

## **СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

---

### **ИНДЕКСЫ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ** **Общие требования**

---

---

**СТО 52.26.003-2013**  
Geomagnetic activity indices  
General requirements

Москва  
ФГБУ "ИПГ"  
2013 г.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАН ФГБУ "Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова"

2 РАЗРАБОТЧИКИ: Буров В.А., канд. физ.-мат. наук; Денисова В.И.; Дьяков В.П., канд. физ.-мат. наук; Заболотная Н.А., канд. геолого-минералогических наук; Заболотнов В.Н.; Зайцев А.Н., д-р физ.-мат. наук; Лапшин В.Б., д-р физ.-мат. наук; Минлигареев В.Т., д-р техн. наук; Морозова М.А., канд. хим. наук; Нечаев С.А.; Петров В.Г., канд. физ.-мат. наук; Сыроешкин А.В., д-р биол. наук; Тертышников А.В., д-р техн. наук; Чиквиладзе Г.Н., канд. техн. наук.

3 СОГЛАСОВАН с техническим комитетом по стандартизации ТК-101 «Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере» (проведена научно-техническая экспертиза стандарта организации, протокол № 7 от 6 июня 2013 г.); принят на Ученом совете ФГБУ «ИПГ» 13 июня 2013 г. (Протокол № 10).

4 УТВЕРЖДЕН приказом директора ФГБУ "ИПГ" № 35 от 9 сентября 2013 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН ФГБУ "ИПГ" за номером СТО 52.26.003-2013

6 РАЗРАБОТАН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и/или распространен без разрешения ФГБУ "ИПГ".

## Содержание

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Область применения.....                                                                                                | 1  |
| 2 Нормативные ссылки.....                                                                                                | 1  |
| 3 Термины и определения.....                                                                                             | 5  |
| 4 Обозначения и сокращения.....                                                                                          | 8  |
| 5 Характеристики магнитного поля Земли.....                                                                              | 14 |
| 6 Требования Всемирной метеорологической организации к наблюдениям характеристик геомагнитного поля.....                 | 23 |
| 7 Требования к обсерваториям сети INTERMAGNET.....                                                                       | 24 |
| 8 Индексы геомагнитной активности.....                                                                                   | 27 |
| 9 Формы представления индексов геомагнитной активности.....                                                              | 60 |
| 10 Требования по метрологическому обеспечению геомагнитных измерений.....                                                | 67 |
| 10.1 Утверждение типа средств измерений.....                                                                             | 68 |
| 10.2 Поверка и калибровка средств измерений.....                                                                         | 71 |
| Приложение А Требования к территории и зданиям магнитных обсерваторий.....                                               | 76 |
| Приложение Б Требования к средствам измерения геомагнитной активности.....                                               | 91 |
| Б.1 Прецизионный протонный магнитометр.....                                                                              | 91 |
| Б.2 Магнитовариационная станция.....                                                                                     | 93 |
| Б.3 Комплект аппаратуры (деклинометр/инклинометр) для цифровой регистрации компонент абсолютного геомагнитного поля..... | 94 |
| Б.4 Система регистрации и накопления магнитовариационной информации (Микролог).....                                      | 95 |
| Б.5 Система подготовки и автоматической передачи цифровых данных в каналы связи (АПД).....                               | 96 |
| Библиография.....                                                                                                        | 99 |

Стандарт организации СТО 52.26.003-2013

## **ИНДЕКСЫ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ**

### **Общие требования**

Geomagnetic activity indices. General requirements

Дата введения – 2013-12-01

### **1 Область применения**

Настоящий документ разработан для обеспечения проведения мониторинга возмущений магнитного поля Земли, расчета индексов геомагнитной активности и информационного гелиогеофизического обеспечения потребителей.

### **2 Нормативные ссылки**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 1.0-92 ГСС Основные положения

ГОСТ Р 1.2-92 ГСС Порядок разработки государственных стандартов

ГОСТ Р 1.5-92 ГСС Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов

ГОСТ Р 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

ГОСТ Р 8.654-2009 Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения

ГОСТ 8.030-91 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне от  $1 \times 10^{-12}$  в ст. минус до  $5 \times 10^{-2}$  в ст. минус Тл, постоянного магнитного потока, магнитной индукции и магнитного момента в интервале частот от 0 до 20000 Гц

ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования

ГОСТ 25645.103-84 Условия физические космического пространства. Термины и определения

ГОСТ 25645.109-84 Магнитосфера Земли. Термины и определения

ГОСТ 25645.113-84 Ионосфера Земли. Термины и определения

ГОСТ 25645.115-84 Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли

ГОСТ 25645.126-85 Поле геомагнитное. Модель поля внутриземных источников

ГОСТ 25645.302-83 Расчеты баллистические искусственных спутников Земли. Методика расчета индексов солнечной активности

РМГ 29-99 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

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

РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений

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

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 — 20000 Гц. Методы и средства поверки

РД 50-25645.120-85 Методические указания. Атмосфера Земли верхняя. Методика расчета индексов солнечной активности для определения плотности

РД 50.2.077-2011 Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка обеспечения защиты программного обеспечения

РД 52.04.563-2002 Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения

РД 52.04.567-2003 Положение о государственной наблюдательной сети

РД 52.14.610-99 Положение о службах стандартизации Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

РД 52.14.664-2005 Метрологическое обеспечение гидрометеорологических измерений. Анализ состояния измерений в области гидрометеорологических наблюдений

РД 52.88.629–2002 Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения

РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений

МИ 156-78 Методика поверки рабочих средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне  $1 \cdot 10^{-8} \dots 5 \cdot 10^{-2}$  Тл

МИ 166-78 Методика поверки рабочих средств измерений магнитной индукции переменного магнитного поля

МИ 3198-2009 Составление перечней измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, с указанием обязательных требований к ним

МИ 3286-2010 Проверка защиты программного обеспечения и определение ее уровня при испытаниях средств измерений в целях утверждения типа

МИ 3290-2010 Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа

МУ 3269-2010 Построение, изложение, оформление и содержание документов на методики (методы) измерений

приказ Минприроды России от 07.12.2012 г. № 424 Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях

приказ Росгидромета от 27.12.2012 г. № 819 Положение о метрологической службе Росгидромета

**П р и м е ч а н и е** – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

| Термин                            | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Авроральная электроструя          | Электрический ток в области аврорального овала, направленный на запад в ночные и утренние часы, на восток – в вечерние                                                                                                                                                                                                                                |
| Авроральный овал                  | Область ионосферы, являющаяся проекцией плазменного слоя и каспа вдоль силовых линий геомагнитного поля, где наиболее часто наблюдаются полярные сияния                                                                                                                                                                                               |
| Вековые вариации                  | <p>Медленные вариации элементов земного магнетизма с периодами от нескольких десятков лет и более.</p> <p><b>П р и м е ч а н и е</b> – В отличие от суточных, сезонных, и других вариаций внешнего происхождения, вековые вариации связаны с источниками, лежащими внутри земного ядра</p>                                                            |
| Внезапное начало бури (SSC)       | Один из четких признаков магнитной бури. На магнитограммах проявляется в виде резкого увеличения магнитного поля типа изолированного импульса амплитудой до десятков нТл. Такой скачок магнитного поля вызван ударом по магнитосфере плотного потока солнечного ветра                                                                                 |
| Внезапные импульсы (SI+, SI-)     | <p>Импульсы в магнитном поле, возникающие вследствие резких градиентов параметров солнечного ветра.</p> <p><b>П р и м е ч а н и е</b> – Резкие импульсы, по своим морфологическим признакам близкие к SSC. Они служат средством диагностики состояния магнитосферы</p>                                                                                |
| Возмущенные геомагнитные вариации | <p>Изменения магнитного поля Земли, которые имеют нерегулярный, спорадический характер.</p> <p><b>П р и м е ч а н и е</b> – Возмущенная часть вариаций магнитного поля также состоит из целого ряда вариаций, которые, накладываясь одна на другую, в сумме дают неправильные колебания всех элементов земного магнетизма около среднего значения</p> |
| Геомагнитная активность           | Величина, выражающая степень возмущённости геомагнитного поля за определенный промежуток времени при взаимодействии корпускулярного излучения Солнца с магнитосферой Земли                                                                                                                                                                            |

| 1                       | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Геомагнитная буря       | Возмущение геомагнитного поля, охватывающее всю магнитосферу в течение нескольких суток, приводящее, в частности, в низких широтах на поверхности Земли к уменьшению магнитной индукции на 50 нТл и больше                                                                              |
| Геомагнитные вариации   | Изменения магнитного поля Земли во времени в результате различных факторов                                                                                                                                                                                                              |
| Геомагнитные пульсации  | Флуктуации геомагнитного поля с периодом от долей секунды до десятков минут                                                                                                                                                                                                             |
| Геомагнитный хвост      | Область магнитосферы Земли, находящаяся на ночной стороне и образованная магнитными силовыми линиями, вытянутыми в направлении от Солнца                                                                                                                                                |
| Ионосфера               | Область атмосферы на высотах выше 60 км, содержащая свободные электроны в достаточном количестве, чтобы влиять на распространение радиоволн                                                                                                                                             |
| Касп                    | Область в околополуденной части магнитосферы, имеющая вид воронки, расширяющейся от Земли до магнитопаузы, и разделяющая силовые линии дневной магнитосферы и геомагнитного хвоста.<br>Примечание – Существуют северный и южный полярные каспы                                          |
| Лунно-суточные вариации | Геомагнитные вариации периодического характера, контролируемые положением Луны                                                                                                                                                                                                          |
| Магнитная обсерватория  | Пункт наблюдения, в котором длительное время осуществляется мониторинг характеристик геомагнитного поля                                                                                                                                                                                 |
| Магнитное склонение     | Угол между географическим и магнитным меридианами в точке земной поверхности ( $D_0$ ).<br>Примечание – Магнитное склонение считается положительным, если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным – если к западу     |
| Магнитное наклонение    | Угол между вектором напряженности геомагнитного поля ( $T$ ) и горизонтальной плоскостью в рассматриваемой точке земной поверхности.<br>Примечание – Магнитное наклонение отсчитывается от горизонтальной плоскости вверх или вниз; магнитное наклонение положительно, когда вектор $T$ |

| 1                                  | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | направлен вниз от горизонтальной плоскости, что имеет место в Северном полушарии, и отрицательно, когда $T$ направлен вверх, – в Южном полушарии. Магнитное наклонение изменяется на земной поверхности от $0^\circ$ до $\pm 90^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Магнитный диполь                   | Идеализированная система, служащая для приближенного описания распространения магнитного поля. 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 |
| Магнитосфера Земли                 | Область околоземного пространства, занятая геомагнитным полем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Магнитосферная суббуря             | Возмущение геомагнитного поля длительностью от 1 до 2 ч, связанное с усиленной диссипацией энергии в магнитосфере $\geq 10^{11}$ Вт.<br>Примечание – Магнитосферная суббурия – одна из форм элементарных возмущений геомагнитного поля                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Магнитосферный кольцевой ток       | Электрический ток, созданный захваченными частицами в магнитосфере.<br>Примечание – Усиление магнитосферного кольцевого тока является одним из проявлений геомагнитной бури                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Полярная шапка                     | Область высокоширотной ионосферы, ограниченная авроральным овалом                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Полярное сияние                    | Свечение атмосферы под действием потоков электронов и протонов, наблюдающееся преимущественно в высоких широтах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Рекуррентные (27-дневные) вариации | Тенденция повторения характеристик геомагнитной активности через каждые 27 дней, соответствующих периоду вращения Солнца вокруг оси.<br>Примечание – Эта закономерность связана с существованием активных областей на Солнце, некоторые из которых сохраняются в течение нескольких его оборотов                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Сезонные вариации                  | Характеристики магнитной активности,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| 1                                         | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| магнитной активности                      | полученные путем обработки наблюдений за несколько сезонов                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Солнечное корпускулярное излучение        | Плазма, постоянно истекающая из Солнца                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Солнечный ветер                           | Поток ионизированных частиц (в основном гелиево-водородной плазмы), с вмороженным магнитным полем, истекающий в окружающее космическое пространство из солнечной короны со скоростью 300 — 1200 км/с                                                                                                                                         |
| Спокойные солнечно-суточные вариации (Sq) | Изменения элементов земного магнетизма с периодом, равным продолжительности солнечных суток.<br><b>П р и м е ч а н и е</b> — Основная причина Sq – волновое излучение Солнца, основной механизм – генерация токов вследствие динамо-эффекта в слое Е ионосферы. Характерная особенность этих вариаций – зависимость их протекания от долготы |
| 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                                                                                                                                                               |

#### 4 Обозначения и сокращения

АСПД – автоматизированная система передачи данных

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

ГМП – геомагнитное поле

ГНСС - глобальная спутниковая навигационная система

МВС – магнитовариационная станция

ММП – межпланетное магнитное поле

ППМ – прецизионный протонный магнитометр

СИ – система единиц, основанная на Международной системе величин, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам (CGPM)

СИ МВ – средства измерений магнитных величин

GPS – Global Positioning System (глобальная навигационная система)

IAGA – International Association of Geomagnetism and Aeronomy,  
международная ассоциация геомагнетизма и аэронавтики

IMO – магнитная обсерватория сети INTERMAGNET

SI+, SI- – внезапный импульс

SSC – внезапное начало бури

$\bar{a}$  – эквивалентная амплитуда

$a_a$  – геомагнитный индекс, характеризующий уровень магнитной активности на инвариантной магнитной широте ( $\sim 50^\circ$ )

$A_a$  – геомагнитный индекс, равный среднему значению индекса  $a_a$  за сутки

AE – алгебраическая разность AU и AL индексов

$a_k$  – индекс, отражающий эквивалентную (не истинную) амплитуду возмущения в 3-часовом интервале на конкретной обсерватории, соответствует центру амплитудного интервала для каждого балла K-индекса

$A_K$  – индекс, эквивалентный суточной амплитуде возмущения на конкретной обсерватории, определяется как среднее значение из восьми значений  $a_k$

AL – индекс, характеризует интенсивность западного тока авроральной электроструи

$a_m$ ,  $a_n$  и  $a_s$  – амплитудные индексы геомагнитной активности, являются промежуточным итогом при расчете соответствующих индексов  $K_m$ ,  $K_n$  и  $K_s$

$A_m$  – среднесуточный амплитудный индекс геомагнитной активности, рассчитывается осреднением восьми значений индексов  $a_m$  за день

$A_{m2}$  – среднее значение индекса  $a_m$  за 48-часовой период

$A_{Mos}$  – региональный индекс, характеризующий возмущенность магнитного поля в течение суток по данным  $A_K$ -индексов 9 среднеширотных магнитных обсерваторий Евразийского региона

$a_n$  – см.  $a_m$

$A_n$  – среднесуточный амплитудный индекс геомагнитной активности, рассчитывается осреднением восьми значений индексов  $a_n$  за день

$AO$  – геометрически представляет перемещающуюся серединную точку между  $AU$  и  $AL$  значениями в любой данный момент времени

$a_p$  – индекс планетарной амплитуды в трехчасовом интервале, вычисляется на основании  $K_p$  индекса. В отличие от  $K_p$ ,  $a_p$  является линейным индексом

$A_p$  – эквивалентная среднесуточная планетарная амплитуда, получается осреднением восьми значений индекса  $a_p$  за день

$a_s$  – см.  $a_m$

$A_s$  – среднесуточный амплитудный индекс геомагнитной активности

$A_s$  – азимут Полярной звезды

$ASY-D$  – одноминутный индекс, характеризующий долготно-асимметричное возмущенное поле в направлении  $\mathbf{d}$ , вычисляется как разность максимального и минимального значений  $D$  компонент среднеширотных станций

$ASY-H$  – одноминутный индекс, характеризующий долготно-асимметричное возмущенное поле в направлении  $\mathbf{h}$ , вычисляется как разность максимального и минимального значений  $D$  компонент среднеширотных станций

$AU$  – индекс, характеризует интенсивность восточного тока авроральной электроструи

$\mathbf{B}$  – вектор магнитной индукции

$B_y$  – азимутальная компонента ММП

$B_z$  – вертикальная компонента ММП

$C$  – геомагнитный индекс, который характеризует возмущенность геомагнитного поля в течение суток

$C_9$  – производный индекс от индекса  $C_p$ , характеризует суточную планетарную возмущенность геомагнитного поля по девятибалльной шкале измерения

$C_i$  – геомагнитный индекс, который характеризует возмущенность геомагнитного поля всего земного шара в течение суток

$C_p$  – объективный суточный планетарный индекс, введен для стандартизации  $C_i$  индекса и является производным индексом от  $K_p$

$\mathbf{d}$  – ось, направленная перпендикулярно проекции вектора напряжённости магнитного поля Земли на горизонтальную плоскость в момент установки датчиков, положительное направление к востоку

$D$  – проекция вектора напряжённости магнитного поля Земли на ось  $\mathbf{d}$

$D_0$  – магнитное склонение

$DE$  – средний угол склонения на станции

$DP-1, DP-2$  – обозначение бухтообразных возмущенных геомагнитных вариаций

$DR$  – кольцевой ток

$D_{st}$  – индекс, характеризующий интенсивность симметричного кольцевого тока, усиливающегося в магнитосфере взрывным образом во время магнитных бурь

$E_m$  – напряженность межпланетного электрического поля

$\mathbf{h}$  – ось, направленная вдоль проекции вектора напряжённости магнитного поля Земли на горизонтальную плоскость в момент установки датчиков, положительное направление к северу

$H$  – проекция вектора напряжённости магнитного поля Земли на ось  $\mathbf{h}$

$H_a$  – напряженность поля внешних вариаций от источников, расположенных вне земного шара

$H_v$  – напряженность переменной части геомагнитного поля

$H^k$  – значение  $H$ -составляющей магнитного поля на  $k$ -й станции,

$H_{00}^k$  – среднегодовые значения  $H$ -составляющей,

$H_M$  – напряженность недипольного, или материкового, поля

$H_0$  – напряженность дипольного поля

$I$  – магнитное наклонение

$i$  – сила тока

$k$  – коэффициент долготного веса

$K$  – геомагнитный индекс, который характеризует вариации горизонтальной составляющей геомагнитного поля на конкретной обсерватории за трехчасовой интервал времени

$\bar{K}_i$  – среднеарифметическое значения  $K_{st}$ -индекса для долготного сектора  $i$

$K_m$  – геомагнитный индекс, характеризующий в 3-часовом интервале среднюю планетарную возмущенность

$K_n$  – геомагнитный индекс, характеризующий в 3-часовом интервале планетарную возмущенность в северном полушарии

$K_p$  – усредненный планетарный индекс, характеризующий колебания горизонтальной составляющей магнитного поля Земли ( $D$ ,  $H$ ), измеряемые каждые 3 часа магнитометрами в нескольких точках земного шара

$K_s$  – геомагнитный индекс, характеризующий в 3-часовом интервале планетарную возмущенность в южном полушарии

$K_{st}$  – стандартизованный  $K$ -индекс, учитывающий суточные и сезонные вариации геомагнитного поля, а также географическое расположение обсерватории

$L$  – долгота места наблюдения в часах

$M$  – магнитный момент

$n_d$  – число обсерваторий в долготном секторе

$n_c$  – число обсерваторий, данные которых используются в расчетах

$PC$  – индекс, служит для оценки геомагнитной активности вблизи полярной шапки

$PC1$  —  $PC6$  – обозначение устойчивых геомагнитных вариаций

$PI1$  —  $PI4$  – обозначение иррегулярных геомагнитных вариаций

$R$  – индекс, характеризующий число солнечных пятен в данный момент времени

$r_H$  – индекс, характеризующий геомагнитную возмущенность в высокоширотных областях в часовом интервале

$S_d$  – обозначение солнечно-суточных возмущенных геомагнитных вариаций

$S_q^k$  – солнечно-суточная вариация

$S_o$  – звездное время в полночь на гринвичском меридиане

$S_q$  – обозначение солнечно-суточных спокойных геомагнитных вариаций

SYM-D – индекс, аналогичный  $D_{st}$ , но вычисляемый, в отличие от  $D_{st}$ , на основе вариаций  $D$ , а не  $H$  компоненты магнитного поля с одноминутным разрешением и по несколько другому набору магнитных обсерваторий

SYM-H – индекс, аналогичный  $D_{st}$ , но вычисляемый с одноминутным разрешением и по несколько другому набору магнитных обсерваторий

$T$  – модуль вектора напряженности магнитного поля

$\mathbf{T}$  – вектор напряженности магнитного поля

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

$T_s$  – местное звездное время

UT – мировое время

$v$  – скорость солнечного ветра

$V$  – единица объема

$X$  – компонента геомагнитного поля в декартовой системе координат

$Y$  – компонента геомагнитного поля в декартовой системе координат

$Z$  – компонента геомагнитного поля в декартовой системе координат

$z_p$  – зенитное расстояние полюса

$\alpha$  – прямое восхождение Полярной звезды в часах

$\Delta_A$  – допустимые отклонения миры

$\Delta_D$  – допустимая погрешность измерения

$\Delta D$  – отклонения в горизонтальной  $D$  компоненте геомагнитного поля от спокойного уровня

$\Delta H$  – отклонения в горизонтальной  $H$  компоненте геомагнитного поля от спокойного уровня

$\Delta H^k$  – отклонения Н-составляющей компоненты магнитного поля на k-й станции

$\Delta H_0^k$  – отклонения от Н-компоненты Главного поля

$\overline{\Delta H_0(t)}$  – среднее значение  $D_{st}$  для спокойных периодов

$\Delta HPC$  – величина вектора магнитного возмущения

$\delta$  – азимутальный угол Полярной звезды ( $\alpha Ursaeminoris$ )

$\theta$  – угол между земным магнитным диполем и ММП

$\theta_M$  – отсчет наведения на миру

$\theta_s$  – отсчет наведения на Полярную звезду

$\lambda$  – географическая долгота

$\lambda_i$  – долготный вес сектора

$\Lambda^0$  – средняя долгота группы

$\bar{\Lambda}^0$  – среднее значение долготы для полушария

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость

$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума

$\varphi$  – широта места наблюдения

$\varphi_t$  – угол между направлением трансполярного тока и меридианом полдень-полночь в данный момент времени UT

## 5 Характеристики магнитного поля Земли

Основной силовой характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции **B** (вектор индукции магнитного поля). Нередко вектор магнитной индукции называется для краткости просто магнитным полем. Часто в качестве основной характеристики магнитного поля в вакууме (то есть в отсутствие магнитной среды) выбирают не вектор магнитной индукции **B**, а вектор напряжённости магнитного поля **T**, что формально можно сделать, так как в вакууме или в немагнитной среде эти два вектора совпадают с точностью до постоянного множителя  $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{T}$ , где  $\mu_0$  – магнитная проницаемость

вакуума.

Источниками магнитного поля являются электрические токи и намагниченные тела. Последние по своему действию эквивалентны совокупности элементарных магнитов [1].

Связь между силой тока  $i$  в замкнутом контуре и возникающим при этом полем напряженностью  $T$  определяется законом Био-Савара.

Произведение силы тока на площадь, охватываемую контуром, представляет собой модуль вектора магнитного момента  $M$  контура тока, причем вектор  $M$  направлен по нормали к площади контура. Для кругового контура:

$$M = i \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1),$$

Определенные таким образом соотношения между магнитными величинами и электрическим током дают размерности магнитных величин в СИ (табл. 1).

Таблица 1 – Размерности магнитных величин в системе СИ

| Магнитные величины            | Обозначение | Единицы СИ       | Единицы СГС | Переводные множители |             |
|-------------------------------|-------------|------------------|-------------|----------------------|-------------|
|                               |             |                  |             | СГС/СИ               | СИ/СГС      |
| Напряженность магнитного поля | T           | A/м              | Эрстед      | $10^3/(4\pi)$        | $4\pi/10^3$ |
| Магнитный момент              | M           | A·м <sup>2</sup> | -           | $10^{-3}$            | $10^3$      |
| Магнитная индукция            | B           | Тесла            | Гаусс       | $10^{-4}$            | $10^4$      |

Модель магнитного поля Земли представлена диполем, ось которого составляет с осью вращения Земли угол  $11,5^\circ$  (рис. 1), не проходит через геометрический центр вращения Земли, а сдвинута на 342 км в сторону, противоположную восточной оконечности Бразилии.

Поскольку магнитная ось наклонена к оси вращения Земли, то возникает склонение, т. е. несовпадение магнитных меридианов с географическими.

Магнитный полюс в Северном полушарии находится около берегов Северной Америки ( $71^\circ$  с. ш.,  $96^\circ$  з. д.), а магнитный полюс в Южном полушарии – около берегов Антарктики, на долготе Австралии ( $70^\circ$  ю. ш.,  $150^\circ$  в. д.). Полюсы не находятся в диаметрально противоположных точках земного шара. Магнитная ось не только не совпадает с осью вращения по направлению, но и не проходит через центр Земли; кроме того, величина поля в Северном полушарии несколько больше, чем в Южном.

Модуль магнитного момента Земли  $M = 7,812 \cdot 10^{22} \text{ Ам}^2$ , а средняя напряженность магнитного поля на поверхности Земли составляет  $\sim 39,80 \text{ А/м}$  ( $0,5 \text{ Э}$ ) [2].

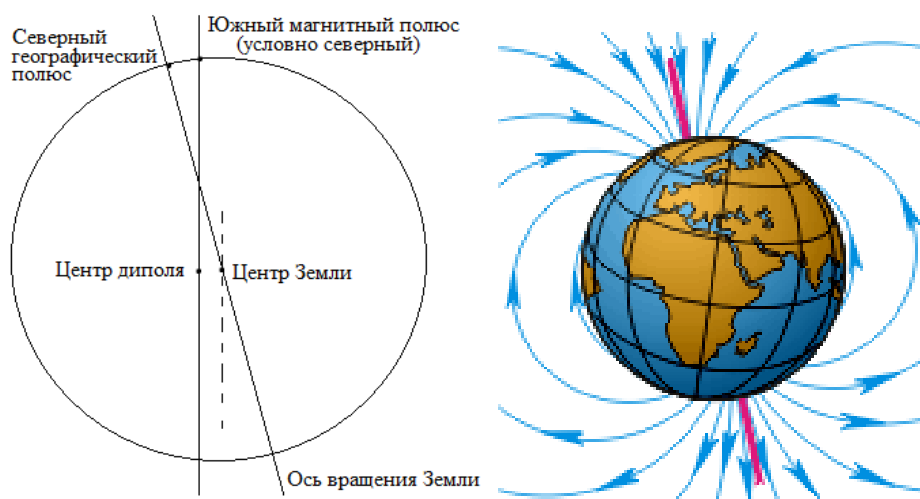


Рисунок 1 – Геомагнитное поле, стрелки – магнитные силовые линии

Геомагнитное поле на поверхности Земли является суммой нескольких полей, имеющих различную природу:

$$\mathbf{T} = \mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_M + \mathbf{H}_a + \mathbf{H}_B \quad (2),$$

где  $\mathbf{H}_0$  – напряженность дипольного поля, создаваемая однородной намагниченностью земного шара,  $\mathbf{H}_M$  – напряженность недипольного, или материкового, поля, создаваемого внутренними причинами, обусловленными

неоднородностью глубинных слоев Земли,  $\mathbf{H}_a$  – напряженность аномального поля, создаваемая различной намагниченностью верхних слоев земной коры (Бразильская, Южноатлантическая, Канадская и Восточно-Сибирская магнитные аномалии),  $\mathbf{H}_B$  – напряженность поля внешних вариаций от источников, расположенных вне земного шара (в ионосфере и магнитосфере Земли).

Сумма полей  $\mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_M$  образует главное магнитное поле Земли, которое составляет 90 % от геомагнитного поля. Напряженность переменной части геомагнитного поля ( $\mathbf{H}_V$ ) составляет не более 2 % от главного магнитного поля Земли.

Геомагнитное поле распространяется вокруг Земли. Распространение геомагнитного поля не бесконечное, оно ограничено потоком солнечной плазмы. Область околоземного пространства, в которой заключено геомагнитное поле, называется магнитосферой (рис. 2).

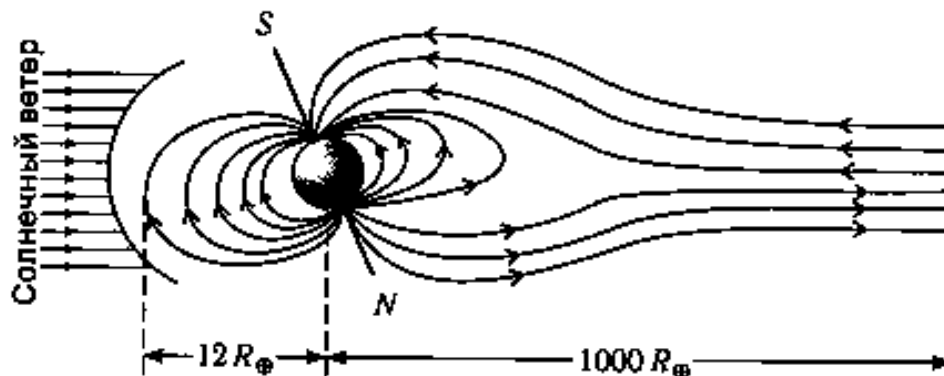


Рисунок 2 – Конфигурация силовых линий магнитосферы Земли ( $R_+$  – радиус Земли, 6371 км)

К магнитосфере относятся области от верхней границы области E ионосферы ( $\approx 130$  км) до внешней границы геомагнитного поля. Это примерно 12 земных радиусов на освещенной Солнцем стороне Земли и до 1000 земных радиусов на неосвещенной стороне Земли.

Граница магнитосферы – флуктуирующий дискретный граничный слой –

называется магнитопаузой. Толщина магнитопаузы может колебаться от 100 до 500 км, а напряженность поля в ней обычно составляет несколько десятков гамм ( $1 \text{ гамма} = 1/(400\pi) \text{ А/м}$ ).

В магнитосфере выделяют три области – внутреннюю, внешнюю и хвост, а также области северного и южного полярного овала, куда проникают частицы солнечного ветра. Полярным каспом называют область в околополуденной части магнитосферы, имеющую вид воронки, расширяющуюся от Земли до магнитопаузы и разделяющую силовые линии магнитосферы и геомагнитного хвоста. Здесь процесс проникновения частиц солнечного ветра протекает особенно эффективно.

Внутренняя магнитосфера простирается до расстояний, равных 4 земным радиусам и определяется, в основном, полем диполя. Внешняя магнитосфера простирается от 4 до 10 (15) земных радиусов. Магнитное поле внешней магнитосферы значительно отличается от поля диполя. Хвост магнитосферы существует постоянно как продолжение магнитосферы с ночной стороны Земли. Его силовые линии почти параллельны линии Солнце – Земля. Он уверенно регистрируется до 80 земных радиусов. Внутренняя и внешняя магнитосферы создают область замкнутых силовых линий, которую иначе называют областью захвата [3].

Внутреннюю часть магнитосферы, расположенную в пределах 3 земных радиусов, называют плазмосферой. Концентрация частиц «холодной» плазмы в ней составляет  $10^{10} \text{ м}^{-3}$  с энергией 100 и более килоэлектронвольт. Частицы плазмосферы образуют радиационные пояса Земли и участвуют в ее суточном вращении.

Концентрация частиц во внешней части магнитосферы от 2 до 3 порядков 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 бурям (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 в сумме образуют переменную часть геомагнитного поля.

Переменное геомагнитное поле является геометрической разностью между наблюдаемой величиной вектора магнитной индукции и средним его значением за какой-либо длительный промежуток времени, например, год. Наблюдения показывают, что эта величина меняется по-разному. Иногда изменения происходят плавно, иногда имеют беспорядочный характер. В первом случае геомагнитные вариации называются спокойными или невозмущенными, а во втором – возмущенными [4, 5].

Условно эти вариации можно разделить на следующие группы: медленные (циклические), периодические, возмущенные и короткопериодные. Детальная классификация вариаций геомагнитного поля с указанием основных характеристик (периодом колебаний и амплитудных границ) дана в табл. 2.

Максимальная амплитуда геомагнитных вариаций достигает от 1000 до 3000 нТл. Каждая геомагнитная вариация имеет свою форму, периоды, амплитуды и свои источники происхождения.

Геомагнитное поле и его вариации непрерывно регистрируются магнитными обсерваториями глобальной сети. Магнитная обсерватория – это научное учреждение, в котором длительное время осуществляется непрерывная регистрация вариаций геомагнитного поля, производятся регулярные абсолютные наблюдения, первичная обработка и анализ достоверности данных.

Магнитную индукцию геомагнитного поля рассчитывают по измеренным

Таблица 2 – Геомагнитные вариации на поверхности Земли

| Типы вариаций                             | обозначение    | Период колебаний    | амплитуда, нТл |
|-------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| <b>Медленные вариации</b>                 |                |                     |                |
| вековые                                   |                | Десятки и сотни лет | 10 — 150       |
| циклические                               |                | 11 лет              | 1 — 20         |
| <b>Периодические (спокойные) вариации</b> |                |                     |                |
| годовые                                   |                | 1 год               | 5 — 30         |
| лунносуточные                             |                | 24 ч 50 мин         | 1 — 7          |
| Спокойные<br>солнечносуточные             | Sq             | 24 ч                | 10 — 70        |
| <b>Возмущенные вариации</b>               |                |                     |                |
| апериодические                            |                | 10 — 200 ч          | 10 — 400       |
| Главная фаза                              |                | 3 — 10 ч            | 10 — 400       |
| Начало фазы<br>восстановления             |                | 6 — 12 ч            | 10 — 400       |
| Фаза<br>восстановления                    |                | 1 — 7 сут           | 100 — 10       |
| Возмущенные<br>солнечносуточные           | S <sub>d</sub> | 24 ч                | 10 — 400       |
| бухтообразные                             | DP-1, DP-2     | 0,5 — 3 ч           | 30 — 1000      |
| иррегулярные                              |                | 5 — 60 мин          | 10 — 3000      |
| <b>Короткопериодные вариации</b>          |                |                     |                |
| устойчивые                                | Pe1            | 0,2 — 5 с           | 0,01 — 1       |
|                                           | Pc2            | 5 — 10 с            | 0,1 — 10       |
|                                           | Pc3            | 10 — 45 с           | 0,4 — 20       |
|                                           | Pc4            | 0,5 — 150 с         | 0,5 — 25       |
|                                           | Pc5            | 150 — 600 с         | 0,5 — 40       |
|                                           | Pc6            | > 600 с             | 1 — 100        |
| иррегулярные                              | Pi 1           | 1 — 40 с            | 0,03 — 2       |
|                                           | Pi 2           | 40 — 150 с          | 1 — 20         |
|                                           | Pi 3           | 150 — 400 с         | 5 — 100        |
|                                           | Pi 4           | 400 — 600 с         | 10 — 300       |

значениям компонент поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

В связи с большим значением самого магнитного поля Земли (40000 — 50000 нТл) и необходимостью измерять его с высокой точностью (1, а сейчас уже 0,1 нТл) выполнить измерения одним прибором в настоящее время практически невозможно. Поэтому измерения выполняются двумя различными

методами и различными приборами. Абсолютные измерения (измерения полного вектора) выполняются в основном протонным магнитометром и феррозондовым инклинометром/деклинометром. Эти приборы обеспечивают требуемую точность, но цикл измерения занимает 20 — 30 мин и требует ручных операций. Такие измерения в настоящее время невозможно автоматизировать и они выполняются 1 — 2 раза в неделю. Другой класс приборов — магнитовариационные станции — могут долговременно работать в автоматическом режиме и с любой частотой проведения измерений. Но магнитовариационные станции измеряют только отклонения компонент вектора магнитного поля от какого-то фиксированного, и в общем, неизвестного значения. Если для какого-то момента времени имеются абсолютные и вариационные измерения одновременно, то, вычтя из абсолютных значений вариационные, мы получим значения полного поля, соответствующие нулевым значениям вариометра. Эти значения называются базисными значениями соответствующих компонент. Пока эти базисные значения не изменятся, мы можем, прибавив их к значениям вариометра, получать абсолютные значения магнитного поля с любым временным разрешением.

Датчики магнитометра могут устанавливаться двумя различными способами — в географической системе координат ( $x, y, z$ ) или в геомагнитной ( $h, d, z$ ). Для северного полушария положительные направления осей следующее:  $x$  — на северный географический полюс,  $y$  — на восток (на вечернюю сторону),  $z$  — к центру Земли,  $h$  — к северу вдоль местного магнитного меридиана,  $d$  — перпендикулярно  $h$  на восток,  $z$  — к центру Земли). При установке датчиков в геомагнитной системе координат направление оси  $h$  фиксируется в момент установки датчиков и в дальнейшем при изменении магнитного поля проекция полного вектора  $T$  на горизонтальную плоскость уже может не совпадать с направлением  $h$ .



$$X = H \cdot \cos D_0, Y = H \cdot \sin D_0. \quad (3)$$

Для вариационных данных используется другая формула:

$$X = H \cdot \cos D_0 - D \sin D_0, Y = H \cdot \sin D_0 + D \cos D_0 \quad (4)$$

## 6 Требования Всемирной метеорологической организации к наблюдениям за характеристиками геомагнитного поля

### а) минимальные

| №   | Переменная                | Место наблюдений  | Погрешность измерений | Разрешение по горизонтали | Цикличность измерений | Время от измерения до получения информации |
|-----|---------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| 612 | Вектор геомагнитного поля | Поверхность Земли | 1 нТл                 | 500 км                    | 10 с                  | 60 мин                                     |

### б) оптимальные

| №   | Переменная                | Место наблюдений  | Погрешность измерений | Разрешение по горизонтали | Цикличность измерений | Время от измерения до получения информации |
|-----|---------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| 612 | Вектор геомагнитного поля | Поверхность Земли | 0,3 нТл               | 200 км                    | 10 с                  | 10 мин                                     |

### в) максимальные

| №   | Переменная                | Место наблюдений  | Погрешность измерений | Разрешение по горизонтали | Цикличность измерений | Время от измерения до получения информации |
|-----|---------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| 612 | Вектор геомагнитного поля | Поверхность Земли | 0,1 нТл               | 100 км                    | 1 с                   | 60 с                                       |

## 7 Требования к обсерваториям сети INTERMAGNET

INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network) – крупнейшая международная сеть, объединяющая геомагнитные обсерватории, которые приняли современные стандарты спецификаций измерительной аппаратуры и оборудования для регистрации характеристик магнитного поля Земли, а также единые форматы данных (рис. 4). Основными целями сети INTERMAGNET являются:

- мониторинг характеристик магнитного поля Земли;
- облегчение обмена данными и получение материалов геомагнитных измерений в режиме реального времени (или близком к нему);
- расширение глобальной сети магнитных обсерваторий, удовлетворяющих требованиям современной стандартной спецификации.

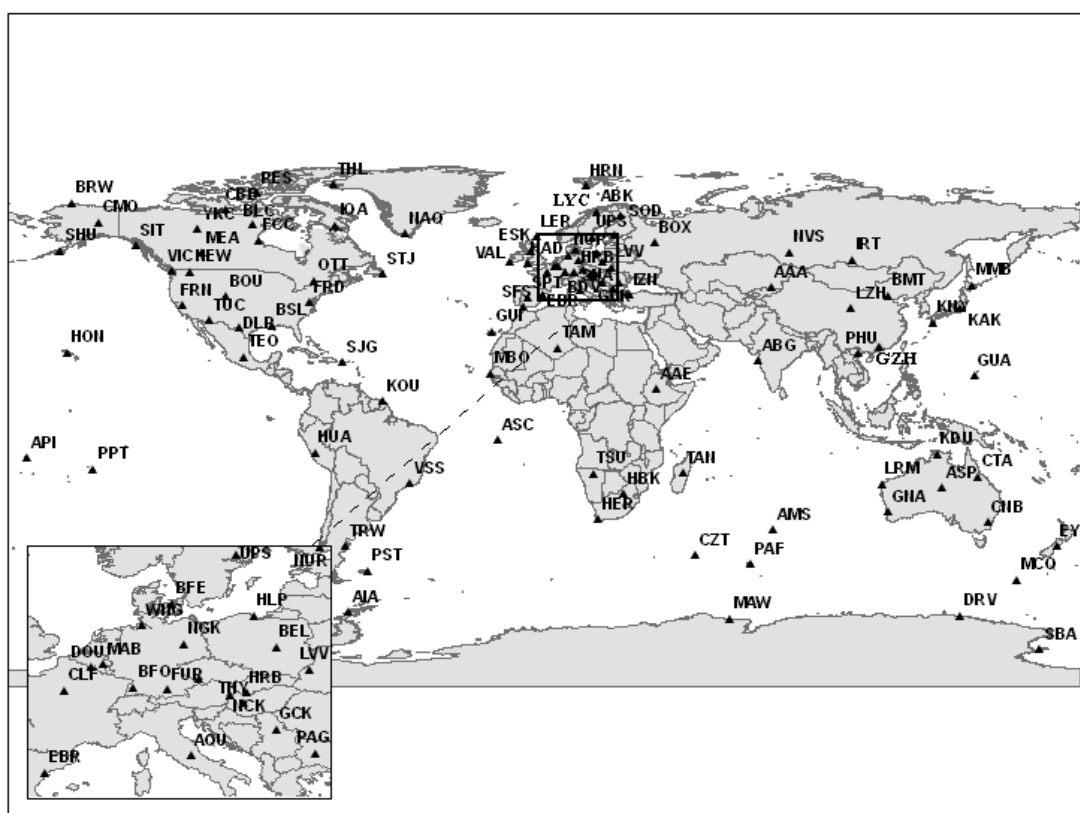


Рисунок 4 – Схема расположения обсерваторий, входящих в сеть INTERMAGNET (по данным сайта <http://www.intermagnet.org>)

Магнитная обсерватория сети INTERMAGNET (ИМО) проводит регулярные абсолютные измерения (не реже одного раза в неделю) и обеспечивает одномоментные цифровые данные вариаций трех компонент геомагнитного поля с разрешающей способностью 0,1 нТл.

Современные феррозондовые и кварцевые цифровые вариационные станции в комплекте с 16-ти или 20-ти разрядными АЦП (например, ADAM-4017, AD7701, CS5501) обеспечивают необходимое разрешение регистрируемых вариаций геомагнитного поля. Протонные вариационные станции полного вектора магнитного поля (например, POS-1) имеют разрешающую способность от 0,1 до 0,01 нТл.

В качестве инструментов для абсолютных измерений рекомендуется применение протонных прецессионных магнитометров с разрешающей способностью не менее 0,1 нТл и феррозондовых деклинометров/инклинометров с ценой деления лимбов не хуже 6".

С помощью абсолютных наблюдений ИМО должны обеспечивать погрешность определения базисных уровней вариометров в пределах  $\pm 5$  нТл. Если выполнены необходимые требования к территории, павильонам и приборным постаментам магнитной обсерватории (см. Приложение А), то базисные уровни вариометров с помощью современных абсолютных магнитометров можно уверенно контролировать с погрешностью  $\pm 0,5$  нТл.

Магнитная обсерватория ИМО должна быть обеспечена надежной связью для регулярной передачи оперативных цифровых данных в центры GIN.

Вариационные станции ИМО должны удовлетворять следующим требованиям:

- Разрешающая способность ..... 0,1 нТл
- Динамический диапазон для северных широт ..... 8000 нТл  
для средних широт ..... 6000 нТл
- Частотный диапазон измерений ..... от 0 до 0,1 Гц

- Частота считывания данных ..... 1 Гц
- Температурные коэффициенты .....  $\leq 0,25 \text{ нТл/}^{\circ}\text{C}$
- Дрейф базисных уровней не более ..... 5 нТл/год

Два последних требования в значительной мере зависят от качества изготовления вариометров, состояния приборного постаменты, стабильности грунтов и немагнитности вариационного павильона.

Протонный вариометр ИМО должен удовлетворять следующим требованиям:

- Разрешающая способность ..... 0,1 нТл
- Погрешность измерений ..... 1 нТл
- Частота считывания данных ..... 0,033 Гц
- Требования к точности временной привязки (датированию) данных:
- Уход системных часов ..... 5 с/месяц
- Спутниковая связь .....  $\pm 1 \text{ с}$

Требование к точности системных часов обсерватории не везде легко выполнимо, т. к. часто программное обеспечение цифровых вариационных станций использует компьютерное время, не обладающее столь высокой стабильностью, как, например, метки времени в ГНСС (ГЛОНАСС, GPS) [6].

Остальные требования INTERMAGNET в основном касаются отправляемых в GIN форматов данных, которые детально изложены в соответствующем техническом руководстве – «INTERMAGNET Technical Reference Manual».

Возможности метрологической базы Российской Федерации по обеспечению единства магнитных измерений в Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды указаны в разделе 10 «Метрологические требования к геомагнитным измерениям», пункт 10.2 «Поверка и калибровка средств измерений», таблица 31; требования к средствам измерений геомагнитной активности представлены в приложении Б.

## 8 Индексы геомагнитной активности

Регулярные суточные вариации магнитного поля создаются, в основном, изменениями токов в ионосфере Земли из-за изменения освещенности ионосферы Солнцем в течение суток. Нерегулярные вариации магнитного поля создаются вследствие воздействия потока солнечной плазмы (солнечного ветра) на магнитосферу Земли, изменениями внутри магнитосферы и взаимодействия магнитосферы и ионосферы. Индексы геомагнитной активности являются количественной мерой геомагнитной активности и предназначены для описания вариаций магнитного поля Земли, вызванных нерегулярными причинами.

Все индексы геомагнитной активности вычисляются и публикуются по всемирному времени UT. В таблице 3 приведены регулярно вычисляемые общепринятые геомагнитные индексы [7].

Таблица 3 – Классические индексы геомагнитной активности

| Индексы геомагнитной активности |                                                                                      |                                                                             |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Локальные                       | Планетарные и региональные                                                           | Отражающие интенсивность магнитной возмущенности от определенного источника |
| $a_K, A_K, C, K, K_{st}, r_H$   | $a_a, A_a, a_p, a_m, A_m, A_{Mos}, a_n, A_p, a_s, C_9, C_i, C_p, K_m, K_n, K_p, K_s$ | AE, AL, AO, ASY/SYM, AU, D <sub>st</sub> , PC                               |

C – характеризует возмущенность геомагнитного поля в течение суток, оценивается субъективно по магнитограмме определенной обсерватории, имеет 3-балльную шкалу (0, 1, 2). Наиболее спокойные записи вариаций геомагнитного поля оцениваются нулем, наиболее бурные – числом 2.

$C_i$  – характеризует возмущенность геомагнитного поля всего земного шара в течение суток. Рассчитывается как среднее арифметическое значение  $C$ -индексов порядка 30 геомагнитных обсерваторий (табл. 4).

$C_i$ -индекс принимает значения от 0 до 2; вычисляется как арифметическое среднее с точностью до 0,1 по формуле:

$$C_i = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n_c} \quad (5),$$

где  $n_c$  – число обсерваторий, данные которых используются в расчетах (табл. 4).

$K$  – характеризует вариации горизонтальной составляющей геомагнитного поля на конкретной обсерватории за 3-часовой интервал времени. Представляет собой квазилогарифмический (увеличивается на единицу при увеличении возмущенности примерно в два раза) индекс и принимает значения от 0 до 9 для каждого 3-часового интервала (0 — 3, 3 — 6, 6 — 9 и т. д.) мирового времени.

$K$ -индекс был предложен и введен в практику в 1939 году Бартельсом как мера воздействия солнечной корпускулярной радиации на вариации магнитного поля Земли. Шкала для вычисления индекса была определена по данным большой магнитной бури 16 апреля 1938 года. Было принято, что вариация в магнитном поле Земли в этот день с 06 до 09 UT на любой станции соответствует индексу  $K$ , равному 9.

$K$ -индекс вычисляют непосредственно на обсерваториях один раз за декаду. Для вычисления индекса берется изменение магнитного поля (по данным  $D$  и  $H$  элементов) за 3-часовой интервал, из него вычитается регулярная часть, определяемая по данным пяти магнитоспокойных дней декады. Полученная в результате вычитания величина (нТл) переводится в  $K$ -индекс, с учетом широтного расположения обсерватории (табл. 5). Следует отметить, что

эта таблица даёт только предварительную (начальную) шкалу для вычисления К-индекса. Окончательно эта шкала определяется через 1 — 2 года наблюдений по результатам корреляции К-индекса данной обсерватории с планетарным  $K_p$  индексом и должна быть утверждена рабочей группой IAGA по индексам геомагнитной активности. Вследствие локальных особенностей расположения обсерватории, связь между широтой обсерватории и шкалой не является однозначной и окончательно определяется только экспериментальным путем.

Таблица 4 – Геомагнитные обсерватории, данные которых используются при расчете индекса  $C_i$

| Название            | Код IAGA | Страна         | Географическая |         | В сети INTER-MAGNET |
|---------------------|----------|----------------|----------------|---------|---------------------|
|                     |          |                | широта         | долгота |                     |
| 1 Соданкюля         | SOD      | Финляндия      | 67,367         | 178,0   | с 1991 г.           |
| 2 Колледж           | CMO      | США            | 64,87          | 212,14  | с 1991 г.           |
| 3 Домбас            | DOB      | Норвегия       | 62,073         | 9,117   | Нет                 |
| 4 Леруик            | LER      | Великобритания | 60,138         | 358,817 | с 1991 г.           |
| 5 Ситка             | SIT      | США            | 57,067         | 224,67  | с 1991 г.           |
| 6 Ескдейльмюр       | ESK      | Великобритания | 55,314         | 356,794 | с 1991 г.           |
| 7 Минук             | MEA      | Канада         | 54,615         | 246,653 | с 1991 г.           |
| 8 Вингст            | WNG      | Германия       | 53,743         | 9,073   | с 1994 г.           |
| 9 Хартленд          | HAD      | Великобритания | 50,995         | 355,516 | с 1991 г.           |
| 10 Фюрстенфельдбрюк | FUR      | Германия       | 48,17          | 11,28   | с 1995 г.           |
| 11 Шамбон-ла-Форе   | CLF      | Франция        | 48,025         | 2,26    | с 1991 г.           |
| 12 Эбро             | EBR      | Испания        | 40,82          | 0,493   | с 2002 г.           |
| 13 Коимбра          | COI      | Португалия     | 40,222         | 351,578 | Нет                 |
| 14 Фредериксбург    | FRD      | США            | 38,21          | 282,633 | с 1991 г.           |
| 15 Сан-Фернандо     | SFS      | Испания        | 36,67          | 354,06  | с 2005 г.           |
| 16 Какиока          | КАК      | Япония         | 36,232         | 140,186 | с 1991 г.           |
| 17 Таксон           | TUC      | США            | 32,17          | 249,27  | с 1991 г.           |
| 18 Миссалат         | MLT      | Египет         | 29,515         | 30,892  | Нет                 |
| 19 Гонолулу         | HON      | США            | 21,32          | 202,0   | с 1991 г.           |
| 20 Сан-Хуан         | SJG      | Пуэрто-Рико    | 18,117         | 293,85  | с 1991 г.           |
| 21 Гнангара         | GNA      | Австралия      | -31,78         | 115,95  | с 1994 г.           |
| 22 Антананариво     | TAN      | Мадагаскар     | -18,917        | 47,552  | с 1993 г.           |
| 23 Уппсала          | UPS      | Швеция         | 59,903         | 17,353  | с 2003 г.           |
| 24 Оттава           | OTT      | Канада         | 45,403         | 284,448 | с 1991 г.           |
| 25 Брорфельде       | BFE      | Дания          | 55,625         | 11,672  | с 1991 г.           |
| 26 Нимегк           | NGK      | Германия       | 52,072         | 12,675  | с 1995 г.           |
| 27 Канберра         | CNB      | Австралия      | -35,32         | 149,36  | с 1991 г.           |
| 28 Айрвелл          | EYR      | Новая Зеландия | -43,422        | 172,355 | с 1994 г.           |

Таблица 5 – Шкалы для расчета К-индексов геомагнитной активности в зависимости от расположения обсерватории

|             | К-индекс                                |           |            |             |             |             |              |               |               |        | °                     |
|-------------|-----------------------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------|-----------------------|
|             | 0                                       | 1         | 2          | 3           | 4           | 5           | 6            | 7             | 8             | 9      |                       |
| Номер шкалы | Диапазон изменения магнитного поля, нТл |           |            |             |             |             |              |               |               |        | Гео-магнитная широта, |
| 1           | 0—<br>25                                | 25—<br>50 | 50—<br>100 | 100—<br>200 | 200—<br>350 | 350—<br>600 | 600—<br>1000 | 1000—<br>1650 | 1650—<br>2500 | > 2500 | 64—90                 |
| 2           | 0—<br>20                                | 20—<br>40 | 40—<br>80  | 80—<br>160  | 160—<br>280 | 280—<br>480 | 480—<br>800  | 800—<br>1300  | 1300—<br>2000 | > 2000 | 65—80                 |
| 3           | 0—<br>18                                | 18—<br>36 | 36—<br>72  | 72—<br>144  | 144—<br>252 | 252—<br>432 | 432—<br>720  | 720—<br>1188  | 1188—<br>1800 | > 1800 | 80                    |
| 4           | 0—<br>15                                | 15—<br>30 | 30—<br>60  | 60—<br>120  | 120—<br>210 | 210—<br>360 | 360—<br>600  | 600—<br>1000  | 1000—<br>1500 | > 1500 | 60—83                 |
| 5           | 0—<br>12                                | 12—<br>25 | 25—<br>50  | 50—<br>100  | 100—<br>175 | 175—<br>300 | 300—<br>500  | 500—<br>825   | 825—<br>1250  | > 1250 | 62                    |
| 6           | 0—<br>10                                | 10—<br>20 | 20—<br>40  | 40—<br>80   | 80—<br>140  | 140—<br>240 | 240—<br>400  | 400—<br>660   | 660—<br>1000  | > 1000 | 60—83                 |
| 7           | 0—<br>8                                 | 8—15      | 15—<br>30  | 30—<br>60   | 60—<br>105  | 105—<br>180 | 180—<br>300  | 300—<br>500   | 500—<br>750   | > 750  | 58—62                 |
| 8           | 0—<br>6                                 | 6—12      | 12—<br>24  | 24—<br>48   | 48—85       | 85—<br>145  | 145—<br>240  | 240—<br>400   | 400—<br>600   | > 600  | 55—58                 |
| 9           | 0—<br>5                                 | 5—10      | 10—<br>20  | 20—<br>40   | 40—70       | 70—<br>120  | 120—<br>200  | 200—<br>330   | 330—<br>550   | > 550  | 48—54                 |
| 10          | 0—<br>5                                 | 5—10      | 10—<br>20  | 20—<br>40   | 40—70       | 70—<br>120  | 120—<br>200  | 200—<br>339   | 330—<br>550   | > 500  | 36—57                 |
| 11          | 0—<br>4                                 | 4—8       | 8—16       | 16—<br>30   | 30—50       | 50—85       | 85—<br>140   | 140—<br>230   | 230—<br>350   | > 350  | 31—47                 |
| 12          | 0—<br>3                                 | 3—6       | 6—12       | 12—<br>24   | 24—40       | 40—70       | 70—<br>120   | 120—<br>220   | 200—<br>300   | > 300  | 0—40                  |

Для Москвы и Электроуглей шкала индекса К задана таблицей 6

Качественно состояние магнитного поля в зависимости от К-индекса можно приблизительно охарактеризовать следующим образом:

$K \leq 2$  – спокойное;

$K = 2, 3$  – слабовозмущенное;

$K = 4$  – возмущенное;

$K = 5, 6$  – магнитная буря;

$K \geq 7$  – большая магнитная буря.

$K_{st}$  – стандартизованный К-индекс, учитывающий среднесуточные и

сезонные вариации геомагнитного поля, а также географическое расположение обсерватории.

Таблица 6

| К         | 0   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7   | 8   | 9     |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-------|
| Диапазон, | 0   | 5,6  | 11,2 | 22,4 | 44,8 | 78,4 | 134 | 224 | 340 |       |
| нТл       | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   | —   | > 560 |
|           | 5,6 | 11,2 | 22,4 | 44,8 | 78,4 | 134  | 224 | 340 | 560 |       |

Для каждой из 13 обсерваторий (табл. 7), измерения которых включаются в расчет планетарного  $K_p$ -индекса,  $K_{st}$  определяют по специальным таблицам соответствий, полученным на основании статистической обработки сезонных магнитометрических данных этих обсерваторий за период с 1943 по 1948 год.

Таблица 7 – Геомагнитные обсерватории сети INTERMAGNET, данные которых используются при расчете планетарного индекса  $K_p$

| Название        | Код<br>IAGA | Страна         | Географическая |            |
|-----------------|-------------|----------------|----------------|------------|
|                 |             |                | широта, °      | долгота, ° |
| 1 Леруик        | LER         | Великобритания | 60,138         | 358,817    |
| 2 Ситка         | SIT         | США            | 57,067         | 224,67     |
| 3 Ескдейльмюр   | ESK         | Великобритания | 55,314         | 356,794    |
| 4 Минук         | MEA         | Канада         | 54,615         | 246,653    |
| 5 Вингст        | WNG         | Германия       | 53,743         | 9,073      |
| 6 Хартленд      | HAD         | Великобритания | 50,995         | 355,516    |
| 7 Фредериксбург | FRD         | США            | 38,21          | 282,633    |
| 8 Уппсала       | UPS         | Швеция         | 59,903         | 17,353     |
| 9 Оттава        | OTT         | Канада         | 45,403         | 284,448    |
| 10 Брорфельде   | BFE         | Дания          | 55,625         | 11,672     |
| 11 Нимегк       | NGK         | Германия       | 52,072         | 12,675     |
| 12 Канберра     | CNB         | Австралия      | -35,32         | 149,36     |
| 13 Айрвелл      | EYR         | Новая Зеландия | -43,422        | 172,355    |

$K_{st}$ -индекс предполагает непрерывное изменение в интервале от 0,0 до 9,0 баллов, причем каждый интервал, например, от  $1\frac{2}{3}$  до  $2\frac{1}{3}$  делится на три части, которые обозначаются соответственно  $2_-$ ,  $2_0$ ,  $2_+$ . Символам  $0_0$  и  $9_0$  соответствует  $\frac{1}{6}$  часть интервала балла. Для удобства таблицы перевода

индекса  $K$  в индекс  $K_{st}$  составляются для величины  $3K_{st}$ , которая изменяется от 0 до 27 баллов. В таблице 8 приведено соответствие индексов  $K$  и  $K_{st}$ .

$K_p$  – усредненный планетарный индекс, характеризующий колебания горизонтальной составляющей магнитного поля Земли ( $D$ ,  $H$ ) в течение 3-часового интервала, по данным магнитометров в нескольких точках земного шара. Планетарный индекс  $K_p$  получается простым осреднением  $3K_{st}$ -индекса 13 обсерваторий (табл. 7) согласно:

Таблица 8 – Соответствие индексов  $K$  и  $K_{st}$  для  $K_p$  обсерваторий

| K | 3K <sub>st</sub> для времени суток (часы) |       |       |        |         |         |         |         |
|---|-------------------------------------------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
|   | 0 — 3                                     | 3 — 6 | 6 — 9 | 9 — 12 | 12 — 15 | 15 — 18 | 18 — 21 | 21 — 24 |
| 1 | 2                                         | 3     | 4     | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       |
|   | Леруик (LER)                              |       |       |        |         |         |         |         |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь          |       |       |        |         |         |         |         |
| 0 | 0                                         | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       |
| 1 | 4                                         | 5     | 5     | 4      | 3       | 3       | 3       | 3       |
| 2 | 7                                         | 8     | 9     | 9      | 8       | 7       | 6       | 6       |
| 3 | 10                                        | 12    | 13    | 13     | 12      | 10      | 9       | 9       |
| 4 | 13                                        | 15    | 17    | 17     | 15      | 13      | 11      | 12      |
| 5 | 16                                        | 18    | 20    | 20     | 17      | 15      | 14      | 15      |
| 6 | 18                                        | 21    | 22    | 22     | 20      | 17      | 17      | 17      |
| 7 | 21                                        | 23    | 24    | 24     | 22      | 21      | 20      | 20      |
| 8 | 24                                        | 25    | 26    | 26     | 25      | 24      | 22      | 22      |
| 9 | 27                                        | 27    | 27    | 27     | 27      | 27      | 27      | 27      |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь           |       |       |        |         |         |         |         |
| 0 | 0                                         | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       |
| 1 | 3                                         | 4     | 3     | 3      | 2       | 2       | 3       | 2       |
| 2 | 7                                         | 8     | 8     | 8      | 6       | 6       | 6       | 5       |
| 3 | 10                                        | 11    | 13    | 13     | 11      | 10      | 9       | 9       |
| 4 | 12                                        | 14    | 17    | 17     | 15      | 13      | 12      | 12      |
| 5 | 14                                        | 16    | 20    | 21     | 18      | 16      | 15      | 14      |
| 6 | 16                                        | 19    | 22    | 24     | 22      | 19      | 18      | 17      |
| 7 | 19                                        | 22    | 25    | 25     | 23      | 22      | 21      | 20      |
| 8 | 23                                        | 25    | 26    | 26     | 25      | 25      | 24      | 22      |
| 9 | 27                                        | 27    | 27    | 27     | 27      | 27      | 27      | 27      |
|   | май, июнь, июль, август                   |       |       |        |         |         |         |         |
| 0 | 0                                         | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       |
| 1 | 3                                         | 2     | 2     | 1      | 1       | 1       | 1       | 3       |
| 2 | 6                                         | 6     | 7     | 6      | 5       | 4       | 5       | 6       |
| 3 | 9                                         | 10    | 11    | 11     | 9       | 9       | 10      | 9       |
| 4 | 12                                        | 13    | 15    | 16     | 13      | 13      | 13      | 12      |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 5 | 15                               | 16 | 19 | 20 | 18 | 16 | 17 | 15 |
| 6 | 17                               | 19 | 22 | 23 | 21 | 19 | 20 | 18 |
| 7 | 19                               | 21 | 25 | 25 | 25 | 23 | 23 | 21 |
| 8 | 22                               | 24 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 24 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Ситка (SIT)                      |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 7                                | 6  | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 6  |
| 2 | 10                               | 9  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 10 |
| 3 | 13                               | 11 | 8  | 7  | 8  | 10 | 11 | 13 |
| 4 | 16                               | 13 | 11 | 10 | 10 | 12 | 14 | 17 |
| 5 | 19                               | 16 | 14 | 12 | 12 | 14 | 18 | 21 |
| 6 | 22                               | 19 | 17 | 14 | 14 | 16 | 21 | 23 |
| 7 | 24                               | 22 | 19 | 16 | 16 | 19 | 24 | 25 |
| 8 | 26                               | 25 | 22 | 19 | 19 | 22 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 5                                | 5  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 5  |
| 2 | 9                                | 8  | 5  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 3 | 12                               | 11 | 8  | 8  | 8  | 10 | 12 | 13 |
| 4 | 15                               | 13 | 11 | 10 | 10 | 13 | 16 | 18 |
| 5 | 18                               | 16 | 13 | 11 | 12 | 16 | 20 | 21 |
| 6 | 21                               | 19 | 15 | 13 | 15 | 18 | 22 | 23 |
| 7 | 23                               | 22 | 18 | 16 | 18 | 21 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 21 | 20 | 21 | 22 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 2                                | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 2 | 6                                | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 7  | 7  |
| 3 | 9                                | 9  | 8  | 8  | 9  | 10 | 12 | 11 |
| 4 | 13                               | 11 | 10 | 10 | 11 | 13 | 16 | 16 |
| 5 | 18                               | 14 | 13 | 12 | 13 | 16 | 19 | 20 |
| 6 | 20                               | 18 | 15 | 14 | 16 | 19 | 20 | 23 |
| 7 | 22                               | 21 | 18 | 17 | 19 | 22 | 25 | 25 |
| 8 | 25                               | 24 | 21 | 20 | 22 | 25 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Ескдейльмюр (ESK)                |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 4                                | 5  | 4  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  |
| 2 | 7                                | 8  | 9  | 8  | 7  | 7  | 6  | 6  |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | 11                               | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 9  |
| 4 | 15                               | 16 | 17 | 16 | 15 | 13 | 12 | 13 |
| 5 | 18                               | 19 | 21 | 20 | 18 | 16 | 15 | 16 |
| 6 | 21                               | 22 | 24 | 22 | 21 | 19 | 19 | 20 |
| 7 | 24                               | 24 | 25 | 24 | 24 | 22 | 22 | 23 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 24 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 5  | 3  | 2  | 1  | 1  | 2  | 2  |
| 2 | 7                                | 8  | 7  | 6  | 5  | 5  | 6  | 6  |
| 3 | 11                               | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 9  |
| 4 | 14                               | 16 | 16 | 16 | 15 | 14 | 13 | 13 |
| 5 | 18                               | 19 | 20 | 21 | 19 | 18 | 17 | 17 |
| 6 | 21                               | 22 | 23 | 23 | 22 | 21 | 21 | 21 |
| 7 | 23                               | 25 | 25 | 25 | 24 | 22 | 22 | 22 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 24 | 24 | 24 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 3  |
| 2 | 7                                | 7  | 7  | 5  | 4  | 3  | 5  | 6  |
| 3 | 10                               | 10 | 11 | 10 | 8  | 8  | 9  | 10 |
| 4 | 14                               | 15 | 15 | 15 | 13 | 12 | 14 | 14 |
| 5 | 19                               | 19 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18 | 19 |
| 6 | 22                               | 22 | 22 | 24 | 22 | 21 | 21 | 21 |
| 7 | 23                               | 25 | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 |
| 8 | 24                               | 26 | 25 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Минук (МЕА)                      |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 7                                | 5  | 3  | 3  | 4  | 4  | 5  | 6  |
| 2 | 10                               | 8  | 5  | 5  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 3 | 12                               | 10 | 7  | 7  | 9  | 10 | 13 | 13 |
| 4 | 15                               | 13 | 9  | 9  | 11 | 13 | 16 | 16 |
| 5 | 18                               | 16 | 12 | 11 | 13 | 16 | 19 | 20 |
| 6 | 21                               | 19 | 15 | 13 | 16 | 19 | 22 | 24 |
| 7 | 24                               | 22 | 19 | 18 | 19 | 22 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 25 | 23 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 5                                | 5  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 2 | 8                                | 8  | 5  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | 11                               | 10 | 7  | 7  | 9  | 11 | 13 | 12 |
| 4 | 14                               | 12 | 9  | 9  | 11 | 14 | 17 | 16 |
| 5 | 16                               | 14 | 11 | 11 | 13 | 17 | 21 | 20 |
| 6 | 20                               | 18 | 14 | 14 | 15 | 20 | 24 | 23 |
| 7 | 25                               | 22 | 18 | 18 | 19 | 22 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 25 | 24 | 25 | 25 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 2                                | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 6  | 5  | 5  | 6  | 6  | 7  | 6  |
| 3 | 9                                | 8  | 7  | 7  | 8  | 10 | 12 | 10 |
| 4 | 12                               | 11 | 9  | 9  | 10 | 14 | 17 | 14 |
| 5 | 15                               | 13 | 10 | 10 | 13 | 17 | 21 | 18 |
| 6 | 19                               | 16 | 13 | 13 | 16 | 20 | 24 | 22 |
| 7 | 25                               | 19 | 18 | 18 | 20 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 25 | 25 | 24 | 25 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Вингст (WNG)                     |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 8  | 8  | 7  | 7  | 6  | 5  | 5  |
| 3 | 9                                | 11 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  |
| 4 | 13                               | 15 | 16 | 15 | 13 | 11 | 10 | 11 |
| 5 | 17                               | 19 | 20 | 19 | 17 | 13 | 13 | 14 |
| 6 | 21                               | 22 | 23 | 22 | 20 | 16 | 17 | 18 |
| 7 | 23                               | 24 | 25 | 25 | 23 | 20 | 21 | 21 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 23 | 24 | 24 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 4  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 2 | 7                                | 8  | 8  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5  |
| 3 | 10                               | 11 | 11 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  |
| 4 | 13                               | 15 | 16 | 16 | 13 | 12 | 11 | 12 |
| 5 | 16                               | 19 | 20 | 20 | 18 | 16 | 15 | 15 |
| 6 | 20                               | 22 | 23 | 24 | 21 | 19 | 19 | 19 |
| 7 | 24                               | 25 | 25 | 25 | 24 | 22 | 22 | 22 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 2                                | 2  | 3  | 2  | 2  | 1  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 6  | 7  | 6  | 5  | 4  | 5  | 6  |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | 9                                | 9  | 10 | 10 | 8  | 8  | 9  | 9  |
| 4 | 13                               | 13 | 14 | 14 | 12 | 12 | 13 | 13 |
| 5 | 16                               | 17 | 18 | 18 | 17 | 16 | 17 | 17 |
| 6 | 21                               | 21 | 21 | 22 | 22 | 21 | 21 | 21 |
| 7 | 24                               | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 25 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Хартленд (HAD)                   |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 4  | 3  | 2  | 1  | 2  | 2  | 2  |
| 2 | 7                                | 8  | 7  | 6  | 6  | 5  | 5  | 5  |
| 3 | 10                               | 11 | 11 | 10 | 10 | 9  | 8  | 8  |
| 4 | 13                               | 15 | 15 | 15 | 13 | 12 | 11 | 12 |
| 5 | 18                               | 18 | 19 | 18 | 17 | 16 | 14 | 15 |
| 6 | 22                               | 22 | 23 | 21 | 20 | 19 | 19 | 19 |
| 7 | 24                               | 24 | 25 | 24 | 24 | 23 | 22 | 23 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 4  | 2  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 7  | 6  | 5  | 4  | 4  | 5  | 5  |
| 3 | 10                               | 11 | 10 | 10 | 9  | 8  | 8  | 8  |
| 4 | 13                               | 15 | 15 | 15 | 13 | 13 | 12 | 12 |
| 5 | 17                               | 19 | 19 | 19 | 18 | 17 | 16 | 16 |
| 6 | 22                               | 23 | 23 | 23 | 22 | 21 | 20 | 21 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  |
| 2 | 6                                | 5  | 5  | 4  | 3  | 2  | 4  | 6  |
| 3 | 9                                | 9  | 9  | 9  | 7  | 6  | 8  | 9  |
| 4 | 13                               | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 | 13 | 13 |
| 5 | 18                               | 18 | 18 | 19 | 17 | 16 | 16 | 17 |
| 6 | 23                               | 23 | 22 | 24 | 23 | 21 | 20 | 22 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Фредериксбург (FRD)              |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 4                                | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| 2 | 7                                | 7  | 7  | 7  | 8  | 9  | 8  | 7  |
| 3 | 10                               | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 11 | 11 |
| 4 | 13                               | 13 | 13 | 13 | 14 | 15 | 15 | 14 |
| 5 | 16                               | 16 | 17 | 16 | 17 | 19 | 19 | 17 |
| 6 | 19                               | 20 | 21 | 19 | 20 | 22 | 23 | 21 |
| 7 | 23                               | 24 | 24 | 22 | 23 | 25 | 25 | 24 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 25 | 25 | 26 | 26 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 7  | 6  | 7  | 8  | 8  | 6  | 5  |
| 3 | 9                                | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 10 | 9  |
| 4 | 12                               | 13 | 13 | 13 | 15 | 16 | 15 | 13 |
| 5 | 16                               | 16 | 16 | 17 | 19 | 20 | 20 | 17 |
| 6 | 20                               | 21 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 21 |
| 7 | 24                               | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 24 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 2                                | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 1  | 1  |
| 2 | 5                                | 5  | 6  | 6  | 7  | 7  | 5  | 5  |
| 3 | 9                                | 8  | 9  | 10 | 11 | 11 | 9  | 8  |
| 4 | 12                               | 12 | 12 | 13 | 16 | 16 | 14 | 12 |
| 5 | 15                               | 15 | 16 | 17 | 20 | 20 | 19 | 16 |
| 6 | 19                               | 19 | 20 | 21 | 24 | 24 | 23 | 20 |
| 7 | 23                               | 23 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 23 |
| 8 | 25                               | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Уппсала (UPS)                    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 4                                | 5  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 2 | 7                                | 8  | 7  | 7  | 6  | 6  | 5  | 5  |
| 3 | 9                                | 11 | 11 | 11 | 10 | 8  | 7  | 8  |
| 4 | 12                               | 14 | 15 | 14 | 12 | 11 | 10 | 11 |
| 5 | 15                               | 17 | 19 | 17 | 15 | 13 | 12 | 14 |
| 6 | 18                               | 20 | 22 | 20 | 17 | 16 | 15 | 17 |
| 7 | 21                               | 23 | 25 | 23 | 21 | 18 | 18 | 20 |
| 8 | 24                               | 25 | 26 | 26 | 24 | 22 | 22 | 23 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 4                                | 4  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 2 | 6                                | 7  | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5  |
| 3 | 9                                | 11 | 11 | 10 | 9  | 9  | 8  | 8  |
| 4 | 13                               | 15 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 11 |
| 5 | 16                               | 17 | 19 | 18 | 16 | 14 | 13 | 14 |
| 6 | 18                               | 19 | 21 | 20 | 18 | 17 | 17 | 17 |
| 7 | 21                               | 23 | 24 | 23 | 21 | 20 | 20 | 20 |
| 8 | 23                               | 25 | 25 | 24 | 23 | 23 | 22 | 22 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  |
| 2 | 6                                | 6  | 5  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  |
| 3 | 9                                | 10 | 10 | 8  | 7  | 8  | 9  | 9  |
| 4 | 12                               | 14 | 14 | 13 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| 5 | 16                               | 16 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 16 |
| 6 | 18                               | 20 | 21 | 21 | 17 | 18 | 18 | 18 |
| 7 | 21                               | 22 | 23 | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 8 | 24                               | 25 | 25 | 24 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Оттава (ОТТ)                     |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 4                                | 3  | 3  | 2  | 1  | 1  | 1  | 3  |
| 2 | 7                                | 7  | 6  | 6  | 5  | 6  | 6  | 7  |
| 3 | 10                               | 9  | 9  | 9  | 9  | 10 | 11 | 11 |
| 4 | 12                               | 12 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 | 13 |
| 5 | 15                               | 15 | 15 | 15 | 16 | 18 | 19 | 16 |
| 6 | 18                               | 18 | 18 | 18 | 19 | 21 | 22 | 20 |
| 7 | 21                               | 21 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 22 |
| 8 | 24                               | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 24 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 2 | 6                                | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 4  | 5  |
| 3 | 9                                | 9  | 8  | 9  | 9  | 10 | 9  | 9  |
| 4 | 12                               | 11 | 11 | 12 | 13 | 15 | 14 | 13 |
| 5 | 14                               | 14 | 14 | 15 | 17 | 18 | 18 | 16 |
| 6 | 17                               | 17 | 17 | 18 | 21 | 21 | 22 | 20 |
| 7 | 20                               | 20 | 20 | 21 | 24 | 23 | 24 | 22 |
| 8 | 24                               | 23 | 22 | 22 | 25 | 26 | 26 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2                                | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 2 | 5                                | 4  | 5  | 5  | 4  | 3  | 3  | 4  |
| 3 | 8                                | 7  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |
| 4 | 11                               | 10 | 10 | 11 | 13 | 13 | 13 | 12 |
| 5 | 14                               | 13 | 13 | 14 | 18 | 18 | 17 | 16 |
| 6 | 17                               | 16 | 16 | 19 | 22 | 22 | 21 | 19 |
| 7 | 21                               | 19 | 19 | 22 | 25 | 25 | 24 | 22 |
| 8 | 24                               | 22 | 22 | 25 | 26 | 26 | 25 | 24 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Брорфельде (BFE)                 |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 4                                | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  |
| 2 | 7                                | 9  | 8  | 8  | 8  | 7  | 6  | 6  |
| 3 | 10                               | 12 | 12 | 12 | 11 | 9  | 8  | 9  |
| 4 | 14                               | 16 | 16 | 16 | 13 | 11 | 10 | 12 |
| 5 | 18                               | 19 | 20 | 20 | 16 | 13 | 13 | 16 |
| 6 | 21                               | 22 | 24 | 22 | 20 | 17 | 18 | 19 |
| 7 | 23                               | 25 | 25 | 24 | 23 | 21 | 22 | 22 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 24 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 4                                | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 2 | 7                                | 8  | 8  | 7  | 7  | 6  | 6  | 6  |
| 3 | 10                               | 12 | 12 | 11 | 10 | 10 | 9  | 9  |
| 4 | 14                               | 16 | 16 | 16 | 14 | 13 | 12 | 12 |
| 5 | 18                               | 20 | 20 | 21 | 18 | 16 | 15 | 16 |
| 6 | 21                               | 23 | 24 | 24 | 22 | 20 | 20 | 20 |
| 7 | 23                               | 25 | 25 | 25 | 24 | 23 | 23 | 22 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 24 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  |
| 2 | 6                                | 6  | 7  | 6  | 5  | 5  | 6  | 7  |
| 3 | 10                               | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 10 | 10 |
| 4 | 13                               | 14 | 15 | 15 | 12 | 12 | 13 | 13 |
| 5 | 18                               | 19 | 19 | 19 | 17 | 16 | 17 | 18 |
| 6 | 22                               | 22 | 22 | 24 | 21 | 21 | 22 | 21 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Нимегк (NGK)                     |    |    |    |    |    |    |    |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 4  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 7  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 5  |
| 3 | 9                                | 11 | 12 | 11 | 9  | 8  | 7  | 8  |
| 4 | 13                               | 14 | 15 | 14 | 12 | 11 | 10 | 11 |
| 5 | 16                               | 17 | 19 | 17 | 16 | 14 | 13 | 14 |
| 6 | 20                               | 21 | 23 | 21 | 20 | 17 | 17 | 17 |
| 7 | 23                               | 24 | 25 | 24 | 24 | 20 | 20 | 21 |
| 8 | 25                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 24 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 4  | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  |
| 2 | 6                                | 8  | 8  | 7  | 6  | 6  | 5  | 5  |
| 3 | 10                               | 11 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  |
| 4 | 13                               | 15 | 16 | 15 | 13 | 12 | 11 | 11 |
| 5 | 16                               | 19 | 19 | 19 | 17 | 15 | 15 | 15 |
| 6 | 21                               | 22 | 23 | 22 | 21 | 18 | 19 | 19 |
| 7 | 24                               | 25 | 25 | 25 | 24 | 23 | 23 | 24 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 3                                | 3  | 4  | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  |
| 2 | 6                                | 6  | 7  | 6  | 5  | 4  | 5  | 6  |
| 3 | 9                                | 10 | 11 | 9  | 8  | 8  | 8  | 9  |
| 4 | 13                               | 13 | 15 | 14 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 5 | 16                               | 18 | 19 | 17 | 16 | 15 | 16 | 16 |
| 6 | 21                               | 22 | 21 | 21 | 21 | 19 | 20 | 20 |
| 7 | 24                               | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Канберра (CNB)                   |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 7                                | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 6  | 6  |
| 2 | 10                               | 8  | 6  | 7  | 6  | 7  | 9  | 10 |
| 3 | 14                               | 12 | 11 | 10 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 4 | 17                               | 16 | 15 | 14 | 13 | 14 | 16 | 17 |
| 5 | 20                               | 19 | 18 | 16 | 16 | 18 | 19 | 19 |
| 6 | 23                               | 23 | 23 | 20 | 22 | 21 | 22 | 22 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 |

| 1 | 2                                | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 7                                | 6  | 4  | 4  | 4  | 4  | 6  | 7  |
| 2 | 11                               | 9  | 8  | 7  | 7  | 7  | 9  | 10 |
| 3 | 15                               | 13 | 11 | 10 | 10 | 11 | 13 | 14 |
| 4 | 20                               | 18 | 15 | 14 | 14 | 16 | 18 | 18 |
| 5 | 22                               | 22 | 20 | 17 | 19 | 21 | 21 | 22 |
| 6 | 24                               | 24 | 23 | 21 | 22 | 23 | 23 | 24 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август          |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 7                                | 6  | 5  | 4  | 5  | 5  | 7  | 8  |
| 2 | 11                               | 9  | 8  | 7  | 7  | 8  | 10 | 11 |
| 3 | 14                               | 14 | 11 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 |
| 4 | 19                               | 19 | 15 | 14 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 5 | 22                               | 22 | 19 | 18 | 20 | 21 | 22 | 22 |
| 6 | 24                               | 24 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | Айрвелл (EYR)                    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | январь, февраль, ноябрь, декабрь |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 0                                | 0  | 1  | 2  | 2  | 3  | 1  | 0  |
| 2 | 2                                | 3  | 5  | 6  | 6  | 7  | 5  | 3  |
| 3 | 8                                | 9  | 9  | 9  | 10 | 11 | 10 | 9  |
| 4 | 14                               | 14 | 13 | 13 | 13 | 15 | 15 | 15 |
| 5 | 21                               | 20 | 18 | 17 | 18 | 19 | 19 | 20 |
| 6 | 24                               | 24 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 23 |
| 7 | 25                               | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 25 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                               | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | март, апрель, сентябрь, октябрь  |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 1                                | 2  | 2  | 3  | 3  | 4  | 2  | 1  |
| 2 | 5                                | 6  | 6  | 6  | 7  | 9  | 7  | 5  |
| 3 | 10                               | 10 | 10 | 9  | 10 | 12 | 12 | 11 |
| 4 | 16                               | 15 | 13 | 13 | 14 | 17 | 18 | 17 |
| 5 | 21                               | 20 | 18 | 17 | 19 | 21 | 21 | 22 |
| 6 | 24                               | 24 | 22 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 |
| 7 | 25                               | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                               | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |

| 1 | 2                       | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 9 | 27                      | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
|   | май, июнь, июль, август |    |    |    |    |    |    |    |
| 0 | 0                       | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 | 1                       | 2  | 3  | 3  | 4  | 5  | 4  | 2  |
| 2 | 5                       | 6  | 6  | 6  | 8  | 9  | 8  | 7  |
| 3 | 10                      | 10 | 9  | 9  | 11 | 13 | 13 | 12 |
| 4 | 15                      | 15 | 13 | 13 | 15 | 16 | 18 | 18 |
| 5 | 21                      | 20 | 16 | 17 | 19 | 21 | 22 | 23 |
| 6 | 24                      | 24 | 21 | 21 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 7 | 25                      | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 8 | 26                      | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 9 | 27                      | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |

$$K_p = \frac{3K_{st1} + 3K_{st2} + \dots + 3K_{st13}}{13} \quad (6)$$

$K_p$ -индекс имеет 27-балльную шкалу и выражается числами от 0 до 9 с аффиксами -, 0, +:  $0_0$ ,  $0_+$ ,  $1_-$ ,  $1_0$ ,  $1_+$ , ...,  $9_-$ ,  $9_0$ .  $0_0$  означает исключительно спокойный период,  $9_0$  – бурю наибольшей интенсивности.

Поскольку в основе  $K_p$ -индекса лежит  $K$ -индекс, который вычисляется по квазилогарифмической шкале, осреднение  $K$ - и  $K_p$ -индексов за период времени (сутки, месяц, год и т. д.) не рекомендуется.

Каждый месяц Постоянная служба геомагнитных индексов определяет пять международных спокойных и возмущенных дней, используя данные  $K_p$ -индекса. Определение строят на основании трех критериев:

- суммы восьми значений  $K_p$  за сутки;
- суммы квадратов восьми значений  $K_p$ ;
- наибольшего значения из восьми значений  $K_p$ .

В соответствии с каждым этих критериев определяют «порядковый номер» для каждого дня каждого месяца. По трем полученным порядковым номерам для каждого дня рассчитывается средний порядковый номер. Взятые пять дней с наименьшими и пять дней с наибольшими порядковыми номерами считают как пять международных спокойных и возмущенных дней

соответственно. Очень спокойный период принято обозначать буквой «С», а спокойный – «К» и производить эту оценку для двух периодов: 24 часа и 48 часов. Запись «СС\*» означает, что оба периода (24 и 48 часов) были очень спокойными, а (\*) – этот день вошел в число 5 международных спокойных дней. В некоторых публикациях 5 международных спокойных дней обозначают буквами «QCC».

$K_n$  – геомагнитный индекс, характеризующий в 3-часовом интервале планетарную возмущенность в северном полушарии. Вычисляется по 3-часовым К-индексам ряда станций, расположенных в субавроральной зоне северного полушария (табл. 9).

Таблица 9 – Геомагнитные обсерватории северного полушария, данные которых используются при расчете планетарного индекса  $K_n$

| Название                               | Код<br>IAGA | Страна         | Географическая |            | В сети<br>INTERMAGNET |
|----------------------------------------|-------------|----------------|----------------|------------|-----------------------|
|                                        |             |                | широта, °      | долгота, ° |                       |
| 1 Мемамбецу                            | MMB         | Япония         | 43,91          | 144,189    | с 1993 г.             |
| 2 Хартленд                             | HAD         | Великобритания | 50,995         | 355,516    | с 1991 г.             |
| 3 Нимегк                               | NGK         | Германия       | 52,072         | 12,675     | с 1995 г.             |
| 4 Фредериксбург                        | FRD         | США            | 38,21          | 282,633    | с 1991 г.             |
| 5 Таксон                               | TUC         | США            | 32,17          | 249,27     | с 1991 г.             |
| 6 Виктория                             | VIC         | Канада         | 48,517         | 236,583    | с 1991 г.             |
| 7 Петропавловск-Камчатский (Паратунка) | PET         | Россия         | 52,971         | 158,248    | нет                   |
| 8 Магадан                              | MGD         | Россия         | 59,97          | 150,86     | с 2010 г.             |
| 9 Томск                                | TMK         | Россия         | 56,457         | 84,933     | нет                   |

$K_s$  – геомагнитный индекс, характеризующий в 3-часовом интервале планетарную возмущенность в южном полушарии. Вычисляется по 3-часовым К-индексам ряда станций, расположенных в субавроральной зоне южного полушария (табл. 10).

$K_m$  – геомагнитный индекс, характеризующий в 3-часовом интервале среднюю планетарную возмущенность.

*Порядок расчета индексов  $K_n$ ,  $K_s$ ,  $K_m$ :*

1) Стандартизация данных по долготе – обсерватории каждого полушария объединяются в группы по две-три так, что средние магнитные долготы каждой группы почти равноотстоят друг от друга. В северном полушарии выделяют пять таких групп, в южном – три. Средние долготы групп ( $\lambda^0$ ) представлены в таблице 11.

Таблица 10 – Геомагнитные обсерватории южного полушария, данные которых используются при расчете планетарного индекса  $K_s$

| Название               | Код IAGA | Страна         | Географическая |            | В сети INTERMAGNET |
|------------------------|----------|----------------|----------------|------------|--------------------|
|                        |          |                | широта, °      | долгота, ° |                    |
| 1 Канберра             | CNB      | Австралия      | - 35.32        | 149.36     | с 1991 г.          |
| 2 Айрвелл              | EYR      | Новая Зеландия | - 43.422       | 172.355    | с 1994 г.          |
| 3 Гнарара              | GNA      | Австралия      | - 31.78        | 115.95     | с 1994 г.          |
| 4 Херманюс             | HER      | ЮАР            | - 34.425       | 19.225     | с 1993 г.          |
| 5 Аргентинские острова | AIA      | Аргентина      | - 65.25        | 295.73     | с 2002 г.          |
| 6 Оркадас Сур          | ORC      | Аргентина      | - 60.733       | 315.217    | нет                |

Таблица 11 – Средние долготы групп ( $\lambda^0$ )

| Группа                              | Северное полушарие |         |         |         |         | Южное полушарие |         |         |
|-------------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|
|                                     | $G_1^n$            | $G_2^n$ | $G_3^n$ | $G_4^n$ | $G_5^n$ | $G_1^s$         | $G_2^s$ | $G_3^s$ |
| Долгота группы, $\lambda^0$         | 160                | 125     | 155     | 140     | 140     | 270             | 205     | 245     |
| Среднее значение, $\bar{\lambda}^0$ | 144                |         |         |         |         | 240             |         |         |

2) Определение К-индекса для обсерваторий каждой группы

3) Стандартизация К-индексов по широте: перевод К-индекса в  $K_{st}$ -индекс (таблица 12). Стандартизацию по широте проводят относительно обсерватории Нимегк, которой присвоен вес, равный 1.

4) Расчет среднеарифметического значения  $K_{st}$ -индекса для каждого долготного сектора по формуле:

$$\bar{K}_i = \frac{K_{st1} + K_{st2} + \dots + K_{stn_d}}{n_d} \quad (7),$$

Таблица 12 – Перевод К-индекса в  $K_{st}$ -индекс

|                          | $K_{st}$ -индекс |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | K = 0            | K = 1 | K = 2 | K = 3 | K = 4 | K = 5 | K = 6 | K = 7 | K = 8 | K = 9 |
| Мемамбетцу               | 0,00             | 1,04  | 2,04  | 3,04  | 4,05  | 5,06  | 6,06  | 7,06  | 8,06  | 9,06  |
| Петропавловск-Камчатский | 0,00             | 1,17  | 2,17  | 3,17  | 4,20  | 5,21  | 6,22  | 7,23  | 8,27  | 9,22  |
| Магадан                  | 0,00             | 0,85  | 1,85  | 2,85  | 3,82  | 4,80  | 5,80  | 6,80  | 7,76  | 8,80  |
| Томск                    | 0,00             | 0,53  | 1,53  | 2,53  | 3,39  | 4,34  | 5,30  | 6,27  | 7,15  | 8,25  |
| Нимегк                   | 0,00             | 1,00  | 2,00  | 3,00  | 4,00  | 5,00  | 6,00  | 7,00  | 8,00  | 9,00  |
| Хартленд                 | 0,00             | 0,92  | 1,92  | 2,92  | 3,90  | 4,89  | 5,89  | 6,88  | 7,86  | 8,89  |
| Фредериксберг            | 0,00             | 0,97  | 1,97  | 2,97  | 3,96  | 4,96  | 5,96  | 6,96  | 7,95  | 8,96  |
| Виктория                 | 0,00             | 0,65  | 1,65  | 2,65  | 3,58  | 4,56  | 5,54  | 6,53  | 7,44  | 8,54  |
| Таксон                   | 0,00             | 0,88  | 1,88  | 2,88  | 3,86  | 4,85  | 5,84  | 6,84  | 7,81  | 8,84  |
| Айрвелл                  | 0,00             | 0,92  | 1,92  | 2,92  | 3,90  | 4,89  | 5,89  | 6,88  | 7,86  | 8,89  |
| Канберра                 | 0,00             | 0,97  | 1,97  | 2,97  | 3,96  | 4,96  | 5,96  | 6,96  | 7,95  | 8,96  |
| Гнангара                 | 0,00             | 0,72  | 1,72  | 2,72  | 3,66  | 4,65  | 5,63  | 6,62  | 7,55  | 8,63  |
| Херманюс                 | 0,00             | 1,00  | 2,00  | 3,00  | 4,00  | 5,00  | 6,00  | 7,00  | 8,00  | 9,00  |
| Аргентинские острова     | 0,00             | 1,03  | 2,03  | 3,03  | 4,04  | 5,04  | 6,04  | 7,04  | 8,05  | 9,04  |
| Оркадас Сур              | 0,00             | 0,96  | 1,96  | 2,96  | 3,96  | 4,95  | 5,95  | 6,95  | 7,94  | 8,95  |

где  $n_d$  – число обсерваторий в долготном секторе

5) Расчет стандартных отклонений для секторного значения  $\bar{K}_i$

6) Перевод среднеарифметических значений ( $\bar{K}_i$ ) каждого долготного сектора в эквивалентные амплитуды  $\bar{a}$  (таблица 13).

7) Определение долготного веса ( $\lambda_i$ ) каждого сектора относительно среднего значения долготы для полушария ( $\bar{\Lambda}^0$ ): северного – 144, южного – 240 (таблица 11).

Расчетная формула для северного полушария:

$$\lambda_i = \Lambda_i^0 / 144 \quad (8)$$

Расчетная формула для южного полушария:

$$\lambda_i = \Lambda_i^0 / 240 \quad (9)$$

Таблица 13 – Перевод  $\bar{K}_i$  индекса в эквивалентную амплитуду  $\bar{a}$ 

| $\bar{K}_i$ | $\bar{a}$ | $\bar{K}_i$ | $\bar{a}$ | $\bar{K}_i$ | $\bar{a}$ | $\bar{K}_i$ | $\bar{a}$ | $\bar{K}_i$ | $\bar{a}$ |
|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 0,0         | 0,00      | 2,0         | 15,00     | 4,0         | 55,00     | 6,0         | 160,00    | 8,0         | 415,00    |
| 0,1         | 0,67      | 2,1         | 16,00     | 4,1         | 58,00     | 6,1         | 168,00    | 8,1         | 432,00    |
| 0,2         | 1,33      | 2,2         | 17,00     | 4,2         | 61,00     | 6,2         | 176,00    | 8,2         | 449,00    |
| 0,3         | 2,00      | 2,3         | 18,00     | 4,3         | 64,00     | 6,3         | 184,00    | 8,3         | 466,00    |
| 0,4         | 2,67      | 2,4         | 19,00     | 4,4         | 67,00     | 6,4         | 192,00    | 8,4         | 483,00    |
| 0,5         | 3,33      | 2,5         | 20,00     | 4,5         | 70,00     | 6,5         | 200,00    | 8,5         | 500,00    |
| 0,6         | 4,00      | 2,6         | 22,00     | 4,6         | 75,00     | 6,6         | 213,00    | 8,6         | 533,00    |
| 0,7         | 4,67      | 2,7         | 24,00     | 4,7         | 80,00     | 6,7         | 226,00    | 8,7         | 567,00    |
| 0,8         | 5,33      | 2,8         | 26,00     | 4,8         | 85,00     | 6,8         | 239,00    | 8,8         | 600,00    |
| 0,9         | 6,00      | 2,9         | 28,00     | 4,9         | 90,00     | 6,9         | 252,00    | 8,9         | 633,00    |
| 1,0         | 6,67      | 3,0         | 30,00     | 5,0         | 95,00     | 7,0         | 265,00    | 9,0         | 667,00    |
| 1,1         | 7,33      | 3,1         | 32,00     | 5,1         | 100,00    | 7,1         | 278,00    | 9,1         | 700,00    |
| 1,2         | 8,00      | 3,2         | 34,00     | 5,2         | 105,00    | 7,2         | 291,00    | 9,2         | 733,00    |
| 1,3         | 8,67      | 3,3         | 36,00     | 5,3         | 110,00    | 7,3         | 304,00    | 9,3         | 767,00    |
| 1,4         | 9,33      | 3,4         | 38,00     | 5,4         | 115,00    | 7,4         | 317,00    | 9,4         | 800,00    |
| 1,5         | 10,00     | 3,5         | 40,00     | 5,5         | 120,00    | 7,5         | 330,00    | 9,5         | 833,00    |
| 1,6         | 11,00     | 3,6         | 43,00     | 5,6         | 128,00    | 7,6         | 347,00    |             |           |

8) Определение суммарного долготного веса секторов полушария:

$$\sum \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i \quad (10)$$

9) Определение коэффициентов долготного веса:

$$k = \lambda_i / \sum \lambda_i \quad (11)$$

Полученные величины долготных весов, суммарного долготного веса секторов северного и южного полушарий и коэффициентов долготного веса представлены в таблице 14.

10) Расчет средневзвешенного значения амплитуд  $a_s$ ,  $a_n$  и  $a_m$ :

по данным для северного полушария

$$a_n = \frac{\sum \bar{a}_i \cdot \lambda_i}{\sum \lambda_i} \quad (12),$$

Таблица 14

|                                                              | Северное полушарие |         |         |         |         | Южное полушарие |         |         |
|--------------------------------------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|
| Группа                                                       | $G_1^n$            | $G_2^n$ | $G_3^n$ | $G_4^n$ | $G_5^n$ | $G_1^s$         | $G_2^s$ | $G_3^s$ |
| Долготный вес сектора, $\lambda_i$                           | 1,111              | 0,868   | 1,076   | 0,973   | 0,973   | 1,125           | 0,854   | 1,021   |
| Коэффициент долготного веса, $k$                             | 0,222              | 0,175   | 0,213   | 0,195   | 0,195   | 0,375           | 0,285   | 0,340   |
| Суммарный долготный вес секторов полушария, $\sum \lambda_i$ | 5,001              |         |         |         |         | 3               |         |         |

по данным для южного полушария

$$a_s = \frac{\sum \bar{a}_i \cdot \lambda_i}{\sum \lambda_i} \quad (13),$$

$$a_m = \frac{a_n + a_s}{2} \quad (14).$$

11) Перевод средневзвешенного значения амплитуд  $a_s$ ,  $a_n$  и  $a_m$  в индексы  $K_s$ ,  $K_n$ ,  $K_m$  (таблица 15)

12) Для удобства публикуются таблицы  $3K_s$ -,  $3K_n$ -,  $3K_m$ -индексов, имеющих 27-балльную шкалу (от 0 до 27). Перевод  $K_s$ -,  $K_n$ -,  $K_m$ -индексов в  $3K_s$ -,  $3K_n$ -,  $3K_m$ -индексы дан в таблице 16.

Таким образом, для характеристики планетарной магнитной возмущенности в 3-часовом интервале существует два планетарных индекса –  $K_p$  и  $K_m$ . Оба индекса вычисляются на основании данных  $K$ -индекса

обсерваторий, число и расположение которых различно. Эти индексы ( $K_p$ ,  $K_m$ , а также  $K_{st}$ ,  $K_s$  и  $K_n$ ) даются в двадцатисемибалльной шкале и выражаются числами от 0 до 9 с аффиксами -, 0, + или с численными значениями от 0,0 до 9,0 (см. табл. 17).

Таблица 15 – Перевод амплитуд  $a_s$ ,  $a_n$  и  $a_m$  в индексы  $K_s$ ,  $K_n$ ,  $K_m$ 

| а    | К              | а     | К              | а     | К              |
|------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|
| 1,4  | 0 <sub>0</sub> | 33,4  | 3 <sub>0</sub> | 173,4 | 6 <sub>0</sub> |
| 3,4  | 0 <sub>+</sub> | 40,4  | 3 <sub>+</sub> | 200,4 | 6 <sub>+</sub> |
| 5,4  | 1 <sub>-</sub> | 50,4  | 4 <sub>-</sub> | 243,4 | 7 <sub>-</sub> |
| 7,4  | 1 <sub>0</sub> | 60,4  | 4 <sub>0</sub> | 286,4 | 7 <sub>0</sub> |
| 10,4 | 1 <sub>+</sub> | 70,4  | 4 <sub>+</sub> | 330,4 | 7 <sub>+</sub> |
| 13,4 | 2 <sub>-</sub> | 86,4  | 5 <sub>-</sub> | 386,4 | 8 <sub>-</sub> |
| 16,4 | 2 <sub>0</sub> | 103,4 | 5 <sub>0</sub> | 443,4 | 8 <sub>0</sub> |
| 20,4 | 2 <sub>+</sub> | 120,4 | 5 <sub>+</sub> | 500,4 | 8 <sub>+</sub> |
| 26,4 | 3 <sub>-</sub> | 146,4 | 6 <sub>-</sub> | 611,4 | 9 <sub>-</sub> |

Таблица 16 – Таблица перевода  $K_s$ ,  $K_n$ ,  $K_m$  индексов в  $3K_s$ ,  $3K_n$ ,  $3K_m$  индексы

| $K_s, K_n, K_m$    | 0 <sub>0</sub> | 0 <sub>+</sub> | 1 <sub>-</sub> | 1 <sub>0</sub> | 1 <sub>+</sub> | 2 <sub>-</sub> | 2 <sub>0</sub> | 2 <sub>+</sub> | 3 <sub>-</sub> | 3 <sub>0</sub> | 3 <sub>+</sub> | 4 <sub>-</sub> | 4 <sub>0</sub> | 4 <sub>+</sub> | 5 <sub>-</sub> | 5 <sub>0</sub> |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $3K_s, 3K_n, 3K_m$ | 0              | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             | 13             | 14             | 15             |

Окончание таблицы

| $K_s, K_n, K_m$    | 5 <sub>+</sub> | 6 <sub>-</sub> | 6 <sub>0</sub> | 6 <sub>+</sub> | 7 <sub>-</sub> | 7 <sub>0</sub> | 7 <sub>+</sub> | 8 <sub>-</sub> | 8 <sub>0</sub> | 8 <sub>+</sub> | 9 <sub>-</sub> | 9 <sub>0</sub> |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $3K_s, 3K_n, 3K_m$ | 16             | 17             | 18             | 19             | 20             | 21             | 22             | 23             | 24             | 25             | 26             | 27             |

Таблица 17 – Таблица перевода  $K_p$ -,  $K_s$ -,  $K_n$ -,  $K_m$ -индексов в численные значения

| $K_p, K_s, K_n, K_m$ | 0 <sub>0</sub> | 0 <sub>+</sub> | 1 <sub>-</sub> | 1 <sub>0</sub> | 1 <sub>+</sub> | 2 <sub>-</sub> | 2 <sub>0</sub> | 2 <sub>+</sub> | 3 <sub>-</sub> | 3 <sub>0</sub> | 3 <sub>+</sub> | 4 <sub>-</sub> |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Численное значение   | 0,0            | 0,3            | 0,7            | 1,0            | 1,3            | 1,7            | 2,0            | 2,3            | 2,7            | 3,0            | 3,3            | 3,7            |

Продолжение таблицы

| $K_p, K_s, K_n, K_m$ | 4 <sub>0</sub> | 4 <sub>+</sub> | 5 <sub>-</sub> | 5 <sub>0</sub> | 5 <sub>+</sub> | 6 <sub>-</sub> | 6 <sub>0</sub> | 6 <sub>+</sub> | 7 <sub>-</sub> | 7 <sub>0</sub> | 7 <sub>+</sub> | 8 <sub>-</sub> |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Численное значение   | 4,0            | 4,3            | 4,7            | 5,0            | 5,3            | 5,7            | 6,0            | 6,3            | 6,7            | 7,0            | 7,3            | 7,7            |

## Окончание таблицы

|                      |                |                |                |                |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $K_P, K_S, K_n, K_m$ | 8 <sub>0</sub> | 8 <sub>+</sub> | 9 <sub>-</sub> | 9 <sub>0</sub> |
| Численное значение   | 8,0            | 8,3            | 8,7            | 9,0            |

При изучении закономерностей между явлениями и процессами, протекающими на Земле, и геомагнитной активностью возникает потребность в осреднении последнего за некоторый период времени, например, за бурю, за месяц, за год и т. д. Как было отмечено выше, индексы геомагнитной активности, рассчитанные на основании квазилогарифмического К-индекса ( $K_P, K_m, K_{st}, K_S, K_n$ ), не рекомендуется усреднять. Для этих целей введен целый ряд индексов, имеющих линейную шкалу измерения и характеризующих амплитуду возмущения в 3-часовом и 24-часовом интервалах.

$a_K$  – индекс, отражающий эквивалентную (не истинную) амплитуду возмущения в 3-часовом интервале на конкретной обсерватории, соответствует центру амплитудного интервала для каждого балла К-индекса. Исходной шкалой для определения  $a_K$  индекса является шкала с нижним пределом 250 нТл для  $K = 9$  и центром последнего интервала, равным 400 нТл (табл. 18).

Таблица 18 – Соотношение между значением К-индекса и индексом  $a_K$ 

|             |   |   |   |    |    |    |    |     |     |     |
|-------------|---|---|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| K           | 0 | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7   | 8   | 9   |
| $a_K$ , нТл | 0 | 3 | 7 | 15 | 27 | 48 | 80 | 140 | 240 | 400 |

Порядок расчета шкалы перехода от К-индекса к индексу  $a_K$ :

1) Разделить нижний предел для  $K = 9$  данной обсерватории ( $x$ ) на нижний предел для  $K = 9$  исходной шкалы (табл. 18), равный 250 нТл. Целая часть полученной величины есть множитель ( $m$ ), необходимый для дальнейших расчетов.

$$m = \left\lfloor \frac{x}{250} \right\rfloor \quad (15),$$

где  $m$  – целое число.

2) Каждое значение амплитуды исходной шкалы (в табл. 18  $a_k$ ) умножить на  $m$ ; полученные значения формируют шкалу перехода для данной обсерватории от  $K$ -индекса к индексу  $a_k^x$ :

$$a_k^x = m \cdot a_k \text{ (при } K = 0, 1, \dots, 9) \quad (16).$$

$A_K$  – индекс, эквивалентный *суточной амплитуде* возмущения на конкретной обсерватории и определяется как среднее значение из восьми значений  $a_k$ :

$$A_K = \frac{a_k^{0-3} + a_k^{3-6} + \dots + a_k^{21-24}}{8}, \quad (17)$$

где  $a_k^{0-3, 3-6, \dots, 21-24}$  –  $a_k$ -индексы соответствующих 3-х часовых суточных интервалов.

$A_{Mos}$  – региональный индекс, характеризующий возмущенность магнитного поля в течение суток по данным  $A_K$ -индексов 9 среднеширотных магнитных обсерваторий Евразийского региона (табл. 19), каждая из которых прошла испытания с целью утверждения типа (магнетометры должны быть зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений) или включена в систему Intermagnet. Рассчитывается по формуле:

$$A_{Mos} = \frac{A_K^1 + A_K^2 + \dots + A_K^9}{9} \quad (18),$$

где  $A_K^{1-9}$  –  $A_K$  индекс каждой из 9 рассматриваемых обсерваторий (табл. 19)

Степень возмущенности геомагнитного поля может быть оценена по  $A_{Mos}$ -индексу по таблице 20.

Таблица 19 – Среднеширотные геомагнитные обсерватории Евразийского региона, данные которых используются при расчете регионального индекса  $A_{Mos}$

| Название                               | Код IAGA | Страна   | Географическая |         | В сети INTER-MAGNET |
|----------------------------------------|----------|----------|----------------|---------|---------------------|
|                                        |          |          | широта         | долгота |                     |
| 1 Москва                               | MOS      | Россия   | 55,48          | 37,31   | нет                 |
| 2 Подкаменная Тунгуска                 | POD      | Россия   | 61,6           | 90      | нет                 |
| 3 Магадан                              | MGD      | Россия   | 59,97          | 150,86  | с 2010 г.           |
| 4 Петропавловск-Камчатский (Паратунка) | PET      | Россия   | 52,971         | 158,248 | нет                 |
| 5 Санкт-Петербург                      | LNN      | Россия   | 59,95          | 30,71   | нет                 |
| 6 Новосибирск                          | NVS      | Россия   | 54,85          | 83,23   | с 2003 г.           |
| 7 Шамбон-ла-Форе                       | CLF      | Франция  | 48,025         | 2,26    | с 1991 г.           |
| 8 Вингст                               | WNG      | Германия | 53,743         | 9,073   | с 1994 г.           |
| 9 Какиока                              | KAK      | Япония   | 36,232         | 140,186 | с 1991 г.           |

Таблица 20 – Оценка степени возмущенности геомагнитного поля по значению индекса  $A_{Mos}$

| $A_{Mos}$ , нТл           | 0 — 7           | 8 — 14    | 15 — 19      | 20 — 29           | 30 — 49              | $\geq 50$          |
|---------------------------|-----------------|-----------|--------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| Состояние магнитного поля | Очень спокойное | Спокойное | Неустойчивое | Слабо возмущенное | Умеренно возмущенное | Сильно возмущенное |

$a_p$  – индекс планетарной амплитуды в трехчасовом интервале, вычисляется по данным  $K_p$  индекса (табл. 21).

$A_p$  – эквивалентная среднесуточная планетарная амплитуда, получается осреднением восьми значений индекса  $a_p$  за день:

$$A_p = \frac{a_p^{0-3} + a_p^{3-6} + \dots + a_p^{21-24}}{8}. \quad (19)$$

Таблица 21 – Таблица перевода  $K_p$  индекса в индекс  $a_p$ 

| $K_p$             | $0_0$ | $0_+$ | $1_-$ | $1_0$ | $1_+$ | $2_-$ | $2_0$ | $2_+$ | $3_-$ | $3_0$ | $3_+$ | $4_-$ | $4_0$ | $4_+$ | $5_-$ |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a_p, \text{нТл}$ | 0     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 9     | 12    | 15    | 18    | 22    | 27    | 32    | 39    |

Окончание таблицы

| $K_p$             | $5_0$ | $5_+$ | $6_-$ | $6_0$ | $6_+$ | $7_-$ | $7_0$ | $7_+$ | $8_-$ | $8_0$ | $8_+$ | $9_-$ | $9_0$ |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a_p, \text{нТл}$ | 48    | 56    | 67    | 80    | 94    | 111   | 132   | 154   | 179   | 207   | 236   | 300   | 400   |

$A_s$ ,  $A_n$ ,  $A_m$  – среднесуточные амплитудные индексы геомагнитной активности, рассчитываются осреднением восьми значений соответствующих индексов  $a_s$ ,  $a_n$  и  $a_m$  за день.  $A_{m2}$  – среднее значение индекса  $a_m$  за 48-часовой период

$$A_{m2} = \frac{a_m^{0-3} + a_m^{3-6} + \dots + a_m^{45-48}}{16}. \quad (20)$$

$a_a$  – геомагнитный индекс, характеризующий уровень магнитной активности на инвариантной магнитной широте ( $\sim 50^\circ$ ). Вычисляется в нанотеслах по данным двух магнитных обсерваторий, расположенных диаметрально противоположно в северном и южном полушариях на средних широтах – Хартленд и Канберра. К-индекс каждой обсерватории переводится в амплитуду (индекс  $a_k$ ), среднее значение между амплитудами двух станций представляет собой величину индекса  $a_a$ :

$$a_a = \frac{a_{\text{хар}} + a_{\text{кан}}}{2} \quad (21)$$

$A_a$ -индекс – среднее значение индекса  $a_a$  за сутки:

$$A_a = \frac{a_a^{0-3} + a_a^{3-6} + \dots + a_a^{21-24}}{8} \quad (22)$$

$C_p$  – объективный суточный планетарный индекс, введен для стандартизации  $C_i$  индекса и является производным индексом от  $K_p$ . Имеет шкалу измерений от 0,0 до 2,5.

*Порядок вычисления:*

1) каждому значению  $K_p$  соответствует выбираемое значение индекса  $a_p$  (табл. 21);

2) определяют сумму восьми значений  $a_p$  за сутки

$$\sum a_p = a_p^{0-3} + a_p^{3-6} + \dots + a_p^{21-24}; \quad (23)$$

3) по таблице 22 определяют значение  $C_p$  индекса.

Таблица 22 – Таблица определения  $C_p$  индекса по данным суммы восьми значений  $a_p$  индекса

|              |        |         |         |         |         |         |         |
|--------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $a_p$ , 2нТл | 0 — 22 | 23 — 34 | 35 — 44 | 45 — 55 | 56 — 66 | 67 — 78 | 79 — 90 |
| $C_p$        | 0,0    | 0,1     | 0,2     | 0,3     | 0,4     | 0,5     | 0,6     |

Продолжение таблицы

|              |          |           |           |           |           |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_p$ , 2нТл | 91 — 104 | 105 — 120 | 121 — 139 | 140 — 164 | 165 — 190 |
| $C_p$        | 0,7      | 0,8       | 0,9       | 1,0       | 1,1       |

Продолжение таблицы

|              |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_p$ , 2нТл | 191 — 228 | 229 — 273 | 274 — 320 | 321 — 379 | 380 — 453 |
| $C_p$        | 1,2       | 1,3       | 1,4       | 1,5       | 1,6       |

Продолжение таблицы

|              |           |           |            |             |             |
|--------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| $a_p$ , 2нТл | 454 — 561 | 562 — 729 | 730 — 1119 | 1120 — 1399 | 1400 — 1699 |
| $C_p$        | 1,7       | 1,8       | 1,9        | 2,0         | 2,1         |

Окончание таблицы

|              |             |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $a_p$ , 2нТл | 1700 — 1999 | 2000 — 2399 | 2400 — 3199 | $\geq 3200$ |
| $C_p$        | 2,2         | 2,3         | 2,4         | 2,5         |

При сопоставлении  $C_i$ -индекса с  $C_p$  считают, что  $C_i = 2,0$  соответствует значению  $C_p$  от 2,0 до 2,5; все другие значения индексов совпадают.

$C_9$  – производный индекс от индекса  $C_p$ , характеризует суточную планетарную возмущенность геомагнитного поля по девятибалльной шкале измерения. Введен для удобства визуализации рекуррентных (повторяющихся через 27 дней) геомагнитных бурь из длинного ряда наблюдений. Публикуется по данным за 50 оборотов Солнца. В таблице 23 представлены данные для перехода от  $C_p$ -индекса к  $C_9$ -индексу.

Таблица 23 – Переход от  $C_p$ -индекса к  $C_9$ -индексу

|       |           |           |           |           |           |           |           |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $C_p$ | 0,0 — 0,1 | 0,2 — 0,3 | 0,4 — 0,5 | 0,6 — 0,7 | 0,8 — 0,9 | 1,0 — 1,1 | 1,2 — 1,4 |
| $C_9$ | 0         | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |

Окончание таблицы

|       |           |     |           |
|-------|-----------|-----|-----------|
| $C_p$ | 1,5 — 1,8 | 1,9 | 2,0 — 2,5 |
| $C_9$ | 7         | 8   | 9         |

$R$  – индекс, характеризующий число солнечных пятен в данный момент времени, определяется по результатам наблюдений за три дня (табл. 24), имеет девятибалльную шкалу измерения.

Таблица 24 – Зависимость величины  $R$ -индекса от суммы числа солнечных пятен за три дня ( $\Sigma W$ )

|            |   |        |         |         |         |         |          |           |
|------------|---|--------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| $\Sigma W$ | 0 | 1 — 15 | 16 — 30 | 31 — 45 | 46 — 60 | 61 — 80 | 81 — 100 | 101 — 130 |
| $R$        | 0 | 1      | 2       | 3       | 4       | 5       | 6        | 7         |

Окончание таблицы

|            |           |       |
|------------|-----------|-------|
| $\Sigma W$ | 131 — 170 | > 170 |
| $R$        | 8         | 9     |

$r_H$  – индекс, характеризующий геомагнитную возмущенность в высокоширотных областях в часовом интервале. Определяется как абсолютный максимальный часовой размах горизонтальной компоненты  $H$ , выраженный в

десятках нанотесла. Индекс  $\gamma_H$  не связан с определенными физическими представлениями и *не нашел достаточно широкого распространения*.

AU, AL, AE, AO – индексы, являющиеся количественной мерой магнитной активности в авроральной зоне и отражающие усиление токов в ионосфере, протекающих вдоль границы аврорального овала (восточного и западного токов авроральной электроструи). Измеряются в нанотеслах и учитывают весь диапазон вариаций магнитного поля Земли, который регистрируется на магнитограммах [7].

Порядок вычисления AU, AL, AE, AO индексов основан на определении величины отклонения Н-составляющей геомагнитного поля от спокойного уровня – среднемесячного значения Н-составляющей, вычисленного по данным пяти международных спокойных дней (рис. 5).

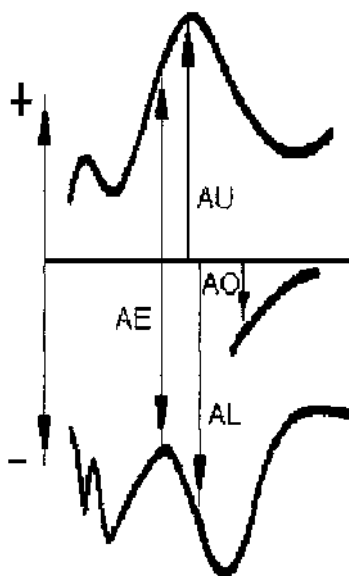


Рисунок 5 – Отсчет величин AU, AL, AE, AO-индексов (по горизонтали – время, по вертикали – величины отклонения Н-составляющей геомагнитного поля от спокойного уровня)

Для вычисления AU, AL, AE, AO индексов используют геомагнитные данные обсерваторий, расположенных в северной зоне полярных сияний (табл. 25).

Таблица 25 – Геомагнитные обсерватории, данные которых используются при расчете AU, AL, AE, AO индексов

| Название             | Код IAG A | Страна     | Географическая |            | В сети INTER-MAGNET |
|----------------------|-----------|------------|----------------|------------|---------------------|
|                      |           |            | широта, °      | долгота, ° |                     |
| 1 Лервогюр           | LRV       | Исландия   | 64,183         | 338,3      | нет                 |
| 2 Нарсарсуак         | NAQ       | Гренландия | 61,167         | 314,567    | с 1991 г.           |
| 3 Посте-де-ля Балеин | PBQ       | Канада     | 55,277         | 282,255    | с 1992 г.           |
| 4 Форт Черчилль      | FCC       | Канада     | 58,786         | 265,912    | с 1991 г.           |
| 5 Йеллоунайф         | YKC       | Канада     | 62,482         | 245,518    | с 1992 г.           |
| 6 Колледж            | CMO       | США        | 64,87          | 212,14     | с 1991 г.           |
| 7 Барроу             | BRW       | США        | 71,3           | 203,38     | с 1991 г.           |
| 8 Тикси              | TIK       | Россия     | 71,58          | 129,0      | с 1991 г.           |
| 9 Мыс Челюскин       | CCS       | Россия     | 77,717         | 104,283    | нет                 |
| 10 Диксон            | DIK       | Россия     | 73,543         | 80,562     | нет                 |
| 11 Абиско            | ABK       | Швеция     | 68,358         | 18,823     | нет                 |
| 12 Певек             | PBK       | Россия     | 70,83          | 170,9      | нет                 |

AU – характеризует интенсивность восточного тока авроральной электроструи, принимает значения от 0 нТл (магнито-спокойный день) до + 1500 нТл (возмущенный день).

AL – характеризует интенсивность западного тока авроральной электроструи, принимает значения от 0 нТл (магнито-спокойный день) до минус 3000 нТл (возмущенный день).

AE – алгебраическая разность AU и AL индексов. Численное значение AE-индекса лежит в интервале от 0 нТл в магнито-спокойный день до ~ + 3000 нТл.

AO – геометрически представляет перемещающуюся серединную точку между AU и AL значениями в любой данный момент времени. Рассчитывается по формуле:

$$AO = \frac{AU + AL}{2} \quad (24)$$

Численные значения АО-индекса могут изменяться от 0 нТл в магнитоспокойный день до приблизительно минус 1500 или до + 1000 нТл в магнитовозмущенный день.

Вышеуказанные индексы (AU, AL, AE, AO) регулярно публикуются в виде таблиц и графиков среднечасовых значений и графиков 2,5-минутных или одноминутных значений.

$D_{st}$  – индекс, характеризующий интенсивность симметричного кольцевого тока, усиливающегося в магнитосфере взрывным образом во время магнитных бурь. Представляет среднюю величину возмущения в часовом интервале, вычисленную по данным сети низкоширотных станций, разнесенных по долготе. Единица измерения нТл.

Для вычисления  $D_{st}$  индекса используют данные Н-компонент четырех магнитных обсерваторий, распределенных в полосе широт от  $10^\circ$  до  $40^\circ$  (чтобы исключить возможное влияние экваториальной и авроральной электроструй): Гонолулу, Сан-Хуан, Херманюс, Какиока (рис. 6).

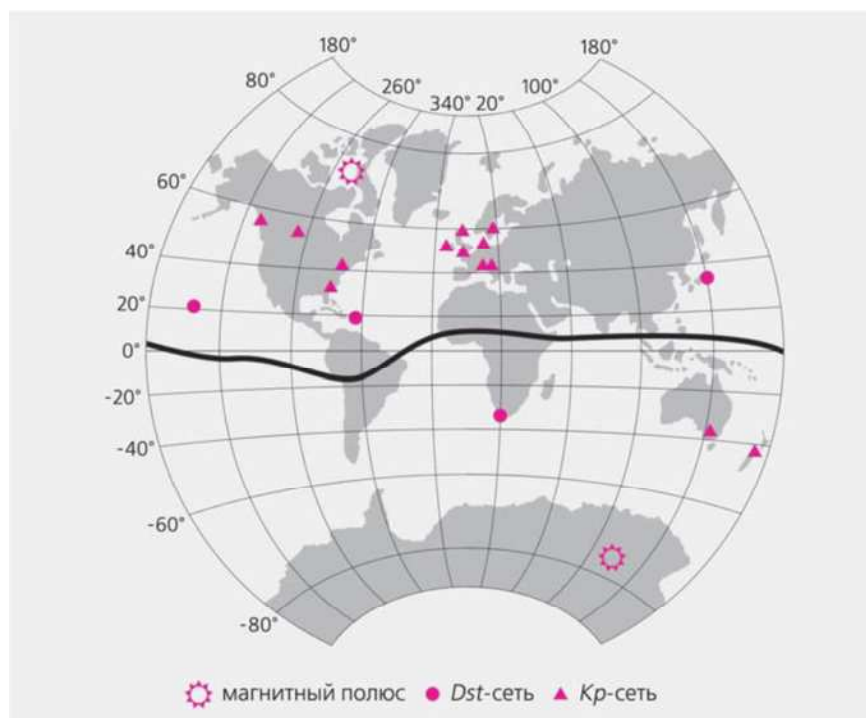


Рисунок 6 – Расположение сети  $D_{st}$  и  $K_p$  обсерваторий [8]

$D_{st}$  индекс вычисляют по формуле:

$$D_{st} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n ([H^k(t) - H_{00}^k] - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_q^k(t) - \overline{\Delta H_0(t)}) / \cos \varphi_k, \quad (25)$$

где  $t$  – мировое время,

$\varphi_k$  – дипольная широта станции,

$S_q^k$  – солнечно-суточная вариация,

$H^k$  – значение Н-составляющей магнитного поля на  $k$ -й станции,

$H_{00}^k$  – среднегодовые значения Н-составляющей на  $k$ -й станции,

$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [H^k(t) - H_{00}^k]$  – среднее значение часовых значений Н-компоненты по всем станциям, измеренное от среднегодового значения,

$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_q^k(t)$  – среднее значение  $S_q$ -вариаций,

$\overline{\Delta H_0(t)}$  – среднее значение  $D_{st}$  для спокойных периодов.

В магнитоспокойный день численная величина  $D_{st}$ -индекса лежит в интервале от минус 20 до +20 нТл и с ростом геомагнитной активности увеличивается в сторону отрицательных значений.

Использование среднечасовых данных для вычисления  $D_{st}$  не дает точного представления о динамике кольцевого тока, поэтому ведутся исследования по разработке улучшенного индекса  $D_{st}$  и его модификаций. Например, установлено, что кольцевой ток (DR) имеет сильную асимметрию, поэтому для более детального описания его поведения были введены долготно-асимметричный (ASY) и симметричный (SYM) индексы возмущенности для компонент в горизонтальном (дипольного полюса) направлении  $\mathbf{h}$  (SYM-H, ASY-H) и в ортогональном (восток-запад) направлении  $\mathbf{d}$  (SYM-D, ASY-D) [9].

Индекс, характеризующий симметричное возмущенное поле для Н, SYM-H, является по сути тем же, что и часовой индекс  $D_{st}$ . Отличие заключается в том, что для расчета SYM-H используются минутные, а не часовые значения, и

несколько иной способ обработки магнитометрических данных. Оба индекса эффективно взаимозаменяемы в операционном отношении [10].

РС-индекс (от англ. Polar cap) служит для оценки геомагнитной активности вблизи полярной шапки, вычисляется по геомагнитным данным одной станции, расположенной вблизи полярной шапки (табл. 26).

Таблица 26 – Геомагнитные обсерватории, данные которых используются при расчете РС индекса

| Назва-<br>ние       | Код<br>IAGA | Страна     | Географическая |            | В сети<br>INTERMAGNET |
|---------------------|-------------|------------|----------------|------------|-----------------------|
|                     |             |            | широта, °      | долгота, ° |                       |
| 1 Каанаак<br>(Туле) | THL         | Гренландия | 77,483         | 280,833    | с 1991 г.             |
| 2 Восток            | VOS         | Россия     | - 78,45        | 106,867    | нет                   |

Алгоритм расчета РС-индекса основан на статистическом анализе соотношений между параметрами солнечного ветра (скорости, компонент  $B_y$ ,  $B_z$  межпланетного магнитного поля (ММП)) и горизонтальным вектором магнитных возмущений на околополюсной станции и имеет вид:

$$\Delta H_{PC} = \Delta H \sin \gamma \pm \Delta D \cos \gamma \quad (26),$$

где  $\gamma = \lambda \pm DE + \varphi_t + UT$ ,  $\Delta H$  и  $\Delta D$  – отклонения в горизонтальных  $H$  и  $D$  компонентах геомагнитного поля от спокойного уровня,  $\lambda$  – географическая долгота,  $DE$  – средний угол склонения на станции (знак «+» для станции Восток, знак «-» для станции Туле),  $\varphi_t$  – угол между направлением трансполярного тока и меридианом полдень-полночь в данный момент времени  $UT$  (градусная мера, равная 0, когда станция находится на полуночном меридиане).

Порядок расчета:

1) расчет межпланетного электрического поля, проникающего в магнитосферу:

$$E_m = v (B_y^2 + B_z^2)^{1/2} \sin^2(\theta/2) \quad (27),$$

где  $v$  – скорость солнечного ветра,  $B_y$  и  $B_z$  – азимутальная и вертикальная компоненты ММП,  $\theta$  – угол между земным магнитным диполем и ММП.

2) определение величины вектора магнитного возмущения:

$$\Delta H_{PC} = \alpha_1 \cdot E_m + \beta \quad (28),$$

где  $\alpha_1$  и  $\beta$  являются функциями времени (месяца и UT).

3) выражение для расчета индекса PC:

$$PC = \frac{\eta \cdot (\Delta H_{PC} - \beta)}{\alpha_1} \quad (29),$$

где  $\eta$  – масштабный коэффициент, для станции Восток равен 1;

PC-индекс – безразмерная величина, которая пропорциональна интенсивности магнитного возмущения в полярной шапке, откалибрована по межпланетному полю  $E_m$  и параметризована 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 возмущенное состояние магнитосферы [7].

## 9 Формы представления индексов геомагнитной активности

Наземная сеть наблюдения за состоянием геомагнитного поля Земли России состоит из 15 обсерваторий, расположенных на территории РФ: Санкт-Петербург (Горьковская), Амдерма, Диксон, Мурманск (Ловозеро), о. Хейса (обсерватория имени Кренкеля), Москва (Электроугли), Магадан, Новосибирск,

Хабаровск, Певек (Валькаркай), Тикси, Баренцбург (Шпицберген), мыс Челюскин, о. Визе, о. Известий ЦИК.

Вся наблюдаемая на обсерваториях оперативная информация проходит первичную обработку, затем кодируется в телеграфное сообщение в соответствии с международными рекомендациями службы космической погоды и передается по каналам связи в Гелиогеофизическую службу ФГБУ «ИПГ».

Семь обсерваторий (Горьковская, Диксон, Москва, Баренцбург, Ловозеро, Тикси, Валькаркай) передают 3-часовые значения К-индексов (код MAGMA). Все 15 обсерваторий передают суточную информацию о состоянии магнитного поля по коду UMAGF. 10 обсерваторий передают ежечасную информацию о величинах амплитуды Н-компоненты магнитного поля по коду АМПЛИ.

Кодом UMAGF передается суточная оценка состояния магнитного поля Земли –  $A_k$  и К-индексы, геомагнитные возмущения и время их проявления. Информация кодом UMAGF передается один раз в сутки, объем передаваемой информации зависит от регистрации явления. Содержание и расшифровка кода приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Содержание и расшифровка кода UMAGF

**(UMAGF IIII YMMDD HHmm/ DDHNa 1/bbb 2KKKK 3KKKK  
сHHmm dHHmm (eeee))**

| Часть кода   | признак | Содержание кода                                           |
|--------------|---------|-----------------------------------------------------------|
| 1            | 2       | 3                                                         |
| <b>UMAGF</b> |         | кодовое слово                                             |
| <b>IIII</b>  |         | индекс станции                                            |
| <b>YMMDD</b> | Y       | последняя цифра года                                      |
|              | MM      | месяц года, 01 = январь, 02 = февраль и т. д.             |
|              | DD      | день месяца в UT                                          |
| <b>HHmm</b>  | HHmm    | часы и минуты (UT) начала сообщаемого 24-часового периода |
|              | /       | всегда косая черта                                        |
| <b>DDHNa</b> | DD      | дата начала сообщаемого 24-часового периода в UT          |
|              | HH      | час начала сообщаемого 24-часового периода в UT           |

| 1             | 2    | 3                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | a    | последняя цифра контрольной суммы цифр $A_K$ (bbb) и 8 К-индексов                                                                                                                                                                    |
| <b>1/bbb</b>  | 1    | индикатор для $A_K$ -индекса                                                                                                                                                                                                         |
|               | /    | всегда косая черта                                                                                                                                                                                                                   |
|               | bbb  | $A_K$ -индекс для даты в UT, если $A_K$ -индекс отсутствует, используйте ///                                                                                                                                                         |
| <b>2KKKK</b>  | 2    | индикатор для первых 4 к-индексов                                                                                                                                                                                                    |
|               | KKKK | первые 4 К-индекса                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>3KKKK</b>  | 3    | индикатор для последних 4 К-индексов                                                                                                                                                                                                 |
|               | KKKK | последние 4 К-индекса                                                                                                                                                                                                                |
| <b>cHHmm</b>  | c    | индикатор события                                                                                                                                                                                                                    |
|               | 1    | <i>конец бури</i>                                                                                                                                                                                                                    |
|               | 2    | <i>бухта (PSC)</i>                                                                                                                                                                                                                   |
|               | 3    | <i>типичное</i>                                                                                                                                                                                                                      |
|               | 4    | <i>предварительные цифры</i>                                                                                                                                                                                                         |
|               | 6    | <i>буря с постепенным началом</i>                                                                                                                                                                                                    |
|               | 7    | <i>буря с внезапным началом (SSC)</i>                                                                                                                                                                                                |
|               | 8    | <i>буря с очень выраженным внезапным началом (SSC)</i>                                                                                                                                                                               |
|               | 9    | <i>внезапный импульс</i>                                                                                                                                                                                                             |
|               | HHmm | час и минуты явления, определяемого индикатором события c<br>Если c = 4, то HHmm используется для сообщения о четырех дополнительных К-индексах (3-часовые периоды) после 24-часового интервала, о которых сообщалось 2 и 3 группами |
| <b>dHHmm</b>  | d    | = 5 означает, что время относится к моменту минимума горизонтальной компоненты                                                                                                                                                       |
|               | HHmm | время минимума в часах и минутах в UT<br><b>П р и м е ч а н и е</b> – Группа dHHmm пропускается, если данные отсутствуют                                                                                                             |
| <b>eeeeee</b> |      | минимальная интенсивность, выраженная в нТ<br><b>П р и м е ч а н и е</b> – Группа «eeeeee» пропускается, если эти измерения не производятся                                                                                          |

Примеры передачи информации кодом UMAGF:

UMAGF 38701 30215 0000/ 14002 1/285 27454 35534 60000 50015 25254  
 UMAGF 33702 30215 0010/ 14009 1/029 26233 32336 10200  
 UMAGF 34503 30215 0300/ 14002 1/011 23333 32222  
 UMAGF 38802 30215 0300/ 14009 1/139 26342 33422 21520 51537 20173  
 UMAGF 38701 30216 0000/ 15004 1/143 21223 33555 10000 21844 51914 25432  
 UMAGF 38701 30217 0000/ 16007 1/176 22111 33753 21715 51719 24844  
 UMAGF 33603 30217 0000/ 16006 1/005 21101 31232 21800  
 UMAGF 38701 30218 0000/ 17001 1/242 22234 36664 61100 51652 25203

Кодом MAGMA передается 3-часовая оценка состояния магнитного поля Земли – К-индексы. Информация передается восемь раз в сутки. Содержание и расшифровка кода приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Содержание и расшифровка кода MAGMA  
 (MAGMA III YMMDD NNOOK CC///)

| Часть кода   | значение                                | признак | Содержание кода                    |
|--------------|-----------------------------------------|---------|------------------------------------|
| <b>MAGMA</b> | кодированное слово                      |         |                                    |
| <b>III</b>   | индекс станции                          |         |                                    |
| <b>YMMDD</b> | дата                                    | Y       | последняя цифра года               |
|              |                                         | MM      | месяц                              |
|              |                                         | DD      | день месяца в UT                   |
| <b>NNOOK</b> | часовой интервал и 3-х часовой К-индекс | NN      | начало 3-х часового интервала в UT |
|              |                                         | OO      | конец 3-х часового интервала в UT  |
|              |                                         | K       | К-индекс                           |
| <b>CC///</b> | служебная группа                        | CC      | сумма всех цифр четвертой группы   |
|              |                                         | ///     | всегда три косые черты             |

Примеры передачи информации кодом MAGMA:

MAGMA 33603 30214 00033 06///

MAGMA 33702 30214 00036 09///

MAGMA 33603 30214 03062 11///

MAGMA 34503 30214 03063 12///

MAGMA 34503 30214 06093 18///

На рисунке 7 представлены недельные гистограммы 3-часовых К-индексов, получаемых со станций Москва, Амдерма и Мурманск. Эти данные регулярно обновляются на сайте ФГБУ «ИПГ» <http://ipg.geospace.ru/>.

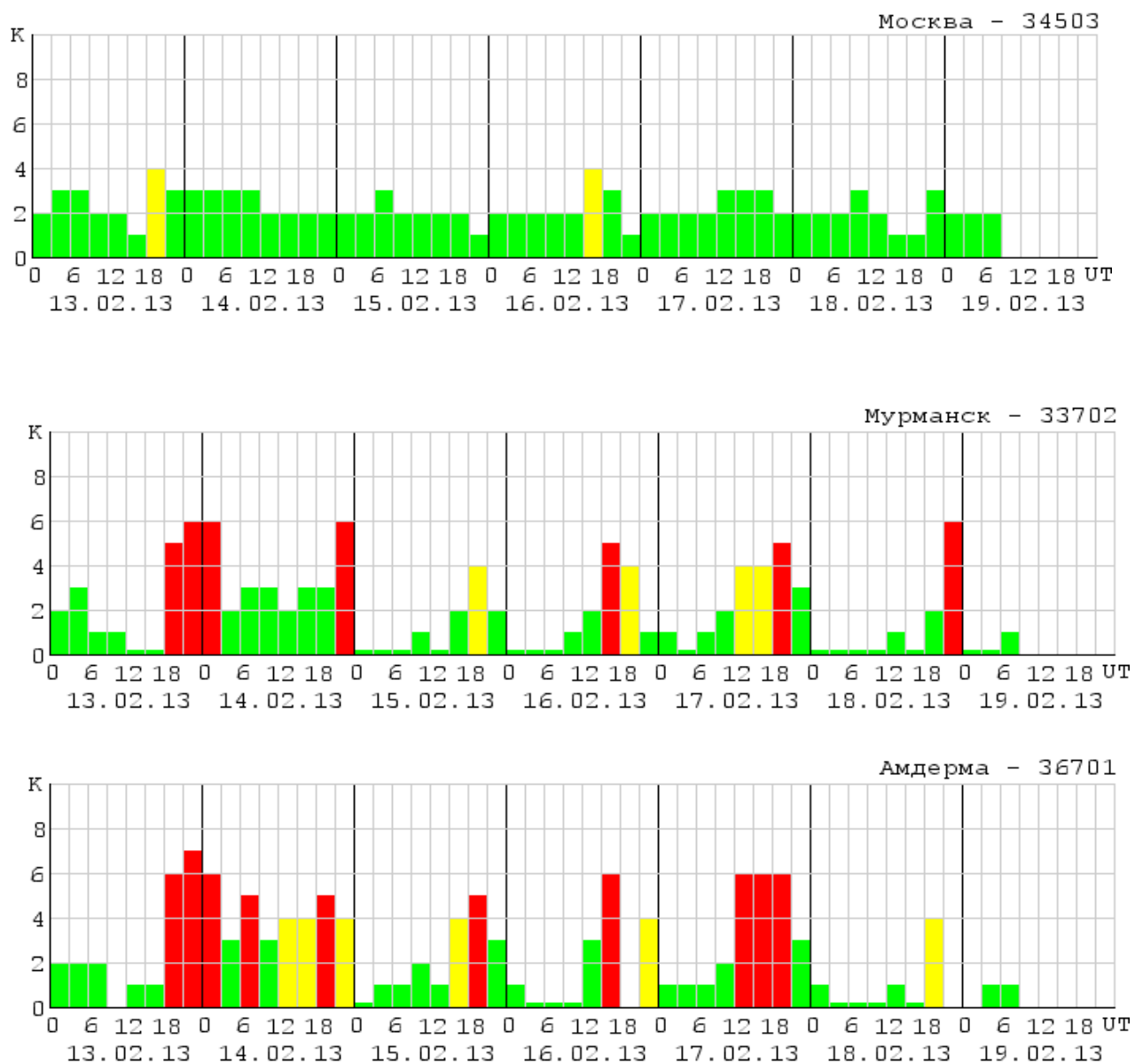


Рисунок 7 – Недельные гистограммы 3-часовых К-индексов

Кодом AMPLI двадцать четыре раза в сутки передается величина амплитуды (от минимума до максимума) Н-компоненты магнитного поля Земли в нанотеслах.

Содержание и расшифровка кода приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Содержание и расшифровка кода AMPLI  
(AMPLI III DDMNH aaaa/)

| Часть кода   | Значение                             | Условное обозначение | Содержание кода                                |
|--------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| <b>AMPLI</b> | кодированное слово                   |                      |                                                |
| <b>III</b>   | индекс станции                       |                      |                                                |
| <b>DDMNH</b> | дата и час измерения<br>Н-компоненты | DD                   | день месяца в UT                               |
|              |                                      | M                    | последняя цифра месяца                         |
|              |                                      | NN                   | час измерения от 1 до 24 в UT                  |
| <b>aaaa/</b> | величина амплитуды                   | aaaa                 | размах Н-компоненты от min до max в нанотеслах |
|              | Н-компоненты                         | /                    | всегда косая черта                             |

Примеры передачи информации кодом AMPLI:

AMPLI 33702 14201 0162/

AMPLI 43701 14201 0086/

AMPLI 36701 14201 0282/

AMPLI 43701 14202 0082/

AMPLI 47701 14202 0081/

AMPLI 38701 14203 0090/

Информация с магнитных станций поступает в ФГБУ «ИПГ» ежеминутно, либо блоком за каждые десять минут наблюдений. Данный режим реализован на станции Москва с представлением данных в виде рис. 8.

На ряде высокоширотных станций – Мурманск, Амдерма, Диксон, Тикси, Баренцбург, Певек, о. Хейса и др. – установлено современное оборудование, позволяющее проводить наблюдения состояния магнитного поля и передавать измерения в режиме реального времени (рис. 9).

Для архивации данных, полученных с магнитометрических станций, используются форматы типа фрагмента таблицы на рис. 10.

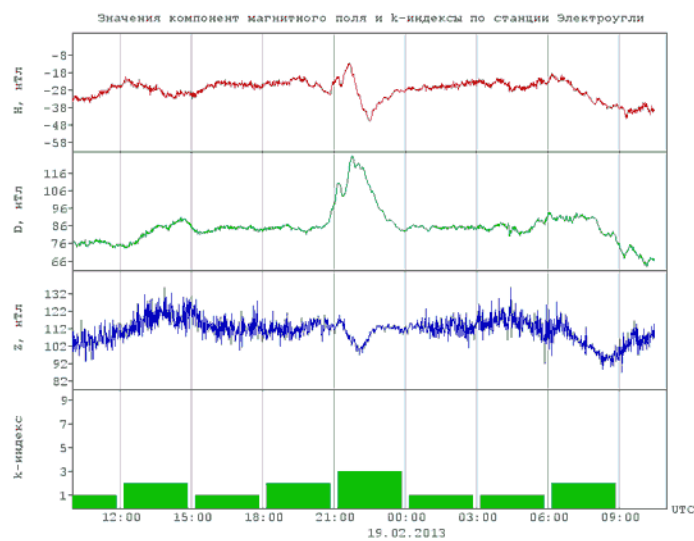


Рисунок 8 – Форма представления магнитометрических данных, поступающих со станции Москва

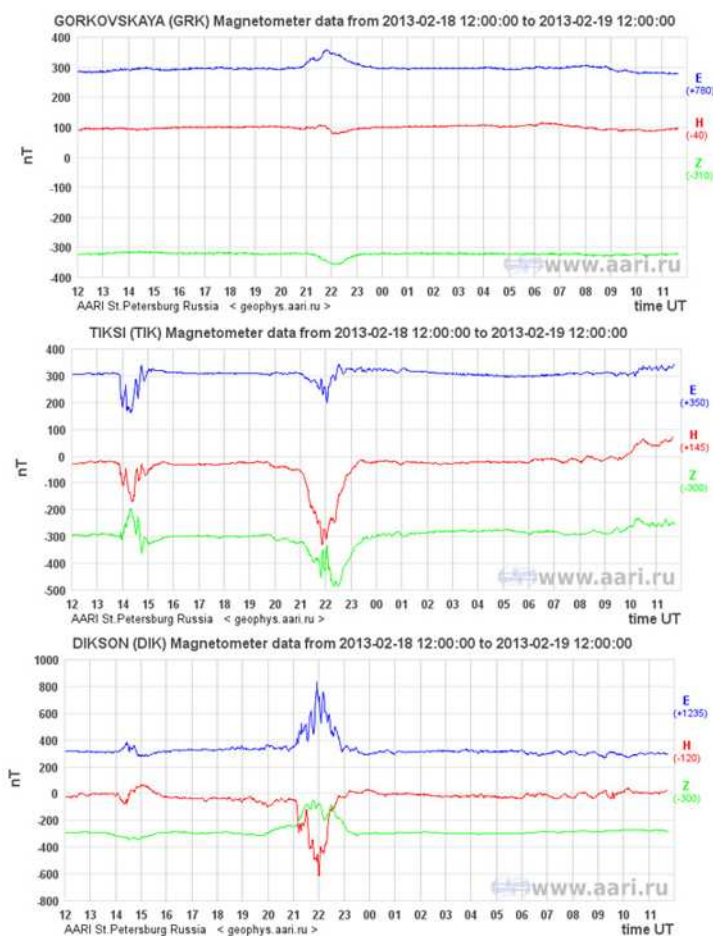


Рисунок 9 – Форма представления измерений характеристик магнитного поля Земли в режиме реального времени

## 10 Требования по метрологическому обеспечению геомагнитных измерений

67

измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях, утвержденный приказом Минприроды России № 424 от 07.12.2012 г. включены характеристики магнитной индукции на земной поверхности в диапазоне от 10 до  $10^5$  нТл с предельно допустимой погрешностью  $\pm 5\%$ .

### **10.1 Утверждение типа средств измерений**

В целях обеспечения единства измерений на основе Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» и в дополнение «Порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа», утвержденного приказом Минпромторга России от 30 ноября 2009 г. № 1081 разработана и внедрена МИ 3290-2010 «Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа».

Испытания средств измерений в целях утверждения типа – работы по определению метрологических и технических характеристик однотипных средств измерений. Данные испытания проводятся юридическими лицами, аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений на выполнение испытаний средств измерений в соответствии с областью аккредитации.

В процессе испытаний утверждается методика поверки средств измерений этого типа, проверяется соответствие нормирования заявленных метрологических характеристик требованиям ГОСТ 8.009-84 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений», ГОСТ 8.401-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования», а также действующим национальным стандартам на средство

измерений, и правильность выражения наименований и обозначений единиц величин.

При положительных результатах испытаний утверждается тип средства измерений, производится регистрация в Государственном реестре средств измерений (далее – Госреестр) и выдается Заявителю свидетельство об утверждении типа.

В настоящее время в Госреестр включены следующие средства измерений магнитных величин (СИ МВ), которыми оснащена наблюдательная сеть Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – система стационарных и подвижных пунктов наблюдений, в том числе постов, станций, лабораторий, центров, бюро, обсерваторий (далее – пункты наблюдений):

- станция трехкомпонентная цифровая магнитовариационная МВС (ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова» – ИЗМИРАН, Москва, Троицк), 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 Федеральной службе России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды сформирован парк СИ МВ, а именно: магнитометры, магнитовариационные станции, магнитные инклинометры и деклинометры, которыми оснащены пункты наблюдений. Этот парк насчитывает более 20 типов приборов. В качестве СИ МВ используются наиболее распространенные и пригодные для решения измерительных задач приборы: протонные магнитометры, феррозондовые магнитометры и вариометры, кварцевые вариометры Боброва, феррозондовые деклинометры и инклинометры (таблица 30).

Основные требования, предъявляемые к СИ МВ: 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 пунктов наблюдений фактически являются частью измерительных инструментов. При создании и в процессе

Таблица 30 – Основные характеристики средств измерений магнитной индукции наблюдательной сети Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

| Наименование и тип средства измерений                | Диапазон измерений, нТл                               | Погрешность измерений                      | Частотный диапазон измерений          | Примечание                                                                                    |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Портативный протонный магнитометр МИНИМАГ            | 20 000 — 100 000                                      | СП не более 2 нТл,<br>СКО не более 0,9 нТл | Постоянные магнитные поля             | СП-предел основной систематической погрешности, СКО-предел средней квадратической погрешности |
| Магнитометр POS-1 на эффекте Оверхаузера             | 20 000 — 100 000                                      | СП не более 2 нТл,<br>СКО не более 0,7 нТл | Постоянные магнитные поля             |                                                                                               |
| Станция цифровая магнитовариационная «КВАРЦ-4»       | $\pm 2000$                                            | СП не более 0,1 нТл                        | 0 — 15 Гц                             |                                                                                               |
| Магнито-вариационная станция «КВАРЦ-ЗЕМ»             | $\pm 2000$                                            | ПП не более $\pm 0,5 \%$                   |                                       | ПП-предел допускаемой приведенной погрешности                                                 |
| DMI Fluxgate Magnetometer                            | $\pm 3400$                                            |                                            | 0 — 1 Гц                              |                                                                                               |
| 3-компонентный аналого/цифровой магнитометр LEMI-022 | $\pm 1000$ (диапазон измерений по аналоговому выходу) |                                            | Постоянные магнитные поля<br>0 — 3 Гц |                                                                                               |

эксплуатации пунктов наблюдений необходимо учитывать характер

геомагнитной обстановки в данном районе (естественные вариации геомагнитного поля и промышленных воздействия на это поле) (Приложение А). 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 пункта наблюдений.

## 10.2 Поверка и калибровка средств измерений

Инструментальные погрешности измерения должны быть подтверждены поверкой или калибровкой применяемых средств измерений. Средства поверки магнитометров дают определенную гарантию обеспечения повышенной точности наблюдений и регистрации вариаций геомагнитного поля с одновременным расширением технических возможностей пункта 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 31).

Государственный первичный эталон ГЭТ 12-2011 «Государственный первичный эталон ГПЭ единиц магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции» находится в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург).

Государственные вторичные эталоны находятся в ФГУП «СНИИМ» (г. Новосибирск).

Таблица 31 – Возможности национальной метрологической базы страны по обеспечению единства магнитных измерений в Росгидромете

| Наименование физической величины                                                   | Потребность Росгидромета                                           |                             | Возможности государственной метрологической базы |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                    | Диапазон измерений                                                 | Погрешность измерений, %    | Диапазон передачи размера единицы                | Погрешность передачи размера единицы, % |
| Магнитная индукция постоянного магнитного поля                                     | $(1 \cdot 10^{-9} — 1 \cdot 10^{-4})$<br>Тл<br>(1 — 100 000) нТл   | 0,01 — 0,1                  | $(1 \cdot 10^{-9} — 5 \cdot 10^{-4})$ Тл         | 0,001 — 0,1                             |
| Магнитная индукция переменного магнитного поля в диапазоне частот от 0,01 до 20 Гц | $(1 \cdot 10^{-10} — 1 \cdot 10^{-5})$<br>Тл<br>(0,1 — 10 000) нТл | 0,1 — 1<br>( $\pm 0,1$ нТл) | $(1 \cdot 10^{-12} — 5 \cdot 10^{-2})$ Тл        | 0,03 — 1                                |

Рабочие эталоны (образцовые средства измерений) магнитных полей требуемого диапазоны размещены в ФГУП «ВНИИФТРИ» (пос. Менделеево, Московская обл.), ФГУП «УНИИМ» (г. Екатеринбург) и других организациях.

Предприятия-разработчики и производители средств измерений имеют собственную необходимую метрологическую базу, которая замыкается на первичный эталон.

В соответствии с государственной поверочной схемой ГОСТ 8.030-91 для проведения поверки и калибровки СИ МВ используются эталоны 3-го, 2-го и 1-го 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 МИ с рабочим объемом 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 при эксплуатации, применяются для обеспечения поверкой СИ МВ при выпуске их из производства 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 СИ МВ требует доставки СИ МВ к местам дислокации этих мер, что неудобно и экономически невыгодно. Альтернативой является применение встроенного в СИ МВ эталона, который представляет собой катушку магнитной индукции и управляемый источник тока. Для СИ МВ указанного назначения в качестве первичных используются, как правило, ферромодуляционные преобразователи. В таких СИ МВ 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 СИ МВ 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 магнитовариационных станциях и магнитометрах установлены подобные образцовые меры магнитной индукции, например: аппаратура для контроля уровня вариаций магнитного поля Земли М087-Р (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. С.-Петербург); установки ЦУ7002, ЦУ7011, ЦУ7013, ЦУ7014 и ЦУ7022 (ОАО «НИИ Электромера», г. С.-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 подается постоянный электрический ток, измеряемый с помощью миллиамперметра.

Разработаны и внедрены в метрологическую практику нормативные документы, определяющие методы и средства поверки:

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»;

МИ 166-78 «Методика поверки рабочих средств измерений магнитной индукции переменного магнитного поля»;

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»;

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 — 20000 Гц. Методы и средства поверки».

В случае отсутствия нормативного документа на методы и средства поверки (ГОСТ, ГОСТ Р или иного) разрабатывается собственная методика поверки в соответствии с РМГ 51-2002 «ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения», которая проходит опробование и доработку в процессе испытаний и эксплуатации средства измерений.

## **Приложение А**

### **Требования к территории и зданиям магнитных обсерваторий**

#### **Выбор места для магнитной обсерватории**

Магнитная обсерватория предназначена для длительной непрерывной работы в течение десятков лет. Это означает, что на обозримый период в районе обсерватории не должно предполагаться строительство промышленных или жилых объектов, прокладка транспортных магистралей, трубопроводов и высоковольтных линий электропередачи. Для точных магнитных измерений особые проблемы создают электрифицированные железные и трамвайные дороги, которые в зависимости от геологического строения пород данного района могут вносить помехи на расстоянии до 10 и более километров от обсерватории. Несмотря на необходимость строительства магнитной обсерватории вдали от цивилизации, следует учитывать необходимость обеспечения современной обсерватории электроэнергией и системой связи. Также должны быть учтены жилищно-бытовые условия для сотрудников обсерватории [11].

Отвод земли под территорию магнитной обсерватории, утверждение охранной зоны особого режима, строительство подъездных путей и коммуникаций необходимо согласовать с местной администрацией и принять соответствующие решения на максимально высоком административном уровне.

В районах предполагаемого строительства по инженерно-геологическим картам необходимо проверить надежность грунтов для устройства стабильных приборных постаментов и произвести предварительную магнитную съемку в радиусе от 1 до 2 км через каждые сто – двести метров. Для исключения вариаций геомагнитного поля во время съемки измерения производят одновременно двумя протонными магнитометрами, один из которых

устанавливается в центре предполагаемой строительной площадки. На территории строительства обсерватории производят детальную магнитную съемку через каждые 10 м. Градиенты магнитного поля на высоте от 1 до 1,5 м от поверхности земли не должны превышать 5 нТл/м, а непосредственно на площадке строительства абсолютного и вариационного павильонов – не более 2 нТл/м как в горизонтальной плоскости, так и по вертикали. Определение вертикальных градиентов геомагнитного поля на строительной площадке позволит уточнить необходимую высоту приборных постаментов.

Дополнительно рекомендуется проверить влияние индуктивной намагниченности коренных пород на амплитуду вариаций геомагнитного поля. Для этого в радиусе от 10 до 20 км устанавливают на временную регистрацию вариаций полевые вариационные станции. Разность в амплитудах вариаций не должна превышать единиц нанотесла.

### **Территория магнитной обсерватории**

Выбранную территорию магнитной обсерватории 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 и лаборантская комнаты, фотокомната (при наличии фоторегистраторов), архив, мастерская, кабинеты.

Вторая часть территории предназначена для немагнитных зданий, в которых размещаются магнитометры, вариометры и необходимое для измерений геомагнитного поля дополнительное оборудование. Здесь строятся немагнитные абсолютные и вариационные павильоны, будка для

электрооборудования и кабельных соединений, выделяется особая «чистая» зона с постами для контрольных абсолютных наблюдений. В этой части территории действуют жесткие 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) (рис. А.1).

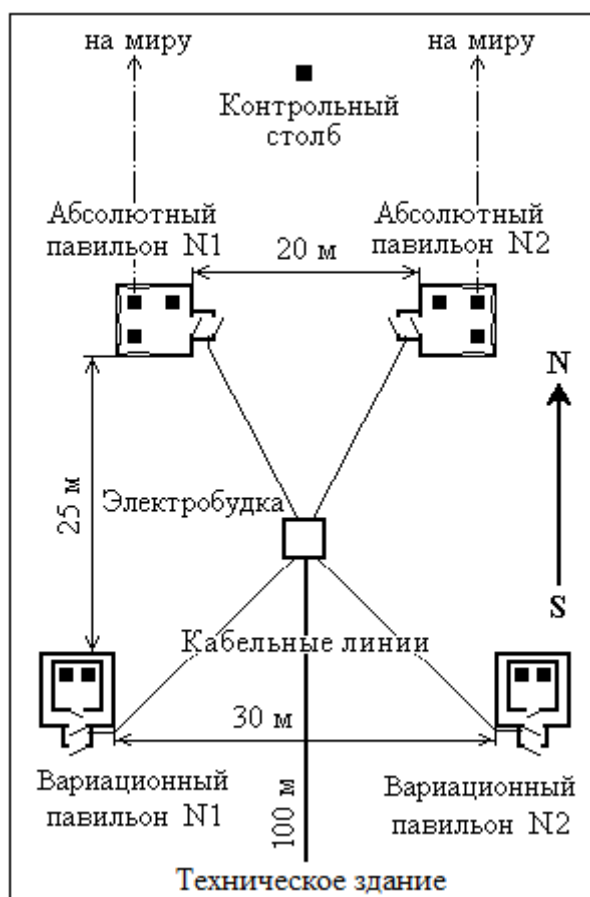


Рисунок А.1 – Схема расположения павильонов магнитной обсерватории

При строительстве магнитной обсерватории допускается ограничиться минимальным числом павильонов: одним для абсолютных наблюдений и одним для регистрации вариаций геомагнитного поля. Для обеспечения

круглосуточного бесперебойного режима регистрации геомагнитного поля, необходимо иметь два комплекта магнитометров, размещенных в разных павильонах. При этом обсерватория не будет прерывать наблюдения на время проведения ремонтно-строительных работ в павильонах, кроме того появляется возможность своевременного обнаружения изменения магнитной обстановки на территории обсерватории. Рекомендуется строить павильоны площадью около  $25 \text{ м}^2$  на расстоянии от 20 до 30 м друг от друга.

Если павильоны будут иметь минимальные размеры, то между ними нужно построить утепленную будку размером  $3 \times 4 \text{ м}^2$ , предназначенную для установки распределительных силовых щитков и для размещения аккумуляторов. К электробудке от технического здания должны подходить трехфазный 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 обсерватории 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 компонентные измерения 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 обсерватории.

### **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, путем определения их воздействия на феррозонд деклинометра или на датчик протонного магнитометра с расстояния от 0,3 до 0,5 метра). 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, запрещенным 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. 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  $1 \cdot 1 \text{ м}^2$  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, слои которого обильно смачиваются и трамбуются. Если постаменты изготовлены из теплопроводящего материала (мрамор, бутовый камень), то их необходимо утеплить в подпольной части пенопластом или пакетами стекловаты (рис. А.2).

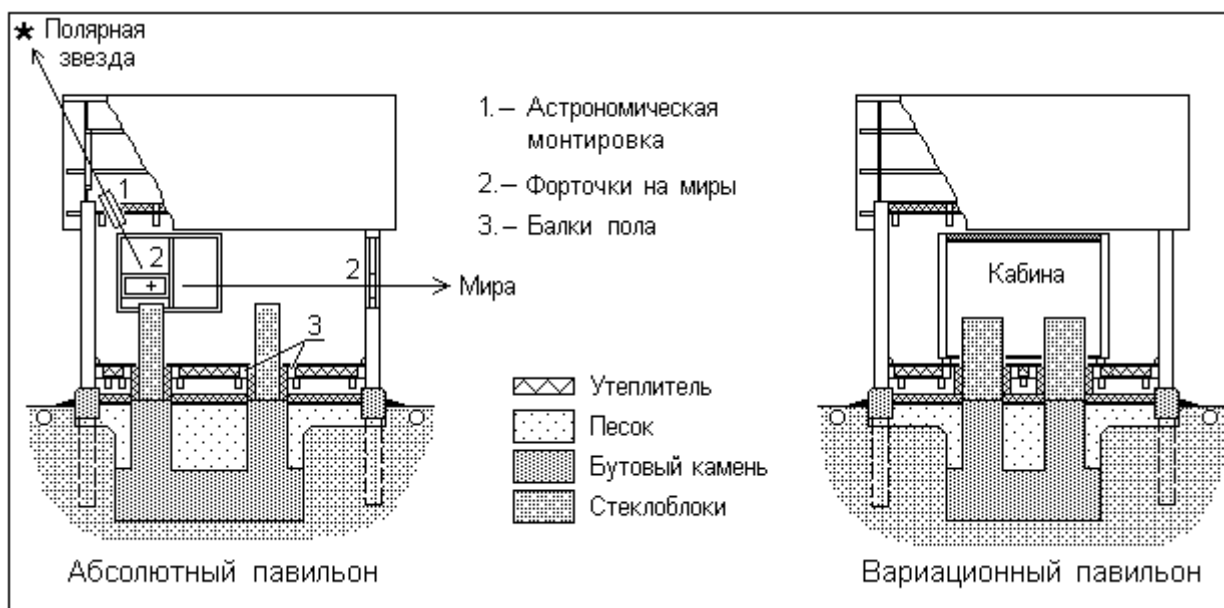


Рисунок А.2 – Конструкция павильонов для геомагнитных наблюдений

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 примененных материалов. При отрицательных результатах наблюдений необходимо переделать верхнюю часть постаментов с последующей проверкой градиентов геомагнитного поля.

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 2 слоя рубероида.

### **Немагнитные здания**

С точки зрения гарантированной немагнитности и хорошей теплоизоляции стены абсолютного и вариационного павильонов рекомендуется возводить из брусьев или бревен, что не требует применения дорогих и дефицитных медных или латунных крепежных 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.

Балки пола павильонов устанавливаются с таким расчетом, чтобы они проходили в 100 мм от боковых поверхностей приборных постаментов. Это позволит настилать доски черного 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. Кровля изготавливается из волнистых листов шифера, алюминия, стеклопластика, андулина или из рулонных материалов типа рубероида. 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 магнитометров или действующей вариационной станции.

Абсолютный павильон требует хорошего освещения при наблюдениях на теодолитах феррозондовых деклинометров/инклинометров. В здании абсолютного павильона должны быть предусмотрены широкие окна и немагнитные светильники непосредственно над приборными постаментами. В окнах предусматриваются форточки для наведения оптической трубы теодолита на специально установленный маркер (столб или метка на долговременном сооружении, географический азимут которого с места установки теодолита известен). Этот маркер называется астрономической мирой.

Для определения азимута миры необходимо предусмотреть специальные отверстия в потолке и крыше абсолютного павильона для установки 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. Оптическая монтировка может быть изготовлена из полиэтиленовой трубы диаметром около 300 мм с подвижными крышками защиты от атмосферных осадков и холодного воздуха.

Вариационный павильон может вообще не иметь окон для естественного освещения, но в нем 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 теплым 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 (рис. А.3) из теплопроводящего материала (алюминий толщиной 2 мм) снижает градиенты температуры в объеме магнитовариационной станции (МВС). Верхнюю часть корпуса делают съемной для обеспечения доступа к элементам юстировки станции.

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

### **Электрообеспечение павильонов**

Поддержание стабильной температуры в павильонах является важным фактором для надежной работы измерительной аппаратуры. После резких изменений температуры вариационного павильона (например, зимой при отключении электроэнергии) может наблюдаться смещение базисных уровней

вариометров, вызванное остаточными деформациями в деталях датчиков или в положении приборного постамент. Абсолютные магнитометры могут изменить некоторые свои константы.

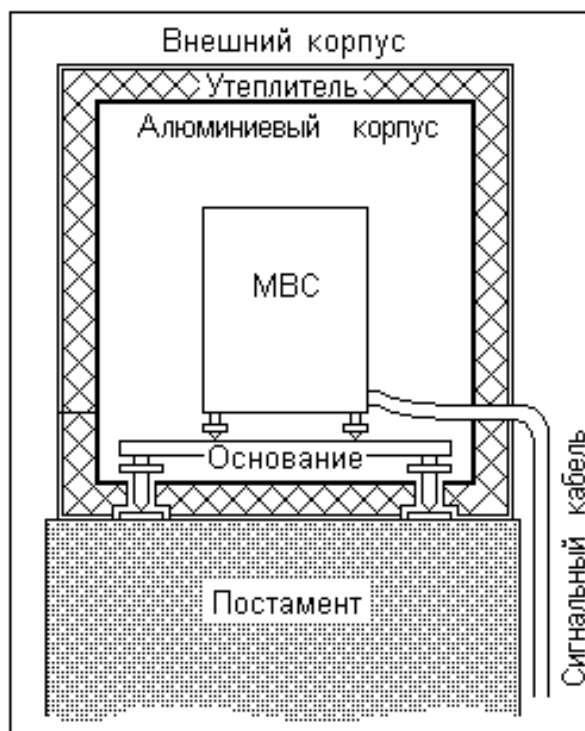


Рисунок А.3 – Термостатный корпус блока вариометров

Обогрев павильонов может осуществляться с помощью немагнитных электронагревателей, имеющих систему термостабилизации воздуха в помещениях. С этой целью павильоны обеспечиваются отдельной силовой линией электрообогрева.

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 метров 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.

### **Астрономическая мира**

Если в качестве астрономической миры невозможно использовать капитальное сооружение, находящееся на расстоянии от 1 до 2 км от абсолютного павильона, то необходимо построить специальную миру для привязки в пространстве измеренных деклинометром положений магнитного меридиана. Требования к стабильности положения миры зависят от расстояния до нее от приборного постамент абсолютного павильона. Допустимые отклонения миры  $\Delta_A$  от воздействия внешней среды определяются по формуле:

$$\Delta_A = L \cdot \operatorname{tg} \Delta_D, \quad (\text{A.1})$$

где  $L$  – долгота места наблюдения в часах.

На магнитных обсерваториях производятся измерения склонения с допустимой погрешностью  $\Delta_D = 0,1$  угловой минуты при разрешающей способности теодолитов до 1 с. С такой же точностью необходимо устанавливать деклинометры на приборном постаменте абсолютного павильона. Минимально допустимое для обсерваторий расстояние до миры 350 м.

Место строительства миры и ее необходимая высота уточняется 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 маски. Простейший вариант маски выполняется в виде алюминиевой полосы, которая привинчивается вдоль образующей столба. Более сложный вариант маски представляет собой экран из стального листа с накладным равносторонним треугольником из алюминия. Экран приваривается к трубе на необходимой высоте. Для наблюдений в ночное время или зимой в условиях полярной ночи нужна прожекторная подсветка миры, которую удобно включать непосредственно из абсолютного павильона. Нестабильное положение миры или неточное наведение деклинометра на миру из-за плохой видимости объекта наблюдения приводят к дополнительным погрешностям определений магнитного склонения.

### **Определение азимута миры**

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

Определение азимута миры проводится путем наблюдения небесного светила с фиксацией времени моментов отсчетов 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 обсерваторских 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. Т. к. за сутки Полярная звезда описывает круг радиусом около  $2^\circ$ , то сначала необходимо вычислить ее азимут в моменты наблюдений, который отсчитывают от точки севера с положительными значениями к западу.

Расчет азимута Полярной звезды можно производить по следующей формуле:

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

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:

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

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

Зная место миры и место географического меридиана на круге, можно определить азимут миры:

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

где  $\theta_M$  – отсчет наведения на миру.

Служба магнитной обсерватории ведется по среднему мировому времени UT, но в расчетах астрономических наблюдений используется местное звездное время  $T_s$ , рассчитываемое по формуле:

$$T_s = UT \cdot (1 + \mu) + L + S_o, \quad (A.5)$$

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

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

Часовой угол Полярной звезды рассчитывают по формуле:

$$t_s = T_s - \alpha, \quad (A.6)$$

где  $\alpha$  – прямое восхождение Полярной звезды в часах.

Перед наблюдениями азимута миры 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 приблизительно широту места, находим зенитное расстояние полюса:

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

С изменением часового угла азимут Полярной звезды меняется достаточно медленно и в самом неблагоприятном случае допустима неточность фиксации времени до 10 секунд [12].

## **Приложение Б**

### **Требования к средствам измерения геомагнитной активности**

Ниже приведен образец требований, предъявляемых при разработке аппаратуры. В качестве аппаратуры для оснащения наземных станций наблюдательной сети современной магнитометрической аппаратурой предполагается использовать прецизионные протонные магнитометры (ППМ), МВС, комплект аппаратуры (деклинометр/инклинометр) для цифровой регистрации компонент абсолютного геомагнитного поля, системы регистрации и накопления магнитовариационной информации (Микролог), системы накопления, подготовки и передачи данных в каналы связи, системы бесперебойного энергообеспечения.

#### **Б.1 Прецизионный протонный магнитометр**

Прецизионный протонный магнитометр – прибор, осуществляющий непрерывную регистрацию (с максимально возможной частотой дискретизации) амплитудного значения полного вектора магнитного поля Земли в различных условиях эксплуатации, в том числе на труднодоступных полярных станциях при отсутствии регулярного обслуживания и проверки.

Принцип действия прибора основан на измерении частоты прецессии протонов во внешнем магнитном поле.

В прецизионном протонном магнитометре должен быть реализован непрерывный режим работы прибора с предусматриваемым шагом дискретности измерений 1 секунда. Установка конфигурации прибора должна осуществляться через последовательный коммуникационный порт. После выключения питания прибор должен сохранять все конфигурационные установки в энергонезависимой памяти. При подаче напряжения питания

прибор должен автоматически переходить в рабочий режим непрерывных измерений.

Для управления, конфигурации и регистрации данных должна быть реализована программа, работающая в операционной среде Windows. Программа должна обладать возможностью непрерывного сохранения данных на жесткий диск и визуализации результатов измерений.

В таблице Б.1 представлены основные технические требования к ППМ.

Таблица Б.1 – Основные технические требования к ППМ

| Показатель                                                                                                     | Диапазон значений                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Диапазон измерения магнитного поля                                                                             | 20000 — 75000 нТл                                                                                                         |
| Чувствительность                                                                                               | 0,01 нТл                                                                                                                  |
| Систематическая погрешность абсолютных измерений, не более                                                     | 0,3 нТл                                                                                                                   |
| Рабочий агент                                                                                                  | Керосин, спирт                                                                                                            |
| Частота непрерывных измерений                                                                                  | 3 — 60 с                                                                                                                  |
| Поддержка обмена по последовательным портам                                                                    | RS-232, RS-485                                                                                                            |
| Время установления рабочего режима, не более                                                                   | 3 с                                                                                                                       |
| Установка рабочего диапазона измерений                                                                         | автоматическая                                                                                                            |
| Возможность поверки и регулировки частоты кварцевого генератора по сигналам приемника GPS с точностью, не хуже | $10^{-7}$ с                                                                                                               |
| Корпус датчика и электронного модуля герметичный, класс защиты                                                 | IP-67                                                                                                                     |
| Напряжение питания                                                                                             | 12 В                                                                                                                      |
| Потребляемая мощность, не более                                                                                | 1 Вт                                                                                                                      |
| Диапазон рабочих температур                                                                                    | От - 40 до + 50 °С                                                                                                        |
| Масса прибора (с датчиком), не более                                                                           | 5 кг                                                                                                                      |
| Режимы работы                                                                                                  | 1) Непрерывный, с передачей данных в последовательный порт в реальном времени.<br>2) По запросу с последовательного порта |
| Возможность работы от собственного аккумулятора                                                                | Режим автоматической подзарядки аккумулятора                                                                              |

## Б.2 Магнитовариационная станция

МВС предназначена для записи вариаций трёх компонент геомагнитного поля.

В состав МВС должен быть включен блок датчиков, выполненный на базе феррозондового сенсора, блок электроники, который должен обеспечивать автоматическую регистрацию, обработку и сохранение данных о магнитном поле и их сброс через интерфейс RS232. Точная привязка данных по времени должна быть обеспечена GPS приёмником. Блоки должны быть соединены длинным кабелем. Небольшое энергопотребление должно обеспечивать автономной режим работы МВС.

В таблице Б.2 представлены основные технические требования к МВС.

Таблица Б.2 – Основные технические требования к магнитовариационной станции

| Показатель                                | Диапазон значений                            |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Пределы изменения магнитного поля         | 6 000 нТл (8 000 для высокоширотных станций) |
| Разрешение по каждой компоненте           | 0,1 нТл                                      |
| Уровень шума                              | < 10 дБ                                      |
| Температурный дрейф                       | < 0,3 нТл/°С                                 |
| Погрешность ортогональности компонент     | < 30 угловых минут                           |
| Допустимый интервал изменений температуры | От - 10 до +50 °С                            |
| Энергоснабжение, батареи                  | $12 \pm \frac{6}{3}$ В                       |
| Потребляемая мощность                     | < 5 Вт                                       |
| Вес: датчики                              | < 2,7 кг                                     |
| электронный блок                          | < 1,8 кг                                     |
| Длина соединительного кабеля              | $\geq 5$ м                                   |

### **Б.3 Комплект аппаратуры (деклинометр/инклинометр) для цифровой регистрации компонент абсолютного геомагнитного поля**

Аппаратура предназначена для абсолютных измерений геомагнитного поля.

Аппаратура должна быть выполнена на базе однокомпонентного феррозондового датчика, должна включать немагнитный теодолит, обеспечивающий точную привязку магнитной оси датчика, должна включать электронный блок, обеспечивающий автоматизацию наблюдений.

В таблице Б.3 представлены основные технические требования к комплекту аппаратуры для цифровой регистрации компонент абсолютного геомагнитного поля.

Таблица Б.3 – Основные технические требования к аппаратуре для цифровой регистрации компонент абсолютного геомагнитного поля

| <b>Показатель</b>                                                      | <b>Диапазон значений</b>              |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Интервал измерений                                                     | $\pm 100$ нТл                         |
| Разрешение на дисплее                                                  | 0,1 нТл                               |
| Разрешение на цифровом интерфейсе                                      | 0,01 нТл                              |
| Точность измерений ( $T_A = 25$ °С)                                    | $\pm 0,3$ %                           |
| Температурный коэффициент                                              | $< 0,008$ %                           |
| Температурный дрейф нуля                                               | $< 0,2$ нТл/°С                        |
| Цифровой интерфейс                                                     | RS-232                                |
| Пределы температурных изменений                                        | От - 20 до + 50 °С                    |
| Энергообеспечение (батареи – 32 часа автономной работы)                | 12 V, 1,3 Ач                          |
| Вес:<br>датчик (без кабеля):<br>блок электроники<br>теодолит (в ящике) | $< 0,2$ кг<br>$< 1,2$ кг<br>$< 10$ кг |
| Длина соединительного кабеля, не менее                                 | 1,5 м                                 |
| Удлинительный кабель, не менее                                         | 2 м                                   |

#### **Б.4 Система регистрации и накопления магнитовариационной информации (Микролог)**

Система сбора и накопления информации для непрерывной регистрации вариационных данных от различных магнитометрических приборов и датчиков, ориентированная на работу в различных климатических условиях, в том числе на труднодоступных полярных станциях.

Электронные модули, входящие в состав системы, должны укомплектовываться термостатическими регуляторами. Должна быть предусмотрена полная автономность работы системы, обеспечено малое энергопотребление и устойчивость к внешним воздействиям. Для оптимизации характеристик система должна быть построена на микроконтроллерной базе. Все данные должны накапливаться в режиме реального времени и сохраняться на энергонезависимом цифровом носителе. Должна быть предусмотрена возможность простой адаптации системы к различным условиям мониторинга и используемых измерительных приборов и датчиков. Система должна включать последовательные интерфейсы для обмена данными с другими цифровыми устройствами, такими как: модуль передачи данных в реальном времени, автоматизированное рабочее место наблюдателя и т. п. Все цифровые устройства системы должны непрерывно синхронизироваться по времени относительно часов реального времени приемника GPS. Все основные телеметрические параметры, такие как температура блоков электроники, точность синхронизации времени, калибровочные коэффициенты и др., должны накапливаться на энергонезависимом носителе одновременно с вариационными данными высокого разрешения.

В таблице Б.4 представлены основные технические требования к системе регистрации и накопления магнитовариационной информации (Микролог).

Таблица Б.4 – Основные технические требования к системе регистрации и накопления магнитовариационной информации (Микролог)

| Показатель                                      | Диапазон значений                                                          |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Количество аналоговых каналов                   | 4                                                                          |
| Разрядность АЦП                                 | 16, 24                                                                     |
| Нелинейность преобразования, не более           | 0,0015 %                                                                   |
| Тип калибровки                                  | автоматическая                                                             |
| Температурный дрейф АЦП, не более               | 3 ppm/°C                                                                   |
| Максимальный уровень канального шума            | 100 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$                                                 |
| Дискретность данных высокого разрешения         | 1 с                                                                        |
| Разрешение накапливаемых вариационных данных    | 0,1 нТл                                                                    |
| Точность синхронизации системного времени       | 0,01 с                                                                     |
| Тип сменного носителя информации                | MMC, SD карта памяти                                                       |
| Время непрерывной регистрации на карту памяти   | 2 года или более                                                           |
| Диапазоны входных напряжений аналоговых каналов | $\pm 10 \text{ В}$ , $\pm 5 \text{ В}$ , от 0 до 10 В, от 0 до 5 В         |
| Уровень защиты системы от внешних воздействий   | IP-61                                                                      |
| Напряжение питания                              | $12 \pm \frac{5}{1} \text{ В}$                                             |
| Потребляемая мощность, не более                 | 0,5 Вт                                                                     |
| Диапазон рабочих температур                     | от - 20 до + 50 °C                                                         |
| Масса прибора, не более                         | 2 кг                                                                       |
| Режимы работы                                   | непрерывный, с передачей данных в последовательный порт в реальном времени |

## Б.5 Система подготовки и автоматической передачи цифровых данных в каналы связи

Система подготовки геомагнитных данных и передачи их по имеющимся каналам связи в режиме реального или около реального времени (АПД) должна накапливать геомагнитную информацию во временных массивах, формировать осредненные и приведенные к определенным форматам блоки данных и составлять формализованные сообщения.

В системе должна быть предусмотрена возможность управления и взаимодействия с различными модемами и терминалами наземной и космической связи с использованием стандартных функций управления модемом (набор команд Hayes или AT-команд). Система должна обеспечивать передачу геомагнитной информации в каналы связи в форме блоков данных, приведённых к определённым форматам, включающим адресную строку и контрольную сумму. Структура сообщений должна соответствовать форматам автоматизированной системы передачи данных (АСПД) и электронной почты. Система должна включать контроллеры пакетной связи, осуществляющие передачу сообщений по радиоканалу. Пакетный протокол должен обеспечивать обработку и коррекцию ошибок, возникающих в системе радиокommunikации. Протокол передачи должен реализовать алгоритм сохранения электроэнергии, когда при нарушении прохождения в радиоканале система прекращает попытки передать данные и переходит в режим тестирования канала, используя программный радиомаяк с возможно более коротким временем передачи пакета и большой скважностью повторений. Для обеспечения надежности передачи данных все модули системы должны быть разработаны на основе микропроцессорной техники, обеспечивая минимальное потребление электроэнергии. Система должна содержать открытые программные коды и легко модифицироваться с учетом особенностей предоставленного канала связи.

В таблице Б.5 представлены основные технические требования к системе подготовки и автоматической передачи цифровых данных в каналы связи.

Таблица Б.5 – Основные технические требования к системе АПД

| Показатель                               | Диапазон значений                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1                                        | 2                                 |
| Интервалы осреднений передаваемых данных | 10 с, 1 мин                       |
| Тип памяти для хранения конфигурации     | Энергонезависимая                 |
| Синхронизация работы системы             | По внешним сигналам GPS приемника |

| 1                                                              | 2                                                                  |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Протокол передачи данных по радиоканалу                        | Пакетный, безадресный                                              |
| Способ защиты информации от искажений                          | Контрольная сумма<br>16 бит                                        |
| Поддержка обмена по последовательным портам                    | RS-232, RS-485                                                     |
| Корпус датчика и электронного модуля                           | Герметичный, класс<br>защиты IP-67                                 |
| Напряжение питания                                             | $12 \pm \frac{5}{1}$ В                                             |
| Потребляемая средняя мощность (включая радиостанцию), не более | 1 Вт                                                               |
| Диапазон рабочих температур                                    | от - 40 до + 50 °С                                                 |
| Масса системы, не более                                        | 3 кг                                                               |
| Режимы работы                                                  | автоматический                                                     |
| Тип используемых радиостанций                                  | Промышленного<br>изготовления, выходной<br>мощностью $\leq 100$ Вт |

## Библиография

[1] Ладынин А.В., Попова А.А., Семаков Н.Н. Векторные магнитные измерения с феррозондовыми теодолитами. Методическое пособие. - Новосибирск: Изд-во Новосибирского гос. ун-та, 2005. – 89 с.

[2] Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. - М.: ИФЗ РАН, 2004. – 162 с.

[3] Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Одинцов В.И., Петров В.Г. Вариации магнитного поля Земли. База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984-2000гг. на CD-ROM. - М.: Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, 2001. – 44 с.

[4] Потапов А.С., Хомутов С.Ю., Рассон Ж.Л. Проект GRENEGON и его воздействие на развитие магнитных наблюдений в странах СНГ // Вестник ОНЗ РАН. – Т.3. – NZ5005. - 2011.

[5] Григорьева А.М. Исследование встроенных эталонов магнитной индукции средств измерений военного назначения // Вестник метролога. – 2011, № 3.

[6] Jankowski J., Sucksdorff C. IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. – Warsaw: International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 1996. - 232 p.

[7] Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 88 с.

[8] Ермолаев Ю.И., Зеленый Л.М. // Природа - №9 (1081). – 2005. – С. 4-14

[9] Wanliss, J.A., Showalter, K., 2006. The high resolution global storm index: DST versus SYM-H. Journal of Geophysical Research 111, A02202.

[10] Wanliss, J.A. Dobias P. Space storm as a phase transition, JASTPh, 69, 675-684, 2007.

[11] Newitt L.R., Barton C.E., and Bitterly J. IAGA Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. - Warsaw: International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 1997. - 120 p.

[12] Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. - 140 с.

## Лист регистрации изменений

[illegible]

УДК 537.67

ОКС 07.040

Ключевые слова: МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО  
ПОЛЯ, ИНДЕКСЫ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ,  
МАГНИТОВАРИАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ

---