около 2 м). На дне котлованов укладывается подушка толщиной 0,5 м из бутового камня (песчаник или известняк) с добавлением гравийно-песчаной смеси



на известково-цементном растворе. Приборные постаменты из бутового камня, мраморных блоков или стеклоблоков сечением в основании не менее  $1 \times 1$  м возводятся на известковом растворе или с применением строительных клеев. Они выводятся на высоту от 1 до 1,2 м над проектным уровнем пола в абсолютном павильоне и высоту 0,8 м в вариационном павильоне. В качестве приборных немагнитных постаментов абсолютного павильона можно применять столбы из лиственницы или дуба диаметром не менее 300 мм, но следует учитывать, что деревянные столбы имеют склонность к эффекту сезонного вращения вдоль своей оси от воздействия влажности окружающей среды. Пространство между приборными постаментами заполняется песком, слой которого обильно смачивается и трамбуется. Если постаменты изготовлены из теплопроводящего материала (мрамор, бутовый камень), то их необходимо утеплить в подпольной части пенопластом или пакетами стекловаты согласно рисунку Б.2.

Долговременная устойчивость положения постаментов вариационных павильонов в значительной степени определяет стабильность базисных уровней вариометров. Стабильность приборных постаментов абсолютных павильонов обеспечивает высокую точность компонентных наблюдений.

После строительства приборных постаментов необходимо произвести повторные наблюдения градиентов магнитного поля, чтобы убедиться в немагнитности применённых материалов. При отрицательных результатах наблюдений необходимо переделать верхнюю часть постаментов с последующей проверкой градиентов геомагнитного поля.

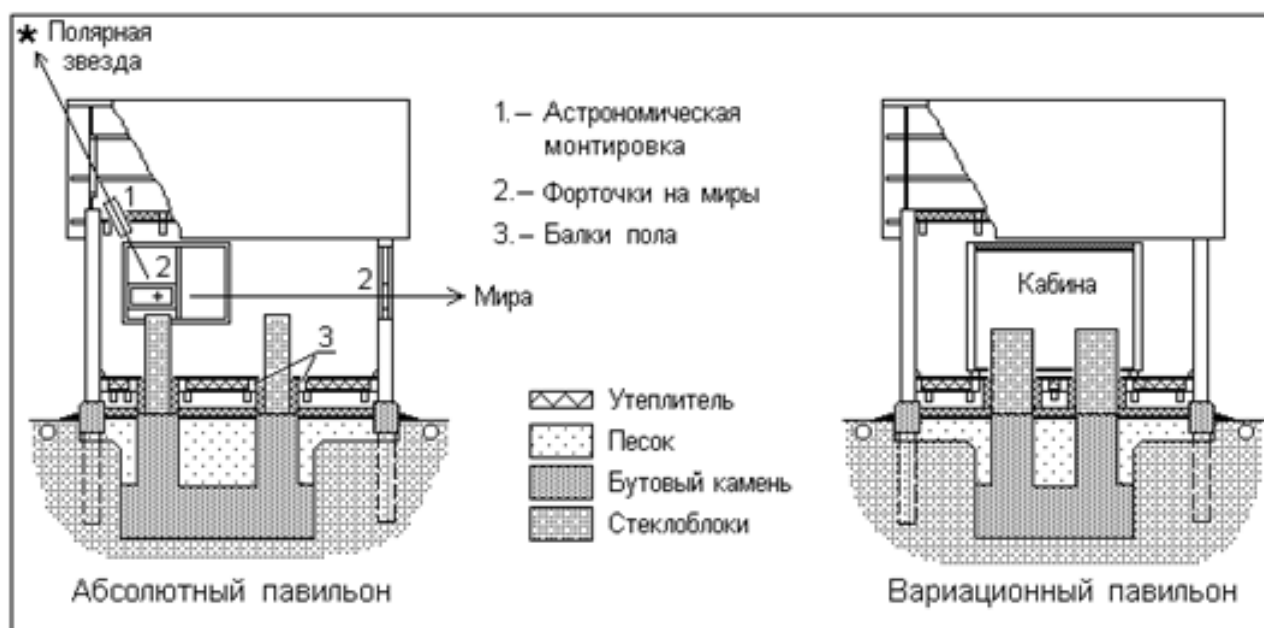


Рисунок Б.2 – Конструкция павильонов для геомагнитных наблюдений

Фундаменты под стенами павильонов могут быть столбчатыми, ленточными или комбинированными. В качестве опорных столбов допустимо применять асбоцементные трубы с заливкой их гравийно-известковым раствором. Ленточный фундамент из бутового камня на песчаной подушке выводят на высоту не менее 300 мм над уровнем земли, оставляя продухи на каждой стороне размером 250×150 мм. Подполье засыпают теплоизоляционным материалом (перлит, стекловата) по гидроизоляционному слою из глины и рубероида. С наружной стороны цоколя укладывают глиногравийную отмостку шириной до 1 м. По периметру отмостки для отвода дождевой воды прорывают канавку или закапывают дренажную полиэтиленовую трубу. Для гидроизоляции стен выровненную верхнюю поверхность цоколя покрывают битумной мастикой, на которую приклеивают два слоя рубероида.

### **Б.2.3 Правила устройства немагнитных зданий**

С точки зрения гарантированной немагнитности и хорошей теплоизоляции стены абсолютного и вариационного павильонов рекомендуется возводить из брусьев или брёвен, что не требует применения дорогих и дефицитных медных или латунных крепёжных элементов. Возможен вариант каркасной конструкции с утеплением стен, но такие постройки менее долговечны и требуют применения большого количества медных гвоздей. Возведение стен павильонов из силикатного кирпича, известняка, ракушечника, пенобетона или современных строительных материалов сопряжено с контролем этих материалов на немагнитность. В полярных районах и в районах с резко-континентальным климатом тепловым характеристикам павильонов должно быть уделено особое внимание. При плохой теплоизоляции (и отсутствии возможности кондиционирования) разница температур внутри павильона ночью и днём, летом и зимой, в ветреную и штилевую погоду может быть очень значительной.

Температура в павильоне должна поддерживаться в узком (не более 5 °С) диапазоне, так как её значительные изменения влияют и на магнитометры, и на постаменты. Поддержание стабильной температуры в павильонах является важным фактором повышения качества получаемых данных, так как все магнитометры имеют свой температурный коэффициент. Изменение температуры может влиять в магнитометрах на взаимное расположение деталей, на их размеры, на систему преобразования сигнала в приборах, а также на постаменты. После резких изменений температуры в павильонах (например, зимой при отключении электроэнергии) может наблюдаться смещение базисных уровней

вариометров, вызванное остаточными деформациями в деталях датчиков или в положении приборного постаментов. Магнитометры для проведения абсолютных наблюдений также могут изменять некоторые свои константы.

Балки пола павильонов устанавливаются с таким расчётом, чтобы они проходили в 100 мм от боковых поверхностей приборных постаментов. Это позволит настилать доски чёрного и чистого пола без соприкосновения с постаментами. Зазоры между полом и постаментами закрываются мягким утеплителем (например войлоком). Для экономии медных гвоздей доски пола и потолка можно крепить по балкам деревянными шкантами.

В стенах или окнах абсолютного павильона напротив постаментов деклинометра/инклинометра (QHM-магнитометра) на соответствующей высоте должны быть сделаны форточки для наведения зрительной трубы магнитометра на специально установленный маркер (столб или метка на долговременном сооружении). Этот маркер называется астрономической мирой. Пеленгация миры через остекление не допускается. Географический азимут миры с постаментов деклинометра должен быть известен.

Кровля изготавливается из волнистых листов шифера, алюминия, стеклопластика, ондулина или из рулонных материалов типа рубероида.

Для определения азимута миры астрономическим методом по Полярной звезде необходимо предусмотреть специальные отверстия в потолке и крыше абсолютного павильона для установки пеленгационного канала (оптической монтировки). При строительстве абсолютного павильона на постамент, предназначенный для деклинометра, нужно временно поставить астрономический теодолит и произвести наводку на Полярную звезду. С помощью нитей, натянутых между балками потолка, обозначить центр отверстия в потолке для астрономических наблюдений. Пеленгационный канал (оптическая монтировка) может быть изготовлен из полиэтиленовой трубы диаметром около 300 мм с подвижными крышками защиты от атмосферных осадков и холодного воздуха. Астрономические определения азимута миры можно проводить при наличии видимости Солнца или проводить геодезические определения с помощью высокоточных GPS-технологий.

Для пожарной безопасности стены павильона изнутри рекомендуется обшить негорючим материалом (например плитами гипсокартона). Медные гвозди используются для обшивки стен панелями, установки плинтусов и наличников, прокладки кабелей, изготовления крыши здания. Латунные шурупы требуются для установки дверных и оконных навесов, ручек, розеток и осветительных приборов. Все материалы и изделия до их применения в строительстве необходимо проверять на немагнитность с помощью магнитов или каких-либо магнитометров СП.

Абсолютный павильон требует стабильной температуры и хорошего освещения при наблюдениях на феррозондовых деклинометрах/инклинометрах. В здании абсолютного павильона должны быть установлены немагнитные светильники, в том числе и непосредственно над приборными постаменами.

Вариационный павильон может вообще не иметь окон для естественного освещения, но в нём должен поддерживаться стабильный температурный режим вариометров. С этой целью внутри основного здания вокруг приборных постаментов необходимо смонтировать теплоизоляционную кабину, которую собирают из бруса или пенопластовых панелей с зазором 200 мм над полом павильона для обеспечения кругового обогрева кабины тёплым воздухом здания. Если малые размеры вариационного павильона не позволяют иметь кабину для вариометров, то допустимо применять термостатный корпус, который устанавливается непосредственно на приборном постаменте. Внутренний кожух, согласно рисунку Б.3, из теплопроводящего материала (алюминий толщиной 2 мм) снижает градиенты температуры в объёме МВС. Верхнюю часть корпуса делают съёмной для обеспечения доступа к элементам юстировки СП магнитных наблюдений.

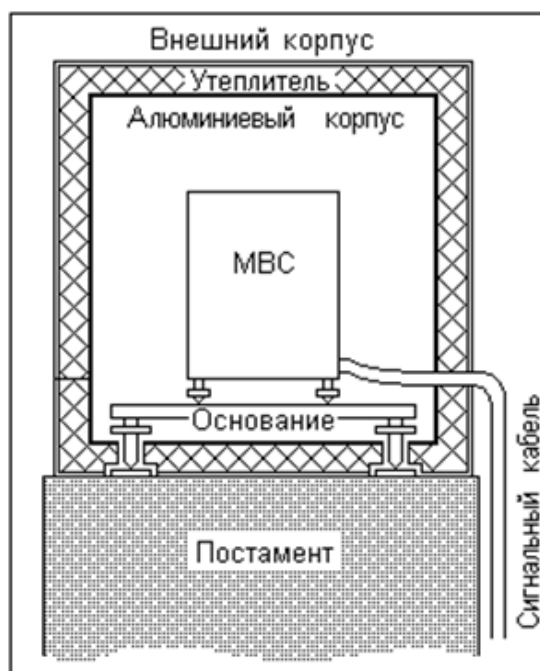


Рисунок Б.3 – Термостатный корпус блока вариометров

При повышении температуры наружного воздуха температура в павильоне и особенно во внутреннем кожухе может существенно превысить допустимый интервал изменения температуры МВС, поэтому основное внимание надо уделить поддержанию в допустимом интервале температуры в самом вариационном павильоне.

Для установки вариометров можно использовать специальные подземные помещения, в которых достигается высокая стабильность температуры независимо от сезона года. Однако внутри таких сооружений необходимо строго контролировать относительную влажность воздуха.

Абсолютный павильон является важнейшим объектом в инфраструктуре СП магнитных наблюдений, поскольку именно в нём выполняются наблюдения, предоставляющие данные о медленных изменениях геомагнитного поля. Поэтому этот павильон должен быть максимально защищён от возможного магнитного загрязнения.

#### **Б.2.4 Электрообеспечение павильонов**

Обогрев павильонов может осуществляться с помощью немагнитных электронагревателей, имеющих систему термостабилизации воздуха в помещениях. Летом возможен сильный нагрев павильонов Солнцем, поэтому необходимо предусмотреть возможность кондиционирования воздуха. Для решения этих задач павильоны обеспечиваются отдельной силовой линией электрообогрева (кондиционирования).

Радиаторные электронагреватели, изготовленные из алюминиевых пластин с трубчатыми элементами из кварцевого стекла или прессованной слюды, размещаются по внутреннему периметру помещения. Если применяется немагнитный нагревательный электрокабель (например КНРПВ-М), то его прокладывают по плинтусу помещения. Датчики температуры системы термостабилизации рекомендуется устанавливать около пола, окна или у специального продуха для автоматической компенсации понижения температуры в здании при сильном холодном ветре.

В кабине вариационного павильона не рекомендуется устанавливать электропечи, чтобы не создавать больших градиентов температуры около вариометров и исключить возможность появления магнитной помехи.

Силовые щитки и аккумуляторы питания вариационных станций рекомендуется выносить в электрическую будку, построенную из силикатного кирпича или пенобетона. Если применяются промышленные типы электрических терморегуляторов с управляемыми полупроводниковыми ключами, то следует проверить не только их немагнитность, но и отсутствие постоянной составляющей тока в силовых цепях электропечей. Силовые электронные элементы не должны нарушать синусоидальную симметрию переменного тока сети.

Температура приведения вариометров выбирается в зависимости от климатических условий магнитной обсерватории.

Электрические осветительные лампочки следует устанавливать не ближе 1,5 м от магнитометров. В абсолютном павильоне специальный маломощный осветитель, предназначенный для подсветки окулярной сетки теодолита при ночных наблюдениях Полярной звезды, располагают в непосредственной близости от астрономической монтировки.

### Б.3 Астрономическая мира

Чем больше будет расстояние между постаментом и мирой, тем точнее будет определяться её азимут и тем с меньшей ошибкой будет производиться её пеленгация при абсолютных измерениях. В условиях хорошей видимости и возможности её пеленгации теодолитом деклинометра (QHM-магнитометра) расстояние до миры может составлять от 1 до 2 км. Минимально допустимое для СП магнитных наблюдений средних и низких широт расстояние до миры от 300 до 350 м. При этом надо иметь в виду, что при больших расстояниях между мирой и деклинометром при нагреве воздуха (например в солнечный день) наблюдается дрожание изображения прицельной марки миры, приводящей к увеличению ошибки её пеленгации.

В условиях полярных станций выдержать такие расстояния удаётся далеко не всегда. Кроме того, при установке или выборе миры надо учитывать необходимость её подсветки в условиях полярной ночи или в тёмное время суток (если предполагаются такие измерения). На рисунке Б.4 показана подсветка миры лазерным лучом из магнитного павильона в условиях полярной ночи на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база Мыс Баранова». Расстояние между деклинометром и мирой 300 м.

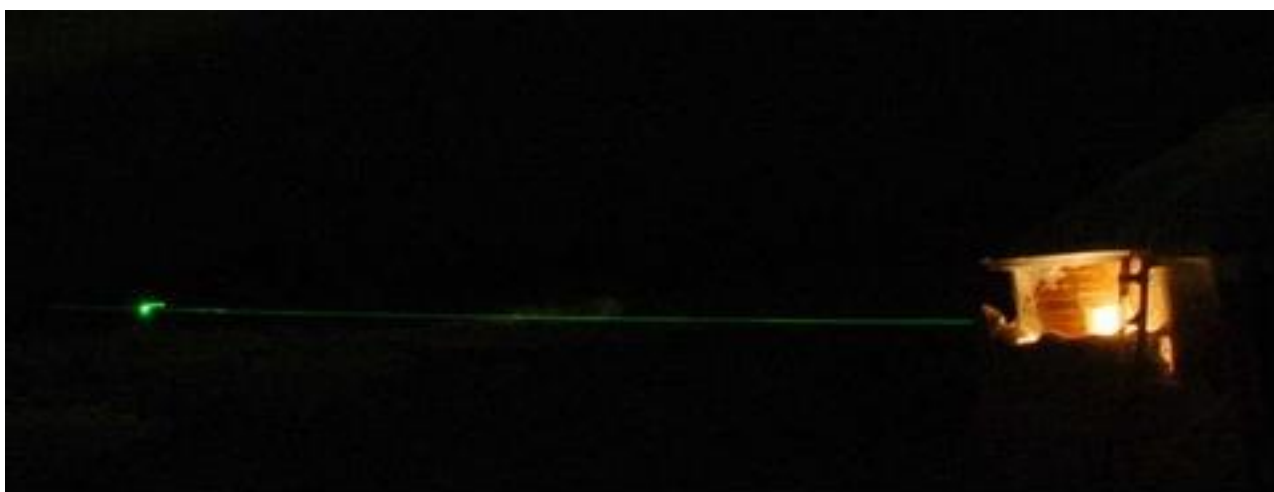


Рисунок Б.4 – Подсветка миры в условиях полярной ночи

Если в качестве астрономической миры невозможно использовать капитальное сооружение, находящееся на достаточном расстоянии от абсолютного павильона, то необходимо построить специальную миру для привязки в пространстве измеренных деклинометром положений магнитного меридиана.

Место строительства миры и её необходимая высота уточняются наведением зрительной трубы теодолита с приборного постаменты в открытую форточку павильона. На выбранном месте следует вырыть котлован размером 2×2 м до плотного грунта и пробурить скважину ещё на глубину около 2 м. В скважину по отвесу устанавливается стальная или чугунная труба диаметром не менее 120 мм, которая бетонируется с применением арматуры. На трубе наведением теодолита фиксируют точку крепления метки. Простейший вариант метки выполняется в виде алюминиевой полосы, которая привинчивается вдоль образующей столба. Более сложный вариант представляет собой экран из стального листа с накладным равносторонним треугольником из алюминия. Экран приваривается к трубе на необходимой высоте. Пример такой установки приведён на рисунке Б.5.



а – общий вид миры; б – метка и отражающий экран миры

Рисунок Б.5 – Мира на стационаре «Ледовая база Мыс Баранова»

Требования к стабильности положения миры зависят от расстояния до неё от приборного постаменты абсолютного павильона. На СП магнитных наблюдений производятся измерения склонения с допустимой погрешностью  $\Delta D = 0,1$  угловой минуты

при разрешающей способности теодолитов до 1 с. При этом допустимые отклонения миры  $\Delta A$  от воздействия внешней среды определяются по формуле

$$\Delta A = L \cdot \operatorname{tg} \Delta D, \quad (\text{Б.1})$$

где  $L$  – расстояние между постаментом и мирой, м.

Отсюда следует, что если мира находится на расстоянии 300 м от постамента, то её смещение не должно превышать 9 мм. Такая же максимальная погрешность допустима при установке деклинометра на приборном постаменте абсолютного павильона.

Нестабильное положение миры или неточное наведение деклинометра на миру из-за плохой видимости объекта наблюдения приводят к дополнительным погрешностям определений магнитного склонения. Рекомендуется при возможности установить вторую (вспомогательную) миру на другом расстоянии или в другом направлении (при условии видимости с основного постамента). Если она расположена ближе, чем основная, то это может частично решить проблему с неблагоприятными условиями видимости. Регулярные измерения разности азимутов основной и вспомогательной мир позволяют контролировать их стабильность между достаточно редкими астрономическими определениями.

#### **Б.4 Определение азимута миры**

Азимутом миры называется угол между вертикальной плоскостью, проходящей по направлению на миру, и плоскостью географического (астрономического) меридиана.

Определение азимута миры проводится путём наблюдения небесного светила с фиксацией времени моментов отсчётов его положения. В практике геомагнитных измерений принято использовать геодезический азимут, который отсчитывается от точки севера. Азимут земного предмета определяется из наблюдений Полярной звезды ( $\alpha$ Ursaeminoris) или наблюдений Солнца. Для наблюдений на СП магнитных наблюдений рекомендуется применять первый метод.

В средних и южных широтах наблюдения азимута миры можно производить непосредственно теодолитом феррозондового деклинометра/инклинометра с применением призматической окулярной насадки. Для исключения коллимационных ошибок теодолита наведения на миру и Полярную звезду производят по стандартной симметричной схеме с поворотом зрительной трубы через зенит. Если мира не имеет освещения, то допускается наблюдения миры производить вечером и повторять их утром для контроля отсутствия смещений теодолита или горизонтального лимба в процессе ночных наблюдений Полярной звезды. Так как за сутки Полярная звезда описывает круг радиусом около  $2^\circ$ , то сначала



необходимо вычислить её азимут в моменты наблюдений, который отсчитывают от точки севера с положительными значениями к западу.

Расчёт азимута Полярной звезды можно производить по следующей формуле

$$A_s = \arctg[\sin t_s / (\sin \varphi \cos t_s - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta)], \quad (\text{Б.2})$$

где  $A_s$  – азимут Полярной звезды;

$t_s$  – часовой угол положения Полярной звезды в моменты наведения;

$\varphi$  – широта места наблюдения;

$\delta$  – азимутальный угол Полярной звезды.

Далее определяется место географического меридиана на горизонтальном круге теодолита  $\theta_{gm}$  по формуле

$$\theta_{gm} = \theta_s - A_s, \quad (\text{Б.3})$$

где  $\theta_s$  – отсчёт наведения на Полярную звезду.

Зная место мира и место географического меридиана на круге, можно определить азимут мира

$$A = \theta_M - \theta_{gm}, \quad (\text{Б.4})$$

где  $\theta_M$  – отсчёт наведения на миру.

Служба СП магнитных наблюдений ведётся по среднему мировому времени UT, но в расчётах астрономических наблюдений используется местное звёздное время  $T_s$ , рассчитываемое по формуле

$$T_s = \text{UT} \cdot (1 + \mu) + L + S_o, \quad (\text{Б.5})$$

где  $\mu$  – переводной коэффициент ( $\mu = 1/365,2422 = 0,00273791$ );

$S_o$  – звёздное время в полночь на гринвичском меридиане.

Часовой угол Полярной звезды рассчитывают по формуле

$$t_s = T_s - \alpha, \quad (\text{Б.6})$$

где  $\alpha$  – прямое восхождение Полярной звезды, ч.

Перед наблюдениями азимута мира необходимо определить поправку к показаниям часов наблюдателя с точностью до 1 с и произвести тщательную нивелировку теодолита. Высота полюса над горизонтом равна широте места наблюдения  $\varphi$ . Зная приближенно широту места, находим зенитное расстояние полюса по формуле

$$z = 90^\circ - \varphi. \quad (\text{Б.7})$$

С изменением часового угла азимут Полярной звезды меняется достаточно медленно и в самом неблагоприятном случае допустима неточность фиксации времени до 10 с [3].

## Приложение В

(обязательное)

### Типовые нормы штатной численности стационарных пунктов магнитных наблюдений

В.1 Типовой штат СП магнитных наблюдений предназначен для формирования оптимального штата сотрудников с целью выполнения утверждённого государственного задания.

В.2 Типовой штат СП магнитных наблюдений устанавливается в соответствии с профилем наблюдений и работ, возлагаемых на СП магнитных наблюдений, должен обеспечивать производство наблюдений и работ в соответствии с утверждённой Программой наблюдений.

В.3 В зависимости от возложенных на СП магнитных наблюдений задач, режимов работы, территориальных особенностей расположения, технической оснащённости, степени автоматизации производственного процесса, по решению руководителя УГМС фактический штат наблюдательного подразделения может быть изменён (увеличен или уменьшен).

В.4 Фактический штат СП магнитных наблюдений, расположенных в районах Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним, а также в сельской местности, должен рассчитываться с учётом того, что продолжительность, рабочей недели для женщин составляет 36 часов.

Штат СП магнитных наблюдений должен рассчитываться с учётом продолжительности отпусков, установленных для района расположения.

В.5 С целью обеспечения жизнедеятельности СП магнитных наблюдений и непрерывности наблюдений, соблюдения требований по охране труда, пожарной безопасности, санитарно-эпидемиологических и санитарно-гигиенических норм могут вводиться дополнительные должности.

К дополнительным должностям относятся: охранник, механик, моторист, электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования, техник-электрик, инженер-теплоэнергетик, водитель, тракторист, повар, слесарь, слесарь-сантехник, слесарь по эксплуатации и ремонту газового оборудования, оператор котельной, кочегар, истопник, рабочий, уборщик производственных и служебных помещений и др.

В.6 Типовые нормы штатной численности для производства магнитных наблюдений приведены в таблице В.1.

Т а б л и ц а В.1 – Типовые нормы штата СП магнитных наблюдений

Наименование должностей	Кол-во единиц
Начальник СП магнитных наблюдений	1
Инженер-геофизик	1
Инженер по ремонту и обслуживанию оборудования	1
Техник-геофизик	5
Всего штатных единиц	8
Примечание – В случае если СП магнитных наблюдений располагается на одной территории с другими наблюдательными подразделениями, обязанности штатных единиц таких как, начальник СП магнитных наблюдений, инженер по ремонту оборудования, могут быть объединены с обязанностями штатных единиц для других видов наблюдений	

В.7 Начальник СП магнитных наблюдений должен знать:

а) научные проблемы и направления развития науки в области геомагнетизма, солнечно-земной физики;

б) отечественные и международные достижения в области геофизического приборостроения, оборудование СП магнитных наблюдений, принципы его работы и эксплуатации;

в) принципы и организацию измерений в сети геофизических СП магнитных наблюдений, принятые международные требования и стандарты;

г) нормативные документы по вопросам организации, планирования и финансирования проведения наблюдений и исследований;

д) порядок заключения и исполнения договоров на выполнение работ с другими организациями;

е) правила внутреннего трудового распорядка;

ж) систему оплаты труда инженерно-технических работников и формы их поощрения;

з) правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности.

Обязанности начальника СП магнитных наблюдений:

а) организует и осуществляет руководство всеми видами измерений, закреплёнными за СП магнитных наблюдений;

б) отвечает за сроки и качество проводимых регулярных измерений, в случае необходимости принимает непосредственное участие в их исполнении;

в) распределяет работы между сотрудниками СП магнитных наблюдений и контролирует их выполнение;

г) обеспечивает подготовку оперативных и итоговых баз данных, отчетов и представляет их на рассмотрение в региональный информационно-аналитический центр мониторинга геофизической обстановки, по указанию – в ФГБУ «ИПГ» и (или) ФГБУ «ААНИИ»;

д) определяет потребность СП магнитных наблюдений в оборудовании, материалах и других ресурсах, принимает меры по обеспечению ими;

е) организует проведение совещаний сотрудников СП магнитных наблюдений по текущим вопросам и возникающим проблемам;

ж) участвует в подборе кадров, их аттестации и оценке деятельности, принимает меры по повышению квалификации сотрудников, представляет предложения об оплате и поощрениях сотрудников, наложений на них дисциплинарных взысканий;

з) контролирует соблюдение сотрудниками СП магнитных наблюдений правил охраны труда и техники безопасности, правил внутреннего трудового распорядка, производственной и трудовой дисциплины.

В.8 Инженер-геофизик должен знать:

а) Программу наблюдений СП магнитных наблюдений;

б) основы теории геомагнитного поля, принципы и методы его исследований;

в) принципы работы применяемых на СП магнитных наблюдений измерительных приборов и методику проведения наблюдений на них, требования к магнитным измерениям и форматам данных;

г) методы работы на персональном компьютере, программы и математические пакеты для обработки данных и контроля их качества;

д) вспомогательные средства, используемые на СП магнитных наблюдений;

е) руководящие документы по работе на СП магнитных наблюдений;

ж) правила внутреннего трудового распорядка;

з) правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности.

Обязанности инженера-геофизика:

- контролирует правильность установки геофизических датчиков (магнитного оборудования); осуществляет проверку исправности датчиков геофизических полей (магнитного оборудования); проводит регламентные работы, текущий ремонт и поверку применяемых технических средств и устройств; осуществляет своевременную подачу заявок на оборудование, необходимое для обеспечения непрерывности магнитных наблюдений;

- осуществляет монтаж и демонтаж технических средств регистрации наземных геофизических данных (магнитных);
- выполняет регулировку параметров геофизической аппаратуры (магнитного оборудования) и определение её готовности к работе;
- производит геофизические наблюдения и их обработку с использованием технических средств и устройств. Фиксирует данные измерений наземных геофизических (магнитных) полей при геофизических исследованиях (магнитных наблюдениях);
- организует и проводит обучение техников-геофизиков работе с измерительной магнитометрической аппаратурой;
- обеспечивает непрерывную работу магнитометрического оборудования согласно Программе наблюдений. Выполняет ежедневный оперативный контроль и анализ получаемых данных;
- ведёт учёт и контроль состояния электрохозяйства, линий связи, температурного режима, систем безопасности (магнитных павильонов), общего состояния строений;
- осуществляет методическое и техническое руководство производством геофизических наблюдений по программам работ; участвует в разработке методик, программ наблюдений и программного обеспечения магнитных наблюдений;
- контролирует ведение журнала по обработке данных магнитных измерений, фиксирует все нештатные ситуации. Организует учёт любых работ, выполняемых на территории магнитных павильонов;
- собирает и обрабатывает оперативную и режимную информацию. Осуществляет оперативный контроль качества получаемых наземных геофизических (магнитных) данных;
- анализирует, интерпретирует и обобщает полученные данные, выполняет качественный и количественный анализ наземных геофизических (магнитных) данных;
- готовит и передаёт полученную информацию в региональные информационно-аналитические центры мониторинга геофизической обстановки и в головное НИУ. Выявляет бракованные данные при регистрации геофизических полей;
- подготавливает рекомендации по повторному проведению регистрации наземных геофизических данных для бракованных наблюдений или при корректировке технологии проведения работ;
- подготавливает справки, обзоры и режимно-справочные публикации. Обеспечивает подготовку информации для архива. Ведёт документацию о проведённой регистрации наземных геофизических данных;

- готовит технические отчёты по результатам анализа магнитных и сопутствующих данных;

- осуществляет информирование руководства о ходе и качестве работ по регистрации геофизических данных;

- участвует в разработке новых и совершенствовании существующих методов и технических средств наблюдений и обработки данных, их испытании и внедрении; осуществляет координацию действий персонала во время проведения работ по регистрации наземных геофизических (магнитных) данных. Осуществляет специализированное обеспечение заинтересованных потребителей информации;

- в случае отсутствия дежурного наблюдателя исполняет его обязанности;

- на время отсутствия руководителя СП магнитных наблюдений исполняет его обязанности;

- выполняет иные поручения руководителя.

В.9 Техник-геофизик должен знать:

а) Программу наблюдений СП магнитных наблюдений;

б) основы теории геомагнитного поля;

в) принципы работы применяемых на СП магнитных наблюдений измерительных приборов и методику проведения наблюдений на них;

г) методы обработки данных на персональном компьютере и контроля их качества;

д) руководящие документы по работе СП магнитных наблюдений;

е) правила внутреннего трудового распорядка;

ж) правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной, санитарии и пожарной безопасности.

Обязанности техника-геофизика:

- участвует в проведении геофизических (магнитных) наблюдений, в том числе опытно-методических, тематических и других специальных работ; в организации, проведении и ликвидации геофизических работ, получении и сдаче на хранение необходимых приборов, инструментов, полевого снаряжения и камеральной обработке материалов;

- участвует в подготовке к работе и установке приборов и других технических средств для проведения геофизических исследований и их техническом обслуживании;

- ведёт первичную геофизическую документацию и осуществляет её обработку, учёт и хранение;

- фиксирует и оформляет результаты регистрации данных геофизических (магнитных) наблюдений;

- выполняет технические работы при обработке и интерпретации геофизических (магнитных) данных;

- участвует в подготовке проектно-сметной документации;

- участвует в подготовке текстовых, табличных и графических материалов, а также выполняет техническую корректировку текста и оформление отчётов по результатам геофизических (магнитных) исследований;

- участвует в оформлении производственной документации, отчётности и подготовке оперативной информации о ходе выполнения геофизических работ (магнитных наблюдений);

- контролирует соблюдение требований, предъявляемых к качеству геофизических работ (магнитных наблюдений), мер по охране недр и окружающей среды, правил по охране труда, противопожарной защиты работниками, занятыми на геофизических работах.

При заступлении на дежурство техник-геофизик:

- контролирует обстановку на территории вокруг магнитных павильонов, предупреждает ситуации, которые могут приводить к магнитному загрязнению этой территории;

- фиксирует все нештатные ситуации (в том числе факты посещения территории магнитных павильонов посторонними лицами);

- проводит контроль магнитометрического оборудования;

- оценивает общее состояние вариационного павильона и вспомогательного оборудования;

- осуществляет контроль работы контроллера модуля цифровой обработки и накопления данных;

- осуществляет проверку системных часов рабочего компьютера, время которого синхронизируется контроллером модуля цифровой обработки и накопления данных по сигналам GPS-приёмника;

- осуществляет контроль технического состояния системы энергообеспечения комплекса и напряжения питающей сети (допустимый диапазон от 200 до 240 В с частотой 50 Гц).

В период дежурства техник-геофизик:

- осуществляет контроль системы отопления и температуры воздуха в магнитном павильоне;

## РД 52.26.900–2020

- осуществляет контроль работы магнитометрического оборудования и средств связи;
- осуществляет контроль качества регистрации вариаций геомагнитного поля по графикам автоматизированного рабочего места наблюдателя (при наличии);

- осуществляет своевременное составление и передачу телеграмм по Программе наблюдений;

- ведёт рабочий журнал магнитного павильона (указывает время посещения павильона, температуру в рабочем помещении, текущее техническое состояние аппаратуры, время проведения абсолютных наблюдений и других работ внутри здания павильона) и рабочий журнал магнитометрического оборудования (указывает все неисправности и отказы в работе, приведшие к потере информации, методы их устранения, периоды отключения электроэнергии на СП);

- при выполнении вариационных наблюдений принимает все меры для получения качественных данных вариаций геомагнитного поля;

- при выполнении абсолютных наблюдений:

- обеспечивает контроль и установку электронных часов, используемых при проведении абсолютных наблюдений, не хуже 1 с;

- ведёт журнал магнитных измерений;

- осуществляет первичную обработку результатов абсолютных наблюдений и вычисление базисных значений для основной и дублирующей (если таковая имеется) магнитовариационных станций.

- в дни, свободные от дежурств, выполняет обработку старых данных, приводит в порядок архивные материалы;

- выполняет иные поручения руководителя.

В.10 Инженер по ремонту и обслуживанию оборудования должен знать:

- а) назначение и режимы работы оборудования, технические характеристики, конструктивные особенности, правила его технической эксплуатации;

- б) правила проведения технического обслуживания оборудования и ремонтных работ;

- в) порядок составления заявок на поставку оборудования, материалов, запасных частей, инструмента и смет на проведение ремонта;

- г) правила внутреннего трудового распорядка;

- д) правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной, санитарии и пожарной безопасности.



Обязанности инженера по ремонту и обслуживанию оборудования:

- а) проверяет техническое состояние магнитометрического оборудования и предотвращает неожиданный выход его из строя;
- б) выполняет ежедневное, ежемесячное, ежеквартальное и другие виды технического обслуживания оборудования;
- в) при выходе из строя выполняет ремонт магнитометрического оборудования;
- г) при необходимости вносит изменения в паспорт изделия после ремонта, модернизации и реконструкции, заполняет формуляры, ведёт техническую документацию, ведёт установленную отчётность;
- д) осуществляет разработку перспективных и текущих планов (графиков) ремонта оборудования, а также мер по улучшению их эксплуатации и обслуживания;
- е) определяет потребность в запасных частях для ремонта оборудования и составляет заявки на запасные части, материалы, инструмент, контролирует правильность их расходования;
- ж) готовит материалы для заключения договоров с предприятиями-изготовителями на поставку запасных частей и оборудования, а также, в случае невозможности устранения неисправностей на месте, со специализированными подрядными организациями на ремонт оборудования, осуществляет контроль за расходованием средств на эти цели;
- з) участвует в приёмке поступающего на СП магнитных наблюдений оборудования;
- и) выполняет иные поручения руководителя.

**Приложение Г**

(обязательное)

**Формы технических журналов**

Г.1 Технические журналы СП магнитных наблюдений

Г.1.1 Титульный лист журнала

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральная служба по гидрометеорологии  
и мониторингу окружающей среды  
(Росгидромет)**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«\_\_\_\_\_» управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды  
(ФГБУ «\_\_\_\_\_ УГМС»)  
(наименование УГМС)

Стационарный пункт магнитных наблюдений \_\_\_\_\_

Почтовый адрес (местонахождение) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(название журнала)

Начат \_\_\_\_\_

Окончен \_\_\_\_\_

## Г.1.2 Журнал эксплуатации средств магнитных наблюдений и регистрации всех видов работ (форма)

Дата и время начала и окончания выполнения работ, обслуживания, ремонта (год, месяц, число, часы, минуты)	Тип оборудования, место установки (наименование помещения, здания, сооружения)	Краткое описание неисправностей	Краткое описание выполненных работ; вида обслуживания (техническое обслуживание, текущий ремонт, капитальный ремонт); принятых мерах по устранению обнаруженных неисправностей	Ф.И.О., подпись лица, производившего работы, обслуживание, устранение неисправностей	Ф.И.О., подпись лица, разрешающего пуск оборудования, дата пуска
1	2	3	4	5	6

## Г.1.3 Журнал павильона (форма)

Дата и время посещения павильона (год, месяц, число, часы, минуты)	Ф.И.О. наблюдателя	Краткое описание условий и работ в павильоне (температурно-влажностный режим в павильоне; температура датчиков; сведения о введении поправки часов вариометров; сведения о проведении абсолютных измерений, в случае их выполнения; сведения обо всех работах в рабочих помещениях и вблизи них, которые могут отразиться на полученных результатах)	Подпись наблюдателя
1	2	3	4

## Г.1.4 Журнал приёма и сдачи дежурства (форма)

Дата и время приема / сдачи дежурства	Запись о сдаче и приёме дежурства (о наличии и качестве заполнения документации; сведения о наличии и техническом состоянии оборудования)	Ф.И.О., подпись лица, сдающего дежурство	Ф.И.О., подпись лица, принимающего дежурство
1	2	3	4

**Приложение Д**

(обязательное)

**Типовая программа  
магнитных наблюдений**

УТВЕРЖДАЮ

Директор \_\_\_\_\_  
(головного НИУ по видам наблюдений в Росгидромете)

\_\_\_\_\_/ \_\_\_\_\_/  
(подпись) (расшифровка подписи)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

М.П.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ФГБУ «\_\_\_\_\_ УГМС»  
(регионального информационно-аналитического центра  
мониторинга геофизической обстановки)

\_\_\_\_\_/ \_\_\_\_\_/  
(подпись) (расшифровка подписи)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

М.П.

**Программа  
магнитных наблюдений**

на \_\_\_\_\_  
(наименование стационарного пункта)

**1 Вводная часть**

**Примечание** – Раздел устанавливает назначение и область применения программы наблюдений.

Данные геомагнитных наблюдений широко применяются для решения ряда научных и практических задач, таких как:

- диагностика состояния и прогноз космической погоды;
- исследование околоземного космического пространства;
- исследование внутреннего строения Земли;
- поиск полезных ископаемых (магниторазведка);
- исследования динамики континентов;
- морская, воздушная и наземная навигация;
- исследования механизмов воздействия геомагнитного поля на физическое состояние человека и др.

Целью наблюдений по настоящей Программе является обеспечение потребителей непрерывными данными о значении геомагнитного поля в пункте наблюдения; расчёт индексов геомагнитной активности.

На \_\_\_\_\_  
(наименование стационарного пункта магнитных наблюдений)

проводятся: \_\_\_\_\_  
(виды измерений)

### *Пример*

*1 Непрерывная цифровая регистрация вариаций геомагнитного поля.*

*2 Измерения абсолютных значений элементов геомагнитного поля (углов склонения и наклонения силовых линий геомагнитного поля в пункте наблюдения, определение базисных значений).*

## **2 Используемое оборудование**

**Примечание** – Раздел должен содержать перечень всех средств измерений, вспомогательных устройств, применяемых при выполнении измерений; требования к показателям точности измерений; требования к средствам измерений, вспомогательным устройствам; метрологические характеристики средств измерений, технические характеристики вспомогательных устройств; допускается указывать на возможность применения других средств измерений, вспомогательных устройств с аналогичными или лучшими метрологическими и техническими характеристиками; в приложении могут быть приведены чертежи, технические характеристики и описания средств измерений и вспомогательных устройств разового изготовления.

2.1 Для непрерывной цифровой регистрации вариаций геомагнитного поля используется \_\_\_\_\_  
(наименование оборудования и т.п.)

### *Пример*

*2.1 Для непрерывной регистрации вариаций геомагнитного поля используется:*

*2.1.1 Трёхкомпонентный феррозондовый магнитометр FGE (серийный № 1092561; диапазон измерений магнитной индукции полного геомагнитного поля от минус 64 000 до плюс 64 000 нТл; пределы допускаемой погрешности  $\pm 0,1$  нТл; частотный диапазон измерений от 0 до 1 Гц; периодичность измерений до 1 с; синхронизация таймера – с помощью встроенной GPS-системы; диапазон рабочих температур от минус 0 °С до плюс 40 °С; напряжение питания – 5 В; потребляемая мощность – не более 4 Вт; масса – не более 4,5 кг).*

*2.1.2 Модуль цифровой обработки и накопления данных со встроенным блоком контроля точного времени (GPS) с антенной и кабелем «MicroLOG» (автономное микропроцессорное устройство предназначено для долгосрочного сбора данных с аналоговых датчиков и накопления информации на стандартную энергонезависимую карту памяти MMC-Card; количество аналоговых каналов – 4; диапазоны входных напряжений –  $\pm 10$  В;  $\pm 5$  В; от 0 до 10 В; от 0 до 5 В; карта энергонезависимой памяти – MMC до 4 Гб; напряжение питания – от 9 до 17 В; потребляемая мощность: 0,6 Вт – без внутреннего подогрева, 2 Вт – при включённом термостате; размеры модуля – 170×120×55 мм;*

диапазон рабочих температур: без подогрева – от минус 30 °С до плюс 60 °С; с включённым подогревом – от минус 55 °С до плюс 60 °С; относительная влажность – до 95 %).

2.1.3 Система форматирования и передачи оперативных данных по каналу цифровой связи (модуль «Digitager», серийный № LI564; отражаются характеристики модуля; миникомпьютер «UC-7101», серийный № KI835; отражаются характеристики миникомпьютера).

2.1.4 Автоматизированное рабочее место № 004 в составе:

- системный блок (серийный № 1293459; модель процессора – Celeron N2840; тип оперативной памяти – DDR3L; размер оперативной памяти – 2 ГБ; общий объём жёстких дисков (HDD) – 320 ГБ);
- мышь (серийный № 105122029088867);
- клавиатура (серийный № 2031220298867);
- специализированное программное обеспечение (версия AARI-2002).

2.1.5 Система бесперебойного электропитания (серийный № T4764006; автономное время работы при нагрузке 3000 ВА со встроенной аккумуляторной батареей +4 ЕВМ – 146 минут; модель – PW 9135-5000 ВА; выходная мощность ВА/Вт – 5000/3500; выходное напряжение – 200, 208, 220, 230, 240, 250 В (устанавливается пользователем); выходная частота – 50 или 60 Гц (выбирается автоматически или конфигурируется, как преобразователь частоты); температура эксплуатации – от 0 °С до 40 °С; допустимая влажность – от 5 до 90 %, без конденсации; размеры – 130×444×74 мм; вес – 57 кг).

2.2 Для измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля используется \_\_\_\_\_

(наименование оборудования и т.п.)

### *Пример*

2.2 Для измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля используются:

2.2.1 Феррозондовый деklinометр/инклинометр «MinGeo 10» (серийный № ФИ6531975, диапазон измерений магнитной индукции – от минус 199,9 до плюс 199,9 нТл; пределы допускаемой погрешности –  $\pm 0,1$  нТл; диапазон рабочих температур – от 0 °С до плюс 40 °С; масса – не более 4,5 кг).

2.2.2 Протонный магнитометр «GSM-19» (серийный № ПМ1243; диапазон измерений магнитной индукции – от 20 000 до 120 000 нТл; пределы допускаемой погрешности –  $\pm 0,2$  нТл; период измерений – 0,2; 1; 2; 3; 4; 5; 60 с; диапазон рабочих температур – от минус 40 °С до плюс 50 °С; масса – не более 4,3 кг).

2.2.3 Мира (стандартная геодезическая визирная марка, закреплённая на стальном болте с резьбой 5/8” на торце стальной трубы диаметром 100 мм и длиной 5 м; установлена вертикально; труба погружена в грунт на глубину примерно 2 м, что превышает глубину сезонного промерзания грунтов в регионе; для большей устойчивости нижний отрезок трубы снабжён бетонным якорем; расстояние между точкой расположения феррозондового теодолита в абсолютном навильоне и установленной визирной целью составляет 150 м; координаты визирной цели – 67°58'57" с.ш. 35°03'32" в.д., погрешность определения азимута составила примерно 8").

### 3 Требования безопасности

**Примечание** – Раздел должен содержать требования, которые при выполнении измерений обеспечивают безопасность труда, соблюдение норм производственной санитарии и охрану окружающей среды; при наличии нормативных документов, регламентирующих требования безопасности, производственной санитарии и охраны окружающей среды, в разделе приводят ссылки на эти документы.

При выполнении непрерывной цифровой регистрации вариаций геомагнитного поля и измерении абсолютных значений элементов геомагнитного поля соблюдают следующие требования:

---

(перечисляются требования безопасности, производственной санитарии и т.п.)

#### *Пример*

*До выполнения непрерывной цифровой регистрации вариаций геомагнитного поля и измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля допускается персонал, изучивший Инструкцию по технике безопасности при работе с электрическим оборудованием на СП магнитных наблюдений ГМС «Ловозеро» ФГБУ «Мурманское УГМС» и прошедший инструктаж на рабочем месте инженера-геофизика (техника-геофизика).*

*При выполнении работ персонал обязан:*

- изучить Техническое описание и Инструкцию по эксплуатации трёхкомпонентного феррозондового магнитометра «FGE»;*
- изучить Техническое описание и Инструкцию по эксплуатации модуля «MicroLOG»;*
- изучить Техническое описание и Инструкцию по эксплуатации феррозондового деклинометра/инклинометра «MinGeo 10».*

### 4 Требования к квалификации персонала стационарного пункта магнитных наблюдений

**Примечание** – Раздел должен содержать сведения об уровне квалификации (профессии, образовании, практическом опыте и др.) лиц, допускаемых к выполнению наблюдений.

К выполнению измерений и (или) обработке их результатов допускают лиц:

---

(перечисляются требования к уровню квалификации (профессии, образовании, практическом опыте и др.))

#### *Пример*

*К выполнению магнитных измерений и (или) обработке их результатов допускают лиц, имеющих образование не ниже среднего с обязательным прохождением инструктажа по работе. Лица, допущенные к выполнению измерений и (или) обработке их результатов, должны знать и строго выполнять требования нормативных документов и инструкций по проведению измерений.*

*Техник-геофизик относится к категории специалистов.*

*На должность:*

- техника-геофизика принимается лицо, имеющее среднее профессиональное (геологическое) образование без предъявления требований к стажу работы;

- техника-геофизика II категории принимается (переводится) лицо, имеющее среднее профессиональное (геологическое) образование и стаж работы в должности техника-геофизика не менее двух лет;

- техника-геофизика I категории принимается (переводится) лицо, имеющее среднее профессиональное (геологическое) образование и стаж работы в должности техника-геофизика II категории не менее двух лет.

*Инженер-геофизик относится к категории специалистов высшего уровня квалификации.*

*На должность:*

- инженера-геофизика принимается лицо, имеющее высшее профессиональное образование (бакалавриат, специалитет, магистратура) по специальности «Гидрометеорология», «Прикладная гидрометеорология» или высшее профессиональное образование в области физико-математических, естественных наук, техники и технологии; профессиональная переподготовка по направлению профессиональной деятельности без предъявления требований к стажу работы. Для непрофильного (технического) образования рекомендуется дополнительное профессиональное образование – программы профессиональной переподготовки;

- инженера-геофизика II категории принимается (переводится) лицо, имеющее высшее профессиональное образование по специальности «Гидрометеорология», «Прикладная гидрометеорология» или высшее профессиональное образование в области физико-математических, естественных наук, техники и технологии; профессиональная переподготовка по направлению профессиональной деятельности; стаж работы в должности инженера-геофизика гидрометеорологической службы или на других должностях, замещаемых специалистами с высшим профессиональным образованием, не менее трёх лет;

- инженера-геофизика I категории принимается (переводится) лицо, имеющее высшее профессиональное образование по специальности «Гидрометеорология», «Прикладная гидрометеорология» или высшее профессиональное образование в области физико-математических, естественных наук, техники и технологии; профессиональная переподготовка по направлению профессиональной деятельности; стаж работы в должности инженера-геофизика гидрометеорологической службы II категории не менее трёх лет.

## **5 Требования к условиям магнитных наблюдений**

**Примечание** – Раздел должен содержать перечень влияющих величин, их номинальных значений и (или) границ диапазонов возможных значений, а также другие характеристики влияющих величин. К числу влияющих величин относят параметры сред, напряжение и частоту тока питания, температуру окружающего воздуха и другие характеристики.

При выполнении магнитных наблюдений должны соблюдаться следующие условия:

---

(перечисляются требования к условиям проведения наблюдений)



**Пример**

При выполнении магнитных наблюдений должны соблюдаться следующие условия:

- на территории СП магнитных наблюдений действуют ограничения на любые строительные и хозяйственные работы, на въезд транспорта и на размещение ферромагнитных материалов. Для исключения магнитных помех производственного характера расстояние от павильонов до технического здания и подъездных дорог должно быть не менее 100 м (грузовая машина или автобус на расстоянии 80 м дают магнитную помеху около 1 нТл);

- необходимо обеспечить «магнитную чистоту» наблюдателя, проводящего работы в павильоне, не допускать использования одежды и обуви с магнитными элементами, магнитных очков и т.п.;

- в магнитном павильоне исключается (по возможности) размещение магнитных предметов, а также вспомогательных магнитных приборов и устройств;

- в случае использования для абсолютных и вариационных измерений одного павильона, необходимо размещать магнитометры на таком расстоянии, которое практически исключает их взаимное влияние;

- исключить (по возможности) все перемещения магнитометрического оборудования на постаментках;

- температура в павильоне должна поддерживаться в узком (не более 5 °С) диапазоне, так как её значительные изменения влияют и на магнитометры, и на постаменты. Поддержание стабильной температуры в павильонах является важным фактором повышения качества получаемых данных, так как все магнитометры имеют свой температурный коэффициент. Изменение температуры может влиять в магнитометрах на взаимное расположение деталей, на их размеры, на систему преобразования сигнала в приборах, а также на постаменты;

- допустимый диапазон напряжения питающей сети от 200 до 240 В с частотой 50 Гц;

- для обеспечения непрерывной работы модуля «MicroLOG» в условиях нестабильного электропитания необходимо использовать аккумулятор напряжением 12 В. Аккумулятор можно непрерывно подзаряжать автоматическим зарядным устройством. Ёмкость аккумулятора подбирается из учёта среднего потребления и ёмкости используемого аккумулятора, а также необходимого времени автономности устройства;

- относительная влажность воздуха в павильоне не должна превышать 95 %;

- минимально допустимое расстояние до моря для СП магнитных наблюдений средних и низких широт – от 300 до 350 м и т.п.

**6 Подготовка к выполнению магнитных наблюдений**

**Примечание** – Раздел должен содержать описание подготовительных работ, которые проводят перед выполнением непосредственно наблюдений. К этим работам относят предварительное определение значений влияющих величин, подготовку и проверку режимов работы средств измерений и других технических средств (установка нуля, выдержка во включённом состоянии, тестирование и т.п.); если порядок подготовительных работ установлен в документах на средства измерений и другие технические средства, то в разделе приводят ссылки на эти документы.

При подготовке к выполнению наблюдений проводят следующие работы:

---

(описание подготовительных работ)

*Пример*

*При подготовке к выполнению наблюдений проводят следующие работы:*

- *контроль общего состояния вариационного павильона и установленного в нём оборудования (обеспечение бесперебойной работы);*
- *контроль за отсутствием магнитных помех на территории СП магнитных наблюдений;*
- *контроль технического состояния системы энергообеспечения комплекса и напряжения питающей сети;*
- *контроль системы отопления и температуры магнитного павильона;*
- *общий контроль работы модуля цифровой обработки и накопления данных;*
- *проверку системных часов рабочего компьютера, время которого синхронизируется контроллером модуля цифровой обработки и накопления данных по сигналам GPS-приёмника;*
- *контроль работы комплекса и качества регистрации вариаций геомагнитного поля по графикам автоматизированного рабочего места магнитолога;*
- *проверку работоспособности и обслуживание модуля «MicroLOG» персонал СП магнитных наблюдений производит в соответствии с требованиями документа «Техническое описание и инструкция по эксплуатации модуля «MicroLOG» версия 1.30».*

## **7 Порядок выполнения магнитных наблюдений**

**Примечание** – Раздел должен содержать перечень, объём, последовательность операций, периодичность и число измерений, описание операций, критерии приемлемости результатов промежуточных измерений, требования к представлению промежуточных и конечных результатов (число значащих цифр и др.); если порядок выполнения операций установлен в документах на применяемые средства измерений и другие технические средства, то в разделе приводят ссылки на эти документы; в разделе (подразделе) приводят требование обязательной регистрации результатов промежуточных измерений и значений влияющих величин; при необходимости указывают формы регистрации промежуточных результатов наблюдений и значений влияющих величин.

При проведении измерений \_\_\_\_\_  
(приводят наименование измеряемой величины)

выполняют следующие операции: \_\_\_\_\_  
(приводят описания операций)

*Пример*

*Магнитовариационные наблюдения проводятся непрерывно по Всемирному скоординированному времени (BCV, UT).*

*Абсолютные наблюдения проводятся не реже 5 раз в месяц также по Всемирному скоординированному времени в периоды с наиболее спокойным состоянием геомагнитного поля.*

*При проведении измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля нуль-методом выполняют следующие операции: \_\_\_\_\_  
(приводят описание операций в соответствии с приложением Ж)*

*Регистрация вариаций трёх составляющих геомагнитного поля проводится аналоговым трёхкомпонентным феррозондом или трёхкомпонентным кварцевым магнитометром совместно с цифровым измерительным комплексом «MicroLOG». Ежесекундные значения составляющих геомагнитного поля регистрируются непосредственно в контроллере модуля цифровой обработки и накопления данных на флэш-карте ММС. Синхронизация времени всего комплекса осуществляется автоматически через встроенный в модуль цифровой обработки и накопления данных GPS-приёмник. Регистрирующая аппаратура установлена в магнитовариационном павильоне. В этом же павильоне расположены абсолютные приборы: деклинометр/инклинометр и протонный магнитометр. Измерения протонного магнитометра совместно с вариационными измерениями от модуля поступают в систему формирования оперативных данных. Далее информация передаётся в основное здание, где расположено рабочее место наблюдателя.*

*В лабораторном помещении основного здания установлен компьютер со специализированным программным обеспечением автоматизированного рабочего места наблюдателя. На компьютере наблюдателя проводится контроль работы вариационного комплекса, а также составляются оперативные сводки.*

*Среднеминутные значения вариаций геомагнитного поля и значения полного вектора геомагнитного поля передаются в виде форматированных сообщений через спутниковый или наземный каналы связи с помощью миникомпьютера.*

*При выполнении магнитных наблюдений персонал СП магнитных наблюдений обязан:*

- *следить за оперативностью передачи информации, за качеством передаваемых данных;*
- *соблюдать сроки составления и передачи телеграмм кодами АМПЛИ (AMPLI), МАГМА (MAGMA), УМАГФ (UMAGF);*
- *регулярно и с надлежащим качеством осуществлять проведение абсолютных измерений;*
- *своевременно обнаруживать и принимать все меры для устранения неисправностей оборудования. О возникновении любых неисправностей и нарушениях при проведении регулярных наблюдений сообщать начальнику ГМС «Ловозеро». Результаты устранения неисправностей подробно описываются в документе «Журнал эксплуатации средств магнитных наблюдений и регистрации всех видов работ, производимых на пункте наблюдений».*

## **8 Обработка и оформление результатов магнитных наблюдений**

**Примечание** – Раздел должен содержать описание способов обработки и получения результатов наблюдений (если способы обработки результатов наблюдений установлены в других документах, в разделе приводят ссылки на эти документы), описание определения расчётных параметров и индексов; данные, требуемые для получения результатов наблюдений (константы, таблицы, графики, уравнения и т.п.) (при необходимости), при большом объёме данных их приводят в приложении; требование обязательной регистрации обработки результатов промежуточных наблюдений с указанием (при необходимости) формы такой регистрации (на бумажном носителе или в электронном виде); требования к форме представления результатов наблюдений (формы представления результатов наблюдений в программе наблюдений должны соответствовать формам представления результатов измерений, приведённым в нормативной документации).

Обработку результатов измерений проводят

---

(приводят описание способа или название документа)

Оформление результатов измерений осуществляется

---

(приводят описание (содержание) кода)

*Пример*

*При проведении измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля офсетным методом обработка и оформление результатов*

---

*(приводят описание в соответствии с приложением И)*

*Оперативную информацию о величине амплитуды (от минимума до максимума) горизонтальной составляющей  $H$  в нанотеслах передаётся в коде АМПЛИ (24 раза в сутки).*

*Информация о трёхчасовых оценках состояния геомагнитного поля –  $K$ -индексы передаются в коде МАГМА.*

*Суточная оценка состояния геомагнитного поля –  $A_k$  и  $K$ -индексы, геомагнитные возмущения и время их проявления передаётся в коде УМАГФ (передаётся один раз в сутки, объём передаваемой информации зависит от регистрации явления).*

## **9 Передача результатов магнитных наблюдений**

**Примечание** – Раздел должен содержать требования к форме представления результатов наблюдений и содержанию пакета оперативной информации. Формы представления результатов наблюдений в программе наблюдений должны соответствовать формам представления результатов измерений, приведённым в нормативной документации; в разделе указывают объём и периодичность передаваемой информации, перечень способов и адресов её передачи.

Передачу результатов измерений проводят

---

(приводят содержимое пакета оперативной информации, способ и адресатов его передачи)

*Пример*

*Суточный пакет оперативной информации СП магнитных наблюдений состоит из 24 сводок АМПЛИ, восьми сводок МАГМА и одной сводки УМАГФ.*

*Результаты первичных измерений вариаций геомагнитного поля передаются непрерывно в режиме реального времени в ФГБУ «АНИИ».*

*Оперативные цифровые данные значений составляющих геомагнитного поля в реальном времени передаются (каждые 10 минут или чаще) в ФГБУ «АНИИ» (головное НИУ по видам наблюдений в Росгидромете). Сводки-телеграммы о возмущённости геомагнитного поля в установленном порядке отправляются по каналам ведомственной сети Росгидромета в ФГБУ «Мурманское УГМС» (региональный информационно-аналитический центр мониторинга геофизической обстановки).*

*Составление и передача в систему АСПД Росгидромета оперативной информации кодами АМПЛИ производится в режиме реального времени (при нормальной работе аппаратуры регистрации и связи) передаётся автоматически ежечасно, МАГМА – в синоптические сроки, раз в три часа, УМАГФ – раз в сутки; при сбоях в работе аппаратуры – наблюдателем.*

*На СП магнитных наблюдений инженером-геофизиком ежемесячно составляется краткий информационный отчёт о работе магнитометрической аппаратуры и проведении абсолютных наблюдений.*

*При возникновении сбоев в работе оборудования или временном отсутствии оперативной информации в адрес отдела геофизики ФГБУ «АНИИ» отправляется отчёт о времени начала и окончания перерывов в проведении наблюдений и их причине, а также способах устранения неисправностей.*

*Отдельно ведётся журнал о работах по проверке, контрольным измерениям и профилактических мероприятиях, проводимых в магнитном навильоне и в рабочем помещении с магнитометрической аппаратурой.*

*В случае невозможности самостоятельно справиться с возникшими проблемами в адрес отдела геофизики ФГБУ «АНИИ» на адрес geo2@aanii.ru направляется соответствующий запрос с указанием характера неисправности.*

*В конце года составляется годовой отчёт, в котором обобщаются ежемесячные информационные отчёты, и формулируется общее состояние проведения геомагнитных наблюдений за прошедший год. При необходимости пополнения оборудования расходными материалами, дополнительными инструкциями, а также необходимости проведения ремонтных работ составляются заявки, которые прилагаются к годовому отчёту и передаются в ФГБУ «Мурманское УГМС» (региональный информационно-аналитический центр мониторинга геофизической обстановки) и в ФГБУ «АНИИ». В случае неотложной необходимости заявка может быть направлена в любое время.*

*При сдаче дежурства дежурный наблюдатель заполняет Журнал приёма и сдачи дежурства, в котором отражает наличие и состояние аппаратуры, наличие технической и методической документации, необходимой для проведения наблюдений, противопожарное состояние помещений, в которых установлено магнитометрическое оборудование. Сдающий дежурство наблюдатель обязан провести инструктаж заступающего, передать весь комплект оборудования и документации.*

От \_\_\_\_\_

(головного НИУ по видам наблюдений в Росгидромете)

\_\_\_\_\_  
(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(расшифровка подписи)

От ФГБУ «\_\_\_\_\_ УГМС»

(регионального информационно-аналитического центра мониторинга геофизической обстановки)

\_\_\_\_\_  
(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(расшифровка подписи)

Начальник \_\_\_\_\_

(СП магнитных наблюдений)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(расшифровка подписи)

## Приложение Е

(справочное)

### Средства измерений геомагнитного поля

#### Е.1 Характеристики средств измерений магнитных величин

К основным характеристикам средств измерений магнитных величин относятся:

а) чувствительность измерительного прибора – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины. Для магнитометров с электрическим выходом это отношение величины изменения напряжения на выходе магнитометра к величине изменения геомагнитного поля и измеряется, например, в В/Тл или мВ/нТл; для аналоговых магнитометров с записью на фотобумагу – это мм/нТл.

Порог чувствительности магнитометров характеризуется величиной магнитной индукции поля, которое способен зарегистрировать прибор (измеряется в нанотеслах),  $1 \text{ нТл} = 10^{-9} \text{ Тл}$  или пикотеслах,  $1 \text{ пТл} = 10^{-12} \text{ Тл}$ ;

б) цена деления (постоянная магнитометра) – обратная величина чувствительности называется постоянной магнитометра;

в) разрешающая способность – определяет ту минимальную разницу индукции, которую возможно зарегистрировать прибором (измеряется в нанотеслах);

г) диапазон измерений – область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями;

д) уровень шума – уровень случайных вариаций на выходе измерительного прибора при отсутствии сигнала на входе. Обычно измеряется в величинах поля, делённых на корень из полосы пропускания в герцах, например  $100 \text{ пТл/Гц}^{1/2}$ . Для получения оценки реального шума нужно эту величину умножить на корень из максимальной частоты полосы пропускания магнитометра. Если прибор работает в полосе до 10 Гц, то можно ожидать уровень шума около 0,3 нТл. Эта оценка приближенная, для более правильной оценки нужно знать спектральные характеристики шума и произвести интегрирование по всей полосе пропускания;

е) динамический диапазон – это отношение предела измерения к порогу чувствительности (выражается в децибелах).

Шкалы приборов для измерения напряжённости и градиента геомагнитного поля, используемых на СП магнитных наблюдений, градуируются в единицах индукции геомагнитного поля в системе единиц СИ – нТл.

## **Е.2 Оборудование, используемое на стационарных пунктах магнитных наблюдений в высоких и средних широтах**

### **Е.2.1 Оборудование для проведения абсолютных измерений магнитного склонения и наклонения**

#### **Е.2.1.1 Феррозондовый деклинометр/инклинометр**

Деклинометр/инклинометр представляет собой немагнитный астрономический теодолит, на зрительной трубе которого устанавливается однокомпонентный феррозондовый магнитометр (датчик выполняет функцию нуль-индикатора). Прибор измеряет точные значения магнитного склонения и наклонения **В**. Результаты измерений деклинометра/инклинометра используются для калибровки МВС. Измерение магнитного склонения и наклонения основано на определении перпендикулярного положения оси датчика к **В** или **Н**.

Магнитная проницаемость  $\mu$  ферромагнитного стержня максимальна вдоль сердечника и во много раз превышает поперечную проницаемость [5], поэтому феррозонд фактически является магнитной антенной с диаграммой направленности в виде «восьмёрки». В направлении нормали  $\vec{n}$  (ортогональном направлении) к магнитной оси феррозонда индукция в сердечнике практически равна нулю и выходное напряжение магнитометра также становится нулевым, как показано на рисунке Е.1. В этом положении феррозонд чувствителен к малейшим изменениям угла между осью сердечника и вектором магнитного поля, поэтому он может использоваться для определения положения вектора геомагнитного поля или его горизонтальной составляющей в пространстве.

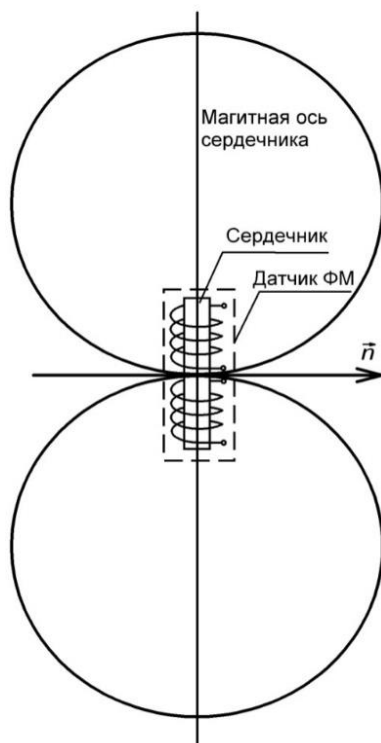


Рисунок Е.1 – Диаграмма направленности датчика феррозондового магнитометра

В настоящее время получили распространение однокомпонентные магнитометры MAG-01H английской фирмы Bartington, FGE – датской фирмы DTU SPACE и LEMI-204 – Украинского института (Львовский центр Института космических исследований). Все магнитометры этого типа включают немагнитный теодолит, однокомпонентный феррозондовый датчик магнитометра и блок управления в соответствии с рисунком Е.2.



Рисунок Е.2 – Общий вид магнитометра LEMI-204



Магнитометр LEM1-204 включает однокомпонентный феррозондовый датчик, который имеет подставку, позволяющую устанавливать его на трубе теодолита, теодолит ЗТ2КП-NM, блок управления и блок питания. Работой магнитометра управляет микропроцессор, который генерирует ток цепей возбуждения и аналого-цифровых преобразователей. Составляющая внешнего поля по оси датчика магнитометра компенсируется током обратной связи, поступающим в выходную обмотку. Измеренная величина  $B$  отображается на дисплее блока управления.

### Е.2.1.2 Кварцевый $H$ -магнитометр QHM

Кварцевый  $H$ -магнитометр служит для измерения горизонтальной составляющей  $H$  и склонения  $D$ . Принцип работы магнитометра основан на том, что подвешенная на кварцевой нити стрелка уравнивается двумя вращающими моментами, создаваемыми горизонтальной составляющей  $H$  геомагнитного поля и кручением кварцевой нити. Кварцевая нить обладает весьма постоянным коэффициентом кручения, что даёт возможность использовать её для измерений.

Один конец нити закреплён в верхней части немагнитного корпуса прибора согласно рисунку Е.3. На другом конце нити, в более широкой нижней части корпуса прибора, подвешены магнит с зеркалом и демпферное устройство; кварцевая нить имеет длину около 200 мм.

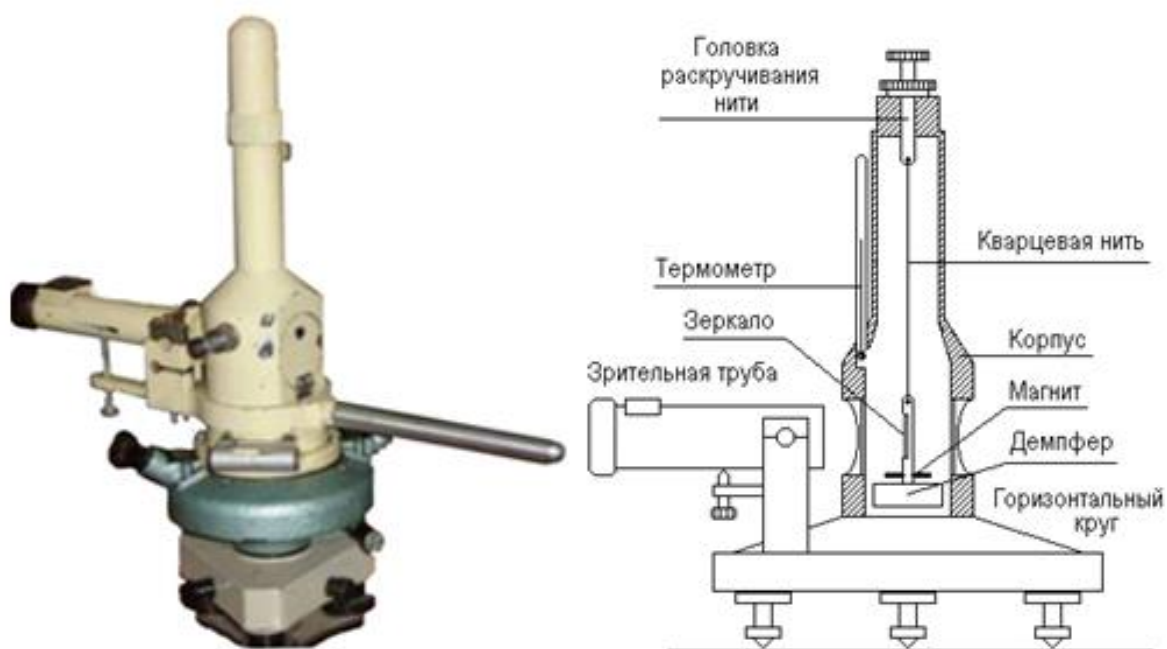


Рисунок Е.3 – Кварцевый  $H$ -магнитометр QHM

В широкой части корпуса есть два окошка. К одному из них подведена зрительная труба. Второе окошко может закрываться крышкой (на рисунке показана в закрытом состоянии). В этой же части прибора смонтировано арретирующее устройство. Корпус прибора укреплен на поворотной площадке теодолитного типа, что позволяет снимать отсчёты углов при различных поворотах прибора.

Магнит, подвешенный на раскрученной нити, занимает положение строго в плоскости магнитного меридиана [5]. Угол  $D$  между магнитным и астрономическим меридианами находится с помощью наблюдения миры по формуле (азимут  $A$  которой известен из астрономических наблюдений)

$$D = \theta_m - \theta_g = \theta_m - (\theta_M - A), \quad (\text{E.1})$$

где  $\theta_m$  – отсчёт горизонтального лимба положения на круге магнитного меридиана;

$\theta_g$  – положение на круге теодолита географического меридиана;

$\theta_M$  – отсчёт горизонтального лимба при наведении зрительной трубы на миру;

$A$  – азимут миры, определённый из астрономических наблюдений.

При повороте корпуса кварцевого магнитометра вокруг вертикальной оси от магнитного меридиана на несколько оборотов в одну, а потом в другую сторону магнит под действием горизонтальной составляющей геомагнитного поля и момента кручения нити займёт два положения равновесия, которые описываются формулами

$$\begin{aligned} M_m \cdot H \cdot \sin \theta_1 &= q \cdot (\psi + 2 \cdot \pi); \\ M_m \cdot H \cdot \sin(-\theta_2) &= q \cdot (\psi - 2 \cdot \pi), \end{aligned} \quad (\text{E.2})$$

где  $M_m$  – магнитный момент магнита;

$H$  – горизонтальная составляющая геомагнитного поля;

$q$  – коэффициент кручения кварцевой нити;

$\psi$  – угол закрученности нити.

Решая совместно эти уравнения, можно найти значение  $H$  по формуле

$$H = (2 \cdot \pi \cdot q / M_m) / \sin[(\theta_1 + \theta_2) / 2] = G / \sin[(\theta_1 + \theta_2) / 2], \quad (\text{E.3})$$

где  $G$  – постоянная прибора.

На величину постоянной прибора влияет ряд факторов – температурный коэффициент  $\beta$ , а также индукционный коэффициент магнита  $k_m$ . С учётом этих факторов коэффициент преобразования магнитометра (постоянная прибора) определяется по формуле

$$G = G_0 \cdot [1 + \beta \cdot (t - t_0) - k_m \cdot H \cdot \cos \theta]. \quad (\text{E.4})$$

## Е.2.2 Скалярный магнитометр для измерения величины модуля геомагнитного поля

### Е.2.2.1 Протонный магнитометр свободной прецессии

Скалярные магнитометры, принцип работы которых основан на связи частоты свободной прецессии  $f$  протонов, вокруг силовых линий геомагнитного поля и величины модуля вектора этого поля  $B$ , называют протонными магнитометрами свободной прецессии [12]. Протонные магнитометры предназначены для измерения модуля полного вектора напряжённости геомагнитного поля.

Протон обладает моментом количества движения (спином)  $P$  и магнитным моментом  $M$ . Аналогично магнитной стрелке компаса он стремится установиться своей магнитной осью в направлении геомагнитного поля, но поскольку он совершает вращательное движение вокруг оси (обладает спином), возникает прецессия, т.е. магнитная ось совершает наклонные колебательные движения (свойство гироскопа) – описывает конические поверхности вокруг направления вектора внешнего магнитного поля, как показано на рисунке Е.4. Частота свободной прецессии  $f$ , Гц, определяется соотношением Лармора

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} B, \quad (\text{Е.5})$$

где  $\gamma = M/P$  – гиромагнитное отношение протона, т.е. отношение магнитного момента  $M$  к его механическому моменту вращения  $P$ .

Гиромагнитное отношение ядер одного изотопа является константой, не зависящей от таких внешних факторов, как температура, давление, влажность, поэтому частота прецессии зависит только от индукции внешнего магнитного поля. Таким образом, измеряя частоту прецессии атомных ядер, можно определить индукцию магнитного поля. Чувствительность протонного магнитометра данного типа составляет от 0,1 до 1,0 нТл.

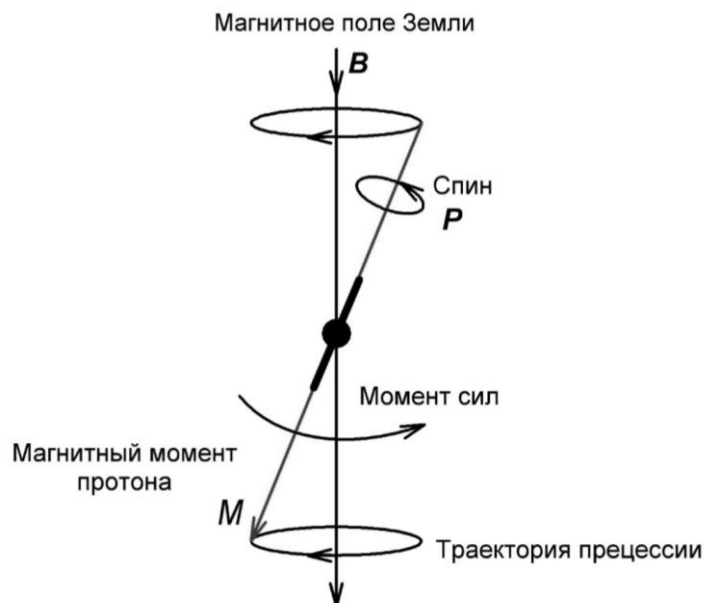


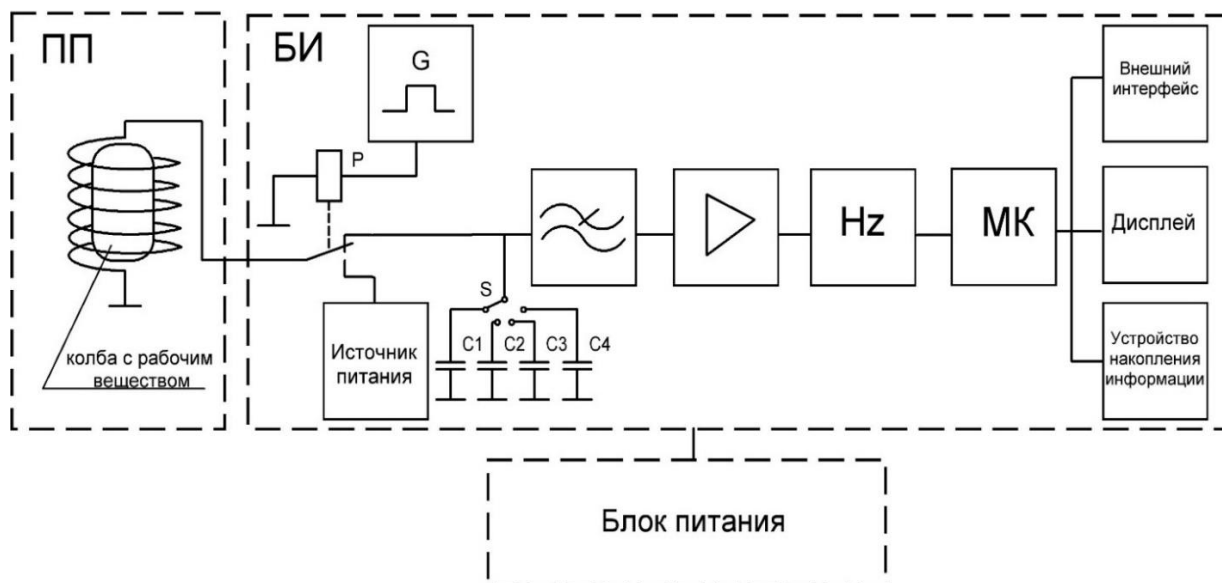
Рисунок Е.4 – Прецессия протона в магнитном поле

Если поместить образец с протонами – рабочим веществом – в катушку индуктивности, то в последней должна возникнуть электродвижущая сила с частотой, равной частоте прецессии протонов. Однако измерение прецессии одного протона практически невозможно. Кроме того, магнитные моменты протонов ориентированы антипараллельно, поэтому в обычном состоянии вследствие тепловых соударений частиц магнитные моменты отдельных протонов ориентированы хаотично, и их суммарный магнитный момент близок к нулю. Поэтому используются специальные способы поляризации рабочего вещества, т.е. ориентировки магнитных моментов протонов.

В простейшем варианте протонный магнитометр состоит из трёх основных блоков: первичного преобразователя – датчика, блока измерения и блока питания. На рисунке Е.5 приведена структурная схема протонного магнитометра.

Первичный преобразователь представляет собой колбу с рабочим веществом, помещённую в многovitковую катушку. В качестве рабочего вещества чаще всего используется керосин, спирт или вода.

Перед началом измерений датчик располагают так, чтобы магнитное поле поляризации было перпендикулярно к измеряемому. В этом случае сигнал в датчике будет наиболее сильный. Рабочее вещество датчика протонного магнитометра поляризуется создаваемым постоянным магнитным полем. Данный метод поляризации ядер называется статическим. При очень больших градиентах магнитного поля измерения невозможны, так как в датчике исчезнет эффект прецессии.



ПП – первичный преобразователь; БИ – блок измерения;

МК – микроконтроллер

Рисунок Е.5 – Структурная схема протонного магнитометра свободной прецессии

Каждый цикл измерения состоит из двух тактов.

Первый такт – поляризация – генератор в блоке измерения формирует прямоугольный импульс, продолжительностью от 1 до 2 с, который подаётся на обмотку реле Р. Реле подключает катушку первичного преобразователя к источнику питания. По катушке протекает постоянный ток и формирует магнитное поле поляризации. Постоянное магнитное поле поляризации воздействует на рабочее вещество первичного преобразователя так, что оси вращения протонов разворачиваются преимущественно перпендикулярно вектору индукции геомагнитного поля.

Второй такт – измерение – при снятии управляющего импульса с обмотки реле Р, контакты реле возвращаются в нормально замкнутое положение, и катушка первичного преобразователя подключается к схеме измерения частоты прецессии. При выключении поляризации начинается свободная прецессия протонов вокруг вектора геомагнитного поля. Прецессия многих протонов будет происходить в течение первых секунд примерно в одной фазе. При этом в катушке первичного преобразователя наводится электродвижущая сила сигнала в форме затухающей синусоиды, частота которой пропорциональна индукции геомагнитного поля. Перед началом измерения при помощи переключателя S параллельно катушке первичного преобразователя включается один из конденсаторов С1–С4. Таким образом образуется колебательный контур, который настраивается в резонанс

с генерируемым сигналом. Происходит усиление сигнала пропорционально добротности колебательного контура. С выхода колебательного контура сигнал поступает на фильтр нижних частот, усилитель и далее на вход частотомера. Полученное измеренное значение частоты считывается микроконтроллером и пересчитывается по формуле (Е.5) в значение напряжённости поля, которое выводится на дисплее блока измерения, записывается в устройство накопления информации и поступает на выход схемы внешнего интерфейса. Длительность процесса измерения зависит от типа рабочего вещества и составляет от 2 до 4 с.

При помощи схемы внешнего интерфейса протонный магнитометр свободной прецессии может сопрягаться с другими устройствами, например, с персональным компьютером или внешними средствами передачи и накопления информации. В качестве самых распространённых выходных интерфейсов используются RS-232, RS-485 или USB.

Устройство накопления представляет собой интегрированный или сменный flash-накопитель информации.

Протонный магнитометр характеризуется рядом преимуществ:

- измерения являются абсолютными, так как измеряется частота, которая прямо пропорциональна величине модуля геомагнитного поля;
- гиромагнитное отношение для протонов известно с высокой точностью, что обеспечивает возможность измерения геомагнитного поля с малой погрешностью;
- гиромагнитное отношение является физической константой, её величина не изменяется с изменением внешних условий (температуры, давления или влажности).

Основные недостатки:

- дискретность измерений. В приборах, используемых в настоящее время, измерения выполняются циклами. Перед каждым измерением протонсодержащее вещество поляризуется. В результате измерения не могут быть непрерывными во времени. Одно измерение может быть выполнено за некоторый промежуток времени продолжительностью до нескольких секунд;
- для измерения элементов вектора **H** необходимо использовать специальные дополнительные приспособления.

Наиболее распространённые протонные магнитометры свободной прецессии, используемые на СП магнитных наблюдений: ППМА-3, ММП-203 и GIL-PPM.

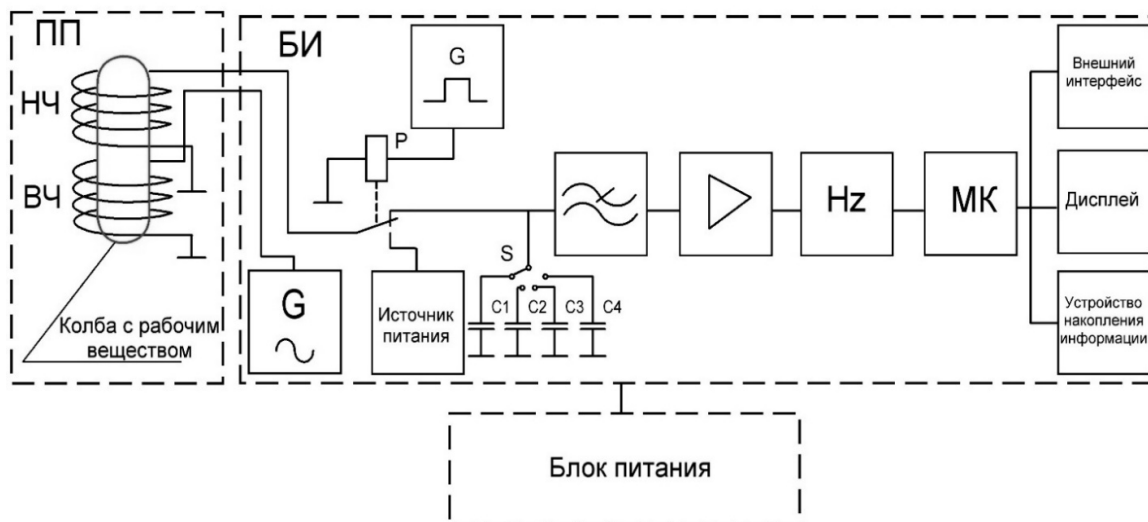
### Е.2.2.2 Протонный магнитометр на эффекте Оверхаузера

Скалярные магнитометры, принцип работы которых основан на эффекте Оверхаузера, в которых поляризация рабочего вещества в первичном преобразователе осуществляется методом динамической поляризации ядер, называют протонными магнитометрами на эффекте Оверхаузера или оверхаузеровскими магнитометрами. В некоторых веществах с сильным взаимодействием ядерных спинов с электронными можно создать дополнительную поляризацию одной спиновой системы, за счёт поляризации другой – эффект Оверхаузера [12]. В первичном преобразователе магнитометров данного типа поляризация ядерных спинов происходит за счёт поляризации спинов электронов. Рабочее вещество возбуждается на частоте электронного резонанса с помощью высокочастотного поля, а передача энергии протонам происходит за счёт внутренних взаимодействий. Существует класс веществ, для которых может быть реализовано указанное явление. К ним принадлежат растворы натрия в аммиаке, растворы в органических жидкостях ряда свободных устойчивых радикалов гидразинового ряда, а также водные и бензолные растворы свободного радикала дисульфатапироксиламина и некоторых других радикалов. Перечисленные растворы дают возможность наблюдать динамическую поляризацию в слабых магнитных полях.

Метод динамической поляризации позволяет сократить продолжительность цикла измерения за счёт уменьшения времени поляризации.

Однако применение комбинированного метода поляризации (статического и динамического) позволяет ещё больше сократить время поляризации и увеличить амплитуду сигнала, генерируемого за счёт прецессии вектора суммарного магнитного момента протонов.

Структурная схема протонного магнитометра на эффекте Оверхаузера, представлена на рисунке Е.6. Первичный преобразователь содержит ампулу с рабочим веществом, установленную в высокочастотную катушку. Также поверх колбы намотана низкочастотная катушка. Во время поляризации в низкочастотную катушку подаётся небольшой постоянный ток подмагничивания, а в высокочастотную катушку – высокочастотные колебания (несколько десятков мегагерц). После выключения поляризации в низкочастотной катушке возникает электродвижущая сила сигнала в виде затухающей синусоиды.



ПП – первичный преобразователь; БИ – блок измерения;

МК – микроконтроллер

Рисунок Е.6 – Структурная схема протонного магнитометра на эффекте Оверхаузера

Как и в протонном магнитометре со статической поляризацией ядер, каждый цикл измерения состоит из двух тактов.

Первый такт – поляризация – генератор в блоке измерения формирует прямоугольный импульс продолжительностью до 1 с, который подаётся на обмотку реле. Реле подключает низкочастотную катушку первичного преобразователя к источнику питания блока измерения. По катушке протекает постоянный ток и формирует подмагничивающее поле. В это время на высокочастотную катушку поступают высокочастотные колебания. Таким образом на рабочее вещество первичного преобразователя воздействует постоянное и высокочастотное магнитные поля так, что оси вращения протонов разворачиваются преимущественно перпендикулярно вектору индукции геомагнитного поля.

Второй такт – измерение – происходит аналогично протонному магнитометру, основанному на статической поляризации ядер. Во время измерения напряжение поляризации в высокочастотный контур не подаётся.

Наиболее широкое применение на СП магнитных наблюдений нашли протонные магнитометры на эффекте Оверхаузера: GSM-19, GSM-90 (GEM Systems, Канада), ММП-203М2, МИНИМАГ-М (АО «Геологоразведка», Санкт-Петербург), POS-1 (НИЛ квантовой магнитометрии, УРФУ, Екатеринбург), которые имеют более высокую чувствительность – от 0,05 до 0,10 нТл, чем протонные магнитометры, основанные на статической поляризации ядер, и более короткую длительность периода измерения – от 1 до 3 с.



### Е.2.2.3 Квантовый магнитометр

Скалярные магнитометры, принцип работы которых основан на квантовых явлениях, называют квантовыми магнитометрами. В квантовых магнитометрах в качестве рабочего вещества используются инертные газы (гелий, аргон, криптон) или пары щелочных металлов (натрий, калий, рубидий, цезий и другие). В этих веществах в присутствии слабых магнитных полей имеет место расщепление одного из уровней энергии электрона на три подуровня. Следствием этого является расщепление на три подуровня и спектральных линий света, излучаемого рабочим веществом. Именно это явление и называется эффектом Зеемана. Переход электрона с одного подуровня энергии на другой сопровождается поглощением и, соответственно, последующим излучением электромагнитной волны определённой энергии, а, следовательно, и определённой длины волны. Зависимость частоты волны  $\nu$  от величины модуля магнитного поля определяется формулой

$$\nu = (M_e/h) \cdot B, \quad (\text{E.6})$$

где  $M_e$  – магнетон Бора (магнитный момент электрона);

$h$  – постоянная Планка (коэффициент пропорциональности между квантом энергии и циклической частотой его излучения);

$B$  – модуль вектора индукции геомагнитного поля.

Как и для протонных магнитометров, определив частоту излучения возбуждённого электрона при его переходе с более высокого энергетического подуровня на соседний, более низкий, можно определить величину внешнего магнитного поля. В этом методе измеряется частота, а  $M_e$  и  $h$  – мировые константы. Поэтому метод является абсолютным.

Порог чувствительности отечественных квантовых магнитометров, основанных на принципе оптической накачки, составляет от 1,0 до 0,01 нТл в зависимости от цикла измерений. Их показания менее устойчивы, чем у протонных магнитометров, однако они имеют лучшую частотную характеристику, могут работать и в слабо-, и в сильноградиентных полях.

Широкое распространение получили квантовые магнитометры с оптической накачкой компании GEM Systems, например GSMP-35, Geometrics, модель G-862RBS.

### **Е.2.3 Векторный магнитометр для измерения вариаций составляющих вектора геомагнитного поля**

Векторные магнитометры, предназначенные для непрерывной автоматической регистрации вариаций геомагнитного поля, называются магнитовариационными станциями (МВС). Вариации геомагнитного поля являются одним из индикаторов состояния космической погоды, лежат в широком временном диапазоне и для своего изучения требуют непрерывной записи по трём линейно независимым параметрам, которыми являются проекции определяемого вектора по направлениям базисов выбранного трёхмерного пространства.

Для компонентных измерений геомагнитного поля используются в основном два типа МВС: оптико-механические и феррозондовые.

В оптико-механических МВС чувствительный магнит с зеркальцем на кварцевых растяжках находится в близком к нулевому значению поля соответствующей составляющей благодаря компенсирующим магнитам кварцевой рамки. Точная компенсация геомагнитного поля осуществляется при установке датчика в точке измерений дополнительным магнитом на шине его корпуса. Наиболее широкое применение нашли МВС «Кварц-3» и «Кварц-4» разработки ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова» (ИЗМИРАН) [12].

Цифровые МВС, созданные на базе трёхкомпонентных кварцевых датчиков В.Н. Боброва с применением фотопреобразователей угла отклонения чувствительного магнита, имеют диапазон измерений вариаций геомагнитного поля от 1 000 до 6 000 нТл.

Высокая стабильность МВС этого типа обусловлена наличием почти 100 % обратной связи, так как выходным параметром является ток в катушке обратной связи. При этом измерительный магнит постоянно находится в положении равновесия.

МВС может длительно работать в автономном режиме на редко обслуживаемых пунктах наблюдений, а также в условиях изменения температуры окружающей среды в пределах  $\pm 40$  °С. Общий вид МВС показан на рисунке Е.7.



Рисунок Е.7 – Общий вид цифровой магнитовариационной автоматической станции

На рисунке видно три цилиндрических «домика», в которых размещены кварцевые датчики трёх составляющих геомагнитного поля: красный –  $H$ -составляющая, голубой –  $D$ -составляющая, зелёный –  $Z$ -составляющая. Сбоку каждого датчика – система измерения вариации по соответствующей составляющей геомагнитного поля, справа – система управления и регистрации. МВС такого типа измеряют только вариации составляющих геомагнитного поля, начиная от определённого при установке станции уровня. Значение этого уровня (базисные значения) по каждой из составляющих должно быть определено при проведении абсолютных измерений.

В настоящее время на магнитных обсерваториях наибольшее распространение получили феррозондовые трёхкомпонентные МВС, общий вид которой приведён на рисунке Е.8.



Рисунок Е.8 – Трёхкомпонентная феррозондовая МВС LEMI-025

Феррозондовые МВС широко применяются для регистрации постоянных и низкочастотных магнитных полей. Частотный диапазон измеряемых магнитных полей составляет от 0 до 1000 Гц. Феррозондовые МВС являются разновидностью индукционных магнитометров, в датчике которых используется сердечник из материала с высокой магнитной проницаемостью.

В конструкции феррозондового датчика имеется обмотка возбуждения ( $W_{\text{в}}$ ), измерительная обмотка ( $W_{\text{и}}$ ) и ферромагнитный сердечник [5]. В некоторых датчиках феррозондовых магнитометров устанавливается обмотка обратной связи для постоянного поддержания нулевого поля в объёме сердечника. В качестве ферромагнетика, как правило, используется пермаллой (сплав железа и никеля). Пермалловые сердечники обладают высокой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, поэтому способны быстро намагничиваться от слабых магнитных полей. Степень намагничивания сердечника зависит от положения относительно магнитного меридиана.

Зависимость намагниченности сердечника от положения относительно магнитного меридиана Земли позволяет проводить компонентную съёмку геомагнитного поля. Для измерения полного вектора геомагнитного поля применяются трёхкомпонентные феррозондовые магнитометры, в которых датчики измерения напряжённости магнитного поля расположены в трёх взаимно ортогональных плоскостях.

По конструктивному исполнению датчики могут быть стержневые одноэлементные, дифференциальные с разомкнутым сердечником или дифференциальные с замкнутым сердечником (показаны на рисунке Е.9).

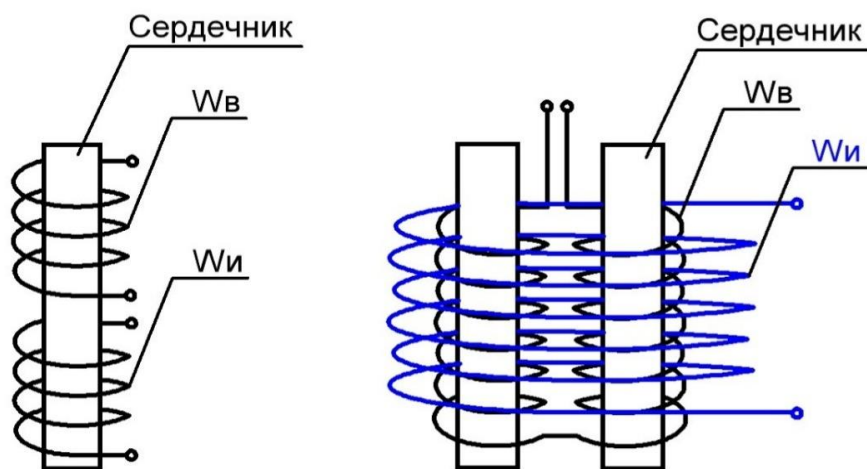


Рисунок Е.9 – Одноэлементный и дифференциальный датчики феррозондового магнитометра

Феррозондовые датчики относятся к активным индукционным преобразователям, так как появление полезного сигнала в измерительной обмотке связано по крайней мере с взаимодействием двух полей – измеряемого поля и переменного поля, генерируемого от внутреннего источника в обмотке возбуждения.

Наибольшее распространение получили дифференциальные датчики с разомкнутым сердечником, поскольку применение таких датчиков упрощает схемотехнику блока измерения.

В упрощённом виде дифференциальный датчик состоит из двух сердечников с высокой магнитной проницаемостью, на каждый из которых намотана обмотка возбуждения  $Wв$  (показан на рисунке Е.9). Обмотки соединяются встречно-параллельно. Сердечники с обмотками возбуждения располагаются параллельно друг к другу. Поверх двух сердечников наматывается сигнальная обмотка  $Wи$ .

К обмоткам возбуждения подводится переменное напряжение  $U_{ВОЗ}$  генератора возбуждения, которое создаёт превышающие в несколько раз магнитные поля насыщения сердечника  $H_1$  и  $H_2$ . Поскольку катушки намотаны в противоположных направлениях, то и магнитные потоки  $H_1$  и  $H_2$  имеют противоположные направления, как показано на рисунке Е.10.

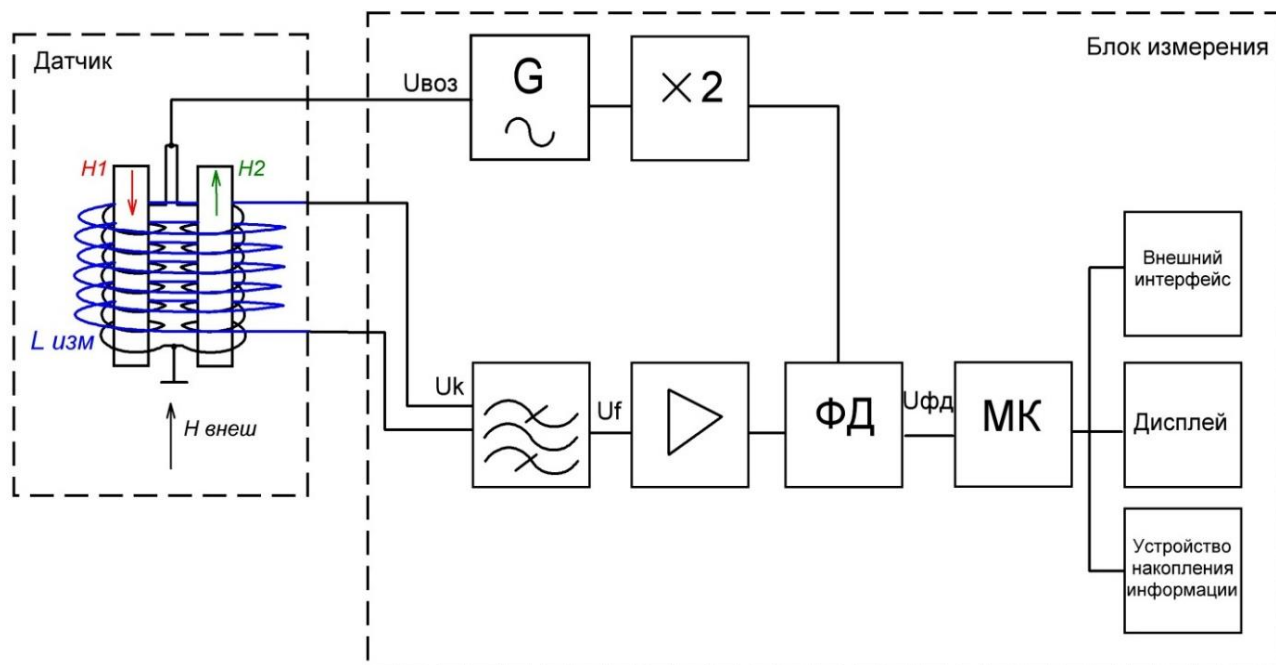


Рисунок Е.10 – Структурная схема феррозондового магнитометра

При отсутствии внешнего измеряемого магнитного поля  $H_{внеш} = 0$  результирующий магнитный поток  $\Phi_S = \Phi_1 + \Phi_2$ , связанный с измерительной обмоткой, будет равен нулю и на её выходе никакого сигнала не будет, как показано на рисунке Е.11.

Магнитным потоком  $\Phi$  называется скалярная величина, численно равная произведению модуля напряжённости магнитного поля на площадь поверхности  $S$ , ограниченную контуром, и на косинус угла между нормалью к поверхности и вектора напряжённости магнитного поля, выражается формулой

$$\Phi = T \cdot S \cdot \cos\alpha, \quad (E.7)$$

где  $T$  – модуль вектора напряжённости магнитного поля;

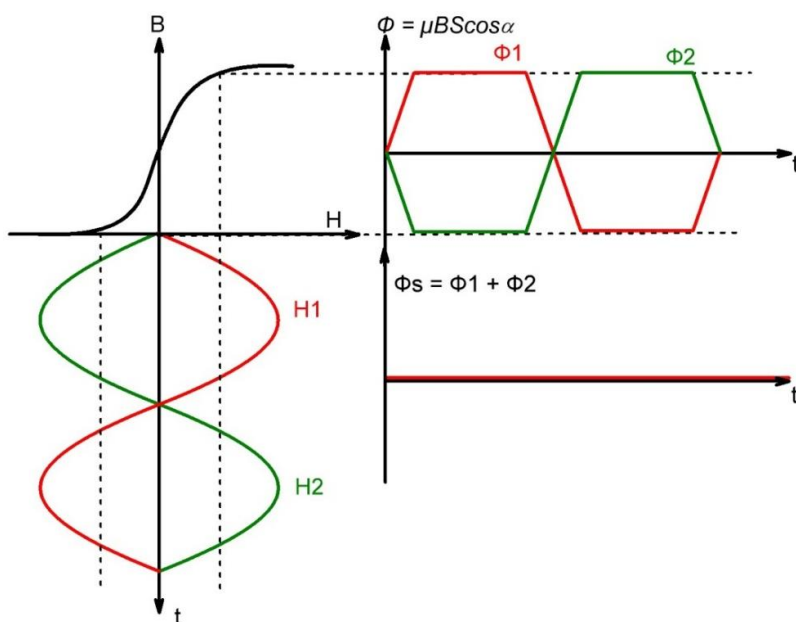
$\alpha$  – угол между  $\mathbf{H}$  и нормалью к поверхности  $S$ .

Выражая магнитный поток  $\Phi$  через индукцию магнитного поля  $\mathbf{B}$ , получим формулу

$$\Phi = \mu \cdot B \cdot S \cdot \cos\alpha, \quad (E.8)$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость сердечника.

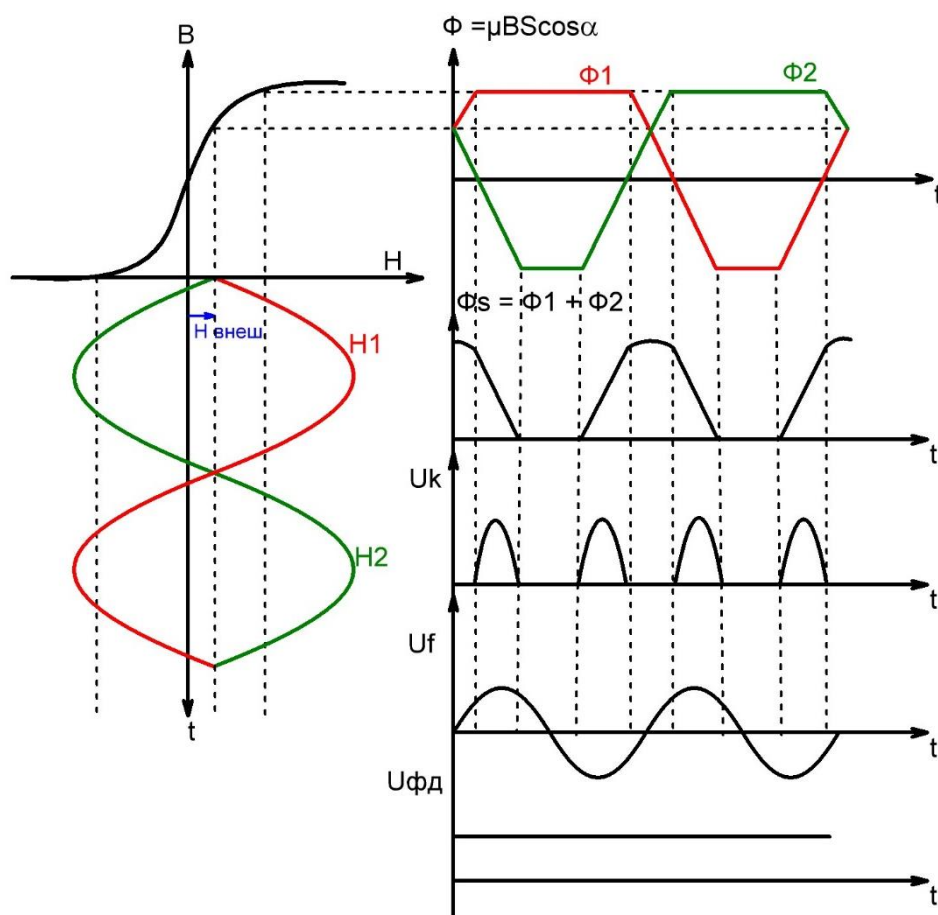
В левом верхнем углу рисунка Е.11 изображена функция  $\mathbf{B} = f(\mathbf{H})$  – магнитный гистерезис – зависимость магнитной индукции (намагниченности) магнитного материала от напряжённости внешнего магнитного поля при его квазистатическом изменении. Как правило, функция магнитного гистерезиса имеет форму петли, но у таких материалов как пермаллой, петля настолько узка, что её, для простоты понимания происходящих процессов, можно представить в виде кривой.



Внешнее (измеряемое) магнитное поле отсутствует  $H_{внеш} = 0$

Рисунок Е.11 – Принцип работы феррозондового датчика

Если напряжённость  $H_{внеш}$  измеряемого поля не равна нулю, то магнитный поток  $\Phi_{внеш}$  этого поля в одном стержне будет складываться с потоком подмагничивания, а в другом вычитаться из него. Это приведёт к тому, что оба сердечника будут переходить в режим насыщения не одновременно, как это было при  $H_{внеш} = 0$ . В результате суммарный магнитный поток  $\Phi_s$ , сцепленный с измерительной обмоткой, будет изменяться так, как это показано на рисунке Е.12. Изменение потока приведёт к появлению на выходной измерительной обмотке напряжения  $U_k$ , пропорционального степени асимметрии потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , а, следовательно, и напряжённости измеряемого поля. В связи с тем, что за один период напряжения подмагничивания стержни будут переходить в насыщенное состояние два раза, частота импульсов  $U_k$  будет в два раза выше частоты напряжения генератора возбуждения. Полярность индуцируемого напряжения меняется при смене знака внешнего поля.



Внешнее (измеряемое) магнитное поле отлично от нуля  $H_{внеш} \neq 0$

Рисунок Е.12 – Принцип работы феррозондового датчика

В результате последующей фильтрации напряжение  $U_k$  преобразуется к гармоническому виду  $U_f$ .

Напряжение с выхода полосового фильтра, настроенного на частоту второй гармоники генератора возбуждения  $U_f$ , усиливается и подаётся на вход фазового детектора. Опорное напряжение с удвоенной частотой формируется из напряжения возбуждения. Величина и знак выходного постоянного напряжения фазового детектора ( $U_{fd}$ ) будут пропорциональны величине и направлению измеряемой составляющей геомагнитного поля. Напряжение  $U_{fd}$  оцифровывается и пересчитывается в величину измеряемого поля микроконтроллером. Полученное значение выводится на дисплей, а также записывается на устройство накопления информации, и передаётся на другие устройства через плату внешнего интерфейса.

Для повышения разрешающей способности и точности измерений геомагнитного поля в феррозондовых МВС применяется система компенсации. Внешнее поле компенсируется специальной обмоткой с известной постоянной. Зная ток компенсации, можно рассчитать полное значение составляющих геомагнитного поля.

На СП магнитных наблюдений государственной наблюдательной сети установлены феррозондовые МВС LEMI-018, LEMI-022, LEMI-025 и DTU Space FGE, которые предназначены для высокоточных измерений значений как самих трёх составляющих геомагнитного поля, так и их вариаций. Приборы соответствуют действующему стандарту, принятому в международной сети INTERMAGNET [2].

Векторные магнитометры, в зависимости от ориентации на географический либо магнитный север, регистрируют составляющие  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  либо  $H$ ,  $D$ ,  $Z$  соответственно. В электронном блоке магнитометра сигнал, регистрируемый датчиками, преобразуется в цифровой вид и далее передаётся к системе сбора данных. Типичный векторный феррозондовый магнитометр имеет разрешение до 0,1 нТл. Блок датчиков представляет собой три перпендикулярно расположенных датчика, зафиксированных в одной системе для регистрации трёх составляющих геомагнитного поля, кроме того, он имеет термометры и регистрирует температуру с той же дискретизацией, что и геомагнитные вариации. Основное требование к векторному магнитометру – стабильность базисной линии, отклонения от неё должны быть не более 5 нТл в год.

Техническое обслуживание МВС заключается в том, чтобы исключить непреднамеренные недопустимые изменения параметров окружающей среды (температуры, параметров магнитного поля павильона) и положения на постаменте её платформы с датчиками.



Техническое обслуживание МВС включает:

- проверку состояния источников питания МВС и их замену в случае необходимости;
- проверку горизонтальности платформы с датчиками по уровням;
- коррекцию ориентации платформы МВС, ориентированной в системе *HDZ*, для

обеспечения минимального среднего значения составляющей по оси *y*, которая может увеличиться в связи с вековым ходом склонения. Вопрос о необходимости такой коррекции решается головным НИУ. Для МВС, ориентированных в системе *XYZ*, такая коррекция не требуется.

#### **Е.2.4 Система автоматической регистрации, сбора и хранения магнитных данных**

Е.2.4.1 Система регистрации и накопления информации должна подключаться к МВС и записывать ежесекундные значения составляющих геомагнитного поля на флэш-карту ММС. В систему должен быть встроен блок контроля точного времени (GPS) для автоматической синхронизации времени (на сети наиболее часто используется «MicroLOG»).

Е.2.4.2 В систему передачи данных в каналы связи должна поступать информация от системы регистрации и накопления информации и передаваться в основное здание, где расположено рабочее место наблюдателя (на сети наиболее часто используется модуль «Digimager» и миникомпьютер «UC-7101»).

Е.2.4.3 Рабочее место наблюдателя включает в себя компьютер или ноутбук с подключением к системе передачи данных для контроля работоспособности оборудования и передачи данных в региональные информационно-аналитические центры мониторинга геофизической обстановки.

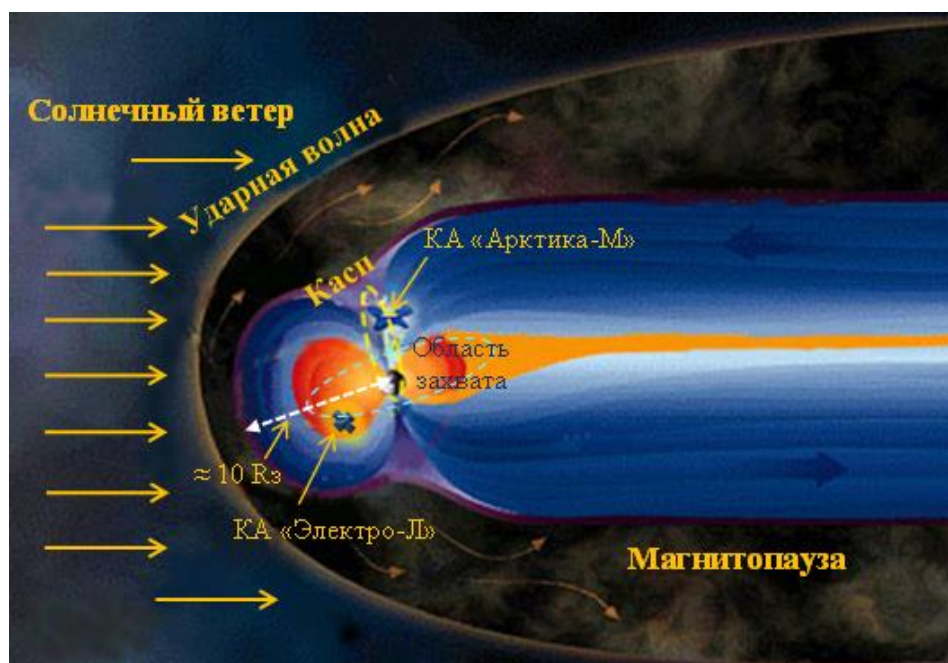
Е.2.4.4 Система бесперебойного энергообеспечения должна обеспечивать непрерывную работу магнитометрического оборудования в случае экстренного отключения электричества. Данная система должна не создавать помех и магнитного загрязнения.

### Е.3 Оборудование перспективной космической наблюдательной системы магнитной наблюдательной сети магнитной наблюдательной сети

#### Е.3.1 Феррозондовый магнитометр для космических аппаратов

Феррозондовый магнитометр для космических аппаратов предназначен для проведения оперативного глобального и непрерывного мониторинга пространственного и временного распределения геомагнитного поля в околоземном космическом пространстве, схема приведена на рисунке Е.13.

Феррозондовый магнитометр для космических аппаратов должен входить в состав гелиогеофизического аппаратурного комплекса и устанавливаться на космические аппараты гидрометеорологического назначения серий «Электро», «Метеор», «Арктика», «Ионосфера» и др.

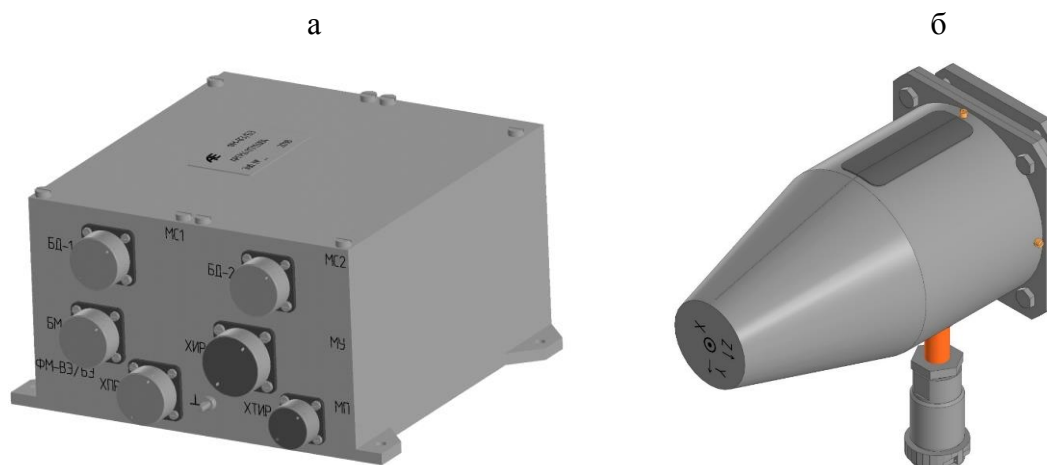


Расстояние от Земли до подсолнечной точки магнитосферы в невозмущённые периоды составляет примерно 10 радиусов Земли ( $R_z$ ).

Во время сильного возмущения геомагнитного поля это расстояние уменьшается до 3 (очень редко до 2) радиусов Земли.

Рисунок Е.13 – Схема внешнего геомагнитного поля и космических аппаратов с установленным феррозондовым магнитометром

Феррозондовый магнитометр для космических аппаратов должен обеспечивать в непрерывном режиме измерение трёх взаимно-перпендикулярных составляющих вектора магнитной индукции Земли в диапазоне не менее  $\pm 65\,000$  нТл. Внешний вид представлен на рисунке Е.14.



а – блок электроники; б – блок датчиков

Рисунок Е.14 – Внешний вид феррозондового магнитометра (ФМ-ВЭ)  
для космических аппаратов

Аппаратура ФМ-ВЭ представляет собой измерительный преобразователь магнитной индукции в электрический сигнал – цифровой двоичный код.

Аппаратура ФМ-ВЭ относится к трёхкомпонентным феррозондовым приборам, координатная система которых является прямоугольной, правой и задаётся взаимным расположением трёх однокомпонентных первичных преобразователей, жёстко установленных на основании блока датчиков.

## Приложение Ж

(обязательное)

### **Инструкция по измерению абсолютных значений составляющих геомагнитного поля нуль-методом**

В практике абсолютных наблюдений на обсерватории используется метод отклонений и нуль-метод. Нуль-метод состоит в измерениях при восьми положениях теодолита, перпендикулярных магнитному вектору. Однако в данном случае регистрируются не показания феррозондового магнитометра при установке теодолита в эти положения, а углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, при которых ось феррозонда строго перпендикулярна плоскости магнитного меридиана (при этом индикатор магнитометра показывает 0 нТл – отсюда название метода).

При наблюдениях нуль-методом, как и при наблюдениях методом отклонений, выполняется несколько серий измерений.

#### **Ж.1 Подготовка к работе**

Пошаговая инструкция измерений абсолютных значений составляющих геомагнитного поля нуль-методом приведена на примере феррозондового магнитометра LEMI-204.

Ж.1.1 Убедиться в отсутствии сильных магнитных возмущений и плохих погодных условий, не позволяющих увидеть миру.

Ж.1.2 Убедиться перед началом работы в отсутствии у наблюдателя магнитных предметов (включая очки, застёжки, гвозди на обуви, часы и другие предметы).

Ж.1.3 Включить феррозондовый деклинометр/инклинометр LEMI-204.

Ж.1.4 Проверить правильность установки теодолита в горизонтальной плоскости по уровню. В случае ухода пузырька уровня с центрального положения – выставить прибор в горизонтальную плоскость установочными винтами прибора.

Ж.1.5 Проверить, затянут ли закрепительный винт на подставке теодолита.

Ж.1.6 Отпустить закрепительные винты (стопперы) наводящих винтов горизонтального и вертикального кругов.

**П р и м е ч а н и е** – Стопперы – закрепительные винты (рычаги) наводящих винтов горизонтального и вертикального кругов теодолита.

## **Ж.2 Измерение угла направления на миру**

Ж.2.1 Установить горизонтальную шкалу.

Ж.2.2 Установить зрительную трубу в положение А (обычно при этом феррозонд над трубой, но это не важно, может быть и под ней).

Ж.2.3 Отрегулировать по глазам чёткость линий сетки объектива.

Ж.2.4 Отрегулировать по глазам чёткость штрихов и цифр шкал (т.е. вид шкал в визире).

Примечание – Визир – окуляр микроскопа шкал теодолита.

Ж.2.5 Навести зрительную трубу на миру приблизительно (при отпущенных стопперах).

Ж.2.6 Закрепить стоппера, вывести точно наводящими винтами горизонтального и вертикального круга вертикальный штрих сетки нитей объектива на миру.

Ж.2.7 Поворачивая зеркало подсветки шкал, добиться их достаточного освещения.

Ж.2.8 В визире, поворачивая рукоятку микрометра (большой винт регулировки), совместить пары параллельных вертикальных рисок.

Ж.2.9 Записать время измерения в бланк, снять отсчёт угла А1, записав в бланк.

Ж.2.10 Отпустить оба стоппера.

Ж.2.11 Перевести зрительную трубу через зенит в положение В (феррозонд под трубой), развернуть теодолит на  $180^\circ$  в горизонтальной плоскости в сторону мира.

Ж.2.12 Повторить действия пунктов Ж.2.5–Ж.2.9 в этом положении зрительной трубы.

## **Ж.3 Измерение угла склонения**

Ж.3.1 Установить вертикальную шкалу.

Ж.3.2 Отпустить оба стоппера.

Ж.3.3 Перевести зрительную трубу через зенит в положение А.

Ж.3.4 Установить зрительную трубу в приблизительно горизонтальное положение, в визире по шкале вертикального круга установить  $90^\circ 00' 00''$  или  $270^\circ 00' 00''$ . Для этого:

- установить градусы,
- затем при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – установить на правой вертикальной шкале 0-0,
- закрепить стоппер вертикального круга,
- наводящим винтом вертикального круга совместить пары параллельных вертикальных рисок. При этом зрительная труба займёт точно горизонтальное положение.

Ж.3.5 Установить горизонтальную шкалу.

Ж.3.6 Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости горизонта, повернуть теодолит вокруг вертикальной оси так, чтобы зрительная труба была приблизительно направлена на метку А2, которая есть в павильоне, и, аккуратно доворачивая теодолит вручную, добиться околонулевого значения на экране прибора. При этом зрительная труба будет примерно перпендикулярна горизонтальной составляющей геомагнитного поля.

Ж.3.7 Закрепить стоппер горизонтального круга.

Ж.3.8 Наводящим винтом горизонтального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, в визире (горизонтальная шкала) совместить пары параллельных вертикальных рисок при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – снять отсчёт угла А2, записать в бланк.

Ж.3.9 Отпустить стоппер горизонтального круга.

Ж.3.10 Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости горизонта, повернуть теодолит вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  так, чтобы зрительная труба была приблизительно направлена на точку А3 в павильоне, и, аккуратно доворачивая теодолит вручную, добиться околонулевого значения на экране прибора. При этом зрительная труба опять займёт положение примерно перпендикулярное горизонтальной составляющей геомагнитного поля.

Ж.3.11 Закрепить стоппер горизонтального круга.

Ж.3.12 Наводящим винтом горизонтального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, в визире (горизонтальная шкала) совместить пары параллельных вертикальных рисок при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – снять отсчёт угла А3, записать в бланк.

Ж.3.13 Установить вертикальную шкалу.

Ж.3.14 Отпустить стоппер вертикального круга.

Ж.3.15 Перевести зрительную трубу через зенит в положение В (феррозонд под трубой).

Ж.3.16 Установить зрительную трубу в приблизительно горизонтальное положение, в визире по шкале вертикального круга установить  $270^\circ 00' 00''$  или  $90^\circ 00' 00''$  Для этого:

- установить градусы,
- затем при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – установить на правой вертикальной шкале 0-0,
- закрепить стоппер вертикального круга,

- наводящим винтом вертикального круга совместить пары параллельных вертикальных рисок, при этом зрительная труба займёт точно горизонтальное положение и будет направлена приблизительно на точку В2.

**Примечание** – Если при этом на экране прибора значения будут большими (почти сто и более нТл), надо:

- отпустить стоппер горизонтального круга;
- не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости горизонта, аккуратно доворачивая теодолит вручную вокруг вертикальной оси, добиться околонулевого значения на экране прибора;
- закрепить стоппер горизонтального круга.

Если значения на экране прибора невелики (первые десятки нТл), то этого делать не надо.

**Ж.3.17** Установить горизонтальную шкалу.

**Ж.3.18** Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости горизонта (стоппер горизонтального круга зажат), наводящим винтом горизонтального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, в визире (горизонтальная шкала) совместить пары параллельных вертикальных рисок при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – снять отсчёт угла В2, записать в бланк.

**Ж.3.19** Отпустить стоппер горизонтального круга.

**Ж.3.20** Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости горизонта, повернуть теодолит вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  так, чтобы зрительная труба была приблизительно направлена на точку В3 в павильоне, и, аккуратно доворачивая теодолит вручную, добиться околонулевого значения на экране прибора. При этом зрительная труба опять займёт положение примерно перпендикулярное горизонтальной составляющей геомагнитного поля.

**Ж.3.21** Закрепить стоппер горизонтального круга.

**Ж.3.22** Наводящим винтом горизонтального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, в визире (горизонтальная шкала) совместить пары параллельных вертикальных рисок при помощи рукоятки микрометра (большого винта регулировки) снять отсчёт угла В3, записать в бланк.

**Ж.3.23** Перевести записанные углы А2, А3, В2, В3 в десятичную систему (до десятитысячных долей градуса – четыре знака после запятой), сложить, разделить на 4, перевести обратно в градусы, записать в бланк абсолютных наблюдений D1, записать D2 (отличается от D1 ровно на  $180^\circ$ ). Можно использовать специальную таблицу в Excel «Расчёт углов D1 и D2 в цикле абсолютных измерений».

#### **Ж.4 Измерение угла наклона**

Ж.4.1 Отпустить стоппер горизонтального круга в визире (горизонтальная шкала).

Ж.4.2 Установить зрительную трубу в плоскость магнитного меридиана. Эта вертикальная плоскость проходит через отсчёты горизонтального круга. Поэтому на шкале горизонтального круга надо выставить значение D1. Для этого:

- установить градусы и десятки минут угла D1, рассчитанного в Ж.3.23;
- затем при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – установить на правой вертикальной шкале единицы минут и секунды угла D1, рассчитанного в Ж.3.23;
- закрепить стоппер горизонтального круга;
- наводящим винтом горизонтального круга совместить пары параллельных вертикальных рисок, при этом зрительная труба займёт положение в плоскости магнитного меридиана.

Ж.4.3 Установить вертикальную шкалу.

Ж.4.4 Отпустить стоппер вертикального круга.

Ж.4.5 Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости магнитного меридиана, повернуть зрительную трубу вокруг горизонтальной оси так, чтобы она была приблизительно направлена на метку В4, которая есть в павильоне, и аккуратно, доворачивая зрительную трубу вручную, добиться околонулевого значения на экране прибора. При этом зрительная труба будет приблизительно перпендикулярна полному вектору геомагнитного поля.

Ж.4.6 Зажать стоппер вертикального круга.

Ж.4.7 Наводящим винтом вертикального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, взять отсчёт по протонному магнитометру.

Ж.4.8 В визире (вертикальная шкала) при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – совместить пары параллельных вертикальных рисок и снять отсчёт угла В4, записать в бланк.

Ж.4.9 Отпустить стоппер вертикального круга.

Ж.4.10 Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости магнитного меридиана, повернуть зрительную трубу вокруг горизонтальной оси так, чтобы она была приблизительно направлена на метку А5, которая есть в павильоне, и аккуратно, доворачивая зрительную трубу вручную, добиться околонулевого значения на экране



прибора. При этом зрительная труба опять будет приблизительно перпендикулярна полному вектору геомагнитного поля.

Ж.4.11 Зажать стоппер вертикального круга.

Ж.4.12 Наводящим винтом вертикального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, взять отсчёт по протонному магнитометру.

Ж.4.13 В визире (вертикальная шкала) при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – совместить пары параллельных вертикальных рисок и снять отсчёт угла A5, записать в бланк.

Ж.4.14 Отпустить стоппер горизонтального круга.

Ж.4.15 Установить горизонтальную шкалу.

Ж.4.16 Установить повторно зрительную трубу в плоскость магнитного меридиана, на шкале горизонтального круга надо выставить значение D2. Для этого:

- установить градусы и десятки минут угла D2, рассчитанного в Ж.3.23;
- затем при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – установить на правой вертикальной шкале единицы минут и секунды угла D2, рассчитанного в Ж.3.23;
- закрепить стоппер горизонтального круга;
- наводящим винтом горизонтального круга совместить пары параллельных вертикальных рисок. При этом зрительная труба займёт положение в плоскости магнитного меридиана.

Ж.4.17 Установить вертикальную шкалу.

Ж.4.18 Отпустить стоппер вертикального круга.

Ж.4.19 Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости магнитного меридиана, повернуть зрительную трубу вокруг горизонтальной оси так, чтобы она была приблизительно направлена на метку A4, которая есть в павильоне, и, аккуратно доворачивая зрительную трубу вручную, добиться околонулевого значения на экране прибора. При этом зрительная труба будет приблизительно перпендикулярна полному вектору геомагнитного поля.

Ж.4.20 Зажать стоппер вертикального круга.

Ж.4.21 Наводящим винтом вертикального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, взять отсчёт по протонному магнитометру.

Ж.4.22 В визире (вертикальная шкала) при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – совместить пары параллельных вертикальных рисок и снять отсчёт угла A4, записать в бланк.

Ж.4.23 Отпустить стоппер вертикального круга.

Ж.4.24 Не изменяя положения зрительной трубы относительно плоскости магнитного меридиана, повернуть зрительную трубу вокруг горизонтальной оси так, чтобы она была приблизительно направлена на метку В5, которая есть в павильоне, и, аккуратно доворачивая зрительную трубу вручную, добиться околонулевого значения на экране прибора. При этом зрительная труба опять будет приблизительно перпендикулярна полному вектору геомагнитного поля.

Ж.4.25 Зажать стоппер вертикального круга.

Ж.4.26 Наводящим винтом вертикального круга добиться на дисплее прибора нулевого значения, записать время в бланк, взять отсчёт по протонному магнитометру.

Ж.4.27 В визире (вертикальная шкала) при помощи рукоятки микрометра – большого винта регулировки – совместить пары параллельных вертикальных рисок и снять отсчёт угла В5, записать в бланк.

#### **Ж.5 Измерение угла направления на миру повторное**

Провести повторное измерение миры по Ж.2.1 – Ж.2.12.

#### **Ж.6 Расчёт базисных значений**

Ж.6.1 Для расчёта базисных значений из таблицы Ж.1, записанной вручную, в таблицу Ж.2 (Excel) переносятся значения времени измерений для каждой из позиций теодолита и измеренные значения углов.

Ж.6.2 В соответствующие ячейки вносятся значения полного вектора геомагнитного поля и величины составляющих геомагнитного поля, измеренные вариационной станцией.

Ж.6.3 В таблице появляются результаты расчётов в цифровом и графическом виде.

#### **Взятие отсчёта угла на теодолите ЗТ2КП**

На рисунке Ж.1 показано поле зрения отсчётного микроскопа теодолита ЗТ2КП-М, который используется в деклинометрах/инклинометрах типа LEM1-204 на СП магнитных наблюдений сети Росгидромета.

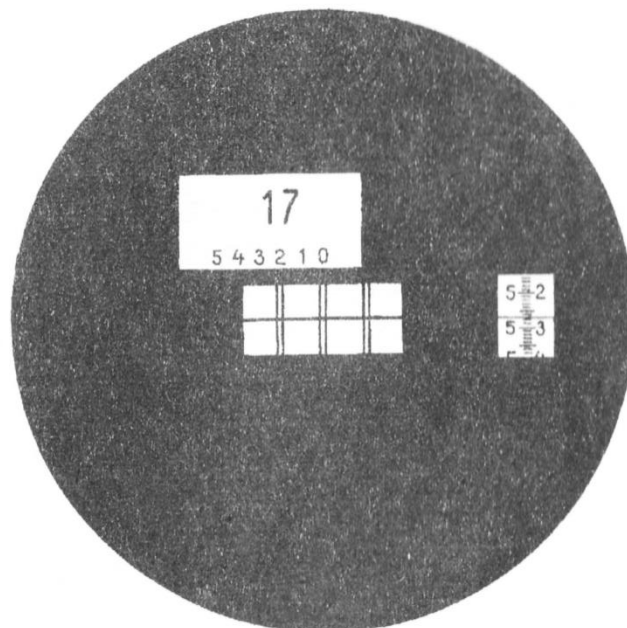


Рисунок Ж.1 – Отсчётная шкала теодолита (отсчёт  $17^{\circ} 25' 27''$ )

В верхнем белом окне крупным шрифтом показано количество градусов – 17. Ниже этого числа нанесены шесть цифр от 0 до 5 включительно (они обозначают количество десятков минут). В окне ниже приведены два изображения штрихов лимба, разделённые горизонтальной линией (участки лимба с нанесёнными штрихами, находящимися на его диаметрально противоположных сторонах).

В окне справа видна шкала с делениями. Цифры левого ряда обозначают единицы минут, цифры правого ряда – десятки секунд, а штрихи между цифрами – единицы секунд.

Т а б л и ц а Ж . 1 – Бланк измерения абсолютных значений составляющих геомагнитного поля нуль-методом

TE = \_\_\_\_\_  
TF = \_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_

Тип измерения	Наводка	Время, UT			Полный вектор F, нТ	Угол			Углы магн. меридиана			Значения составляющих МПЗ по данным цифрового канала LEM1 - 022					
		ч	мин	с		градус	мин	с	E	H	Z						
Мира	A1				-----												
	B1				-----											$\Delta T =$ с	
Склонение	A2				-----												
	A3				-----												
	B2				-----												
Наклонение	B3				-----												
	B4				-----												
	A5				-----												
Мира	A4				-----												
	B5				-----												
Мира	B1				-----												
	A1				-----												

$\Delta T$  – Поправка часов вариометра LEM1-022       $T_{\text{ислинное}} = T_{\text{вариометра}} + \Delta T$

Т а б л и ц а Ж . 2 – Обработка абсолютных наблюдений, расчета базисов и базисных значений LEM1-018

01.01.2019	Время измерений, UT	Deg	min	sec	F пТ, микросек	E пТ, цифровый канал	H пТ, цифровый канал	Z пТ, цифровый канал	E пТ, файл ehz	H пТ, файл ehz	Z пТ, файл ehz	E пТ, среднее файл ehz														
AZ mir	<u>153.16844</u>	<u>153</u>	<u>10</u>	<u>6.4</u>	—	—	—	—	—	—	—	—														
Мира А1	18:57:00	120	33	27	ΔF пТ:	—	—	—	—	—	—	—														
Мира В1	18:58:00	300	33	42	-2.03	—	—	—	—	—	—	—														
A2	19:01:46	292	54	6	—	-427,36	13076,40	—	-114	—	—	—														
A3	19:03:44	112	37	8	—	-430,68	13077,44	—	-118	—	—	—														
B3	19:05:20	112	31	17	—	-433,06	13078,41	—	-119	—	—	—														
B2	19:07:13	292	45	11	—	-432,84	13078,69	—	-118	—	—	—														
A4	19:12:38	103	20	34	59286,59	-431,79	13080,09	-57587,99	—	-67	177	—														
B5	19:14:55	283	20	12	59287,72	-432,93	13078,63	-57589,38	—	-69	176	—														
B4	19:17:29	256	43	22	59286,69	-431,41	13075,84	-57588,96	—	-71	176	—														
A5	19:19:20	76	43	32	59285,93	-430,75	13074,89	-57588,38	—	-72	177	—														
Мира А1	19:21:00	120	33	41	—	—	—	—	—	—	—	—														
Мира В1	19:22:00	300	33	50	—	—	—	—	—	—	—	—														
Средние значения ординат	19:10:18	120,5611			59286,73	-431,72	13077,36	-57588,68	-117	-70	177															
Расчёт данных абсолютных приборов	Des, град, абсолют	-124,4910	H пТ, абсолют	13681,47	H пТ, абсолют	13681,47	Z пТ, абсолют	-57684,28	T пТ, абсолют, Исправл.	59284,56	80 град, пересчет из E пТ цифр.	-1,8719	Отсчет вертикальных углов, град	103,3428	Отчет горизонтальных углов, град	292,9017	Inc, абсолют, среднее	Deg	103,3428	Inc, абсолют, среднее	min	41	sec	32	T пТ, вариометр	59036,84
	-124,7738	13675,58	13675,58	-57686,84	59285,69	-1,8862	112,6189	-76,6633	59285,69	-1,8862	112,6189	-76,6633	283,3367	59037,88												
	-124,8713	13615,48	13615,48	-57700,00	59284,66	-1,8965	112,5214	-76,7228	59284,66	-1,8965	112,5214	256,7228	59036,84													
	-124,6396	13612,51	13612,51	-57699,92	59283,90	-1,8955	292,7531	-76,7256	59283,90	-1,8955	292,7531	76,7256	59036,06													
	-124,6939	13646,26	13646,26	-57692,76	59284,70	-1,8875	202,41:55	-76,6922	59284,70	-1,8875	202,41:55	-124	38	59036,06												
Средние значения	Базисные значения аналогового канала ст. ИЗМИРАН												ТАБЛИЦА													
	БАЗИСЫ цифрового канала LEM1 - 018												обработки абсолютных наблюдений, расчёта БАЗИСОВ и Базисных значений цифрового канала LEM1 - 018 и аналогового канала MicroLOG													
	D, град			H, пТ			Z, пТ			T, пТ			D, град			H, пТ			V, пТ							
	-122,6191			598,09			-116,29			247,72			-124,01			13748,47			-57861,28							
	-122,8875			591,05			-117,46			247,81			-124,28			13744,58			-57862,84							
-122,9748			529,91			-131,04			247,82			-124,37			13686,48			-57876,00								
-122,7441			526,66			-131,54			247,84			-124,14			13684,51			-57876,92								
-122,8064			561,43			-124,08			247,80			-124,20			13716,01			-57869,26								

## Приложение И

(обязательное)

### Инструкция по проведению абсолютных измерений офсетным методом

Метод отклонений для проведения абсолютных измерений заключается в измерении смещений оси феррозондового датчика относительно магнитного меридиана при восьми положениях теодолита, перпендикулярных магнитному вектору. При измерении склонения  $D$  выбираются такие положения, при которых ось датчика перпендикулярна горизонтальной составляющей  $H$  (при поиске таких положений прибор вращается вокруг вертикальной оси):

- 1) датчик сверху, теодолит направлен на восток;
- 2) датчик снизу, теодолит направлен на запад;
- 3) датчик снизу, теодолит направлен на восток;
- 4) датчик сверху, теодолит направлен на запад.

При измерении наклона  $I$  выбираются такие положения, при которых ось датчика перпендикулярна полному вектору  $F$  (при поиске таких положений зрительная труба прибора вращается вокруг своей горизонтальной оси):

- 5) датчик сверху, теодолит направлен на север;
- 6) датчик снизу, теодолит направлен на юг;
- 7) датчик снизу, теодолит направлен на север;
- 8) датчик сверху, теодолит направлен на юг.

При каждом из положений регистрируются значения с датчика магнитометра  $M(i)$ . Они представляют собой значения проекции вектора на ось датчика магнитометра. Эти значения, как правило, малы, поскольку датчик во всех положениях почти перпендикулярен вектору.

В практике метода отклонений, как правило, выполняется две серии измерений.

#### И.1 Приведение прибора в рабочее положение

И.1.1 Открепить зажимы зрительной трубы и алидады в положение «к себе» и повернуть зрительную трубу таким образом, чтобы она не загоразживала ампулу цилиндрического уровня.

И.1.2 Вращая алидаду теодолита вокруг его вертикальной оси, добиться такого положения, при котором ось цилиндрического уровня будет выставлена параллельно линии,

проходящей через два любых подъёмных винта (рисунок И.1а). Если прибор ранее был горизонтирован, то пузырёк цилиндрического уровня должен находиться в центре ампулы. Если пузырёк не находится в центре ампулы, то вращать оба подъёмных винта в противоположных направлениях (один по часовой стрелке, другой – против, либо наоборот) и привести пузырёк в центр.

И.1.3 Повернуть алидаду на  $90^\circ$ , при этом ось цилиндрического уровня будет направлена в сторону третьего подъёмного винта (рисунок И.1б). Если пузырёк уровня не находится в центре ампулы, то, вращая третий подъёмный винт, привести пузырёк уровня в центр.

И.1.4 Развернуть алидаду на  $180^\circ$  (рисунок И.1в), при этом ось уровня будет направлена в сторону третьего подъёмного винта и перпендикулярна линии между первыми двумя. Пузырёк уровня должен остаться в центре ампулы. Допустимое смещение – 2 деления ампулы уровня. После выполнения горизонтирования прибор готов к использованию.

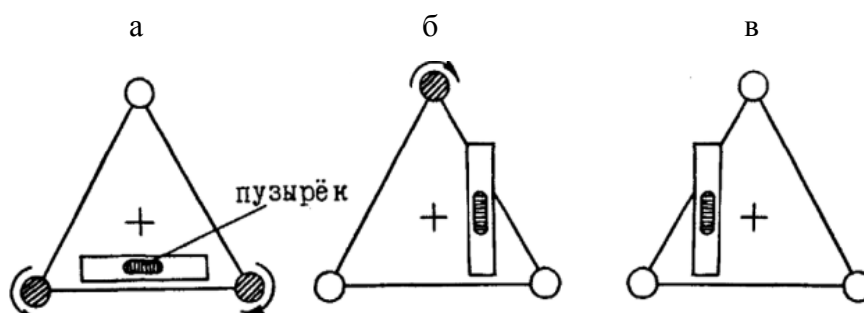


Рисунок И.1 – Схема выполнения горизонтирования теодолита по цилиндрическому уровню при алидаде

И.1.5 Программа наблюдения включает два последовательных измерения. Приступить к выполнению Измерения 1. При этом заполнять графы бланка (3)–(27), приведённой в таблице И.1.

## И.2 Измерение направлений на миру

### И.2.1 Наблюдение мира, датчик вверх

И.2.1.1 Установить окуляр зрительной трубы по вашему глазу. Навести зрительную трубу на светлый равномерно окрашенный предмет или на открытый участок неба. Посмотреть в окуляр. Вращая диоптрийное кольцо, добиться резкого изображения нитей сетки (рисунок И.2). Диапазон компенсации дефектов зрения наблюдателя

составляет  $\pm 5$  диоптрий, таким образом, если используются очки с меньшей оптической силой, то производить наблюдения можно без очков. Если наблюдатель не меняется, после настройки окуляра в будущем его можно уже не перенастраивать.

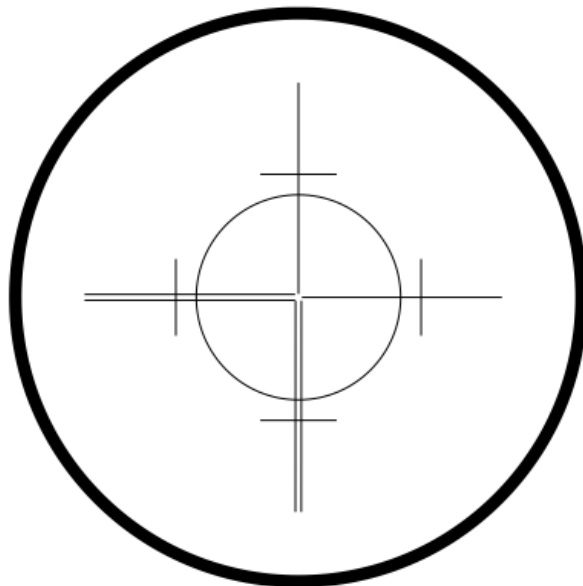


Рисунок И.2 – Сетка нитей зрительной трубы теодолита Theo 010

И.2.1.2 Развернуть теодолит в направлении мира в положении зрительной трубы датчиком вверх.

И.2.1.3 Выполнить предварительное грубое наведение зрительной трубы на мир. Поймать её в поле зрения зрительной трубы. При необходимости можно воспользоваться прицелом. Для этого одним глазом посмотреть сквозь прицел с расстояния от 10 до 15 см. Увидеть белое перекрестие. Аккуратно вращая алидаду и зрительную трубу, приблизительно навести перекрестие прицела на мир.

И.2.1.4 Посмотреть в окуляр зрительной трубы. Изображение мира должно быть в поле зрения зрительной трубы (при необходимости повторить грубое наведение согласно предыдущему пункту). Если изображение мира нечёткое, его следует сфокусировать. Добиться наиболее резкого и чёткого изображения. Если мира меняться не будет, то в дальнейшем перефокусировка не потребуется.

И.2.1.5 Правой рукой закрепить зажимы зрительной трубы и алидады в положение «от себя». Выполнить точное наведение на мир. Для этого, попеременно вращая наводящий винт зрительной трубы и алидады, навести перекрестие сетки нитей на мир. Добиться того, чтобы вертикальная нить сетки совпадала с осью мира. Для более точного наведения можно воспользоваться вертикальным биссектором и поместить ось мира между его нитями.



И.2.1.6 Рукоятку переключения изображения кругов вращением против часовой стрелки до характерного щелчка перевести меткой вниз в положение «горизонтальный круг» («Н»).

И.2.1.7 Посмотреть в окуляр отсчётного микроскопа. Настроить максимальную яркость изображения, вращая зеркало подсветки. Для получения резкого изображения подписей делений и штрихов угломерных кругов и шкалы микрометра необходимо установить окуляр микроскопа по вашему глазу, вращая его фокусирующее кольцо. Если подсветка зеркалом и фокусировка настроены правильно, то изображение подписей, штрихов и шкалы микрометра будет резким, а фон ярко и равномерно освещённым.

**ВАЖНО!** При отсчитывании по горизонтальному кругу фон окошек в поле зрения микроскопа окрашен в голубовато-зелёный цвет. Жёлто-оранжевый цвет фона – признак отсчитывания по вертикальному кругу.

И.2.1.8 Плавно вращая рукоятку микрометра, совместить штрихи в нижнем окошке. Взять отсчёт по горизонтальному кругу (M1) и занести его в бланк в графу (3).

## **И.2.2 Наблюдение миры, датчик вниз**

И.2.2.1 Правой рукой открепить зажимы зрительной трубы и алидады в положение «к себе». Теперь зрительная труба и алидада теодолита свободно вращаются вокруг своих осей. Перевести зрительную трубу через зенит, иными словами, – повернуть её вокруг своей оси на  $180^\circ$  датчиком вниз так, чтобы в сторону оператора был направлен объектив зрительной трубы. Зрительную трубу разворачивать всегда так, чтобы кабель датчика не мешал наблюдениям.

И.2.2.2 Развернуть алидаду теодолита на  $180^\circ$  в направлении миры.

И.2.2.3 Выполнить предварительное грубое наведение зрительной трубы на миру.

И.2.2.4 Когда изображение миры появится в поле зрения, левой рукой закрепить зажимы зрительной трубы и алидады в положение «к себе». Попеременно вращая наводящий винт зрительной трубы и алидады, навести перекрестие сетки нитей на миру. Добиться того, чтобы вертикальная нить сетки совпадала с осью миры.

И.2.2.5 Посмотреть в микроскоп. При необходимости подстроить яркость изображения зеркалом подсветки. Плавно вращая рукоятку микрометра, совместить штрихи в нижнем окошке. Взять отсчёт по горизонтальному кругу (M2) и занести его в бланк в графу (4). Наблюдение миры завершено.

### **И.3 Измерение склонения $D$**

И.3.1 Убедиться в том, что кабель датчика подключён к блоку электроники. Проверить подключение кабеля питания, включить магнитометр. При желании можно включить или отключить звуковой сигнал, переключив тумблер.

И.3.2 Проверить работоспособность немагнитных часов для определения времени измерений. Заранее выставить их по Всемирному координированному времени (UT) с точностью до секунды. Поставить часы так, чтобы было удобно одновременно наблюдать и сами часы, и табло блока электроники. Желательно их обоих удалить от прибора на максимально возможное расстояние.

#### **И.3.3 Определение PDD, датчик вверх, на восток**

И.3.3.1левой рукой открепить зажимы зрительной трубы и алидады в положение «от себя». Перевести зрительную трубу через зенит в положение датчиком вверх таким образом, чтобы ось датчика стала примерно горизонтальна.

И.3.3.2 Развернуть алидаду теодолита таким образом, чтобы ось датчика была направлена примерно на восток. Теперь основные органы управления теодолитом расположены справа.

И.3.3.3 Рукоятку переключения изображения кругов вращением против часовой стрелки до щелчка перевести меткой вверх в положение «вертикальный круг» («V»).

И.3.3.4 Правой рукой закрепить зажим алидады в положение «от себя». Алидада стала неподвижна, зрительная труба свободно вращается вокруг своей оси.

И.3.3.5 Необходимо выставить отсчёт по вертикальному кругу, равный 90 (100,0 gon).

И.3.3.6 Перевести датчик в положение, перпендикулярное горизонтальной составляющей геомагнитного поля (PDD). Правой рукой открепить зажим алидады в положение «к себе». Начать вращать алидаду до положения, при котором показания на цифровом табло блока электроники попадут в рабочий диапазон  $\pm 200$  нТл и на нём появятся цифры. Попытаться грубо найти положение, наиболее близкое к 0,0 нТл. Допустимо остановиться на значении от  $\pm 20$  до  $\pm 30$  нТл.

И.3.3.7 Закрепить зажим алидады в положение «от себя». Теперь оба зажима закреплены.

И.3.3.8 Приступить к точному выставлению PDD. Чтобы минимизировать воздействие на датчик, отойти от прибора на расстояние вытянутой руки и плавно вращать наводящий винт алидады. Вращая наводящий винт, контролировать показания на электронном табло. Добиться такого положения, при котором показания будут максимально близкими к 0,0 нТл. Допустимая погрешность  $\pm 1,0$  нТл.

И.3.3.9 Проконтролировать горизонтальность оси датчика. Посмотреть в микроскоп (желательно заранее настроить яркость зеркалом и как можно меньше касаться теодолита, чтобы не сбить текущие установки). Если по какой-либо причине штрихи в нижнем окошке разошлись, то наводящим винтом зрительной трубы совместить их снова.

И.3.3.10 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты (т.е. 0 секунд), запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R1. Записать его в графу (5) бланка с обязательным указанием знака: «+» или «-». В графу (6) записать момент времени, часы и минуты, в который был произведён отсчёт R1.

И.3.3.11 Необходимо взять отсчёт PDD по горизонтальному кругу (начальная позиция измерения склонения). Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вниз в положение «HZ».

И.3.3.12 Посмотреть в микроскоп. Плавно вращая рукоятку микрометра, совместить штрихи в нижнем окошке. Взять отсчёт по горизонтальному кругу и занести его в бланк в графу (7). Это значение PDD. Также занести значение PDD в соответствующую графу в разделе «Вспомогательные вычисления».

#### **И.3.4 Датчик вниз, на запад**

И.3.4.1 Правой рукой открепить зажим зрительной трубы в положение «к себе». Перевести зрительную трубу через зенит, провернув её вокруг своей оси на  $180^\circ$  датчиком вниз.

И.3.4.2 Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вверх в положение «V».

И.3.4.3 Необходимо выставить отсчёт по вертикальному кругу, равный  $270^\circ$  ( $300,0$  gon).

И.3.4.4 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R2. Записать его в графу (8) бланка с обязательным указанием знака. В графу (9) записать момент времени, в который был произведён отсчёт R2.

#### **И.3.5 Датчик вниз, на восток**

И.3.5.1 Открепить зажим алидады. Не трогая зрительную трубу, аккуратно развернуть алидаду теодолита на  $180^\circ$  (что соответствует  $200,0$  gon), чтобы ось датчика была направлена примерно на восток.

И.3.5.2 Выставить отсчёт по горизонтальному кругу, равный  $PDD - 180^\circ$  ( $200,0$  gon). Рассчитать это значение и занести его в графу (10) бланка.

И.3.5.3 Проконтролировать горизонтальность оси датчика. Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вверх в положение «V».

И.3.5.4 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R3. Записать его в графу (11) бланка с обязательным указанием знака. В графу (12) записать момент времени, в который был произведён отсчёт R3.

### **И.3.6 Датчик вверх, на запад**

И.3.6.1 Открепить зажим зрительной трубы. Не трогая алидаду и несущие колонки теодолита, перевести зрительную трубу через зенит, провернув её вокруг своей оси на  $180^\circ$  датчиком вверх в направлении на запад.

И.3.6.2 Выставить отсчёт по вертикальному кругу, равный  $90^\circ$  (100,0 gon).

И.3.6.3 Правой рукой закрепить зажим зрительной трубы в положение «от себя». Теперь оба зажима закреплены.

И.3.6.4 Отсчёт по горизонтальному кругу не менялся и должен быть равен  $PDD - 180^\circ$  (200,0 gon). Проверить это. Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вниз в положение «H».

И.3.6.5 Посмотреть в микроскоп. Плавно вращая рукоятку микрометра, выставить в окошке микрометра последние три цифры рассчитанного отсчёта  $PDD - 180^\circ$  (200,0 gon).

И.3.6.6 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R4. Записать его в графу (13) бланка с обязательным указанием знака. В графу (14) записать момент времени, в который был произведён отсчёт R4.

И.3.7 Измерение склонения завершено.

## **И.4 Измерение наклона I**

### **И.4.1 Определение PDI, датчик вверх, на север**

И.4.1.1 Определённое ранее значение PDD соответствует направлению, при котором ось датчика перпендикулярна горизонтальной составляющей геомагнитного поля. Для дальнейших измерений магнитного наклона необходимо, чтобы ось датчика находилась в одной вертикальной плоскости с полным вектором геомагнитного поля. Для этого необходимо сначала в горизонтальной плоскости совместить ось датчика с направлением горизонтальной составляющей геомагнитного поля, т.е. перевести её в положение  $PDD - 90^\circ$  (100,0 gon). Рассчитать значение  $PDD - 90^\circ$  (100,0 gon) и внести его в графу (15) бланка.

И.4.1.2 Открепить зажим алидады. Развернуть алидаду теодолита таким образом, чтобы ось датчика была направлена примерно на север.

И.4.1.3 Посмотреть в микроскоп. Плавно вращая рукоятку микрометра, выставить в окошке микрометра цифры рассчитанного отсчёта  $PDD-90^\circ$  (100,0 gon).

И.4.1.4 Правой рукой закрепить зажим алидады в положение «от себя».

И.4.1.5 Посмотреть в микроскоп. Убедиться, что выставленный отсчёт в точности равен рассчитанному значению  $PDD-90^\circ$  (100,0 gon). По горизонтальному кругу требуемый отсчёт выставлен.

И.4.1.6 Необходимо перевести датчик в положение, перпендикулярное полному вектору геомагнитного поля (PDI). Открепить зажим зрительной трубы. Не трогая алидаду и несущие колонки теодолита, медленно вращать зрительную трубу вокруг её горизонтальной оси до положения, при котором показания на цифровом табло блока электроники попадут в рабочий диапазон  $\pm 200$  нТл и на нём появятся цифры. Попытаться грубо найти положение, наиболее близкое к 0,0 нТл. Допустимо остановиться на значении от  $\pm 20$  до  $\pm 30$  нТл.

И.4.1.7 Правой рукой закрепить зажим зрительной трубы в положение «от себя». Теперь оба зажима закреплены.

И.4.1.8 Приступить к точному выставлению PDI. Чтобы минимизировать воздействие на датчик, отойти от прибора на расстояние вытянутой руки и плавно вращать наводящий винт зрительной трубы. Вращая наводящий винт, контролировать показания на электронном табло. Добиться такого положения, при котором показания будут максимально близкими к 0,0 нТл. Допустимая погрешность  $\pm 1,0$  нТл.

И.4.1.9 Отойти на расстояние вытянутой руки от магнитометра и посмотреть на показания на электронном табло. Если они отличаются от 0,0 более чем на  $\pm 1,0$  нТл, то снова откорректировать их, вращая наводящий винт зрительной трубы.

И.4.1.10 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R5. Записать его в графу (16) бланка с обязательным указанием знака. В графу (17) записать момент времени, в который был произведён отсчёт R5.

И.4.1.11 Взять отсчёт PDI по вертикальному кругу. Вернуться к прибору. Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вверх в положение «V». Посмотреть в микроскоп. Взять отсчёт по вертикальному кругу и занести его в графу (18) бланка. Это значение PDI. Также занести значение PDI в соответствующую графу в разделе «Вспомогательные вычисления».

#### **И.4.2 Датчик вниз, на юг**

И.4.2.1 Открепить зажим зрительной трубы. Не трогая алидаду и несущие колонки теодолита, перевести зрительную трубу через зенит, провернув её вокруг своей оси на  $180^\circ$  датчиком вниз в направлении на юг.

И.4.2.2 Выставить отсчёт по вертикальному кругу, равный  $PDI+180^\circ$  ( $200,0 \text{ gon}$ ). Рассчитать это значение и занести его в графу (19) бланка.

И.4.2.3 Посмотреть в микроскоп. Плавно вращая рукоятку микрометра, выставить в окошке микрометра цифры рассчитанного отсчёта  $PDI+180^\circ$  ( $200,0 \text{ gon}$ ).

И.4.2.4левой рукой закрепить зажим зрительной трубы в положение «к себе».

И.4.2.5 Посмотреть в микроскоп. Убедиться, что выставленный отсчёт в точности равен рассчитанному вами значению  $PDI+180^\circ$  ( $200,0 \text{ gon}$ ). По вертикальному кругу требуемый отсчёт выставлен.

И.4.2.6 Отсчёт по горизонтальному кругу не менялся и должен быть равен  $PDD-90^\circ$  ( $100,0 \text{ gon}$ ). Проверить это. Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вниз в положение «Н».

И.4.2.7 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт  $R_6$ . Записать его в графу (20) бланка с обязательным указанием знака. В графу (21) записать момент времени, в который вы сделали отсчёт  $R_6$ .

#### **И.4.3 Датчик вниз, на север**

И.4.3.1 Необходимо выставить отсчёт по горизонтальному кругу, равный  $PDD+90^\circ$  ( $100,0 \text{ gon}$ ). Рассчитать это значение и занести его в графу (22) бланка.

И.4.3.2 Открепить зажим алидады. Развернуть алидаду теодолита на  $180^\circ$ , чтобы ось датчика была направлена примерно на север.

И.4.3.3 Посмотреть в микроскоп. При необходимости подстроить яркость изображения зеркалом подсветки. Плавно вращая рукоятку микрометра, выставить в окошке микрометра цифры рассчитанного отсчёта  $PDD+90^\circ$  ( $100,0 \text{ gon}$ ). По горизонтальному кругу требуемый отсчёт выставлен.

И.4.3.4 Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вверх в положение «V».

И.4.3.5 Необходимо выставить отсчёт по вертикальному кругу, равный  $360^\circ$  ( $400,0 \text{ gon}$ ) –  $PDI$ . Рассчитать это значение и занести его в графу (23) бланка.

И.4.3.6 Открепить зажим зрительной трубы в положение «от себя».

И.4.3.7 Посмотреть в микроскоп. Плавно вращая рукоятку микрометра, выставить в окошке микрометра цифры рассчитанного отсчёта  $360^\circ$  ( $400,0 \text{ gon}$ ) – PDI.

И.4.3.8левой рукой закрепить зажим зрительной трубы в положение «к себе».

И.4.3.9 Посмотреть в микроскоп. Убедиться, что выставленный отсчёт в точности равен рассчитанному значению  $360^\circ$  ( $400,0 \text{ gon}$ ) – PDI. По вертикальному кругу требуемый отсчёт выставлен.

И.4.3.10 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R7. Запишите его в графу (24) бланка с обязательным указанием знака. В графу (25) записать момент времени, в который был произведён отсчёт R7.

#### **И.4.4 Датчик вверх, на юг**

И.4.4.1 Открепить зажим зрительной трубы. Не трогая алидаду и несущие колонки теодолита, перевести зрительную трубу через зенит, повернув её вокруг своей оси на  $180^\circ$  датчиком вниз в направлении на юг.

И.4.4.2 Выставить отсчёт по вертикальному кругу, равный  $180^\circ$  ( $200,0 \text{ gon}$ ) – PDI. Рассчитать это значение и занести его в графу (26) бланка.

И.4.4.3 Посмотреть в микроскоп. В окошке микрометра уже были выставлены цифры рассчитанного отсчёта  $180^\circ$  ( $200,0 \text{ gon}$ ) – PDI. Проверить это. При необходимости выставить правильный отсчёт, плавно вращая рукоятку микрометра.

И.4.4.4 Правой рукой закрепить зажим зрительной трубы в положение «от себя».

И.4.4.5 Отсчёт по горизонтальному кругу не менялся и должен быть равен  $PDD+90^\circ$  ( $100,0 \text{ gon}$ ). Проверить это. При необходимости выставить правильный отсчёт. Рукоятку переключения изображения кругов перевести меткой вниз в положение «Н».

И.4.4.6 Отойти от магнитометра и посмотреть на часы. В момент времени, соответствующий началу минуты, запомнить показания на табло блока электроники. Это отсчёт R8. Записать его в графу (27) бланка с обязательным указанием знака. В графу (28) записать момент времени, в который был произведён отсчёт R8.

И.4.5 Измерение 1 закончено.

## **И.5 Приступить к выполнению Измерения 2**

При этом заполнять графы бланка (29)–(56).

### **И.5.1 Измерение направлений на миру**

Выполнить наблюдения в соответствии с процедурой, описанной в И.2. Полученные отсчёты по горизонтальному кругу (M3 и M4) занести в графы (29) и (30) бланка соответственно.

### **И.5.2 Измерение склонения *D***

Выполнить наблюдения в соответствии с процедурой, описанной в И.3. Значения полученных офсетов (R1–R4), моменты наблюдений, значение PDD и результаты вспомогательных вычислений записать в графы (31)–(40).

### **И.5.3 Измерение наклонения *I***

Выполнить наблюдения в соответствии с процедурой, описанной в И.4. Значения полученных офсетов (R5–R8), моменты наблюдений, значение PDI и результаты вспомогательных вычислений записать в графы (41)–(54).

### **И.5.4 Измерение направлений на миру**

Выполнить наблюдения в соответствии с процедурой, описанной в И.2. Полученные отсчёты по горизонтальному кругу (M5 и M6) занести в графы (55) и (56) бланка соответственно.

### **И.5.5 Измерение 2 закончено.**

В сообществе магнитологов долгое время ведётся дискуссия о том, у какого метода абсолютных измерений больше преимуществ – у метода отклонений или же у нуль-метода. Ряд специалистов считают, что для измерений на высокоширотных обсерваториях метод отклонений подходит больше, чем нуль-метод, так как измерение отклонений вместо выставления нуль-позиций позволяет более оперативно произвести измерения. Тем не менее отмечено, что наблюдатели-магнитологи старшего поколения с многолетним стажем чаще предпочитают нуль-метод. Вероятно, это связано с тем, что точные цифровые измерители отклонений оси феррозонда от вектора геомагнитного поля и его горизонтальной проекции появились не так давно по сравнению с аналоговыми приборами, где наблюдалось отклонение стрелки вольтметра.



Т а б л и ц а И.1 – Бланк абсолютных измерений составляющих геомагнитного поля офсетным методом

Наблюдатель: Иванов И.И. (1)				Дата: 01.08.2019 (2)			
ИЗМЕРЕНИЕ СКЛОНЕНИЯ							
Измерение 1				Измерение 2			
M1 = 394,4737 (3)		Направление на миру, датчик вверх				M3 = 394,4744 (29)	
M2 = 194,4661 (4)		Направление на миру, датчик вниз				M4 = 194,4640 (30)	
PDD = 390,5440 (7)		Начальное положение для измерения склонения <i>D</i> . Отсчёт по горизонтальному кругу «Н»				PDD = 390,5333 (33)	
Время UT	Показания магнитометра	Положение датчика		Время UT	Показания магнитометра		
08:11 (6)	R1 = -0,9 (5)	Датчик ВВЕРХ, на ВОСТОК V = 100 H = $F_{min}$ = PDD		08:52 (32)	R1 = -0,9 (31)		
08:25 (9)	R2 = -13,3 (8)	Датчик ВНИЗ, на ЗАПАД V = 300 H = PDD		08:54 (35)	R2 = -7,2 (34)		
08:31 (12)	R3 = +53,5 (11)	Датчик ВНИЗ, на ВОСТОК V = 300 H = PDD - 200		08:55 (38)	R3 = +60,8 (37)		
08:34 (14)	R4 = -32,8 (13)	Датчик ВВЕРХ, на ЗАПАД V = 100 H = PDD - 200		08:57 (40)	R4 = -36,8 (39)		
ИЗМЕРЕНИЕ НАКЛОНЕНИЯ							
PDI = 78,8428 (18)		Начальное положение для измерения наклонения <i>I</i> . Отсчёт по вертикальному кругу «V»				PDI = 78,8422 (44)	
Время UT	Показания магнитометра	Положение датчика		Время UT	Показания магнитометра		
08:40 (17)	R5 = -1,6 (16)	Датчик ВВЕРХ, на СЕВЕР V = $F_{min}$ = PDI H = PDD - 100		09:00 (43)	R5 = +0,2 (42)		
08:43 (21)	R6 = +3,0 (20)	Датчик ВНИЗ, на ЮГ V = PDI + 200 H = PDD - 100		09:02 (47)	R6 = -4,2 (46)		
08:46 (25)	R7 = +43,2 (24)	Датчик ВНИЗ, на СЕВЕР V = 400 - PDI H = PDD + 100		09:04 (51)	R7 = +46,5 (50)		
08:48 (28)	R8 = -33,6 (27)	Датчик ВВЕРХ, на ЮГ V = 200 - PDI H = PDD + 100		09:05 (54)	R8 = -33,6 (53)		
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ							
Измерение 1				Измерение 2			
PDD	390,5440	PDI	078,8428	PDD	390,5333	PDI	078,8422
PDD - 100	290,5440 (15)	PDI + 200	278,8428 (19)	PDD - 100	290,5333 (41)	PDI + 200	278,8422 (45)
PDD + 100	090,5440 (22)	400 - PDI	321,1572 (23)	PDD + 100	090,5333 (48)	400 - PDI	321,1578 (49)
PDD - 200	190,5440 (10)	200 - PDI	121,1572 (26)	PDD - 200	190,5333 (36)	200 - PDI	121,1578 (52)
Направление на миру, датчик ВВЕРХ				M5 = 394,4703 (55)			
Направление на миру, датчик ВНИЗ				M6 = 194,4660 (56)			

## Приложение К

(обязательное)

## Расчёт абсолютных и базисных значений

К.1 К началу каждого месяца готовится таблица Excel, содержащая 8 листов, подготовленных к расчёту абсолютных и базисных значений (таблица К.1).

К.2 После проведения очередной серии измерений, данные которых внесены в «Бланк измерений», в этот бланк из файлов МВС и квантового магнитометра (если он работает в режиме постоянной записи модуля геомагнитного поля) вносятся значения вариаций составляющих и модуля геомагнитного поля, соответственно.

К.3 Из бланка измерений на очередной лист книги Excel расчёта базисных значений в соответствующие ячейки переносятся значения времени измерений для каждой из позиций теодолита, отсчёты измеренных углов, величины модуля и вариаций геомагнитного поля, измеренные МВС.

К.4 В таблице появляются результаты расчётов в цифровом и графическом виде. Пример заполнения таблицы приведён на рисунке К.1.

Т а б л и ц а К.1 – Форма таблицы расчёта абсолютных и базисных значений МВС

№	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л	М
1	00/00/2019	Время измерений, ЧТ	Deg	min	sec	F нТ, Протонный	E нТ, цифровой канал	H нТ, цифровой канал	Z нТ, цифровой канал	E* нТ, аналоговый канал	H** нТ, аналоговый канал	Z** нТ, аналоговый канал	E град, среднее аналогового канала
2	AZ mir												
3	Мира А1												
4	Мира В1												
5	A2												
6	A3												
7	B3												
8	B2												
9	A4												
10	B5												
11	B4												
12	A5												
13	Мира А1												
14	Мира В1												
15	Мира -ср												
16	Средние значения ординат												
17	00/00/2019	Дес. град, абсолют	H нТ, абсолют	Z нТ, абсолют	Inc град, абсолют	T нТ, вариометр	D град, пересчет из EnT	Отсчет горизонтальных углов, град	Отсчет вертикальных углов, град	Град	мин.	сек.	
18													
19													
20													
21													
22													
23	Средние значения абсолютных приборов												
24		БАЗИСЫ цифрового канала LEMI - 018				Базисные значения аналогового канала LEMI - 18							
25	00/00/2019	D, град	H, нТ	Z, нТ	T, нТ	D град	H нТ	Z нТ					
26													
27													
28													
29													
30													
31	Средние значения												
32		* Амплитуды файла *ehz за время ячеек B6 - B9				** Амплитуды файла *ehz за время ячеек B10 - B13							

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	Ј	К	Л	М
1	15/11/2019	Время измерений, УТ	Deg	min	sec	F нТ, протонный	E нТ, цифровой канал	H нТ, цифровой канал	Z нТ, цифровой канал	E нТ, аналоговый канал	H нТ**, аналоговый канал	Z нТ**, аналоговый канал	E град, среднее аналогового канала
2	AZ mir	22 28 17	22	16	54	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Мира А1		104	25	39	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Мира В1		284	25	0	—	—	—	—	—	—	—	—
5	A2	16 32 05	278	31	54	—	-16.28	16651.42	—	78	-86	126	—
6	A3	16 35 14	98	17	16	—	-14.40	16650.59	—	80	-88	126	—
7	B3	16 40 36	278	37	25	—	-13.36	16653.48	—	81	-85	128	—
8	B2	16 45 11	98	20	21	—	-14.12	16654.06	—	80	-84	130	—
9	A4	17 17 20	288	22	26	53227.00	-10.94	16653.34	-50412.20	84	-86	126	—
10	B5	17 23 06	108	22	26	53227.00	-14.85	16655.04	-50410.15	80	-83	128	—
11	B4	17 30 51	71	55	31	53227.00	-18.75	16646.83	-50403.54	75	-91	134	—
12	A5	17 36 10	251	54	24	53227.00	-20.12	16651.32	-50399.96	75	-86	139	—
13	Мира А1		104	25	49	—	—	—	—	—	—	—	—
14	Мира В1		284	24	48	—	—	—	—	—	—	—	—
15	Мира -ср.	104 42 19											
16	Средние значения ординат	17 02 34				53227.00	-16.17	16651.63	-50406.46	79	-86	130	0.2722
17	15/11/2019	Дес. град, абсолют	H нТ, абсолют	Z нТ, абсолют	Inc град, абсолют	T нТ, вариометр	D град, пересчет из EnT	Отсчет горизонтальных углов, град	Отсчет вертикальных углов, град	Град	мин.	сек.	
18		-73.6086	16778.03	-50513.47	-71.6261	53091.65	-0.0560	278.5317	288.3739	Inc, абсолют, среднее			
19		-73.8525	16778.03	-50513.47	-71.6261	53090.24	-0.0496	98.2878	108.3739	-71	46	16	
20		-73.5167	16514.05	-50600.39	-71.9253	53081.39	-0.0460	278.6236	71.9253				
21		-73.8011	16530.49	-50595.02	-71.9067	53079.40	-0.0486	98.3392	251.9067	D, абсолют, среднее			
22	Средние значения абсолютных приборов	-73.6947	16650.15	-50555.59	-71.7710	53085.67	-0.0500			-73	41	41	
23		БАЗИСЫ цифрового канала LEMI - 022				Базисные значения аналогового канала LEMI - 022							
24	15/11/2019	D, град	H, нТ	Z, нТ	T, нТ	D град	H нТ	Z нТ					
25		-73.5526	124.69	-101.27	135.35								
26		-73.8029	122.99	-103.32	136.76								
27		-73.4707	-132.78	-196.85	145.61								
28		-73.7525	-120.83	-195.06	147.60								
29	Средние значения	-73.6447	-1.48	-149.13	141.33	-73.9670	16736.28	-50685.22					
30		* Амплитуды файла *ehz за время ячеек В6 - В9				** Амплитуды файла *ehz за время ячеек В10 - В13							

Рисунок К.1 – Пример заполнения формы таблицы расчёта абсолютных и базисных значений МВС

## Приложение Л

(справочное)

## Перечень и параметры анализируемой информации и выходная продукция

Т а б л и ц а Л.1 – Технические характеристики оборудования наземного сегмента магнитной наблюдательной сети

Номер п/п	Наименование оборудования (прибора)	Место установки (расположения)	Вид получаемой информации	Периодичность представления информации	Методики		Выходная информация (конечный продукт)
					Первичная	Тематическая	
1	Протонный прецизионный магнитометр – прибор, позволяющий измерять амплитудное значение полного вектора приложенного геомагнитного поля	Станция Москва (ПЭБ Электроугли)	Измеренная абсолютная величина геомагнитного поля. Диапазон измерения геомагнитного поля от 20 000 до 75 000 нТл	Частота непрерывных измерений от 2 до 60 с. Режим работы: 1. Непрерывный с передачей данных в последовательный порт в реальном времени. 2. По запросу с последовательного порта	Получение параметров, характеризующих состояние магнитосферы: вариации геомагнитного поля: H, D, Z характеристики геомагнитных бурь	Оперативная диагностика текущего состояния магнитосферы. Методика краткосрочного прогнозирования состояния магнитосферы. Методика среднесрочного прогнозирования состояния магнитосферы. Методика долгосрочного прогнозирования состояния магнитосферы. Загрузка в оперативную базу данных. Загрузка в базу данных для одновременного хранения.	Текущие параметры магнитосферы. Краткосрочные прогнозы. Долгосрочные прогнозы.
		Станция Амдерма					
		Северное УГМС					
		Станция Подкаменная					
		Тунгуска					
		Средне-Сибирское УГМС					
		Станция Диксон					
		Северное УГМС					
		Станция о. Хейса					
		Северное УГМС					
		Станция Ловозеро					
Мурманское УГМС							
Станция Салехард							
Обь-Иртышское УГМС							
Станция Горьковская							
ГУ «АНИИ»							
Пенек Чукотское УГМС							
Станция Тикси							
Якутское УГМС							

Продолжение таблицы Л.1

Номер п/п	Наименование оборудования (прибора)	Место установки (расположения)	Вид получаемой информации	Периодичность предоставления информации	Методики		Выходная информация (конечный продукт)
					Первичная	Тематическая	
2	Магнитовариационная станция LEM-022	Станция Баренцбург Мурманское УГМС	Запись вариаций трёх составляющих геомагнитного поля. Пределы измерения геомагнитного поля ±65 000 нТл			Получение параметров, характеризующих магнитосферы: вариации геомагнитного поля H, D, Z	Оперативная диагностика текущего состояния магнитосферы. Методика краткосрочного прогнозирования состояния магнитосферы. Методика среднесрочного прогнозирования состояния магнитосферы. Методика долгосрочного прогнозирования состояния магнитосферы. Загрузка в оперативную базу данных.
		Станция мыс Челюскин Северное УГМС					
		Станция о. Визе Северное УГМС					
		Станция о. Известий ЦИК Северное УГМС					
		Станция Магадан Колымское УГМС					
		Станция Хабаровск Дальневосточное УГМС					
		Станция Новосибирск Западно-Сибирское УГМС					
		Станция о. Известий ЦИК Северное УГМС					
		Станция Салехард Обь-Иртышское УГМС					
		Станция о. Визе Северное УГМС					

Продолжение таблицы Л.1

Номер п/п	Наименование оборудования (прибора)	Место установки (расположения)	Вид получаемой информации	Периодичность предоставления информации	Методики		Выходная информация (конечный продукт)
					Первичная	Тематическая	
3	Деклинометры/ инклинометры	Станция Салехард Обь-Иртышское УГМС Станция о. Хейса Северное УГМС	Аппаратура, предназначенная для абсолютных измерений геомагнитного поля. Измеренные значения склонения и наклонения геомагнитного поля.		Загрузка в базу данных для долгосрочного хранения. Оперативная диагностика текущего состояния магнитосферы. Загрузка в оперативную базу данных. Загрузка в базу данных долгосрочного хранения.		
4	Системы обеспечения: 1. Микролог 2. АПД 3. БЭП	Станция Москва (ПЭБ Электроугли) Станция Амдерма Северное УГМС Станция Подкаменная Тунгуска Средне- Сибирское УГМС Станция Диксон Северное УГМС Станция о. Хейса Северное УГМС Станция Ловозеро Мурманское УГМС Станция Салехард Обь-Иртышское УГМС Станция Горьковская ГУ «АНИИ» Певек Чукотское УГМС Станция Тикси Якутское УГМС	Система регистрации и накопления информации. Система передачи данных в каналы связи. Система бесперебойного энергообеспечения.	Режим работы – непрерывный, с передачей данных в последовательный порт в реальном времени. Интервалы осреднений передаваемых данных – 10 с, 1 мин. Режимы работы – автоматический			

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы Л.1

Номер п/п	Наименование оборудования (прибора)	Место установки (расположения)	Вид получаемой информации	Периодичность предоставления информации	Методики		Выходная информация (конечный продукт)
					Первичная	Тематическая	
		Станция Баренцбург Мурманское УГМС					
		Станция мыс Челюскин Северное УГМС					
		Станция о. Визе Северное УГМС					
		Станция о. Известий ЦИК Северное УГМС					
		Станция Магадан Кольмское УГМС					
		Станция Хабаровск Дальневосточное УГМС					
		Станция Новосибирск Западно-Сибирское УГМС					

Т а б л и ц а Л.2 – Технические характеристики феррозондовых магнитометров перспективной космической наблюдательной системы магнитной наблюдательной сети

Космические аппараты гидрометеорологического назначения	Космический аппарат «Электро-Л»	Космический аппарат «Метеор-МП»	Космический аппарат «Арктика-М»	Космический аппарат «Зонд»
Характеристики орбит космического аппарата	Геостационарная Нср = 36 000 км, точка стояния 76,0° в.д.	Круговая солнечно- синхронная орбита, Нср = 832 км	Высокоэллиптическая, апогей примерно равен 38 868 км; перигей примерно равен 1 500 км; наклонение примерно равно 62,8°	Околокруговая, солнечно- синхронная, Нср = 820 км, наклонение примерно равно 98,8°
Типовое обозначение феррозондовых магнитометров	ФМ-Э	ФМ-МП	ФМ-ВЭ	ФМ-Г
Диапазон измерения по каждой оси (составляющих), нТл	±300, не менее	±65 000	±65 000	±60 000
Основная допускаемая погрешность измерений, нТл	±5	±15	±15	±5
Диапазон рабочих температур (блок электроники), °С	От минус 20 до плюс 50	От минус 5 до плюс 40	От минус 20 до плюс 50	От минус 50 до плюс 50
Напряжение питания, В	27	27	27	27
Потребляемая мощность, Вт	Не более 4	Не более 4	Не более 5	Не более 3,5
Масса, кг	Не более 3	Не более 6	Не более 5	Не более 3,1



## Приложение М

(справочное)

### Геомагнитное поле

#### М.1 Общие положения

Магнитное поле – это особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами.

Основные свойства магнитного поля, полученные из экспериментов:

- магнитное поле материально, т. е. существует независимо от наших знаний о нём;
- порождается только движущимся электрическим зарядом: вокруг любого движущегося заряженного тела существует магнитное поле. Магнитное поле может быть создано и магнитом, но и там причиной появления поля является движение электронов. Магнитное поле может быть создано и переменным электрическим полем;

- обнаружить магнитное поле можно по действию на движущийся электрический заряд (или проводник с током) с некоторой силой;

- магнитное поле распространяется в пространстве с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме.

Основными характеристиками магнитного поля являются магнитная индукция, магнитный поток и магнитная проницаемость.

Магнитная индукция – векторная физическая величина, являющаяся основной силовой характеристикой магнитного поля. Вектор магнитной индукции обозначается буквой **B**. Магнитная индукция учитывает не только скорость и величину зарядов электрических токов, создающих магнитное поле, но и магнитные свойства среды, в которой существует это поле. Одни и те же движущиеся заряды в средах с разными магнитными свойствами создают разные магнитные поля.

Магнитная индукция показывает, насколько сильно поле, определяя силу, с которой оно действует на заряд. Данная сила, с которой поле действует на заряд, называется силой Лоренца  $F$ , рассчитывается по формуле

$$F = Q[V \cdot B], \quad (M.1)$$

где  $Q$  – электрический заряд;

$V$  – скорость заряда в магнитном поле.

Для характеристики магнитного поля без учёта магнитного свойства среды существует вектор напряжённости магнитного поля  $\mathbf{H}$ , А/м. Связь между этими векторами для изотропных сред рассчитывается по формуле

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H}. \quad (\text{M.2})$$

Для вакуума абсолютная магнитная проницаемость составляет  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

В вакууме и в воздухе индукция магнитного поля в 1 нТл соответствует напряжённости в 1 гамму, т.е. эти единицы равны.

В современной международной системе единиц (СИ, МКСА) единицей индукции магнитного поля является тесла (русское обозначение – Тл; международное обозначение – Т), единицей индукции магнитного поля в системе единиц физических величин СГС является Гаусс (Гс);  $1 \text{ Тл} = 10^4 \text{ Гс}$ .

В системе СИ напряжённость магнитного поля измеряется в единицах ампер/метр (А/м,  $1 \text{ А/м} = 4\pi / 1000 \text{ Э} \approx 0,01256637 \text{ Э}$ ; энергия магнитного поля – в эрг/см<sup>2</sup> или Дж/м<sup>2</sup>,  $1 \text{ Дж/м}^2 = 10 \text{ эрг/см}^2$ ), в системе СГС напряжённость магнитного поля измеряется в эрстедах (Э), миллиэрстедах (мЭ) или гаммах ( $1 \gamma = 10^{-5} \text{ Э}$ ).

В геомагнетизме чаще используется единица индукции, равная  $10^{-9}$  Тл, называемая нанотесла (нТл, нТ). Иногда используются единицы, равные  $10^{-6}$  Тл (микротесла, мкТл) и  $10^{-12}$  Тл (пикотесла, пТл). Раньше в геомагнетизме использовалась единица напряжённости магнитной индукции, равная  $10^{-5}$  Эрстеда, которая называлась  $\gamma$ .

Соотношение между магнитными единицами следующее:

- единица измерения магнитной индукции  $\mathbf{B}$ :  $1 \text{ Тл} = 10^9 \text{ нТл} = 10^4 \text{ Гс} = 10^9 \gamma$ ,
- единица измерения напряжённости магнитного поля  $\mathbf{H}$ :  $1 \text{ А/м} \approx 0,01 \text{ Э} = 100 \gamma$ .

Магнитный поток  $\Phi$  – физическая величина, равная произведению магнитной индукции на площадь контура и косинус между вектором индукции и нормалью к плоскости контура, через который проходит поток. Магнитный поток – скалярная характеристика магнитного поля. Можно сказать, что магнитный поток характеризует количество линий магнитной индукции, пронизывающих единицу площади. Магнитный поток измеряется в Веберах (Вб). Один Вебер (1 Вб) – это магнитный поток, который создаётся полем с индукцией величиной 1 Тл через площадку в  $1 \text{ м}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению магнитного поля. Магнитный поток показан на рисунке М.1 и рассчитывается по формуле

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha, \quad (\text{M.3})$$

где  $\Phi$  – магнитный поток, Вб;

$B$  – плотность магнитного потока, Тл;

$\alpha$  – угол между перпендикуляром  $n$  (чаще его называют нормалью) и плоскостью  $S$ , в градусах;

$S$  – площадь, через которую проходит магнитный поток, м<sup>2</sup>.

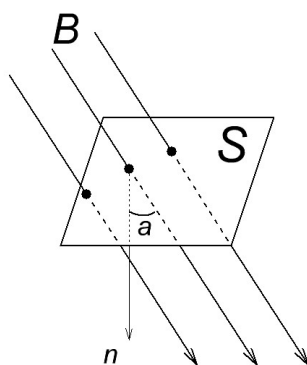


Рисунок М.1 – Магнитный поток

Магнитная проницаемость – коэффициент, определяющий магнитные свойства среды. Одним из параметров, от которых зависит магнитная индукция поля, является магнитная проницаемость (рисунок М.2).

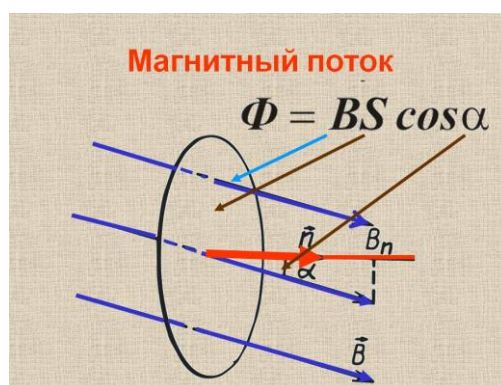


Рисунок М.2 – Магнитная проницаемость

## М.2 Геомагнитное поле

Планета Земля обладает собственным магнитным полем. Впервые идею о Земле как о большом магните высказал в 1600 г. Уильям Гильберт. В первом приближении геомагнитное поле представляет собой поле однородно намагниченного тела, т.е. в виде диполя в центре земного шара, имеющего наклон около  $11^\circ$  к оси вращения Земли. Более точно реальное геомагнитное поле можно описать моделью эксцентричного диполя, который смещён на 490 км от центра. Две противоположные точки, в которых ось диполя пересекает поверхность Земли, называются геомагнитными полюсами. В этих участках поверхности Земли горизонтальная составляющая наблюдаемого геомагнитного поля, которое складывается из поля однородного намагничивания, мировых аномалий и аномалий

литосферных источников и равна нулю. В районе магнитных полюсов стрелка компаса в горизонтальной плоскости теряет способность принимать некоторое определённое направление.

Магнитные полюса не совпадают с географическими, хотя и находятся в непосредственной близости (рисунок М.3). Более того, магнитные полюса Земли движутся. Их смещение регистрируется с 1885 г.

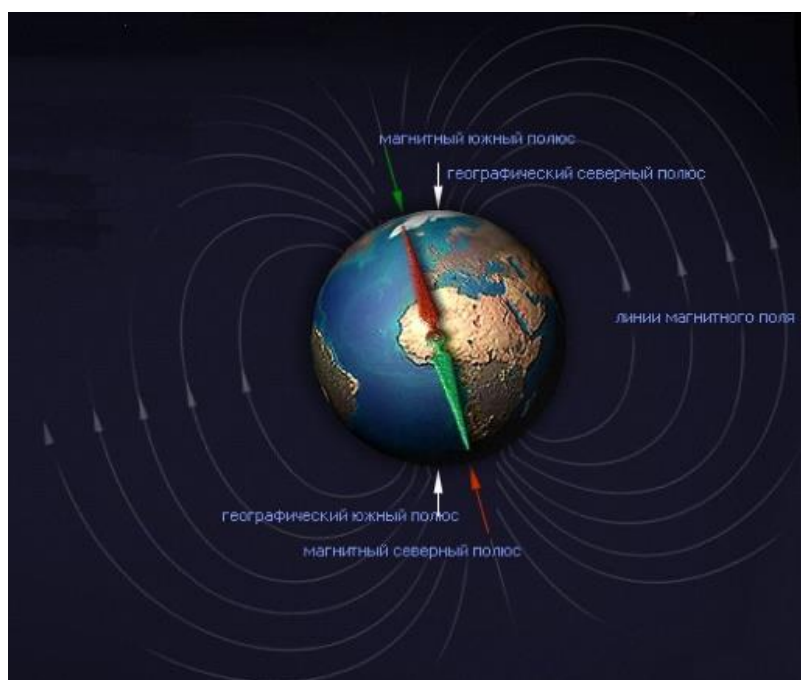
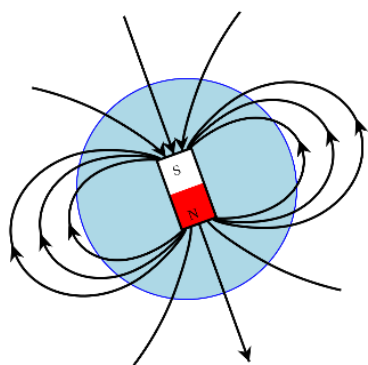


Рисунок М.3 – Магнитные полюса

Появление на магнитном полюсе горизонтальной составляющей даже самой малой величины будет означать перемещение магнитного полюса. Если происходит изменение ориентации центрального диполя, то перемещения магнитных полюсов в Северном и Южном полушариях должны быть коррелированы. Перемещения магнитных полюсов (изменение положения центрального диполя) обусловлены изменениями интенсивности и положения полей мировых аномалий.

Изменение положения (западный дрейф) полюсов действительно происходит. Изменение интенсивности (вековой ход) магнитного поля в некоторых местах тоже имеет место, и при этом в разных регионах оно происходит по-разному. Так за последние 22 года магнитное поле в южной части Атлантического океана уменьшилось на 10 %, а в некоторых других регионах возросло. Эти несовпадающие изменения, складываясь с полем однородного намагничивания и полями литосферных источников, создают эффект перемещения магнитных полюсов.

Было проведено много исследований, посвящённых периодичности вековых вариаций, но длина ряда регулярных наблюдений в 150-300 лет недостаточна для получения надёжных выводов. Выявляются колебания геомагнитного поля с периодом 58 лет, а по археомагнитным данным можно указать на периоды в 450, 600, 1800 и 8000 лет. Отмечено различие между дипольной и недипольной вековыми вариациями. Длительность первой составляет тысячи лет, а второй – десятки и сотни лет. Направление дипольной оси мало изменилось за последние 150 лет. За это время магнитный момент систематически уменьшался, но археомагнитные данные показывают, что в течение последних 9000 лет магнитный момент испытывал квазипериодические изменения. Недипольные вековые вариации могут быть связаны с изменениями параметров вихревых токовых систем недипольного поля. Мировые карты склонения (изопор) выявляют несколько фокусов векового хода, в которых ежегодные изменения поля достигают максимального значения. Фокусы изопор не сохраняют постоянства своего положения, а перемещаются сложным образом по земной поверхности, имея тенденцию к западному дрейфу. В конце XVI века Э. Галлей после повторной магнитной съёмки Атлантического океана и построения магнитной карты векового хода сделал предположение, что западный дрейф вызван тем обстоятельством, что внутри земного шара имеется концентрическая сфера, которая вращается с другой скоростью относительно внешней оболочки планеты.

Причины вековых вариаций геомагнитного поля тесно связаны с происхождением главного поля. Магнитное поле может создаваться намагниченным телом или системой замкнутых электрических токов. Чтобы создать поле в 60000 нТл, планета Земля на 50 % должна состоять из магнетита и иметь температуру не выше 600 °С для сохранения намагниченного состояния породы. В действительности уже на глубине 30 км температура достигает этого значения. Сведения о строении земного шара глубже нескольких десятков километров получены на основании данных сейсмических наблюдений. Эти исследования позволили установить, что наша планета состоит из твёрдой оболочки толщиной до 2900 км и жидкого ядра радиусом около 3000 км. Оболочка имеет слоистую структуру: земная кора толщиной от 5 км на дне океанов и до 35 км – на суше, верхняя мантия – толщиной около 400 км, переходная зона – толщиной 600 км и нижняя мантия. Внешняя часть ядра Земли состоит из расплавленных слоёв железа и никеля, а в центре, вероятно, имеется внутреннее твёрдое ядро. Температура жидкого ядра составляет от 3000 до 4000 °С при огромном внутреннем давлении –  $3,5 \cdot 10^{12}$  дин/см<sup>2</sup>. В жидком ядре вследствие температурных градиентов возникает вихревое движение металлических масс, которое при наличии слабого первичного магнитного поля создаёт эффект динамо-машины.

Сведения о жидком состоянии вещества в ядре Земли привели разных исследователей к различным вариантам применения динамо-эффекта в решении проблемы возникновения геомагнитного поля. Модель земного динамо Э. Булларда основана на предположении более медленного вращения вокруг общей оси жидкой части ядра по сравнению с его твёрдой частью и с оболочкой Земли. Такая модель даёт достаточно убедительное объяснение образования дипольной части геомагнитного поля, причин вековых вариаций недипольной части геомагнитного поля и западного дрейфа. Не исключено, что причиной западного дрейфа могут быть свободные гидромагнитные колебания в жидком ядре.

Палеомагнитные данные указывают на периодическую инверсию полярности геомагнитного поля в последние 10 млн лет с минимальным периодом около 50 000 лет, что теоретически возможно, если предположить, что на внешней поверхности ядра Земли действуют как минимум два взаимосвязанных динамо-механизма.

Геомагнитное поле – это магнитное поле, генерируемое внутриземными источниками (действием источников, расположенных внутри Земли), а также в магнитосфере и ионосфере.

Геомагнитное поле можно разделить на следующие основные части:

- главное поле;
- поля мировых аномалий;
- внешнее магнитное поле.

Более чем на 90 % геомагнитное поле состоит из поля, источник которого находится внутри Земли, в жидком внешнем ядре – эта часть называется главным, основным или нормальным полем.

На главное геомагнитное поле накладываются локальные поля, которые в некоторых районах земной поверхности могут достигать значений, соизмеримых с главным полем. Всякое отклонение от поля диполя можно считать магнитной аномалией. Наиболее крупные из них, связанные с глобальными неоднородностями земной коры и соизмеримые по размерам с площадью континентов, называются материковыми аномалиями. Поэтому в качестве нормального магнитного поля принимают сумму поля диполя и материковых аномалий. Отклонения значений магнитного поля, измеренных на местности, от такого нормального поля представляют собой аномалии в магниторазведочном смысле. Наиболее сильные и в то же время наиболее ограниченные в пространстве аномалии вызваны выходом железных руд к поверхности Земли.

Магнитное поле на поверхности Земли ( $B_T$ ) представляет собой векторную сумму нескольких полей, каждое из которых имеет свои источники как внутри планеты, так и в верхней атмосфере. Записать это можно формулой

$$B_T = B_0 + B_m + B_a + B_e + \delta B, \quad (\text{М.4})$$

где  $B_0$  – дипольное поле, создаваемое однородной намагниченностью земного шара;

$B_m$  – недипольное поле, связанное с неоднородностью глубинных слоёв Земли;

$B_a$  – аномальное поле, обусловленное неоднородной намагниченностью верхних частей земной коры;

$B_e$  – внешнее поле, связанное с внешними причинами;

$\delta B$  – поле вариаций от источников, расположенных вне земного шара (в ионосфере и магнитосфере Земли).

Сумма полей дипольного  $B_0$  и материкового  $B_m$  образует главное магнитное поле Земли, которое составляет приблизительно 90 % от геомагнитного поля. Напряжённость переменной части геомагнитного поля  $\delta B$  составляет не более 2 % от геомагнитного поля.

По своей величине напряжённость геомагнитного поля в сотни раз меньше магнитного поля любого подковообразного магнита (примерно от 0,5 до 0,7 Э) и в каждой точке Земли имеет определённую величину и направление. Из-за своего огромного объёма (энергия магнитного поля пропорциональна объёму) оно оказывает большое влияние на процессы, развивающиеся в окрестностях Земли.

Геомагнитное поле непрерывно регистрируют на магнитных обсерваториях постоянно существующей глобальной сети и на спутниках. Местоположение обсерваторий выбирают вдалеке от промышленных центров и больших городов, чтобы исключить помехи от электромагнитных полей антропогенного происхождения.

Плоскость, перпендикулярная оси диполя и проходящая через его центр, образует на поверхности Земли большой круг, который называется геомагнитным экватором. Отсюда, по аналогии с географическими координатами, каждой точке земной поверхности можно присвоить геомагнитные координаты. Геомагнитная широта  $\varphi_m$  отсчитывается от геомагнитного экватора к Северному и Южному геомагнитным полюсам. Часто в расчётах используется коширота  $\theta_{ma}$ , которая отсчитывается от полюса:  $\theta_{ma} = 90^\circ - \varphi_m$ . За нулевой магнитный меридиан (в отличие от географического Гринвичского меридиана) принят большой круг, проходящий через геомагнитные полюса и Южный географический полюс, как показано на рисунке М.4.

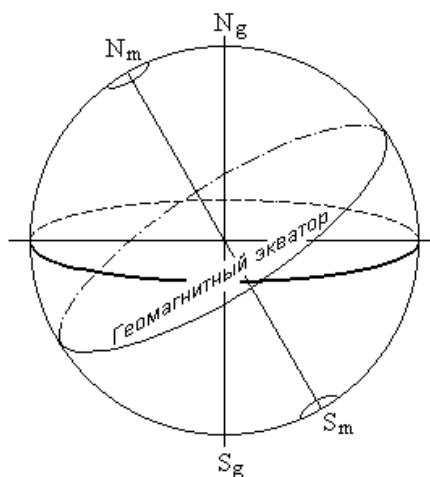


Рисунок М.4 – Геомагнитные координаты

Реальные магнитные полюса, найденные на земной поверхности путём измерений наклоения  $I = \pm 90^\circ$ , в точности не совпадают с расчётными координатами геомагнитных полюсов. Геомагнитный экватор лишь приближённо отражает реальную нулевую изоклину (линия постоянного наклоения), вдоль которой наклоение  $I = 0^\circ$ .

Таким образом, дипольная модель геомагнитного поля имеет существенные расхождения с реальной картиной распределения поля во многих районах на поверхности Земли. Для лучшей аппроксимации расчётного поля вводятся высшие члены, которые описывают дополнительное недипольное поле  $B_m$ . Сумма этих полей образует главное геомагнитное поле, определяемое по формуле

$$B = B_o + B_m. \quad (\text{M.5})$$

Стандартное приближение главного магнитного поля называется Международным эталонным геомагнитным полем (IGRF), которое уточняется каждые пять лет.

Наиболее распространённой системой координат для описания явлений, связанных с процессами в магнитосфере, является исправленная геомагнитная система координат. Она наиболее полно учитывает реальную конфигурацию геомагнитного поля.

Она строится путём трассировки силовой линии реального магнитного поля с заданной точки на поверхности Земли вверх до пересечения с дипольным геомагнитным экватором, затем трассировкой обратно вниз до поверхности Земли по дипольной силовой линии. Геомагнитные (дипольные) координаты этой точки и считаются исправленными геомагнитными координатами исходной точки. Процедура вычисления исправленных геомагнитных координат довольно сложна, но имеются Web-сервисы, которые позволяют провести такие вычисления (AACGM-v2 Calculator).



При анализе магнитосферных процессов в ряде случаев удобно применять геомагнитное время. Геомагнитный меридиан, проходящий через подсолнечную точку, принимается за геомагнитный полдень. Тогда противоположная точка на этом меридиане будет означать геомагнитную полночь. Угол между меридианом геомагнитной полночи и меридианом некоторой точки на земной поверхности определяет геомагнитное время в этой точке. Геомагнитное время в высоких широтах может значительно отличаться от местного (солнечного) времени.

### Элементы геомагнитного поля

Магнитную индукцию  $B_T$  геомагнитного поля вычисляют по измеренным значениям компонент поля (элементам геомагнитного поля) в вертикальной и горизонтальной плоскостях. На большинстве обсерваторий запись геомагнитного поля осуществляется в декартовой системе координат –  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (рисунок М.5) [8]. Одна ось системы координат направлена по географическому меридиану на север, вторая – по направлению параллели на восток и третья – вертикально вниз. Им соответствуют  $X$  (северная составляющая вектора индукции  $\mathbf{B}$  – проекция вектора  $\mathbf{B}$  на ось  $x$ , направленную по географическому меридиану (на север));  $Y$  (восточная составляющая вектора индукции  $\mathbf{B}$  – проекция вектора  $\mathbf{B}$  на ось  $y$ , направленную по параллели (на восток));  $Z$  (вертикальная составляющая вектора индукции  $\mathbf{B}$  – проекция вектора  $\mathbf{B}$  на ось  $z$ , направленную вертикально вниз). Вертикальная плоскость, в которой лежит вектор  $H$ , называется плоскостью магнитного меридиана ( $H$  – горизонтальная составляющая вектора индукции  $\mathbf{B}$  – проекция вектора  $\mathbf{B}$  на плоскость  $xu$ ) в соответствии с ГОСТ 25645.126. Угол между плоскостями магнитного и географического меридианов называется магнитным склонением  $D$ , которое принято считать положительным в восточном направлении. Угол между полным вектором поля  $\mathbf{B}$  и горизонтальной плоскостью  $xu$  называется наклонением  $I$ , который считается положительным в Северном полушарии, равен нулю на геомагнитном экваторе и отрицательный в Южном полушарии.

Элементы  $D$  и  $I$  обычно измеряются в угловых градусах, минутах и десятых долях минуты. Вариации склонения можно измерять в нанотеслах, если рассматривать  $\Delta D$  как компоненту, направленную по нормали к горизонтальной составляющей  $H$ . Обычно окончательная информация о вариациях склонения даётся в угловых минутах или в сотых долях минут.

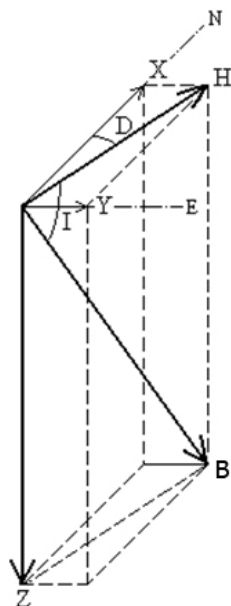


Рисунок М.5 – Элементы геомагнитного поля

В практике магнитных наблюдений, как правило, измеряются углы склонения  $D$ , наклонения  $I$ , а также горизонтальная составляющая  $H$ . Остальные элементы геомагнитного поля вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} X &= H \cdot \cos D; \\ Y &= H \cdot \sin D; \\ Z &= H \cdot \operatorname{tg} I; \\ B &= H / \cos I. \end{aligned} \tag{М.6}$$

На отдельных обсерваториях запись геомагнитного поля осуществляется в цилиндрической системе координат  $(Z, H, D)$ . Формулы перехода от цилиндрической системы координат в прямоугольную следующие

$$\begin{aligned} X &= H \cdot \cos D; \\ Y &= H \cdot \sin D; \\ Z &\text{ – без изменения.} \end{aligned} \tag{М.7}$$

Узнать, в какой системе координат работает обсерватория, можно по магнитограммам, на которых указываются регистрируемые компоненты геомагнитного поля, или в публикациях Международного центра данных (МЦЦ А, Мировой центр данных в США). Эти данные можно получить и в России в МЦД Б 2 (Мировой центр данных по солнечно-земной физике в Москве, 119296, Москва, Молодёжная ул., д. 3).

В некоторых задачах при рассмотрении вариаций геомагнитного поля бывает удобно перейти от цилиндрической системы координат к декартовой. Для этого значение угла  $\Delta D$  переводят в гаммы ( $\gamma$ ) и под этой операцией подразумевают силу, которая вектор  $\Delta H$  вернёт в первоначальное невозмущённое состояние  $H_0$ , т.е. повернёт его на угол  $\Delta D$ . Для такой операции на магнитограммах наряду с чувствительностью  $D$ -компоненты в градусах указывают её чувствительность в гаммах.

### М.3 Магнитосфера

Геомагнитное поле от основного его источника – диполя, расположенного вблизи центра Земли, распространяется сквозь Землю в область околоземного пространства. Распространение геомагнитного поля не бесконечное. Оно ограничено потоком солнечной плазмы.

Область околоземного пространства, в которой заключено геомагнитное поле вместе с находящейся в ней плазмой, называется магнитосферой. Магнитосфера Земли по форме напоминает падающую каплю с очень длинным хвостом, расположенным в сторону, противоположную направлению на Солнце (рисунок М.6). На границе магнитосферы земное магнитное поле переходит в межпланетное. К магнитосфере относятся области от верхней границы слоя-Е ионосферы (приблизительно от 160 км) до внешней границы геомагнитного поля. Это приблизительно 10 земных радиусов ( $10 R_e$ ) на освещённой Солнцем стороне Земли и до  $80 R_e$  – на неосвещённой стороне Земли.

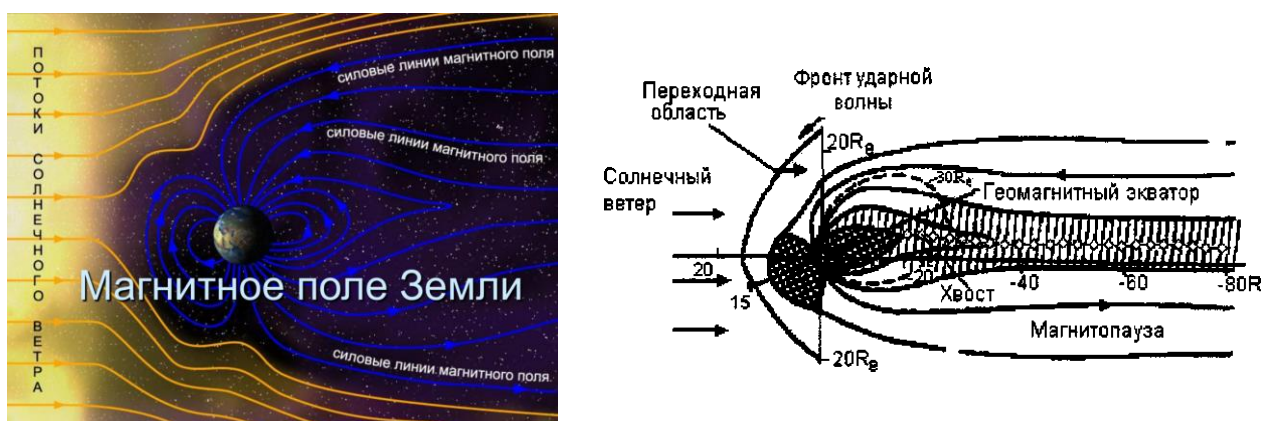


Рисунок М.6 – Современное представление о магнитосфере

Граница магнитосферы – флуктуирующий дискретный граничный слой – называется магнитопаузой. Толщина магнитопаузы может колебаться от 100 до 500 км, а напряжённость поля в ней обычно составляет несколько десятков гамм.

Магнитосферу можно представить состоящей из трёх областей (внутренней, внешней и хвоста) и двух щелей, которые приходятся в области северного и южного полярного овала. В эти щели проникают частицы солнечного ветра. Особенно эффективно частицы проникают в щель вблизи полуденного меридиана. Эту область называют полярным каспом.

Внутренняя магнитосфера простирается до расстояний, равных  $4 R_e$ , и определяется в основном полем диполя. Внешняя магнитосфера простирается примерно от 4 до  $15 R_e$ . Магнитное поле внешней магнитосферы значительно отличается от поля диполя. Третья область магнитосферы – хвост, он существует постоянно как продолжение магнитосферы с ночной стороны Земли, и его силовые линии почти параллельны линии Солнце–Земля. Хвост уверенно регистрируется до  $80 R_e$ . Внутренняя и внешняя магнитосферы создают область замкнутых силовых линий, которую иначе называют областью захвата.

Внутреннюю часть магнитосферы, расположенную в пределах примерно  $3 R_e$  называют плазмосферой. Концентрация частиц «холодной» плазмы в ней составляет примерно  $10^{10} \text{ м}^{-3}$  с энергией сотни и более кэВ. Частицы плазмосферы образуют радиационные пояса Земли и участвуют в её суточном вращении.

Концентрация частиц во внешней части магнитосферы на 2 или 3 порядка ниже, чем в плазмосфере. Движение частиц плазмы во внешней части магнитосферы определяется электрическими полями, возбуждаемыми солнечным ветром. Общая картина во внешней части магнитосферы сильно зависит от величины и направления магнитного поля в межпланетной среде. Резкое возрастание плотности энергии в солнечном ветре, наблюдаемое во время активного Солнца, приводит к магнитосферным суббурям (усилению полярных сияний, возрастанию потоков частиц в радиационных поясах, искажению магнитного поля Земли).

Заряженные частицы в магнитосфере обеспечивают непрерывное существование электрических токов, электромагнитные поля которых, суммируясь, образуют переменную часть геомагнитного поля.

Магнитное поле Земли, образующее земную магнитосферу, простирается до расстояния от 70 000 до 80 000 км в направлении к Солнцу и на многие миллионы километров в противоположном направлении. Магнитное поле Земли защищает планету от космических лучей и солнечного ветра. Заряженные частицы из далёкого космоса не падают прямо на землю, а отклоняются гигантским магнитом и движутся вдоль его

силовых линий. Таким образом, всё живое оказывается защищённым от пагубной радиации. В околоземном пространстве магнитное поле образует магнитную ловушку для заряженных частиц высоких энергий – радиационный пояс Земли.

#### М.4 Ионосфера

Область верхней атмосферы (примерно от 60 до 600 км), состоящая из заряженных частиц электронов и ионов тепловых энергий (не превышающих нескольких электронвольт) достаточно большой электронной плотностью, влияющей на радиосвязь, называется ионосферой.

Ионосфера состоит из четырёх слоёв: D, E, F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub>. Истинные высоты этих слоёв изменяются в течение суток, времени года, с солнечной активностью. Поэтому не существует их определённых границ. Нижняя часть ионосферы, слой-D, находится днём на высоте примерно 60 км, а ночью этот слой исчезает, и нижняя граница ионосферы поднимается до 100 км. Верхняя граница ионосферы определяется нечётко и простирается вплоть до 2 000 км.

Присутствие электронов и ионов в ионосфере делает эту область атмосферы электропроводной. Наличие же геомагнитного поля является одной из причин, которая делает проводимость ионосферы анизотропной, т.е. зависящей от направления.

Проводимость ионосферы  $\sigma_0$  в направлении геомагнитного поля  $H$  определяется по формуле

$$\sigma_0 = N \cdot e^2 / m \cdot \nu_n, \quad (\text{M.8})$$

где  $N$  – плотность ионизации;

$\nu_n$  – число столкновений в единицу времени;

$e$  – заряд частицы (электрона или иона);

$m$  – масса частицы.

Проводимость ионосферы вдоль направления электрического поля  $E$  называется продольной или педерсеновской проводимостью и она равна

$$\sigma_P = N \cdot e^2 \cdot \nu_n / m \cdot (\nu^2 + \omega_H^2), \quad (\text{M.9})$$

где  $\omega_H = e \cdot H / m \cdot c$  – циклотронная частота частиц в плоскости, перпендикулярной  $H$ .

Проводимость ионосферы в перпендикулярном электрическому полю направлении называется проводимостью Холла и она равна

$$\sigma_H = N \cdot e^2 \cdot \nu_n / m \cdot (\nu^2 + \omega_H^2). \quad (\text{M.10})$$

Следует обратить внимание, что  $\sigma_0$  и  $\sigma_P$  существенно положительные величины, а знак  $\sigma_H$  зависит от знака заряда, определяемого величиной  $\omega_H$ . Так как ионосферная плазма состоит из положительных ионов и электронов, то при вычислении  $\sigma_0$  и  $\sigma_P$  суммируют проводимости, создаваемые обоими типами частиц, т.е.

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= \sigma_{0i} + \sigma_{0e}; \\ \sigma_P &= \sigma_{Pi} + \sigma_{Pe}.\end{aligned}\tag{M.11}$$

При вычислении же  $\sigma_H$  вычитают ионную и электронную проводимости

$$\sigma_H = \sigma_{Hi} - \sigma_{He}.\tag{M.12}$$

На высотах от 100 до 130 км (слой-Е ионосферы) в районе полярной и экваториальной электроструй важную роль играет ещё одна проводимость, называемая проводимостью Каулинга  $\sigma_C$ . Она существует так же, как проводимость Педерсена вдоль электроструй, и вычисляется по формуле [8]

$$\sigma_C = \sigma_P + \sigma_H^2 / \sigma_P.\tag{M.13}$$

Поскольку для ионосферы характерна высокая холловская проводимость  $\sigma_H$ , то проводимость Каулинга значительно больше проводимости Педерсена  $\sigma_P$ . Увеличение проводимости  $\sigma_H$  до  $\sigma_C$  в электроструе объясняется появлением вторичного электрического поля, перпендикулярного первичному. Вторичное электрическое поле создаётся пространственными зарядами вблизи границы овала полярных сияний или в экваториальной области появлением направленного вверх электрического поля поляризации из-за прекращения тока Холла в тонком проводящем слое-Е ионосферы, направленного перпендикулярно к границам этого слоя. Это вторичное электрическое поле генерирует интенсивный ток Холла, параллельный току Педерсена от первичного поля  $E$ . Суммарный ток  $i$  будет равен сумме токов Педерсена и Холла от вторичного электрического поля, что равносильно увеличению проводимости вдоль поля  $E$  (т.е.  $i = i_P + i_H = \sigma_C \cdot E$ ).

Максимумы этих проводимостей расположены на высотах приблизительно от 100 до 130 км, т.е. в слое-Е ионосферы. Слой-Е ионосферы как бы связывает силовые линии магнитосферы, закорачивая электрические поля, возникающие в магнитосфере. Именно в слое-Е ионосферы существуют системы ионосферных токов, которые являются причиной многих видов геомагнитных возмущений, наблюдаемых на поверхности Земли.

Если рассматривать географическое распределение проводимости в слое-Е ионосферы, то можно выделить две основные области повышенной проводимости:

- авроральная зона – область геомагнитных широт в пределах от  $60^\circ$  до  $70^\circ$ ;
- экваториальная область, шириной приблизительно от 400 до 600 км около геомагнитного экватора.

Проводимость в авроральной зоне слоя-Е обусловлена фотоионизацией солнечного излучения и ионизацией потоками высыпающихся частиц. Причём в магнитоспокойные дни ионизация потоком высыпающихся частиц в несколько раз меньше, чем ионизация в магнитовозмущённые дни. В этом случае проводимость авроральной зоны превышает проводимость окружающей ионосферы более чем на порядок.

Проводимость экваториальной области наибольшая с дневной стороны. Проводимость экваториальной области может быть в 10 раз больше, чем в других регионах. С ночной стороны величина проводимости экваториальной области практически совпадает с величиной проводимости близлежащей ионосферы.

## **М.5 Переменное геомагнитное поле**

По характеру вариаций поля можно разделить на два основных типа – относительно быстротечные, хорошо видимые на магнитограммах и чрезвычайно медленные, которые можно выявить только с помощью длинного ряда абсолютных наблюдений. Первые вариации обусловлены источниками в ионосфере, вторые – внутри Земли.

Источниками данных о главном геомагнитном поле являются магнитные обсерватории, службы контроля векового хода, региональные магнитные съёмки, аэромагнитные съёмки и спутники. Эти данные наносятся на географическую карту в виде изолиний (кривых, соединяющих точки с одинаковым значением элементов геомагнитного поля). Магнитные карты с погрешностью  $\pm 100$  нТл дают общую картину магнитного поля земного шара и отдельных регионов на определённую эпоху, т.е. на середину года.

На большей части земной поверхности перемещению в несколько сотен километров соответствует изменение склонения около  $1^\circ$ . Однако существуют районы, в которых склонение может изменяться на десятки градусов в пределах нескольких километров. Такие районы называются магнитными аномалиями. Наиболее сильные и в то же время наиболее ограниченные в пространстве аномалии вызваны выходом железных руд к поверхности Земли.

### **М.5.1 Классификация геомагнитных возмущений**

На постоянное геомагнитное поле накладывается переменное, вызывающее временные изменения магнитного поля. Хотя величина этих изменений по сравнению с величиной постоянной части поля и незначительна, тем не менее, будучи связана с другими

геофизическими явлениями, которые происходят в ионосфере, она даёт возможность судить и об этих явлениях, и об их причинах. Поэтому изучение переменного поля и его закономерностей представляет большой научный и практический интерес (достаточно сказать, что от состояния ионосферы и магнитосферы зависит, например, проходимость коротких радиоволн).

Переменное геомагнитное поле можно представить как разность между наблюдаемой величиной напряжённости магнитного поля и средним её значением за какой-либо длительный промежуток времени, например месяц или год. Наблюдения показывают, что эта разность, получившая название геомагнитных вариаций, меняется в разные дни различно. Иногда изменения происходят плавно, подчиняясь определённой закономерности, иногда они имеют беспорядочный характер, и тогда периоды, амплитуды и фазы вариаций непрерывно меняют своё значение. В первом случае изменения или вариации называются спокойными или невозмущёнными, а во втором – возмущёнными.

Возмущённая часть вариаций геомагнитного поля состоит из целого ряда вариаций, которые, накладываясь одна на другую, в сумме дают неправильные колебания всех элементов геомагнитного поля около среднего значения. Некоторые из этих вариаций имеют вполне определённый период, другие меняют свой период от одного колебания к другому. Кроме того, имеются вариации непериодического характера. Поэтому возмущённые вариации также можно классифицировать по признаку периодичности: периодические, непериодические и неправильные флуктуации. К числу периодических относятся солнечно-суточные и лунно-суточные вариации с периодом солнечных и лунных суток и короткопериодические колебания, у которых период колеблется от долей секунд до десятков минут. Из непериодических известна вариация под названием «апериодическая возмущённая», которая проявляется во время геомагнитных бурь главным образом в изменении горизонтальной составляющей: наблюдается быстрое её уменьшение, затем медленное возрастание и приближение к нормальному состоянию. Неправильные флуктуации элементов земного магнетизма представляют основную часть геомагнитных возмущений и состоят из ряда следующих друг за другом изменений магнитных элементов с различными периодом и амплитудой.

Помимо этого существуют вариации, которые нельзя отнести ни к одному из этих трёх типов, так как, имея правильный характер изменений, они не имеют определённого периода, но вместе с тем они и не апериодические. Эти вариации получили название «бухтообразных», так как на магнитограммах они выявляются в виде кривой, напоминающей по очертанию морскую бухту.

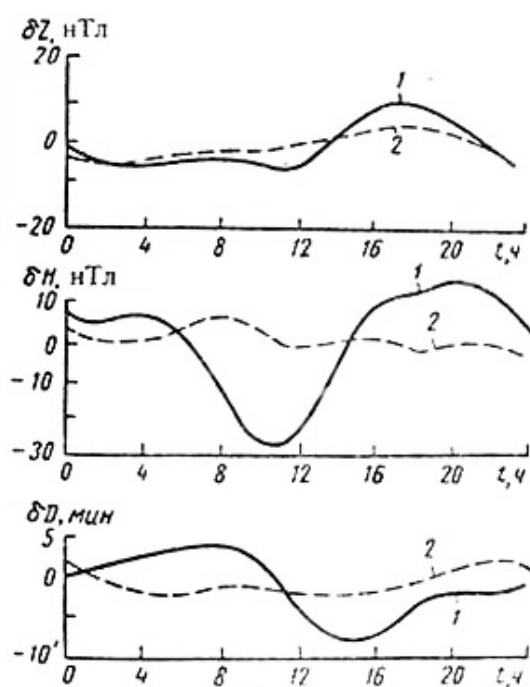


Отделить невозмущённую часть вариаций от возмущённой, а также выделить их отдельные виды, за исключением короткопериодических колебаний и бухтообразных, возможно лишь методами статистической обработки.

## М.5.2 Периодические геомагнитные вариации

### М.5.2.1 Солнечно-суточные вариации геомагнитного поля

Солнечно-суточные вариации представляют собой изменения элементов геомагнитного поля с периодом, равным продолжительности солнечных суток, и показаны на рисунке М.7.



1 – июнь; 2 – декабрь

Рисунок М.7 – Солнечно-суточные вариации на широте 60°

Характерная особенность этих вариаций – зависимость их протекания от долготы: фазы колебаний того или иного элемента отличаются на разность долгот между двумя пунктами, где они измеряются. Как показывают наблюдения, суточная вариация элементов геомагнитного поля не остаётся постоянной, сам ход её меняется непрерывно от одного дня к другому, при этом изменению подвержены главным образом амплитуды колебаний, фазы же остаются почти неизменными. Амплитуда суточного хода каждого элемента возрастает от зимних месяцев, когда склонение Солнца наименьшее, к летним, когда склонение Солнца наибольшее. Ещё одной особенностью солнечно-суточных вариаций

является зависимость их от величины геомагнитной активности в тот или иной день. Поэтому различают два вида солнечно-суточных вариаций: вариации в спокойные дни –  $S_q$ , которые определяют путём обработки наблюдений только по спокойным дням, и вариации в бурные дни –  $S_d$ , называемые возмущёнными вариациями, которые определяются путём обработки наблюдений по бурным дням.

Геомагнитное поле солнечно-суточных вариаций должно иметь свои источники, которые вероятнее всего можно представить в виде некоторой системы электрических токов в верхних слоях атмосферы – в ионосфере. В настоящее время установлено, что система токов, вызывающая солнечно-суточные вариации, располагается в слое-Е ионосферы, высота которого колеблется от 100 до 120 км.

#### М.5.2.2 Лунно-суточные вариации геомагнитного поля

Кроме вариаций элементов, связанных с положением Солнца относительно земной поверхности, существуют ещё вариации периодического характера, связанные с положением Луны по отношению к горизонту. Период этих вариаций совпадает с промежутком времени между двумя последовательными прохождениями Луны через меридиан места, т.е. с лунными сутками и полусутками.

Лунно-суточные вариации обнаруживаются при обработке магнитных данных за лунные сутки (24 ч 50 мин 28 с солнечного времени). Основной закономерностью является полусуточный характер изменения лунно-суточных вариаций. Кривые изменений всех элементов в течение лунных суток имеют два максимума и два минимума; при этом моменты наступления максимума и минимума меняются в течение лунного месяца ежедневно. Средняя месячная кривая имеет вид правильной двойной волны с максимумами, приходящимися на 6 и 18 ч лунного времени, и минимумами, приходящимися на 0 и 12 ч для Северного полушария. Амплитуда лунно-суточных вариаций мала и не превышает 3 нТл.

#### М.5.2.3 Геомагнитные пульсации

Среди различных видов возмущений геомагнитного поля особую группу составляют короткопериодические колебания, которые называются геомагнитными пульсациями. Геомагнитные пульсации характеризуются квазипериодической структурой и занимают диапазон частот от миллигерц до нескольких герц. По своей физической природе геомагнитные пульсации – это гидромагнитные волны, возбуждающиеся в магнитосфере Земли и в солнечном ветре, и этим они существенным образом отличаются от медленных вариаций геомагнитного поля. Геомагнитные пульсации имеют утверждённую

Международной ассоциацией по геомагнетизму и аэрномии классификацию. В соответствии с ней все пульсации делятся на регулярные (pulsations continuous,  $P_c$ ) и иррегулярные (pulsations irregular,  $P_i$ ).

Для пульсаций  $P_c$  характерна квазисинусоидальная форма и устойчивый режим колебаний.

Второй класс пульсаций –  $P_i$ , имеет неправильную форму и тесно связан с возмущениями геомагнитного поля. Пульсации  $P_i$ , как указывает их название, носят нерегулярный характер и зачастую имеют вид коротких всплесков колебаний с широким и нестационарным спектром частот.

В таблице М.1 приведены диапазоны периодов для всех классов пульсаций и их типичные амплитуды по данным наземных наблюдений на средних широтах и в авроральной зоне.

Т а б л и ц а М.1 – Классификация геомагнитных пульсаций по периодам

Регулярные		Иррегулярные	
Обозначение	Период, с	Обозначение	Период, с
$P_{c1}$	От 0,2 до 5	–	–
$P_{c2}$	От 5 до 10	–	–
$P_{c3}$	От 10 до 45	$P_{i1}$	От 1 до 40
$P_{c4}$	От 45 до 100	$P_{i2}$	От 45 до 150
$P_{c5}$	От 150 до 600	$P_{i3}$	От 150 до 1 000
$P_{c6}$	От 600 до 1 000	–	–

### М.5.3 Геомагнитные возмущения

М.5.3.1 Геомагнитными возмущениями называют любые отклонения элементов геомагнитного поля от спокойного уровня. Амплитуда этих отклонений может быть от единиц до тысяч нанотесла, а длительность – от секунд до суток. При наложении этих флуктуаций друг на друга наблюдается картина хаотических и на первый взгляд совершенно произвольных изменений геомагнитного поля. Геомагнитные возмущения могут иметь локальный характер и наблюдаться только в ограниченном секторе долгот и широт (и даже на одной станции) или же, достигая большой интенсивности, охватывать одновременно всю Землю. В последнем случае их называют геомагнитными бурями (мировыми бурями).

Принято выделять геомагнитные бури с внезапным началом ( $SC$ ) и бури с постепенным началом.

В первом случае на фоне спокойного хода всех элементов внезапно происходит скачок, отмечаемый одновременно в пределах 1-2 мин на всех станциях земного шара.

Особенно резко такой скачок проявляется в величине горизонтальной составляющей, которая внезапно увеличивается на десятки нТл.

Во втором случае возмущения возникают в виде постепенного увеличения амплитуды всех элементов, при этом начальный момент, с той точностью, с которой он устанавливается для бурь с внезапным началом, определить не удаётся. В этом случае моменты начала бури, определяемые на разных станциях, могут отстоять друг от друга на час и более.

В последние годы всеобщее признание получила классификация геомагнитных возмущений, предложенная С. Чепменом, в которой за основу приняты не морфологические различия геомагнитных вариаций, а возможные физические механизмы, обуславливающие развитие возмущений. Согласно этой схеме, модифицированной в соответствии с современными представлениями, поле возмущения  $D$  складывается из следующих элементов по формуле

$$D = DCF + DR + DPI + DPC, \quad (M.14)$$

где  $DCF$  – возмущения, связанные с непосредственным воздействием солнечных корпускулярных потоков на магнитосферу Земли (disturbance of corpuscular flux);

$DR$  – магнитные эффекты, связанные с развитием кольцевых ( $DR$ ) токов, текущих вокруг Земли, внутри магнитосферы (disturbance of ring current);

$DPI$  – полярные геомагнитные возмущения, достигающие максимальной величины в авроральной зоне;

$DPC$  – возмущения в полярной шапке (disturbance of polar cap).

Эта классификация чётко отделяет возмущения, источники которых лежат на границе магнитосферы ( $DCF$ ) и в магнитосфере ( $DR$ ), от возмущений, имеющих полностью или частично ионосферную природу: интенсивные токи (электроджеты) в зоне полярных сияний ( $DPI$ ), либо токи в полярной шапке ( $DPC$ ).

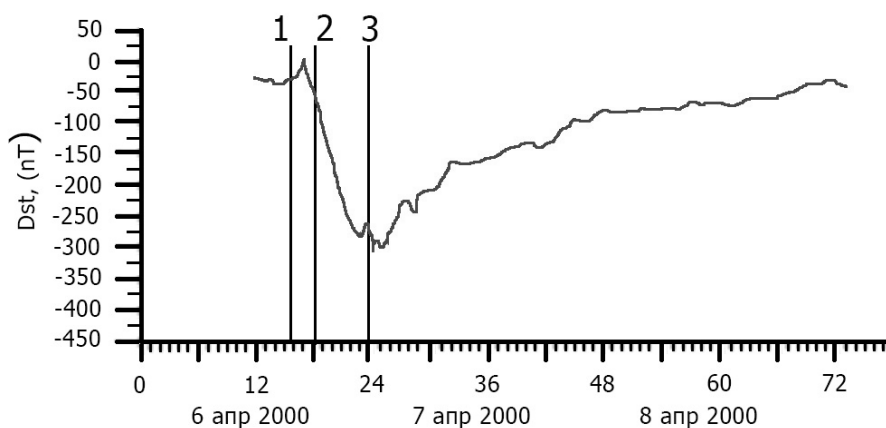
Локальные  $DCF$ - и  $DR$ -токи очень удалены от Земли и проявляются в виде геомагнитных бурь ( $D_{st}$ -вариации – storm time-вариации).

На небольшой высоте (больше 100 км от Земли) текут  $DPI$ -токи, и поэтому возмущения, вызываемые ими – полярные геомагнитные возмущения – характеризуются чётко выраженной локальностью (так называемая зона полярных сияний).

Под  $DPC$ -возмущениями подразумевается целый класс возмущений, типичных для полярной шапки. Они наблюдаются как в возмущённые, так и в спокойные дни.

М.5.3.2  $D_{st}$ -вариация

При анализе бури выделяют 3 основные фазы её развития: внезапное начало ( $SSC$  – sudden storm commencement), главная фаза и фаза восстановления (приведена на рисунке М.8). Внезапное начало связано с непосредственным воздействием ускоренной плазмы солнечного ветра на магнитосферу: поджатие магнитосферы при усилении динамического давления солнечного ветра приводит к усилению токов на магнитопаузе ( $DCF$ ). Эти токи производят положительную вариацию северо-южной составляющей геомагнитного поля в магнитосфере, что проявляется в кратковременном положительном скачке  $D_{st}$  на фазе внезапного начала бури. Развитие кольцевого тока ( $DR$ ) приводит к резкому падению  $D_{st}$  на главной фазе, а распад кольцевого тока – к восстановлению спокойного уровня геомагнитного поля.



1 – начальная фаза; 2 – главная фаза; 3 – фаза восстановления

Рисунок М.8 –  $D_{st}$ -вариации во время геомагнитной бури

Такое поведение горизонтальной составляющей  $H$  можно наблюдать в процессе развития любой мировой геомагнитной бури, несмотря на одновременное действие иррегулярных флуктуаций. Как показывают результаты экспериментальных и теоретических исследований, повышение интенсивности геомагнитного поля в начальную фазу бури обусловлено  $DCF$ -токами, возникающими на границе магнитосферы при взаимодействии солнечных корпускулярных потоков с геомагнитным полем. Существует  $DCF$ -поле на протяжении всей бури, и его вариации проявляются на земной поверхности в виде синфазных пиков. Кольцевые  $DR$ -токи, текущие в западном направлении на расстоянии от 2 до 7  $R_e$  от центра Земли, оказывают противоположное действие – происходит уменьшение поля на земной поверхности. При постепенном затухании этих токов геомагнитное возмущение прекращается. Таким образом, геомагнитная буря в низких и средних широтах ( $D_{st}$ -вариация) является результатом одновременного действия  $DCF$ -

и  $DR$ -полей. В зависимости от соотношения этих полей длительность и интенсивность всех трёх фаз бури могут существенно различаться. Обычная длительность начальной фазы – от 1 до 2 ч, главной фазы – от 3 до 12 ч, фаза восстановления может длиться от нескольких часов до нескольких суток. Наиболее отчётливо  $D_{st}$ -вариация проявляется в изменениях горизонтальной составляющей  $H$ , в меньшей степени – вертикальной и совершенно не сказывается на склонении  $D$ . Интенсивность  $D_{st}$ -вариации зависит от широты и в горизонтальной составляющей  $H$  достигает максимальной величины на низких широтах, где амплитуда начальной фазы может изменяться от 1 до 100 нТл, а амплитуда главной фазы – от 10 до 500 нТл. В вертикальной составляющей  $Z$  в низких широтах она минимальна и возрастает к высоким. В начальную фазу она убывает на несколько нТл, в главную – возрастает на 10-20 нТл (на  $\Phi < 50^\circ$ ). В высоких широтах удаётся проследить только вертикальную составляющую  $Z$   $D_{st}$ -вариации, так как горизонтальная составляющая  $H$  на  $\Phi > 60^\circ$  полностью искажается локальными возмущениями.

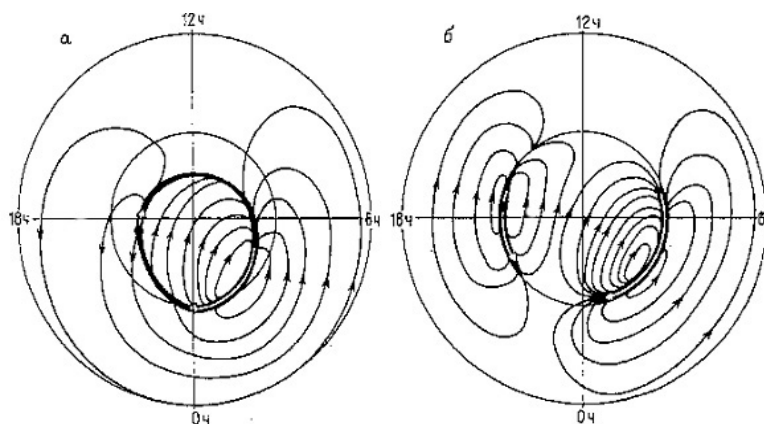
Внезапное начало геомагнитной бури ( $SC$  или  $SSC$ ) наиболее хорошо распознаётся в средних и низких широтах, где всплеск интенсивности в горизонтальной составляющей  $H$  имеет величину от 10 до 100 нТл.

### М.5.3.3 Индекс $DPI$

Индексом  $DPI$  обозначают класс геомагнитных возмущений, с максимальной интенсивностью проявляющихся в авроральной зоне ( $\Phi \approx 67^\circ$ ) в виде положительных и отрицательных отклонений от спокойного уровня (так называемых магнитных бухт). В настоящее время полярные магнитные возмущения называют магнитосферными суббурями, поскольку выяснилось, что мировая магнитная буря в высоких широтах проявляется в виде последовательности бухтообразных возмущений. Наиболее отчётливо магнитные бухты проявляются в изменении горизонтальной составляющей  $H$ . Амплитуды таких бухт могут достигать нескольких сотен (иногда более тысячи) нанотесла и длиться эти возмущения могут до нескольких часов.

Источником этих возмущений являются электрические поля и токи, текущие в полярной ионосфере на высотах больше 100 км. Экспериментально установлено, что сила тока имеет максимальную величину в авроральной зоне в утренние (примерно в 3 ч) и вечерние (с 15 до 18 ч) часы по местному времени. Это авроральные электроджеты: западный и восточный соответственно направлению текущих в них токов. Западный электроджет вызывает отрицательные бухты, восточный – положительные. Но линейного тока, простирающегося безгранично, в природе не существует. Ток на каком-то расстоянии

от места наблюдения должен замкнуться и образовать замкнутый контур. Типичная токовая система магнитосферной суббури приведена на рисунке М.9 [12].



Направления токов обозначены стрелками:

а – с одним электроджетом; б – с двумя электроджетами

Рисунок М.9 – Типичные токовые системы магнитосферной суббури

#### М.5.3.4 *DPC*-возмущения

В полярных шапках, помимо возмущений, связанных с развитием суббурь (*DPI*), постоянно наблюдаются возмущения, отличающиеся от суббурь своими временными и пространственными характеристиками. Эти возмущения часто наблюдаются даже при очень низком уровне геомагнитной активности, и их объединяют в один класс – *DPC*-возмущения. Многочисленные исследования показали, что характер вариаций геомагнитного поля в приполюсной области ( $\Phi' > 80^\circ$ ,  $\Phi'$  – исправленная геомагнитная широта) существенно зависит от параметров солнечного ветра, в первую очередь от его магнитного поля и скорости.

#### М.5.4 Индексы геомагнитной активности

Индексы геомагнитной активности являются количественной мерой геомагнитной активности и предназначены для описания вариаций геомагнитного поля, вызванных воздействием потока солнечной плазмы (солнечного ветра) на магнитосферу Земли, изменениями внутри магнитосферы и взаимодействием магнитосферы и ионосферы. Каждый из индексов вычисляется по результатам измерений и характеризует только часть сложной картины солнечной и геомагнитной активности. Существующие индексы геомагнитной активности можно условно разделить на три группы [8], [13].

К первой группе можно отнести локальные индексы, вычисленные по данным одной обсерватории и говорящие о величине локальной по территории геомагнитной возмущённости:  $C$ -,  $K$ -индексы.

Ко второй группе можно отнести индексы, характеризующие геомагнитную активность на всей Земле. Это так называемые планетарные индексы:  $K_p$ ,  $ap$ ,  $A_p$ ,  $am$ ,  $Am$ ,  $aa$ ,  $Aa$ .

В третью группу входят индексы, отражающие интенсивность геомагнитной возмущённости от вполне определённого источника:  $D_{st}$ ,  $AE$ ,  $PC$ .

Все индексы геомагнитной активности, перечисленные выше, вычисляются и публикуются по Всемирному времени UT. Международная ассоциация геомагнетизма и аэронавтики официально признаёт индексы  $aa$ ,  $am$ ,  $K_p$ ,  $D_{st}$ ,  $PC$  и  $AE$ .

#### М.5.4.1 $K$ -индекс

Квазилогарифмический трёхчасовой индекс, характеризующий изменение геомагнитной активности на конкретной обсерватории в трёхчасовых интервалах времени, начиная с 00 ч Всемирного времени (UT), выражается в баллах.  $K$ -индекс принимает значения от 0 (спокойное геомагнитное поле) до 9. Значение  $K=9$  соответствует очень сильному геомагнитному возмущению. Учитывая, что амплитуда геомагнитного возмущения зависит от широты места наблюдения, значению  $K=9$  соответствует возмущение больше 2500 нТл в зоне полярных сияний и больше 300 нТл – в низких широтах (исключая экватор). Для всех других обсерваторий, расположенных в полярной шапке и средних широтах, значению  $K=9$  соответствуют возмущения меньше 2500 нТл, но больше 300 нТл. На рисунке

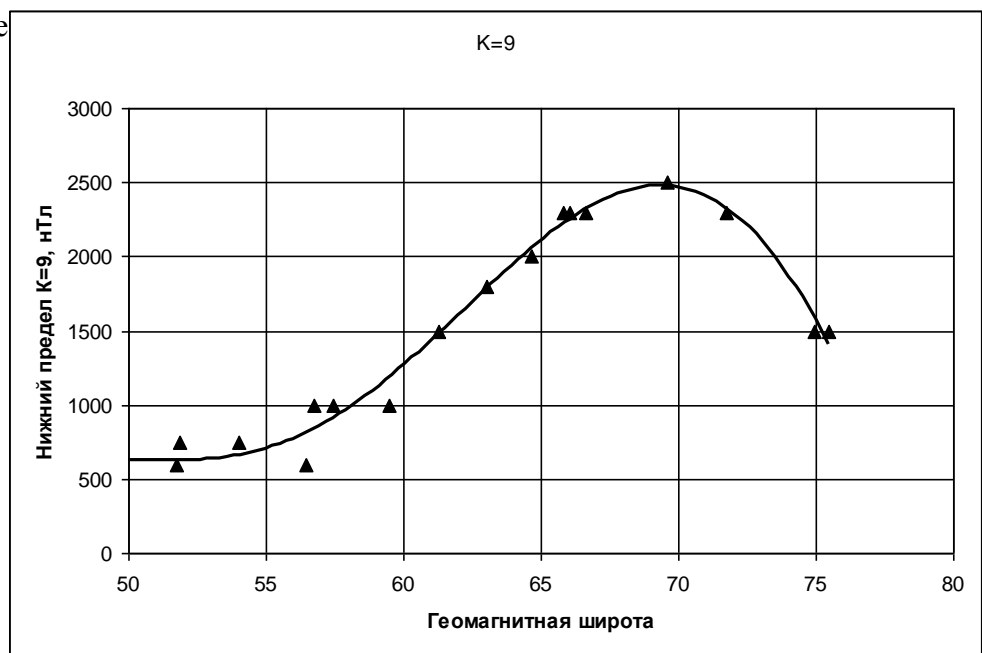


Рисунок М.10 – График зависимости нижней границы  $K=9$  от геомагнитной широты



Верхний предел амплитуды для балла  $K=0$  получается путём умножения нижнего предела амплитуды балла  $K=9$  на коэффициент 0,01. Верхние пределы амплитуд от 1 до 7 баллов получаются путём умножения верхнего предела амплитуды балла  $K=0$  на множители 2, 4, 8, 16, 24, 40, 64 соответственно.

Для вычисления  $K$ -индекса берётся изменение геомагнитного поля за трёхчасовой интервал, из него вычитается регулярная часть, определяемая по спокойным дням, и полученная величина переводится в  $K$ -индекс.

#### М.5.4.2 $S$ -индекс

Наиболее простой индекс геомагнитной активности характеризует возмущённость геомагнитного поля в течение суток и имеет трёхбалльную шкалу (0, 1, 2). Начал определяться с 1906 г. На каждой обсерватории наблюдатель «на глаз» оценивает возмущённость геомагнитного поля за сутки. Наиболее спокойные записи геомагнитного поля оцениваются нулём, наиболее бурные – числом 2. Часто эта характеристика носит субъективный характер.

#### М.5.4.3 $aa$ - и $Aa$ -индексы

Простой планетарный  $aa$ -индекс геомагнитной активности, вычисляемый по трёхчасовым значениям  $K$ -индекса, измеренным на двух почти диаметрально противоположных магнитных обсерваториях в Северном и Южном полушариях. В настоящее время это Хартланд (Hartland) в Великобритании и Канберра (Canberra) – в Австралии. Значения  $K$ -индекса преобразуются обратно в амплитуды. Индекс  $aa$  определяется как среднее значение между амплитудами этих обсерваторий с учётом поправки на небольшую разницу в широтах двух обсерваторий или небольших изменений в их расположении. Индекс  $aa$  является трёхчасовым индексом, представляет уровень активности на инвариантной магнитной широте примерно  $50^\circ$ , измеряется в нанотеслах.  $Aa$ -индекс – среднее значение индекса  $aa$  за сутки.

#### М.5.4.4 $K_p$ -, $ap$ -, $A_p$ - и $A_{pms}$ -индексы

$K_p$ -индекс – планетарный индекс, характеризующий глобальную возмущённость геомагнитного поля в трёхчасовом интервале времени.  $K_p$ -индекс определяется как среднее значение уровней возмущения двух горизонтальных составляющих геомагнитного поля ( $D$  и  $H$ ), наблюдаемых на 13 отобранных магнитных обсерваториях, расположенных в субавроральной зоне между  $48^\circ$  и  $63^\circ$  северной и южной геомагнитных широт. Для

определения  $K_p$ -индекса используются стандартизованные значения локальных  $K$ -индексов ( $K_s$ ) этих 13 обсерваторий.  $K_p$ -индекс имеет 28 значений в диапазоне от 0 до 9 и определяется с точностью до 1/3:  $0^0, 0^+, 1^-, 1^0, 1^+, 2^-, \dots, 8^-, 8^0, 8^+, 9^-, 9^0$ .

Вычисляется  $ap$ -индекс по значениям  $K_p$  индекса и представляет изменение наиболее возмущённого элемента геомагнитного поля  $D$  или  $H$  в трёхчасовом интервале времени на среднеширотных станциях. Называют  $ap$ -индекс планетарной амплитудой в трёхчасовом интервале. Он изменяется в интервале от 0 до 400 нТл и представляет значения  $K_p$ , преобразованные к линейной шкале в нанотеслах, которая показывает эквивалентное возмущение амплитуды на станции, которое при  $K = 9$  имеет нижний предел в 400 нТл.

$A_p$ -индекс получается осреднением восьми значений  $ap$  за день, и поэтому является эквивалентной среднесуточной планетарной амплитудой возмущения геомагнитного поля с линейной шкалой. Определяется  $A_p$  в нанотеслах в интервале значений от 0 до 280 нТл.

Возмущённость геомагнитного поля в течение суток количественно характеризуется в Гелиогеофизической службе региональным индексом возмущённости  $A_{pmos}$ .  $A_{pmos}$  формируется как среднее из восьми трёхчасовых значений индекса  $A_{pmos}$ , получаемого как среднее из  $a_k$ -индексов на каждой из среднеширотных магнитных обсерваторий Евразийского региона (Москва, Подкаменная Тунгуска, Магадан, Паратунка, Санкт-Петербург, Новосибирск, Шамбон, Вингст, Какиока). Для каждой из обсерваторий вначале формируются трёхчасовые квазилогарифмические  $K$ -индексы, которые отображают в условных единицах изменение геомагнитного поля от невозмущённого состояния ( $K = 0$ ) до наибольшего наблюдавшегося для данной станции возмущения ( $K = 9$ ). Для сохранения подобия изменений  $a_k$ -индекса ходу геомагнитных возмущений в средних широтах, шкала преобразований  $K$ -индекса в  $a_k$  такова, что на  $50^\circ$  дипольной широты  $a_k$ -индекс приблизительно равен половине амплитуды возмущённости наиболее возмущённого элемента геомагнитного поля, измеренной в нанотеслах (таблица М.2).

Т а б л и ц а М.2 – Соотношение  $K$ -индекса к индексу  $a_k$

$K$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a_k$	0	4	7	15	27	48	80	140	240	400

Степень возмущённости геомагнитного поля может быть оценена по  $A_{pmos}$ -индексу по таблице М.3.

Т а б л и ц а М.3 – Степень возмущённости геомагнитного поля по индексу  $A_{pmos}$

Значения $A_{pmos}$	0–7	8–14	15–19	20–29	30–49	$\geq 50$
Состояние геомагнитного поля	очень спокойное	спокойное	неустойчивое	слабо возмущённое	умеренно возмущённое	сильно возмущённое

#### М.5.4.5 *AU*-, *AL*-, *AE*-, *AO*-индексы

*AU*-, *AL*-, *AE*-, *AO*-индексы геомагнитной активности характеризуют геомагнитную возмущённость в зоне полярных сияний, обусловленную усилением токов в ионосфере, протекающих в авроральной зоне. Методика вычисления *AU*-, *AL*-, *AE*-, *AO*-индексов основана на определении величины отклонения горизонтальной составляющей *H* геомагнитного поля от спокойного уровня – среднемесячного значения горизонтальной составляющей *H*. Для вычисления *AU*-, *AL*-, *AE*-, *AO*-индексов используют геомагнитные данные 12 обсерваторий, расположенных на авроральных или субавроральных широтах (геомагнитная широта от 60° до 72°) и равномерно распределённых по долготе (рисунок М.11, таблица М.4).

*AU*-индекс (auroral upper) соответствует максимальному по всем обсерваториям авроральной зоны положительному отклонению горизонтальной составляющей *H* геомагнитного поля от среднего спокойного уровня.

*AL*-индекс (auroral low) соответствует максимальному отрицательному отклонению горизонтальной составляющей *H* геомагнитного поля от среднего спокойного уровня на станциях авроральной зоны.

Поскольку положительные отклонения наблюдаются в зоне в вечерние часы, а отрицательные в утренние и ночные и связаны они с авроральными электроджетами, текущими вдоль зоны, соответственно на восток и на запад, то индекс *AU* характеризует интенсивность восточного тока полярного электроджета, а индекс *AL* – западного. Численные значения *AU*-индекса находятся в интервале от 0 нТл в магнитоспокойный день до приблизительно плюс 1 500 нТл – в возмущённый день, а для *AL*-индекса от 0 до минус 3 000 нТл соответственно.

*AE*-индекс определяется как сумма абсолютных значений *AU*- и *AL*-индексов, т.е. суммарный размах магнитных флуктуаций в горизонтальной составляющей *H* геомагнитного поля. Индекс *AE* характеризует геомагнитную возмущённость в зоне в целом, безотносительно к месту появления возмущения. Он рассматривается как мера интенсивности геомагнитных возмущений в зоне полярных сияний, называемых магнитосферными суббуриями. Численное значение *AE*-индекса лежит в интервале от 0 нТл в магнитоспокойный день до приблизительно плюс 3 000 нТл – в возмущённый день.

*AO*-индекс был определён как значение  $(AU+AL)/2$  и геометрически представляет перемещающуюся серединную точку между *AU* и *AL* значениями в любой данный момент времени. Численные значения *AO*-индекса могут изменяться от 0 нТл в магнитоспокойный день до приблизительно минус 1 500 нТл – в магнитовозмущённый день.

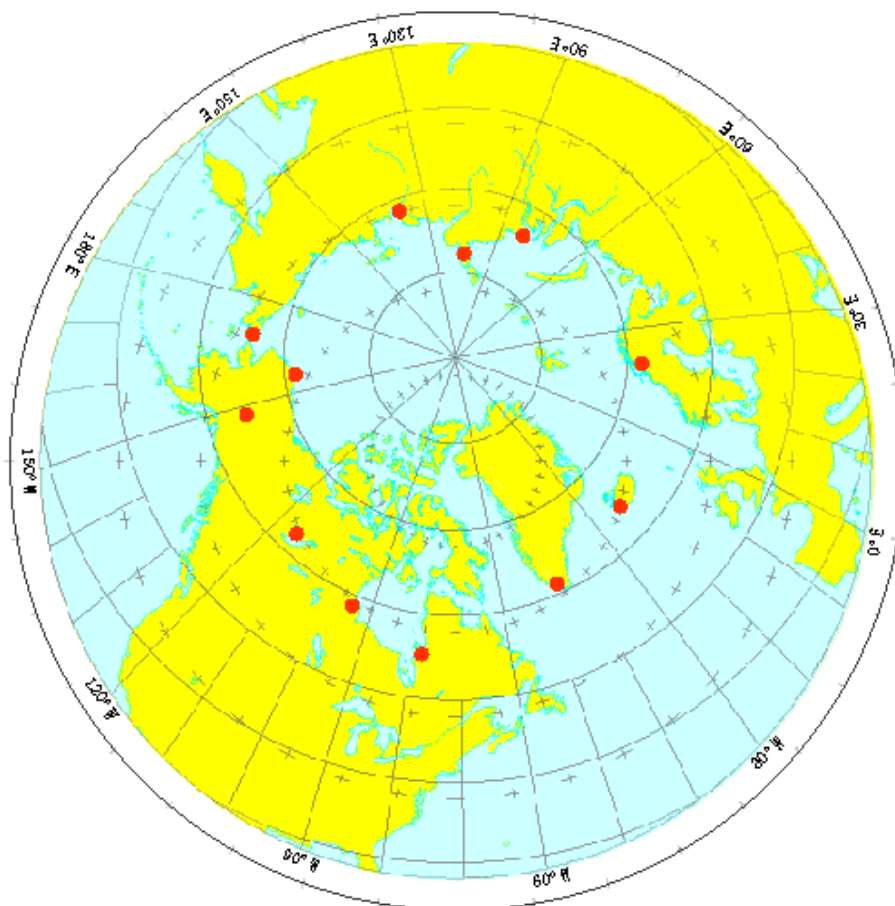


Рисунок М.11 – Расположение магнитных обсерваторий, которые используются для расчета *AE*-индекса

Т а б л и ц а М.4 – Расположение магнитных обсерваторий, которые используются для расчета *AE*-индекса

Обсерватория	Географические координаты		Геомагнитные координаты	
	Широта (с. ш.)	Долгота (в. д.)	Широта (с. ш.)	Долгота (в. д.)
Abisko	68.36	18.82	66.04	115.08
Dixon Island	73.55	80.57	63.02	161.57
Cape Chelyuskin	77.72	104.28	66.26	176.46
Tixie Bay	71.58	129.00	60.44	191.41
Cape Wellen	66.17	190.17	61.79	237.10
Barrow	71.30	203.25	68.54	241.15
College	64.87	212.17	64.63	256.52
Yellowknife	62.40	245.60	69.00	292.80
Fort Churchill	58.80	265.90	68.70	322.77
Poste-de-la-Baleine	55.27	282.22	66.58	347.36
Narsarsuaq (Narsarssuaq)	61.20	314.16	71.21	36.79
Leirvogur	64.18	338.30	70.22	71.04

#### М.5.4.6 $D_{st}$ -индекс

$D_{st}$ -индекс геомагнитной активности в низких широтах был введён как мера изменения поля кольцевого тока, возникающего в магнитосфере во время магнитных бурь (Disturbance storm-time). На земной поверхности влияние кольцевых токов сказывается в уменьшении горизонтальной составляющей  $H$  геомагнитного поля с максимальным уменьшением в низких широтах. Вычисляется  $D_{st}$ -индекс как средняя в часовом интервале величина возмущения горизонтальной составляющей  $H$  напряжённости геомагнитного поля, отсчитываемого от спокойного уровня, определённая по данным четырёх низкоширотных обсерваторий, равномерно распределённых по долготе. В магнитоспокойные дни величина  $D_{st}$  лежит в пределах  $\pm 20$  нТл, во время магнитных бурь она достигает больших отрицательных значений (до минус 450 нТл).

#### М.5.4.7 $ASY$ - и $SYM$ -индексы

$ASY$ - (долготно-асимметричный) и  $SYM$ - (симметричный) индексы введены для описания возмущения геомагнитного поля в средних широтах с высоким временным разрешением (1 минута). Значения этих магнитных индексов определяются по одномоментным значениям составляющих  $H$  и  $D$  геомагнитного поля: для составляющей в горизонтальном (дипольный полюс) направлении  $H$  ( $SYM-H$ ,  $ASY-H$ ) и в ортогональном (восток-запад) направлении  $D$  ( $SYM-D$ ,  $ASY-D$ ).

Индекс  $SYM-H$  даёт информацию о поведении симметричного кольцевого тока, опоясывающего земной шар вдоль низких широт. Индекс  $ASY-H$  представляет собой асимметричный кольцевой ток, полученный таким же путём, как симметричный кольцевой ток.

Симметричное возмущение поля в горизонтальной составляющей  $H$ ,  $SYM-H$ , является по существу тем же, что и часовой индекс  $D_{st}$ , хотя для определения их используются одномоментные значения из разных наборов станций с несколько иной системой координат. Аналогично, изменение асимметричной горизонтальной составляющей  $H$  хорошо коррелирует с индексом  $AE$ .

#### М.5.4.8 $PC$ -индекс

$PC$ -индекс (Polar Cap) характеризует геомагнитные возмущения в полярной шапке, обусловленные воздействием солнечного ветра и межпланетного магнитного поля на магнитосферу Земли.  $PC$ -индекс вычисляется отдельно для Северного и Южного полушария по геомагнитным данным одной станции, расположенной вблизи полярной шапки. Для Северного полушария  $PCN$ -индекс вычисляют по данным

станции Туле (Thule (Qaanaaq) – *THL*), расположенной в Гренландии. Для Южного полушария *PC*-индекс вычисляют по данным станции Восток (Vostok – *VOS*) в Антарктиде.

*PC*-индекс – величина, которая пропорциональна интенсивности магнитного возмущения в полярной шапке, откалибрована по межпланетному электрическому полю (*EKL*)  $E_m$  (поэтому имеет размерность В/м) и параметризованная по сезону, времени UT и полушарию (Северное или Южное). Большие положительные величины *PC*-индекса указывают на интенсивное поступление энергии солнечного ветра в магнитосферу и, соответственно, на возмущённое состояние магнитосферы.

Анализ соотношений между *PC* и *EKL* показал, что поведение *PC*-индекса контролируется вариациями поля *EKL*, рост *EKL* всегда сопровождается увеличением величины *PC*-индекса с задержкой во времени  $\Delta T$  от 12 до 20 мин. В свою очередь рост *PC*-индекса определяет развитие магнитосферных суббурь и магнитных бурь. Магнитосферные суббури начинаются после того, как *PC*-индекс достигает критической величины ( $1,5 \pm 0,5$ ) мВ/м, и продолжаются пока *PC*-индекс превышает эту величину. Внезапное начало суббурь (*SC*) определяется резким увеличением скорости роста *PC*-индекса, при этом линейная связь между величинами *PC* и *AL* (характеристика интенсивности суббури) характерна для периодов как после, так и перед моментом *SC*, независимо от типа и интенсивности суббури.

Развитие магнитных бурь также определяется временной эволюцией *PC*-индекса: депрессия геомагнитного поля начинает проявляться, если *PC*-индекс устойчиво (в интервале более 1 ч) превышает то же самое критическое значение, примерно равное 1,5 мВ/м; буря продолжается пока *PC*-индекс превышает этот порог, достигает максимальной интенсивности вслед за максимумом величины *PC* и начинает затухать, как только *PC*-индекс становится меньше порогового значения. Максимальная депрессия геомагнитного поля ( $D_{st\ min}$ ) соответствует максимальной величине усреднённого за 30 мин *PC*-индекса с задержкой во времени приблизительно от 1 до 2 ч, при этом величины  $D_{st\ min}$  и  $PC_{max}$  связаны линейным соотношением. В соответствии с особенностями поведения *PC*-индекса магнитные бури могут быть разделены на три типа:

- «классические» бури (с чётко определяемым интервалом уменьшения геомагнитного поля и ясно выраженной фазой максимальной магнитной депрессии);
- «пульсирующие» бури (с многократно повторяющимися флуктуациями *PC*-индекса с разными периодами и амплитудами);
- «комбинированные» бури, то есть такие, которые представляют собой суперпозицию классических и пульсирующих бурь.

Такое разделение определяется солнечными *CME*- или *CIR*-источниками или их совместным действием соответственно. Таким образом, в процессе вариаций космической погоды *PC*-индекс, с одной стороны, реагирует на изменения межпланетного электрического поля, а с другой – предопределяет развитие и интенсивность магнитосферных возмущений (суббурь и магнитных бурь). Указанные экспериментальные факты однозначно свидетельствуют о том, что *PC*-индекс является индикатором поступающей в магнитосферу энергии солнечного ветра.

#### М.5.4.9 *Km*-, *Kn*-, *Ks*-индексы

*Kn*- и *Ks*-индексы характеризуют планетарную возмущённость геомагнитного поля в Северном и Южном полушариях соответственно. *Km*-индекс характеризует среднюю планетарную возмущённость. Индексы *Kn*, *Ks* и *Km* выражаются в тех же единицах, что и *K<sub>p</sub>*.

#### М.5.4.10 *am*-, *an*-, *as*-индексы

Трёхчасовые *am*-, *an*-, *as*-индексы представляют собой амплитуды возмущения, определяемые по значениям *K*-индекса, определённым на тех же обсерваториях, объединённых в группы, по которым вычисляются *Km*-, *Kn*-, *Ks*-индексы геомагнитной активности. Индексы *an*, *as* и *am* выражаются в гаммах.

Эти индексы не получили широкого распространения.

#### М.5.4.11 *r<sub>H</sub>*-индекс

*r<sub>H</sub>* – индекс, характеризующий геомагнитную возмущённость в высокоширотных областях в часовом интервале, определяется как абсолютный максимальный часовой размах горизонтальной составляющей *H*, выраженный в десятках нанотесла. Индекс *r<sub>H</sub>* не связан с определёнными физическими представлениями и не нашёл достаточно широкого распространения.

Подробное описание и физический смысл индексов геомагнитной активности приведены в [8] и [13].

## Приложение Н

(справочное)

### Метрологическое, нормативное и техническое обеспечение магнитных наблюдений

#### Н.1 Основные контролируемые величины

В соответствии с частью 2 статьи 27 Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» [14] и МИ 3198-2009 [15] магнитные наблюдения, выполняемые в Росгидромете, относятся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. В перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях, утверждённый приказом Министерства природных ресурсов и экологии России № 436 от 19.10.2015 [9], включены характеристики магнитной индукции на земной поверхности в диапазоне от 10 до  $10^5$  нТл с предельно допустимой погрешностью  $\pm 2$  нТл. Требования Всемирной метеорологической организации по магнитным наблюдениям представлены в таблице Н.1.

Т а б л и ц а Н.1 – Требования Всемирной метеорологической организации к наблюдениям за характеристиками геомагнитного поля

Номер требования	Переменная	Место наблюдений	Погрешность измерений, нТл	Разрешение по горизонтали, км	Цикличность измерений, с	Время от измерения до получения информации, мин
а) минимальные						
612	Вектор геомагнитного поля	Поверхность Земли	$\pm 1$	500	10	60
б) оптимальные						
612	Вектор геомагнитного поля	Поверхность Земли	$\pm 0,3$	200	10	10
в) максимальные						
612	Вектор геомагнитного поля	Поверхность Земли	$\pm 0,1$	100	1	1

#### Н.2 Утверждение типа средств измерений

В целях обеспечения единства измерений на основе Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» [14] и в дополнение к [16] разработана и внедрена МИ 3290-2010 [17].

В процессе испытаний утверждается методика поверки средств измерений этого типа, проверяется соответствие нормирования заявленных метрологических характеристик



требованиям ГОСТ 8.009-84 [18], ГОСТ 8.401-80 [19], а также действующим национальным стандартам на средства измерений, и правильность выражения наименований и обозначений единиц величин.

При положительных результатах испытаний утверждается тип средства измерений, производится регистрация в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений и выдаётся Заявителю свидетельство об утверждении типа.

В настоящее время в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений включены следующие средства измерений магнитных величин, которыми оснащена наблюдательная сеть:

- станция трёхкомпонентная цифровая магнитовариационная МВС (ИЗМИРАН), Госреестр № 35089-07;

- магнитометр POS-1 с RS-232-интерфейсом для магнитных обсерваторий (базовая вариационная станция) (ООО «НПО квантовой магнитометрии», Екатеринбург), Госреестр № 44807-10.

Для проведения магнитных наблюдений в Росгидромете сформирован парк средств измерений магнитных величин, а именно: магнитометры, магнитовариационные станции, магнитные инклинометры и деклинометры, которыми оснащены СП магнитных наблюдений. Этот парк насчитывает более 20 типов приборов. В качестве средств измерений магнитных величин используются наиболее распространённые и пригодные для решения измерительных задач приборы: протонные магнитометры, феррозондовые магнитометры и вариометры, кварцевые вариометры Боброва, феррозондовые деклинометры/инклинометры (таблица Н.2).

Основные требования, предъявляемые к средствам измерений магнитных величин: максимально возможная точность измерений геомагнитного поля и обеспечение непрерывности регистрации вариаций геомагнитного поля. Отличительная особенность измерений геомагнитного поля заключается в том, что здания с магнитометрами (павильоны) и территория СП магнитных наблюдений фактически являются частью измерительных инструментов. При создании и в процессе эксплуатации СП магнитных наблюдений необходимо учитывать характер геомагнитной обстановки в данном районе (естественные вариации геомагнитного поля и промышленные воздействия на это поле). Здания для геомагнитных измерений не должны искажать магнитное поле внутри его помещений и не должны являться источником непредсказуемых температурных и других климатических воздействий на показания магнитометров. Все измерения градиентов геомагнитного поля оформляются в виде магнитных карт и схем геомагнитной обстановки в данном районе, которые являются паспортом СП магнитных наблюдений.

Т а б л и ц а Н.2 – Основные характеристики приборов для измерений магнитной индукции

Наименование и тип средства измерений	Диапазон измерений, нТл	Погрешность измерений	Частотный диапазон измерений
Портативный протонный магнитометр МИНИМАГ	От 20 000 до 100 000	Предел основной систематической погрешности не более 2 нТл; предел средней квадратической погрешности не более 0,9 нТл	Постоянные магнитные поля
Магнитометр POS-1 на эффекте Оверхаузера	От 20 000 до 100 000	Предел основной систематической погрешности не более 2 нТл, предел средней квадратической погрешности не более 0,7 нТл	Постоянные магнитные поля
Станция цифровая магнитовариационная «КВАРЦ-4»	$\pm 2 000$	Предел основной систематической погрешности не более 0,1 нТл	От 0 до 15 Гц
Магнитовариационная станция «КВАРЦ-ЗЕМ»	$\pm 2 000$	Предел допускаемой приведённой погрешности не более $\pm 0,5 \%$	-
DMI Fluxgate Magnetometer	$\pm 3 400$	-	От 0 до 1 Гц
3-компонентный аналого-цифровой магнитометр LEMI-022	$\pm 1 000$ (диапазон измерений по аналоговому выходу)	-	Постоянные магнитные поля от 0 до 3 Гц

### Н.3 Поверка и калибровка средств измерений

Инструментальные погрешности измерения должны быть подтверждены поверкой или калибровкой применяемых средств измерений. Средства поверки магнитометров дают определённую гарантию обеспечения повышенной точности наблюдений и регистрации вариаций геомагнитного поля с одновременным расширением технических возможностей СП магнитных наблюдений.

Средства измерений до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации – периодической поверке. Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляют выдачей свидетельства о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, установленными нормативными документами по поверке. Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке.

Для средств измерений постоянных и переменных магнитных полей в стране создана метрологическая база, обеспечивающая поверку и калибровку технических средств государственной наблюдательной сети (таблица Н.3).

Т а б л и ц а Н.3 – Возможности национальной метрологической базы страны по обеспечению единства магнитных измерений в Росгидромете

Наименование физической величины	Потребность Росгидромета		Возможности государственной метрологической базы	
	Диапазон измерений, Тл	Погрешность измерений, %	Диапазон передачи размера единицы, Тл	Погрешность передачи размера единицы, %
Магнитная индукция постоянного магнитного поля	От $10^{-9}$ до $10^{-4}$	От 0,01 до 0,1	От $10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-4}$	От 0,001 до 0,1
Магнитная индукция переменного магнитного поля в диапазоне частот от 0,01 до 20 Гц	От $10^{-10}$ до $10^{-5}$	От 0,1 до 1,0 ( $\pm 0,1$ нТл)	От $10^{-12}$ до $5 \cdot 10^{-2}$	От 0,03 до 1,0

Государственный первичный эталон единиц магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции ГЭТ 12-2011 находится в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург).

Государственные вторичные эталоны находятся в ФГУП «СНИИМ» (г. Новосибирск).

Рабочие эталоны магнитных полей требуемого диапазона размещены в ФГУП «ВНИИФТРИ» (пос. Менделеево Московской области), ФГУП «УНИИМ» (г. Екатеринбург) и других организациях.

Предприятия-разработчики и производители средств измерений имеют собственную необходимую метрологическую базу, которая имеет прослеживаемость к первичному эталону.

В соответствии с государственной поверочной схемой ГОСТ 8.030-2013 [20] для проведения поверки и калибровки средств измерений магнитных величин используются эталоны 3, 2 и 1 разряда, содержащие источник электрического тока, средство измерений этого тока и 1-, 2- или 3-компонентную меру магнитной индукции. Такие эталоны почти всегда являются стационарными, в связи с необходимостью обеспечения требуемого рабочего объема меры магнитной индукции. Например, 3-компонентная мера магнитной индукции с диаметром 13 см (неоднородность магнитной индукции – 0,07 %) имеет габаритные размеры 250×325×325 см. Для обеспечения метрологической стабильности эталонные катушки стационарных мер магнитной индукции устанавливаются на сложных фундаментах с немагнитной арматурой в помещениях, где недопустимо использование ферромагнитных материалов, и вдали от источников помех. Такие эталоны являются дорогими при строительстве и эксплуатации, применяются для обеспечения поверкой средств измерений магнитных величин при выпуске их на предприятиях-изготовителях и на некоторых базах измерительной техники. Большинство организаций используют существующую метрологическую базу страны либо создают необходимую для своих задач собственную базу, если этот вариант экономически оправдан.

Использование стационарных мер магнитной индукции для проведения периодической поверки средств измерений магнитных величин требует доставки средств измерений магнитных величин к местам дислокации этих мер, что неудобно и экономически невыгодно. Альтернативой является применение встроенного в средство измерений магнитных величин эталона, который представляет собой катушку магнитной индукции и управляемый источник тока. Для средства измерений магнитных величин указанного назначения в качестве первичных используются, как правило, ферромодуляционные преобразователи. В таких средствах измерений магнитных величин катушка магнитной индукции представляет собой эталонную обмотку, намотанную непосредственно на каркас под обмоткой обратной связи. Постоянную по магнитной индукции для эталонной обмотки определяют при проведении первичной поверки. Поверку источника тока нетрудно организовать при проведении периодической поверки средств измерений магнитных величин на месте эксплуатации, используя переносные эталонные средства измерений (например вольтметр и катушку электрического сопротивления измерительную). Встроенный эталон обладает рядом достоинств: упрощается методика поверки при его использовании, что связано с отсутствием необходимости совмещения магнитных осей первичного преобразователя и эталона, так как их обмотки размещаются на общем каркасе; повышается помехоустойчивость схемы поверки из-за отсутствия необходимости использования внешних измерительных приборов и компактного расположения всех элементов эталона; появляется возможность проведения контроля работоспособности измерительного канала магнитной индукции непосредственно во время эксплуатации.

В современных феррозондовых МВС и магнитометрах установлены подобные меры магнитной индукции, например: оборудование для контроля уровня вариаций геомагнитного поля М087-Р (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург); установки ЦУ7002, ЦУ7011, ЦУ7013, ЦУ7014 и ЦУ7022 (ОАО «НИИ Электромера», г. Санкт-Петербург).

В кварцевых вариометрах МВС (ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк) для градуировки и калибровки используются встроенные источники магнитного поля, представляющие собой кольца Гельмгольца с постоянной меры магнитной индукции 130 нТл/мА, в которые подаётся постоянный электрический ток, измеряемый с помощью миллиамперметра.

Разработаны и внедрены в метрологическую практику нормативные документы, определяющие методы и средства поверки [21] – [24].

В случае отсутствия нормативного документа на методы и средства поверки (ГОСТ, ГОСТ Р или иного) разрабатывается собственная методика поверки в соответствии с РМГ 51, которая проходит опробование и доработку в процессе испытаний и эксплуатации средства измерений.

**Библиография**

- [1] Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. Warsaw: IAGA. 1996. 232 p.
- [2] St-Louis B. (Ed.). INTERMAGNET Technical Reference Manual. Version 4.3. Edinburgh: JAGA. 2007. 88 p.
- [3] Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2006. 139 с.
- [4] Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. 5-е изд. Л.: Недра, 1979. 351 с.
- [5] Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 188 с.
- [6] Инструкция по выполнению абсолютных измерений феррозондовым деклинометром/инклинометром. Редакция 2.2. М.: ГЦ РАН, 2016.
- [7] Denisov A.Y., Denisova O.V., Sapunov V.A., Khomutov S.Y. Measurement quality estimation of proton-precession magnetometers // Earth, Planets and Space. 2006. Vol. 58. No. 6. P. 707–710.
- [8] Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: справочное пособие. 2-е изд., перераб. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 88 с.
- [9] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19 октября 2015 г. № 436.
- [10] Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197–ФЗ (в ред. от 29.12.2012) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2002.
- [11] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены Приказом Министерства энергетики Российской Федерации № 6 от 13.01.2003).
- [12] Sapunov V.A., Denisov A.Y., Saveliev D.V. et al. New vector/scalar overhauser DNP magnetometers POS-4 for magnetic observatories and directional oil drilling support // Magnetic Resonance in Solids. 2016. Vol. 18. No. 2.
- [13] Индексы геомагнитной активности. Общие требования [Текст]: СТО 52.26.003–2013. Введ. 2013-12-01. М.: ФГБУ «ИПГ», 2013. 101 с.
- [14] Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
- [15] Рекомендация Государственная система обеспечения единства измерений. МИ 3198–2009 Составление перечней измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, с указанием обязательных требований к ним.

- [16] Приказ Минпромторга России от 30 ноября 2009 г. № 1081 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа».
- [17] Рекомендация МИ 3290–2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа.
- [18] Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.009–84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
- [19] Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.401–80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования.
- [20] Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.030–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции.
- [21] МИ 156–78 Методика поверки рабочих средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-8}$  до  $5 \cdot 10^{-2}$  Тл.
- [22] МИ 166–78 Методика поверки рабочих средств измерений магнитной индукции переменного магнитного поля.
- [23] Руководящий документ РД 50-487–84 Методические указания. Средства измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля от  $1 \cdot 10^{-10}$  до  $5 \cdot 10^{-2}$  Тл образцовые. Методы и средства поверки.
- [24] Руководящий документ РД 50-488–84 Методические указания. Средства измерений магнитной индукции переменного магнитного поля от  $1 \cdot 10^{-13}$  до  $3 \cdot 10^{-2}$  Тл образцовые 2-го разряда. Диапазон частот 1–20 000 Гц. Методы и средства поверки.



Подписано к печати 25.12.2020. Формат 60×84/8.  
Печать офсетная. Печ. л. 22,3. Тираж 256 экз. Заказ № 60.  
Отпечатано в ООО «Столица», г. Москва