

Федеральное агентство научных организаций

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**Сбор и систематизация информации для базы данных об
экстремальных геомагнитных природных явлениях**

Москва – 2017

Соловьёв, А. А., Р. Ю. Лукьянова, М. Н. Добровольский, Р. В. Сидоров, Р. И. Краснопёров, Д. В. Кудин, А. А. Груднев (2017), Сбор и систематизация информации для базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях, *Исследования по геоинформатике*, т.5, <https://doi.org/10.2205/2017BS044>

В настоящем руководстве представлены рекомендации по сбору и систематизации исходных данных геомагнитных наблюдений для последующего формирования базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях. Представленные рекомендации могут найти применение при создании систем комплексного мониторинга и анализа магнитного поля Земли на основе наземных и спутниковых данных.

Данное руководство рассчитано на широкий круг исследователей в области геомагнетизма и геофизической метрологии, разработчиков систем накопления и анализа геофизической информации и специалистов центров сбора и обработки геомагнитных данных.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № I.4П «Месторождения стратегического сырья в России: инновационные подходы к их прогнозированию, оценке и добыче».

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ГЕОИНФОРМАТИКЕ. Труды Геофизического центра РАН Т.5, BS5002

<https://doi.org/10.2205/2017BS044>

URL: <http://ebooks.wdcb.ru/2017/2017BS044/2016BS044.pdf>

ISSN: 2308–5983

© Геофизический центр Российской академии наук, 2017

Soloviev, A. A., R. Y. Lukianova, M. N. Dobrovolsky, R. V. Sidorov, R. I. Krasnoperov, D. V. Kudin, A. A. Grudnev (2017), Acquisition and systematization of information for database on extreme geomagnetic conditions, *Geoinf. Res. Papers*, Vol. 5, <https://doi.org/10.2205/2017BS044>

The presented manual gives recommendations on acquisition and systematization of initial geomagnetic observation data for further building of a database on extreme natural geomagnetic conditions. These recommendations may be used for creation of systems for complex monitoring and analysis of the Earth's magnetic field using ground-based and satellite data.

This manual is aimed at a wide community of researches in the field of geomagnetism and geophysical metrology, developers of systems for geophysical data storage and analysis and specialists of geomagnetic data centers.

This work was carried out in the framework of the project of the Fundamental Research Program of the RAS Presidium No. I.4 "Strategic mineral resources of Russia: innovative approaches to forecasting, assessment and extraction".

GEOINFORMATICS RESEARCH PAPERS. Proceedings of Geophysical Center RAS, Vol. 5, BS5002
<https://doi.org/10.2205/2017BS044>

URL: <http://ebooks.wdcb.ru/2017/2017BS044/2016BS044.pdf>

ISSN: 2308–5983

© Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, 2017

Содержание

Введение	5
1 Основные термины и определения.....	7
2 Обозначения и сокращения.....	9
3 Сбор и систематизация данных наземных геомагнитных обсерваторий.....	10
3.1 Исходные данные.....	10
3.1.1 Общее описание	10
3.1.2 Формат данных IMF1.23.....	11
3.1.3 Формат IAGA-2002	13
3.1.4 Формат Mingeo	16
3.1.5 Принципы наименования файлов с исходными данными.....	18
3.1.6 Абсолютные измерения характеристик магнитного поля	20
3.2 Передача и систематизация обсерваторских данных.....	23
3.2.1 Оперативные данные геомагнитных наблюдений.....	23
3.2.2 Результаты абсолютных измерений.....	24
4 Сбор и систематизация геомагнитных данных спутников Swarm.....	28
4.1 Исходные данные.....	28
4.1.1 Общее описание	28
4.1.2 Состав и классы данных Swarm.....	29
4.1.3 Структура хранилища данных Swarm.....	32
4.2 Отбор и систематизация спутниковых данных.....	34
5 Формирование базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях	39
5.1 Хранение данных измерений компонент магнитного поля Земли	39
5.2 Хранение индикаторов геомагнитной активности в базе	41
5.3 Общая схема базы данных и выделение экстремальных геомагнитных природных явлений по значениям индикаторов геомагнитной активности.....	43
5.4 Примеры критериев экстремальности геомагнитных природных явлений	45
Список использованной литературы.....	46

Введение

В настоящем руководстве приведены рекомендации по организации сбора и систематизации данных геомагнитных наблюдений для последующего формирования базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях. В качестве источников рассматриваются данные наблюдений на наземных магнитных обсерваториях, а также спутниковые геомагнитные данные.

Процедуры сбора и систематизации исходной геомагнитной информации включают в себя:

- анализ исходных геомагнитных данных, регистрируемых на наземных обсерваториях и спутниках Swarm;
- передача и систематизация данных в установленных форматах из геомагнитных обсерваторий;
- автоматизированный отбор и систематизация спутниковых измерений;
- хранение исходной информации в текстовом формате;
- преобразование геомагнитных данных в элементы базы данных;
- формирование базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях.

Детектирование экстремальных геомагнитных явлений и оценка их интенсивности осуществляются на основе анализа больших массивов информации, организованной в базу данных. В базе содержится постоянно пополняемая информация о геомагнитном поле, которая поступает с наземных обсерваторий и результаты геомагнитных наблюдений спутниковой миссии Swarm Европейского космического агентства [*Haagmans et al.*, 2013], а также инструменты ее обработки. Базы геомагнитных данных, разрабатываемые в соответствии с предлагаемыми рекомендациями, обеспечивают унификацию регистрируемых данных, структурированное хранение и управление данными, функциональный пользовательский интерфейс. Такие базы реализуются в системе управления базами данных (СУБД), совмещающей в себе простоту использования и надежность. В результате базы данных могут обеспечить следующие возможности:

- пополнение по мере получения новых исходных данных;
- селекция по заданным параметрам и экспорт данных в текстовом формате международного стандарта IAGA-2002;
- идентификация и маркировка экстремальных геомагнитных событий на рядах данных измерений.

Основой для разработки системы передачи, накопления и хранения геомагнитных данных является аппаратное и программное обеспечение, включающее в себя не менее двух серверов, СУБД и программный пакет для инженерных вычислений (например, MathWorks Matlab). Специальное программное обеспечение формирует геомагнитную информацию о вариациях геомагнитного поля в пакеты, которые передаются через разные каналы связи на сервер сбора данных с задержкой от 10 минут.

При разработке данного руководства изучались подходы к сбору и систематизации исходных геомагнитных данных, официально принятые в международных сетях геомагнитных наблюдений, включая международную сеть ИНТЕРМАГНЕТ [<http://www.intermagnet.org/>], французскую сеть геомагнитных обсерваторий ВСМТ (Bureau Central de Magnetisme Terrestre — Центральное бюро земного магнетизма) [Bureau Central de Magnetisme Terrestre, 2015] и японскую сеть магнитных обсерваторий [WDC for Geomagnetism (Kyoto), 2015]. В настоящем руководстве заимствованы некоторые принципы сбора и систематизации данных, используемые в указанных сетях, а также добавлено множество новых возможностей, не имеющих зарубежных аналогов.

Данное руководство может быть использовано персоналом центров сбора и обработки геомагнитных данных и рассчитано на широкий круг исследователей в области геомагнетизма и представляет интерес для специалистов в области геофизической метрологии и разработчиков систем накопления и анализа геофизической информации.

1 Основные термины и определения

Экстремальные геомагнитные природные явления — относительно внезапные изменения характеристик магнитного поля Земли природного характера, происходящие, как правило, во всех частях мира. Для определенных видов явлений некоторые регионы являются более уязвимыми по сравнению с другими. К экстремальным явлениям динамики внешнего магнитного поля в первую очередь относятся магнитные бури и суббури. Это наиболее мощные и продолжительные возмущения, которые потенциально опасны для технологических систем. К экстремальным явлениям эволюции внутреннего магнитного поля относятся инверсии и резкие изменения в скорости вековых вариаций. Временные масштабы первого типа явлений варьируются от нескольких часов до нескольких дней, в то время как временные масштабы второго типа — от нескольких лет до миллионов лет.

База данных (БД) — совокупность взаимосвязанных данных, организованных в соответствии со схемой базы данных таким образом, чтобы с ними мог работать пользователь. Реляционная БД — база данных, реализованная в соответствии с реляционной моделью данных [ГОСТ 20886—85].

Система управления базами данных (СУБД) — совокупность программ и языковых средств, предназначенных для управления данными в базе данных, ведения базы данных и обеспечения взаимодействия ее с прикладными программами [ГОСТ 20886—85].

Геомагнитная обсерватория — специализированное научное сооружение и/или учреждение, используемое для наблюдений магнитного поля Земли. На обсерваториях осуществляется непрерывная цифровая регистрация вариаций геомагнитного поля, производятся регулярные абсолютные измерения, первичная обработка и анализ достоверности данных, организованы каналы связи для регулярной, часто в режиме реального времени, передачи данных. Измерения производятся с помощью магнитометров (векторных и скалярных), конструкции которых постоянно совершенствуются [Love, 2008].

Магнитометр — прибор для измерения модуля полного вектора магнитной индукции или его составляющих. Классифицируют магнитометры по физическому явлению или эффекту, на котором основано его действие (феррозондовый, протонный и др.), по областям применения, по условиям эксплуатации и по степени информативности (скалярные, векторные и тензорные). Магнитометры, измеряющие относительные временные вариации компонент поля, называются вариометрами [Jankowsky & Sucksdorff, 1996; Newitt, Barton & Bitterly, 1996; Rasson, 2007].

Деклинометр/инклинометр — прибор для измерения абсолютных значений углов склонения и наклонения силовых линий геомагнитного поля в заданной точке, состоящий из

одноосевого феррозондового магнитометра и немагнитного геодезического теодолита. Служит для калибровки измерений магнитного поля и определения базисной линии [Rasson, 2005].

Базисная линия магнитограммы — начальная линия, от которой производится отсчет ординат. В обсерваторской практике определяется экспериментально и используется для привязки вариационных измерений компонент магнитного поля к абсолютным значениям с использованием деклинометра/инклинометра. Постоянство базисной линии во времени свидетельствует о стабильном функционировании комплекса измерительной аппаратуры на обсерватории [Jankowsky & Sucksdorff, 1996].

Бинарный (двоичный) формат — способ представления информации, зашифрованной с помощью бинарного кода, в отличие от формата ASCII, в котором для хранения каждого символа чаще всего отводится один байт.

American standard code for information interchange (ASCII) — название таблицы (кодировки, набора), в которой распространённым печатным и непечатным символам сопоставлены числовые коды. Таблица ASCII определяет коды для следующих символов: десятичных цифр, латинского алфавита; национального алфавита, знаков препинания и управляющих символов.

International Real-time Magnetic Observatory Network (INTERMAGNET) — Международная сеть магнитных обсерваторий реального времени (ИНТЕРМАГНЕТ), предоставляющая данные абсолютных наблюдений магнитного поля Земли высочайшего стандарта качества [<http://www.intermagnet.org/>].

Swarm — группировка из трех идентичных спутников, оснащенных высокоточными магнитометрами. Проект Swarm Европейского космического агентства (ЕКА) предназначен для картографирования магнитного поля Земли и изучения механизма его формирования с беспрецедентной точностью. Спутниковая группировка была выведена на орбиту в ноябре 2013 г. при помощи ракеты-носителя «Рокот» с космодрома «Плесецк». Swarm — четвертый космический проект исследования геомагнитного поля [Haagmans et al., 2013; Olsen et al., 2013].

International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) — Международная ассоциация геомагнетизма и аэронауки (МАГА), являющаяся одной из восьми ассоциаций Международного геодезического и геофизического союза [<http://www.iaga-aiga.org/>].

2 Обозначения и сокращения

БД	—	База данных
ЕКА	—	Европейское космическое агентство
ИНТЕРМАГНЕТ	—	Международная сеть магнитных обсерваторий реального времени
РФ	—	Российская Федерация
СУБД	—	Система управления базами данных
ASCII	—	American Standard Code for Information Interchange
BCMT	—	Bureau Central de Magnetisme Terrestre
CDF	—	Common Data Format
CrLf	—	Carriage return, Line feed
FTP	—	File Transfer Protocol
GIN	—	Geomagnetic information node
GPS	—	Global Positioning System
HTTP	—	HyperText Transfer Protocol
IAGA	—	International Association of Geomagnetism and Aeronomy
IMF	—	INTERMAGNET Minute Mean Format
ISO	—	International Organization for Standardization
INTERMAGNET	—	International Real-time Magnetic Observatory Network
L2PS	—	Level 2 Processing System
NEC	—	North-East-Center
PDF	—	Portable Document Format
PDGS	—	Payload Data Ground Segment
RINEX	—	The Receiver Independent Exchange Format
SMTP	—	Simple Mail Transfer Protocol
SP3	—	Standard Product 3 Orbit
SHC	—	Spherical Harmonic Coefficients
UT	—	Universal Time
WDC	—	World Data Center

3 Сбор и систематизация данных наземных геомагнитных обсерваторий

3.1 Исходные данные

3.1.1 Общее описание

По данным на 2017 г. на территории РФ функционирует 9 обсерваторий, сертифицированных в международной сети магнитных наблюдений высочайшего стандарта качества ИНТЕРМАГНЕТ, — это обсерватории «Арти», «Борок», «Иркутск», «Магадан», «Новосибирск», «Паратунка», «Санкт-Петербург», «Хабаровск» и «Якутск» [<http://intermagnet.org/imos/imotblobs-eng.php>]. На территории РФ также развернуты геомагнитные обсерватории, на которых установлено оборудование, соответствующее стандартам ИНТЕРМАГНЕТ. В ближайшее время планируется их официальное включение в эту сеть. В данном статусе находятся обсерватории «Казань», «Климовская» и «Мыс Шмидта». На базе Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) в г. Троицк (г. Москва) функционирует опытная обсерватория «Москва», эксплуатируемая совместно с Геофизическим центром РАН (ГЦ РАН) [Gvishiani et al., 2016]. Информация о российских обсерваториях приведена в Таблице 1.

Таблица 1 — Российские геомагнитные обсерватории [<http://geomag.gcras.ru/>].

№	Название	IAGA-код	Геогр. широта	Геогр. долгота	В ИНТЕРМАГНЕТ с (год)
1.	Арти	ARS	56,4	58,6	2006
2.	Борок	BOX	58,1	38,2	2002
3.	Иркутск	IRK	37,7	104,5	1998
4.	Магадан	MGD	29,9	150,7	2009
5.	Новосибирск	NVS	35,1	83,2	2003
6.	Паратунка	PET	53,0	158,2	2013
7.	Санкт-Петербург	SPG	60,5	29,7	2016
8.	Хабаровск	KHB	42,4	134,7	2014
9.	Якутск	YAK	62,0	130,0	2010
10.	Казань	KAZ	55,9	48,8	нет
11.	Климовская	KLI	60,9	39,5	нет
12.	Москва	MOS	55,5	37,3	нет
13.	Мыс Шмидта	CPS	68,9	-179,4	нет

Минимальный набор оперативных обсерваторских данных согласно стандартам ИНТЕРМАГНЕТ включает в себя минутные значения трех компонент (как правило, H — горизонтальная компонента, D — магнитное склонение и Z — вертикальная компонента, либо X — северная компонента, Y — восточная компонента и Z — вертикальная компонента) и полной напряженности (F) вектора магнитного поля, их временную привязку в системе UT и краткую справочную информацию. Следует отметить, что ось датчика, определяющего вертикальную компоненту Z , направлена вдоль отвесной линии, которая в общем случае не направлена в центр масс Земли. Объем текстового файла, содержащего перечисленную информацию за сутки, составляет от 46 Кбайт до 102 Кбайт в зависимости от структуры хранения данных. Таким образом, типичный годовой архив обсерваторских данных составляет от 16 Мб до 36,5 Мб.

По состоянию на 2017 г. на всех российских обсерваториях производится 1-минутная регистрация вариаций магнитного поля. На обсерватории «Борок» выполнен переход на 1-секундную регистрацию, что выводит эту обсерваторию на принципиально новый качественный уровень, реализованный только на американских, канадских и французских обсерваториях.

К основным форматам оперативных обсерваторских данных, используемых в настоящее время на территории РФ, относятся два официальных формата данных системы ИНТЕРМАГНЕТ IMF1.23 и IAGA-2002 [INTERMAGNET technical reference manual, 2012], а также формат регистратора данных Mingeo (Венгерская компания MinGeo Ltd.).

Помимо непрерывных вариационных измерений на обсерваториях также проводятся регулярные измерения абсолютных величин магнитного поля с использованием деклинометра/инклинометра. Такие измерения проводятся вручную с периодичностью примерно 1–2 раза в неделю и также отправляются в центр сбора данных. Объем каждой цифровой ведомости абсолютных измерений примерно составляет 1–2 Кб, а годовой объем не превышает 1 Мб. Эти данные необходимы для расчета базисных значений компонент поля, с использованием которых в дальнейшем корректируются вариации компонент, непрерывно регистрируемые вариометром.

3.1.2 Формат данных IMF1.23

Согласно IMF-формату (INTERMAGNET Minute Mean Format) распространения данных магнитные минутные данные с разрешением в десятые доли нТл хранятся суточными массивами в отдельных файлах. Каждый файл содержит 24 1-часовых блока, каждый из которых имеет последовательность чисел в 60 минут. Блоки заполняются значениями «999999» в случае, если не являются завершенными. Для сохранения совместимости со всеми операционными системами имя файла ограничено 8 символами и содержит дату и трёхбуквенный код обсерватории в качестве

расширения. Например, MAR1509.BOX — файл данных обсерватории «Борок» (BOX) за 15 марта 2009 г.; JUN2314.PET — файл данных обсерватории «Паратунка» (PET) за 23 июня 2014 г.

Заголовок каждого блока данных содержит 64 символа, включая символ возврата каретки — конца строки, и имеет следующую структуру:

IDC_DDDDDDD_DOY_NH_COMP_T_GIN_COLALONG_DECBAS_RRRRRRRRRRRRRRRRCrLf.

Расшифровка приведена в Таблице 2.

Таблица 2 — Расшифровка заголовка блока данных в файле формата IMF [INTERMAGNET technical reference manual, 2012]

Параметр	Описание
IDC	Трёхбуквенный идентификатор обсерватории — код IAGA, например, BOX для обсерватории «Борок», PET для обсерватории «Паратунка», YAK для обсерватории «Якутск» и т.д.
DDDDDDD	Дата, например: FEB1591 — 15 февраля 1991 г.
DOY	Порядковый номер дня в году (1–366)
NH	Час (0–23). Первая строка после заголовка содержит значения, относящиеся к нулевой и первой минуте указанного часа. Первое значение суточного файла относится ко времени 0 часов, 0 минут.
COMP	Порядок, в котором перечислены компоненты, например, HDZF или XYZF. Все компоненты, кроме D (склонение), должны быть выражены в десятых долях нТл. D должно быть выражено в сотых долях угловых минут с учетом, что восточное склонение — положительное.
T	<p>Однобуквенный код типа данных: R — Reported data (оперативные), A — Adjusted data (адаптированные), D — Definitive data (окончательные).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Оперативные (Reported data) обсерваторские данные представляют собой сырые данные, полученные с магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ через спутник, компьютерное сетевое подключение или другие средства передачи. Оперативные данные приведены к формату IMFV2.8N (бинарному) или IMFV1.2N (ASCII) без внесения поправок базисной линии или других модификаций. - Адаптированные данные (Adjusted data) представляют собой оперативные данные с внесенными поправками на базисную линию, с удаленными техногенными выбросами, с коррекцией временных смещений и/или с другими модификациями. Следует подчеркнуть, что допустима только одна версия файла адаптированных данных, которая должна быть получена из обсерватории в течение 7 дней после получения оперативных данных, чтобы предотвратить наличие нескольких версий одного файла. - Квазиокончательные данные (Quasi-definitive data) — данные, которые были скорректированы с помощью промежуточных базисных линий. Они производятся спустя небольшое время после регистрации, и их точность предполагается очень близкой к окончательным обсерваторским данным. 98% расхождений между квазиокончательными и окончательными (X, Y, Z) среднемесячными данными не должно превышать 5 нТл. - Окончательные данные — финальные, утвержденные данные. Окончательные данные предоставляются только учреждением, ответственным за обсерваторию.
GIN	Трёхбуквенный код геомагнитного информационного узла (GIN), ответственного за обработку данных обсерватории ИНТЕРМАГНЕТ: EDI (Edinburgh — Эдинбург), GOL (Golden — Голден, шт. Колорадо), OTT (Ottawa — Оттава), PAR (Paris — Париж) или KYO (Kyoto — Киото).
COLALONG	Коширота (дополнительная широта) и восточная долгота обсерватории в десятых долях градуса.

Продолжение таблицы 2

DECBAS	Значение базисного склонения в десятых долях угловых минут к востоку (0—216000). Базисные значения склонения предоставляются ежегодно. Если регистрируемые компоненты — X, Y, Z, то DECBAS=000000.
RRR . . RRR	Зарезервированные 16 байт символов для использования в будущем.
_	Пробел
CrLf	Обозначение возврата каретки и конца строки (Carriage return, Line feed).

Область данных, описанная в Таблице 3, содержит 64 символа, включая символ возврата каретки — конца строки. Данные компонент магнитного поля вводятся в файл как целые числа со знаком, выровненные по правому краю, с шириной поля равной 7 символам. Данные полной напряженности магнитного поля (F) вводятся в файл как целые числа без знака, выровненные по правому краю с шириной поля, равной 6 символам. Ширина полей должна строго поддерживаться путем заполнения нулями или пробелами. Знак «+» для положительных чисел не является обязательным. Данные за две минуты объединяются в одну строку:

- минута 0 и минута 1 данного часа:

```
AAAAAAA_BBBBBBB_CCCCCC_FFFFFFF__AAAAAAA_BBBBBBB_CCCCCC_FFFFFFFCrLf
```

- ...

- минута 58 и минута 59 данного часа:

```
AAAAAAA_BBBBBBB_CCCCCC_FFFFFFF__AAAAAAA_BBBBBBB_CCCCCC_FFFFFFFCrLf
```

Таблица 3 — Описание области данных в файле формата IMF [INTERMAGNET technical reference manual, 2012]

Параметр	Описание
AAAAAAA	Поле значения компоненты 1 (H, X и пр.)
BBBBBBB	Поле значения компоненты 2 (D, Y и пр.)
CCCCCC	Поле значения компоненты 3 (Z, I и пр.)
FFFFFFF	Поле значения полной напряженности (F)
_	Обозначение символа пробела
CrLf	Обозначение возврата каретки и конца строки (Carriage return, Line feed).

3.1.3 Формат IAGA-2002

Формат IAGA-2002 предназначен для обмена геомагнитными данными (отсчетами и средними значениями), зарегистрированными на обсерваториях и вариационных станциях с временными интервалами от миллисекунды до среднемесячных значений включительно. Формат включает в себя:

- 12 обязательных строк заголовка файла;
- неограниченное количество строк дополнительных комментариев;
- одну обязательную строку заголовка данных;
- последовательность строк с отсчетами данных.

Длина каждой строки составляет 70 символов и символ «возврата каретки». При необходимости строки заполняются пробелами. Строки данных представляют ровно 4 элемента магнитного поля (например, DHIF, DHZF или XYZF). В случае отсутствия какого-либо из значений вместо него указывается специальное значение, означающее отсутствие данных (99999 или 88888).

Каждая из обязательных 12 строк заголовка файла и дополнительных комментариев начинаются с символа пробела в 1-м столбце и заканчиваются вертикальным разделителем «|» (ASCII-код № 124) в 70-м столбце. Названия полей начинаются во 2-м столбце, а значения полей — в 25-м столбце. Ниже приведены поля заголовка и их описание [INTERMAGNET technical reference manual, 2012].

- “Format” — установленный формат, т.е. “IAGA-2002”;
- “Source of Data” — источник данных, т.е. название учреждения, ответственного за сбор данных;
- “Station name” — полное наименование станции или обсерватории с заглавной буквы;
- “IAGA Code” — официальный трёхбуквенный IAGA-код станции или обсерватории заглавными буквами; предварительно коды обсерваторий и станций согласовываются с 5-м отделением IAGA, ответственным за геомагнитные наблюдения, на предмет их уникальности. В случае отсутствия кода данное поле может оставаться пустым;
- “Geodetic Latitude” — геодезическая широта географического расположения станции, указывается до тысячных долей от -90 до 90 градусов (северная широта — положительная);
- “Geodetic Longitude” — геодезическая долгота географического расположения станции, указывается до тысячных долей от -180 до 180 или от 0 до 360 градусов (восточная долгота — положительная);
- “Elevation” — высота, указывается в метрах над уровнем моря;
- “Reported” — порядок регистрации данных, относится к элементам магнитного поля в строках данных и указывает, в каком порядке происходит регистрация данных, например: DHIF, DHZF или XYZF. Обозначения компонент E/V применяются вместо D/I, если

магнитное склонение/наклонение выражено в единицах интенсивности (только если тип данных — вариации, см. ниже);

- “Sensor Orientation” — физическая ориентация регистрационного оборудования, например, XYZ или HDZ;
- “Digital Sampling” — частота регистрации (в секундах) отсчетов данных, полученных датчиком (прибором) или интервал цифровой дискретизации аналоговых данных;
- “Data Interval” — усредненный или мгновенный временной период регистрации данных, допускающий следующие значения: 1-минутный (центрирование — 00:30–01:29 или 00:00–00:59), 1-часовой (00–59), суточный (00–23) или месячный (01–31) период (последний день также может быть 30-м, 29-м или 28-м днем месяца). Существует много возможных периодов, включая долю секунды (мгновенное значение), усредненные по 1 секунде (центрирование — 501–1500 или 0–1000 миллисекунд), 10 секунд или 2,5 минуты. Вид усреднения и тип центрирования значений указывается в секции комментариев (см. ниже);
- “Data type” — тип данных: P — provisional (промежуточные), D — definitive (окончательные), Q — quasi-definitive (квазиокончательные) или V — variation (вариационные).

Следующие строки в заголовке отведены на дополнительные комментарии. Данные строки используются для записи важных сведений, не отраженных в обязательных полях. К ним могут относиться информация о виде усреднения значений и центрировании средних значений по времени, существенных пропусках в строках данных или описание отсутствующих значений. Каждая строка комментариев начинается с пробела в 1-м столбце и символа решетки (#) во 2-м столбце. Конец каждой строки комментариев отмечен вертикальным разделителем «|» (ASCII-код № 124) в 70-м столбце.

Комментарии могут также включать в себя формулы расчета нерегистрируемых элементов магнитного поля. Например, если на обсерватории регистрируются значения XYZF, комментарии могут содержать формулы расчета значений HDI. Для передачи неполных суток файлы включают в себя еще два дополнительных комментария в заголовке, отмечающих время начала и длительность периода регистрации в секундах. Такие строки должны иметь следующий вид:

```
#Start Time          hh:mm:ss
```

```
длительность в секундах
```

Для расчета приблизительных значений склонения D в угловых единицах из E в нТл в файле требуется дополнительный комментарий. В нем должно содержаться приблизительное

значение H (например, наиболее часто встречающееся среднегодовое значение или значение согласно модели IGRF). Такой комментарий должен иметь следующий вид:

#Approx H 17000 (пример).

Строки данных содержат дату, время и регистрируемые элементы магнитного поля. Значения регистрируются до последней значащей цифры после запятой. Отсутствующие данные помечаются числом 99999 до соответствующей точности данной компоненты (например, 99999.0 или 99999.00). Если элемент магнитного поля не регистрируется, соответствующие поля данных заполняются числом 88888. Формат каждого из четырех элементов поля — 9.2f. Каждая строка данных имеет длину 70 символов и символ возврата каретки. Дата и время указываются в первых двух столбцах и имеют следующие форматы:

- столбец DATE — календарная дата в формате ISO ГГГГ-ММ-ДД (4 цифры — год, месяц 01–12, день 01–31);
- столбец TIME — время в формате ISO чч:мм:сс.ссс (час 00–24, минута 00–59 секунда 00–59, если час равен 24, то минута и секунда указываются 00).

Значения, не укладывающиеся во временной период регистрируемых средних, заполняются нулями, например: 14:01:00.000 для 1-минутных данных за 14-й час, 1-ю минуту. Столбец DOY содержит порядковый номер дня в году от 1 до 365 (или 366 для високосного года). Далее следуют столбцы с самими значениями:

- D и I (магнитные склонение и наклонение) регистрируются в угловых минутах до точности приборов;
- F, H, X, Y, Z, E, G и V регистрируются в нТл и долях нТл.

3.1.4 Формат Mingeo

Регистратор данных Mingeo позволяет вести регистрацию усредненных минутных векторных и скалярных данных, трехсекундных скалярных данных, секундных векторных данных и минутных значений температурных вариаций, регистрируемых датчиками на вариометре. Данные возможно сохранять как в текстовом ASCII-формате, так и в бинарном формате. Бинарный формат в силу большего сжатия данных используется при ограниченном Интернет-соединении с целью минимизации трафика передаваемой информации. Ниже приведено описание указанных данных в текстовом формате, как наиболее популярном (таблицы 4—7) [MinGeo Ltd., 2016].

Таблица 4 — Структура хранения усредненных минутных векторных и скалярных данных в формате регистратора Mingeo

Столбец	Формат	Описание
1–10	4d.02d.02d	Дата в формате ГГГГ.ДД.ММ, где ГГГГ — год, ММ — месяц, ДД — день
11	1 символ	Пробел
12–16	02d 02d	Время UT в формате чч мм, где чч — часы, мм — минуты
17–26	10.3f	Первая компонента поля*, регистрируемая вариометром (например, северная компонента, нТл)
27–35	9.3f	Вторая компонента поля*, регистрируемая вариометром (например, восточная компонента, нТл)
36–45	10.3f	Третья компонента поля*, регистрируемая вариометром (например, вертикальная компонента, нТл)
46–55	10.3f	Полная напряженность поля, регистрируемая скалярным магнитометром, нТл

* Измеряемые компоненты магнитного поля задаются в шапке таблицы.

Таблица 5 — Структура хранения трехсекундных скалярных данных в формате регистратора Mingeo

Столбец	Формат	Описание
1–8	02d 02d 02d	Время UT в формате чч мм сс, где чч — часы, мм — минуты, сс — секунды*
9–18	10.3f	Полная напряженность поля, регистрируемая скалярным магнитометром, нТл

* Дата, за которую регистрируются данные, содержится в названии файла.

Таблица 6 — Структура хранения исходных секундных векторных данных в формате регистратора Mingeo

Столбец	Формат	Описание
1–8	02d 02d 02d	Время UT в формате чч мм сс, где чч — часы, мм — минуты, сс — секунды*
9–18	10.3f	Первая компонента поля**, регистрируемая вариометром (например, северная компонента, нТл)
19–27	9.3f	Вторая компонента поля**, регистрируемая вариометром (например, восточная компонента, нТл)
28–37	10.3f	Третья компонента поля**, регистрируемая вариометром (например, вертикальная компонента, нТл)

* Дата, за которую регистрируются данные, содержится в названии файла;

** Измеряемые компоненты магнитного поля задаются в шапке таблицы.

Таблица 7 — Структура хранения минутных температурных вариаций, регистрируемых датчиками на вариометре, в формате регистратора Mingeo

Столбец	Формат	Описание
1–5	02d 02d	Время UT в формате чч мм, где чч — часы, мм — минуты*
6–14	9.2f	Значение температуры на датчике вариометра, градусы Цельсия
15–23	9.2f	Значение температуры на блоке электроники вариометра, градусы Цельсия

* Дата, за которую регистрируются данные, содержится в названии файла.

3.1.5 Принципы наименования файлов с исходными данными

Для большего удобства обмена и чтения данных в IAGA рекомендованы следующие принципы и стили наименования файлов, содержащих данные магнитных обсерваторий. Рекомендации близки к рекомендациям II уровня Организации международных стандартов (ISO) и полностью совместимы как с файловой системой Joliet (дополнением к уровню II), так и с предложенными модификациями стандартов ISO. Эти рекомендации предназначены для обмена оперативными данными и не обязательно должны применяться к архивам данных:

- Имена файлов состояются из двух частей, основного имени и 3-символьного расширения. Точка отделяет основную часть от расширения. Основная часть может достигать длины до 27 символов. Расширение должно быть длиной ровно в 3 символа (таким образом, полное имя файла не превышает 31 символа). Этот формат иногда обозначают как «формат 27.3». Пример: my_file_name.dat.
- Имена файлов состояются из букв a-z нижнего регистра, цифр 0-9, символов подчеркивания «_» и дефиса «-». Не допускается использование пробелов, спецсимволов (*, /, \, ;, :, ;, ?) и букв верхнего регистра.
- Имена файлов должны начинаться с трехбуквенного кода IAGA, даты и типа данных. Расширение определяет интервал регистрации данных (месячные, суточные, часовые, минутные или секундные данные). Расширение дублируется в последних 3 символах основного имени, чтобы иметь возможность восстановить тип данных при потере расширения в процессе сжатия. Имя файла указывает только общий интервал регистрации данных, специальная информация содержится в поле “Data Interval” в заголовке файла в формате IAGA-2002 (например, 2.5- и 1-минутные средние являются минутными данными, 10-секундные и 1-секундные мгновенные значения являются секундными данными).
- Первые несколько символов имени файла строго определены. Названия файлов далее могут содержать другие символы, которые отделяются от основного имени символом

подчеркивания «_». Например, оба имени файлов nvs20100101dmin.min и nvs20100101d_2-5min.min приемлемы для 2,5-минутных окончательных данных обсерватории «Новосибирск» (IAGA-код NVS). В общем случае название файла имеет следующую структуру:

iaguuuymddtint.int, где:

- 1) iag — 3-буквенный IAGA-код обсерватории;
- 2) уuuу — 4 цифры года (например, 2010);
- 3) mm — 2 цифры месяца (например, 01 для января, 12 для декабря);
- 4) dd — 2 цифры дня (01-31);
- 5) t — тип данных (p — промежуточные, d — окончательные, q — квазиокончательные, v — вариационные);
- 6) int — интервал регистрации (mon — месячные, day — суточные, hor — часовые, min — минутные, sec — секундные).

Примеры названий приведены в Таблице 8.

Таблица 8 — Примеры названий файлов данных согласно рекомендациям IAGA

№	Интервал регистрации	Период	Маска имени файла	Пример имени
1	Месячные	Год	iaguuuytint.int	nvs2010dmon.mon
2	Суточные	Год	iaguuuytint.int	nvs2010dday.day
3	Часовые	Месяц	iaguuuymmtint.int	nvs201001phor.hor
4	Минутные	Сутки	iaguuuymddtint.int	nvs20100101pmin.min
5	Секундные	Сутки	iaguuuymddtint.int	nvs20100211vsec.sec

Пояснения к примерам в таблице 8 приведены ниже:

- 1) файл содержит окончательные месячные данные за 1 год (2010 г.) обсерватории «Новосибирск»;
- 2) файл содержит окончательные суточные данные за 1 год (2010 г.) обсерватории «Новосибирск»;
- 3) файл содержит промежуточные часовые данные за 1 месяц (январь 2010 г.) обсерватории «Новосибирск»;
- 4) файл содержит промежуточные минутные данные за 1 сутки (1 января 2010 г.) обсерватории «Новосибирск»;

- 5) файл содержит вариационные секундные данные за 1 сутки (11 февраля 2010 г.) обсерватории «Новосибирск».

Дополнительный формат названий файлов для работы с множественными фрагментами данных, имеющих начало в разное время, выглядит следующим образом:

`iaguuuymddhhMMsstint.int`, где:

- `iag` — 3-буквенный IAGA-код обсерватории;
- `uuuu` — 4 цифры года (например, 2010);
- `mm` — 2 цифры месяца (например, 01 для января, 12 для декабря);
- `dd` — 2 цифры дня (01-31);
- `hh` — час начала фрагмента данных (00-23);
- `MM` — минута начала фрагмента данных (00-59);
- `ss` — секунда начала фрагмента данных (00-59);
- `t` — тип данных (`p` — промежуточные, `d` — окончательные, `q` — квазиокончательные, `v` — вариационные);
- `int` — интервал регистрации (`mon` — месячные, `day` — суточные, `hor` — часовые, `min` — минутные, `sec` — секундные).

Примеры приведены в Таблице 9.

Таблица 9 — Примеры названий файлов фрагментарных данных согласно рекомендациям IAGA

№	Интервал регистрации	Период	Маска имени файла	Пример имени
1	Минутные	Часть суток	<code>iaguuuymddhhMMtint.int</code>	<code>irt201306121320vmin.min</code>
2	Секундные	Часть суток	<code>iaguuuymddhhMMsstint.int</code>	<code>irt20130612132000vsec.sec</code>

Пояснения к примерам в таблице 9 приведены ниже:

- 1) файл содержит 1-минутные вариационные данные обсерватории «Иркутск» (IAGA-код IRT) за часть суток 12 июня 2013 г., начиная с 13:20;
- 2) файл содержит 1-секундные вариационные данные обсерватории «Иркутск» (IAGA-код IRT) за часть суток 12 июня 2013 г., начиная с 13:20:00.

3.1.6 Абсолютные измерения характеристик магнитного поля

Магнитные наблюдения на обсерваториях включают в себя не только регистрацию вариаций, но и определение абсолютных величин магнитного склонения (D) и наклона (I). Абсолютные измерения используются для расчета значений базисной линии для магнитного

вариометра. В отличие от регистрации вариаций компонент магнитного поля (X , Y , Z или H , D , Z) и модуля его вектора (F), абсолютные измерения склонения и наклонения в настоящее время не автоматизированы и требуют непосредственного участия оператора. Абсолютные измерения производятся на обсерватории в отдельном павильоне (абсолютный павильон) 1–2 раза в неделю при помощи деклинометра/инклинометра. Несовершенство технологии измерений заключается в том, что конечный результат отягощен различными ошибками, имеющими как систематический, так и случайный характер: (1) ошибки исходных данных, вызванные неточностью определения азимута визирной цели; (2) личные ошибки наблюдателя, например, ошибка наведения зрительной трубы прибора на визирную цель, зависящая от условий освещенности и погоды; ошибка отсчитывания по вертикальному и горизонтальному угломерным кругам теодолита; (3) ошибки, вызванные недостаточной юстировкой теодолита; (4) ошибки, вызванные непараллельностью оси феррозонда и визирной оси зрительной трубы.

Перечисленные ошибки вносят вклад в конечную ошибку вычисления значений склонения и наклонения. В связи с этим возникает важная задача анализа ошибок, вызванных различными источниками, с целью их контроля и возможного сокращения их величины. При этом следует анализировать исходные величины, характеризующие измеряемые направления, а не только функционально связанные с ними значения показаний магнитометра или результаты расчетов склонения и наклонения. Для этого предусмотрено хранение в базе данных также исходных результатов абсолютных измерений.

Результаты абсолютных измерений в большинстве случаев фиксируются рукописно в специальных ведомостях, после чего отправляются в центр обработки данных по электронной почте в отсканированном виде. Для ввода результатов измерений в базу данных предлагается использовать интерактивную веб-форму (подробнее о ней будет сказано в п. 3.2.2). Значения склонения и наклонения вычисляются автоматически и заносятся в базу данных. Ввод результатов измерений в веб-форму может производиться как непосредственно на обсерватории, так и в центре обработки данных.

В ходе абсолютных измерений требуется получить необходимый набор данных для последующих вычислений базисных значений. В случае проведения измерений офсетным методом он включает в себя [Красноперов, 2016]:

- Код обсерватории по классификации IAGA;
- Дата наблюдения;
- Фамилия и имя наблюдателя, проводящего измерения;
- Азимут визирной цели в градусах, минутах и секундах;

- Величина полной напряженности магнитного поля между точкой, в которой ведутся абсолютные наблюдения, и точкой установки датчика протонного магнитометра;
- Единицы измерения, в которых проградуирован теодолит: гоны, градусы, минуты, секунды или градусы, минуты и десятичные доли минут;
- Первая серия измерений:
 - Два направления на визирную цель (угловые единицы теодолита);
 - Начальная позиция измерения магнитного склонения (угловые единицы теодолита);
 - Измерения магнитного склонения: 4 отсчета времени (часы, минуты и секунды в UT) и 4 значения отклонения датчика на табло магнитометра;
 - Начальная позиция измерения магнитного наклонения (угловые единицы теодолита);
 - Измерения магнитного наклонения: 4 отсчета времени (часы, минуты и секунды в UT) и 4 значения отклонения датчика на табло магнитометра.
- Вторая серия измерений:
 - Два направления на визирную цель (угловые единицы теодолита);
 - Отсчеты времени и показания магнитометра аналогичны первой серии измерений;
- Два направления на визирную цель (угловые единицы теодолита).

В случае проведения измерений нуль-методом набор данных для последующих вычислений базисных значений включает в себя:

- Код обсерватории по классификации IAGA;
- Дата наблюдения;
- Фамилия и имя наблюдателя, проводящего измерения;
- Азимут визирной цели в градусах, минутах и секундах;
- Величина полной напряженности магнитного поля между точкой, в которой ведутся абсолютные наблюдения, и точкой установки датчика протонного магнитометра;
- Знак магнитного склонения на месте расположения магнитной обсерватории: восточное (положительное) или западное (отрицательное);
- Единицы измерения, в которых проградуирован теодолит: гоны, градусы, минуты, секунды или градусы, минуты и десятичные доли минут;

- Первая серия измерений:
 - Два направления на визирную цель (угловые единицы теодолита);
 - Измерения магнитного склонения: 4 отсчета горизонтального круга (угловые единицы теодолита) при нулевом значении на табло магнитометра и соответствующие 4 отсчета времени (часы, минуты и секунды в UT);
 - Измерения магнитного наклона: 4 отсчета вертикального круга (угловые единицы теодолита) при нулевом значении на табло магнитометра и соответствующие 4 отсчета времени (часы, минуты и секунды в UT);
- Вторая серия измерений:
 - Два направления на визирную цель (угловые единицы теодолита);
 - Отсчеты времени и показания магнитометра аналогичны первой серии измерений.

3.2 Передача и систематизация обсерваторских данных

3.2.1 Оперативные данные геомагнитных наблюдений

Способы передачи оперативных данных, реализованные на российских обсерваториях, приведены ниже:

- по протоколу SMTP (электронная почта);
- по протоколу FTP.

Сообщения с геомагнитными данными, поступающими на выделенный адрес электронной почты, проходят предварительную обработку. Из них извлекаются непосредственно массивы данных, формируются текстовые файлы данных и сохраняются на отдельном FTP-сервере, который предназначен для хранения данных в виде файлов в исходном формате. По протоколу FTP данные либо загружаются с FTP-серверов обсерваторий, либо передаются на FTP-сервер, где хранятся данные всех обсерваторий. При этом периодичность опроса определяется в зависимости от периодичности подготовки данных на обсерватории.

Согласно стандартам ИНТЕРМАГНЕТ оперативные данные хранятся в суточных файлах, заполняемых по мере подготовки данных. На FTP-сервере поступающие оперативные данные текущего года распределяются по директориям, имена которых совпадают с IAGA-кодами соответствующих обсерваторий и станций. Архивные данные за прошедшие годы хранятся в отдельных поддиректориях внутри указанных директорий, названных по номеру года.

Задержка в передаче данных обусловлена либо техническими возможностями той или иной геомагнитной станции или обсерватории, либо ее правовым статусом. Так, например, результаты

измерений обсерватории «Борок» (IAGA-код BOX) передаются с интервалом 2 суток в формате IMF по электронной почте, а данные обсерватории «Иркутск» (IAGA-код IRT) — с задержкой в 1 сутки.

Все форматы обсерваторских оперативных данных (см. п. 3.1) допускают конвертацию из одного формата в другой без потери информации, за исключением справочного блока, содержащегося в шапке файлов в формате IAGA-2002. Формат суточного файла IMF является наиболее компактным с точки зрения занимаемого объема (~46 Кбайт), формат IAGA-2002 — наиболее объемным (~102 Кбайт). По сравнению с двумя предыдущими формат суточного файла Mingeo, содержащего усредненные минутные значения, занимает средний объем (~63 Кбайт).

3.2.2 Результаты абсолютных измерений

Периодичность передачи данных абсолютных измерений, проводимых наблюдателями на обсерваториях, строго не задана и зависит от возможностей той или иной обсерватории. Согласно требованиям ИНТЕРМАГНЕТ, такие измерения должны проводиться не реже 1 раза в неделю. Существуют разные способы передачи соответствующих данных:

- ведомости в отсканированном виде передаются по электронной почте или по FTP-протоколу;
- файл с внесенными из ведомости данными передается по электронной почте или по FTP-протоколу;
- результаты вносятся наблюдателем в специализированную веб-форму, через которую передаются по протоколу HTTP.

Наиболее предпочтительным является третий вариант, поскольку позволяет максимально автоматизировать последующую процедуру сохранения и обработки данных. Во всех трех случаях результирующий текстовый файл сохраняется на FTP-сервере в поддиректории “abs” (от “absolute”), расположенной в директории с именем, соответствующим трехбуквенному коду данной обсерватории согласно классификации IAGA. Для унификации хранения и обработки абсолютных измерений была выработана структура выходного файла данных, которая приведена в Таблице 10.

Таблица 10 — Описание выходного файла абсолютных значений

Номер строки	Содержимое
1	«Результаты расчета абсолютных и базисных значений»
2	Пустая
3	«Метод: »<офсетный/нуль>

Продолжение таблицы 10

4–5	Пустые
6	«Код обсерватории: »<код>
7	«Дата наблюдения:»
8	Дата наблюдения в формате ГГГГ-ММ-ДД (напр., «2015-05-20»)
9	Пустая (зарезервирована)
10	«Наблюдатель: »<фамилия и имя>
11	«Азимут визирной цели: »<десятичные градусы>
12	«Система измерения углов теодолита: »<градусы, минуты, секунды/градусы и десятичные минуты/гоны>
13	«Коэффициент чувствительности датчика теодолита: »<обычно в пределах 0,995-1,005> / пустая (для нуль-метода)
14	«Ориентация датчиков векторного магнитометра: »<XYZ/HDZ/HEZ>
15–17	Пустые (зарезервированы)
18	«Измерение 1: Исходные данные»
19	«ИЗМЕРЕНИЕ СКЛОНЕНИЯ»
20	«V1 = »<направление на миру, датчик вверх>
21	«V2 = »<направление на миру, датчик вниз>
22	«PDD = »<начальная позиция измерения магнитного склонения> / пустая (для нуль-метода)
23	«ВремяUTC(чч:мм:сс) Офсет[нТл] F[нТл]» / «ВремяUTC(чч:мм:сс) Угол F[нТл]» (для нуль-метода)
24–27	<Отсчет времени> <соответствующее показание магнитометра / значение горизонтального круга (для нуль-метода) на теодолите> <значение полной напряженности> (4 раза)
28	Пустая / <значение магнитного меридиана на горизонтальном круге с учетом знака магнитного склонения> (для нуль-метода)
29	«ИЗМЕРЕНИЕ НАКЛОНЕНИЯ»
30	«PDI = »<начальная позиция измерения магнитного наклонения> / пустая (для нуль-метода)
31	«ВремяUTC(чч:мм:сс) Офсет[нТл] F[нТл]» / «ВремяUTC(чч:мм:сс) Угол F[нТл]» (для нуль-метода)
32–35	<Отсчет времени> <соответствующее показание магнитометра / значение вертикального круга (для нуль-метода) на теодолите> <значение полной напряженности> (4 раза)
36–38	Пустые (зарезервированы под дополнительную информацию в будущем)

Продолжение таблицы 10

32–35	<Отсчет времени> <соответствующее показание магнитометра / значение вертикального круга (для нуль-метода) на теодолите> <значение полной напряженности> (4 раза)
36–38	Пустые (зарезервированы под дополнительную информацию в будущем)
39	«Измерение 2: Исходные данные»
40	«ИЗМЕРЕНИЕ СКЛОНЕНИЯ»
41	«V3 = »<направление на миру, датчик вверх>
42	«V4 = »<направление на миру, датчик вниз>
43	«PDD = »<начальная позиция измерения магнитного склонения> / пустая (для нуль-метода)
44	«ВремяUTC(чч:мм:сс) Офсет[нТл] F[нТл]» / «ВремяUTC(чч:мм:сс) Угол F[нТл]» (для нуль-метода)
45–48	<Отсчет времени> <соответствующее показание магнитометра / значение горизонтального круга (для нуль-метода) на теодолите> <значение полной напряженности> (4 раза)
49	Пустая / <значение магнитного меридиана на горизонтальном круге с учетом знака магнитного склонения> (для нуль-метода)
50	«ИЗМЕРЕНИЕ НАКЛОНЕНИЯ»
51	«PDI = »<начальная позиция измерения магнитного наклона> / пустая (для нуль-метода)
52	«ВремяUTC(чч:мм:сс) Офсет[нТл] F[нТл]» / «ВремяUTC(чч:мм:сс) Угол F[нТл]» (для нуль-метода)
53–56	<Отсчет времени> <соответствующее показание магнитометра / значение вертикального круга (для нуль-метода) на теодолите> <значение полной напряженности> (4 раза)
57	Пустая
58	«V5 = »<направление на миру, датчик вверх> / пустая (для нуль-метода)
59	«V6 = »<направление на миру, датчик вниз> / пустая (для нуль-метода)
60–62	Пустые (зарезервированы под дополнительную информацию в будущем)
Результаты расчета абсолютных значений, соответствующих временных отметок и базисных значений	
63	«Измерение 1: РЕЗУЛЬТАТЫ»
64	«Абсолютные значения:»
65	«tD[чч:мм:сс] Dabs[град; град, мин, сек]»
66	<Среднее значение времени привязки склонения> <значение абсолютного склонения в десятичных градусах> <значение абсолютного склонения в градусах, минутах и секундах>
67	«tI[чч:мм:сс] Iabs[град; град, мин, сек]»

Продолжение таблицы 10

68	<Среднее значение времени привязки наклоения> <значение абсолютного наклоения в десятичных градусах> <значение абсолютного наклоения в градусах, минутах и секундах>
69	«Fabs_mean[нТл] Habs_mean[нТл] Xabs_mean[нТл] Yabs_mean[нТл] Zabs_mean[нТл]»
70	<Абсолютное значение полной напряженности> <абсолютное значение ее горизонтальной компоненты> <северной компоненты> <восточной компоненты> <вертикальной компоненты>
71	«Базисные значения»
72	<Заголовок, в котором указываются наименования базисных значений, привязываемых к времени склонения. В случае ориентации датчиков векторного магнитометра XYZ это «X0[нТл]», «Y0[нТл]»; в случае ориентации датчиков векторного магнитометра HDZ или HEZ это «D0 [градусы или эквивалентные нТл]»>
73	<Среднее значение времени привязки склонения> <соответствующие базисные значения через пробел>
74	<Заголовок, в котором указываются наименования базисных значений, привязываемых к времени наклоения>
75	<Среднее значение времени привязки наклоения> <соответствующие базисные значения через пробел>
76	«Температура в абсолютном павильоне »<градусы Цельсия>
77-90	<Здесь размещаются результаты измерения №2 аналогично строкам 63-76>

4 Сбор и систематизация геомагнитных данных спутников Swarm

4.1 Исходные данные

4.1.1 Общее описание

Для научного сообщества данные измерений приборов трех спутников (А, В и С) группировки Swarm находятся в свободном доступе при условии регистрации в базе пользователей. Для хранения данных организован специальный FTP-сервер (swarm-diss.eo.esa.int) на портале Европейского космического агентства (ЕКА).

Продукты данных уровня 1b (Level-1b Data) включают в себя временные ряды соответствующих измерений, сделанных во время движения спутника по орбите, поправленных, откалиброванных, переведенных в физические единицы измерения (СИ) и привязанных к географическим локальным координатам [Olsen et al., 2013]. Данные уровня 1b предоставляются с каждого спутника Swarm А, Swarm В, Swarm С в отдельности за суточный период (00:00-24:00 UT, не включая 24:00).

Продукты данных уровня 2 (Level-2 Data), в отличие от продуктов уровня 1, получают из данных со всех трёх спутников Swarm. Эти данные представляют собой подтвержденную научную информацию и модели магнитного поля. Их получают из 2 источников: из наземного сегмента данных полезной нагрузки (Payload Data Ground Segment, PDGS) и системы обработки данных уровня 2 (Level 2 Processing System, L2PS). Продукты данных уровня 2 делятся на 2 категории:

- категория 1 (Cat-1): комплексные алгоритмы создания продукта данных уровня 2 — данных различных источников магнитного поля Земли, термосферных данных или данных точного определения орбиты. Обработка ведется объединением сотрудников L2PS под руководством Европейского космического агентства и распространяется через PDGS. Дальнейшее деление этих продуктов данных происходит таким образом:
 - 1) продукты данных Level-2 Cat-1;
 - 2) подтвержденные продукты данных Level-2 Cat-1 (предоставляются отчеты о валидации данных);
- категория 2 (Cat-2): алгоритмы, производящие продукты данных уровня 2 с минимальной задержкой по отношению к генерации соответствующих данных уровня 1b. Генерирование продуктов данных Cat-2 производится автоматически. Продукты данных Cat-2 предоставляются PDGS.

4.1.2 Состав и классы данных Swarm

Атрибутами для идентификации типа обработки данных являются классы файлов данных Swarm. К ним относятся:

- OPER (Routine Operations), означающий, что обработка данных происходила по рутинным операциям;
- RPRO (Re-Processing), означающий, что данные получены в результате повторной обработки.

Ниже приведена схема расшифровки названия файла данных на примере спутника Swarm-A, уровня 1b, низкочастотных магнитных данных MAGx LR за 23 февраля 2013 г. (Рисунок 1):



Рисунок 1 — схема расшифровки названия файла данных

Подробное описание обозначений файлов данных уровня 1b приведено в Таблице 11. Далее, в Таблице 12, приведено описание данных 1-й категории 2-го уровня, а в Таблице 13 — отчетов валидации соответствующих данных. Описание данных 2-й категории 2-го уровня приведено в Таблице 14. Во всех описаниях символ «x» в маске названия файла указывает на буквенное обозначение спутника Swarm (A, B или C).

Таблица 11 — Список продуктов данных Swarm уровня 1b

Описание файлов данных Swarm	Тип продукта данных	Формат
Level-1b		
Предобработанные данные акселерометра, 1 Гц	ACCx_PR_1B	CDF [CDF, 2015]
Дополнительные данные абсолютного скалярного магнитометра, 50 Гц	ASMxAUX_1B	CDF
Данные по плазме, 2 или 16 Гц	EFIx_PL_1B	CDF
Навигационные данные GPS RINEX	GPSx_RN_1B	RINEX [RINEX, 2007]
Данные регистрации GPS RINEX, 0,1 Гц	GPSx_RO_1B	RINEX

Продолжение таблицы 11

Данные регистрации GPS RINEX, 1 Гц	GPSxNAV_1B	SP3 [Hilla, 2010]
Калибровочные данные отклонений лентмюровского зонда	LP_x_CA_1B	CDF
Данные магнитной калибровки, 0,25 Гц	MAGx_CA_1B	CDF
Векторные магнитные данные, 50 Гц	MAGx_HR_1B	CDF
Векторные магнитные данные, 1 Гц	MAGx_LR_1B	CDF
Эфемериды космического аппарата, 1 Гц	MODx_SC_1B	SP3
Поведение косм. аппарата, 1Гц	STRxATT_1B	CDF
Калибровочные данные для устройства формирования карт тепловых ионов	THx_CA_1B	CDF
Вспомогательные данные векторного феррозондового магнитометра, 50 Гц	VFMxAUX_1B	CDF

Таблица 12 — Список продуктов данных Swarm уровня Level-2, категория 1

Описание файлов данных Swarm	Тип продукта данных	Формат
Level-2 Cat-1		
CAT-1: Временные ряды наблюдений акселерометра	ACCx_AE_2_	CDF
Параметры калибровки акселерометра	ACCxCAL_2_	CDF
Временные ряды негравитационных ускорений	ACCxPOD_2_	CDF
CAT-1: временные ряды нейтральной термосферы	DNSxWND_2_	CDF
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MCO_SHA_2C	Список ASCII(SHC)
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MCO_SHA_2D	Список ASCII(SHC)
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MCO_SHA_2F	Список ASCII(SHC)
CAT-1: 1D карты C-отклика	MCR_1DM_2_	Список ASCII
CAT-1: 3D карты C-отклика	MCR_3DM_2_	Список ASCII
CAT-1: 1D-модель мантийной электропроводности	MIN_1DM_2_	Список ASCII
CAT-1: 3D-модель мантийной электропроводности	MIN_3DM_2a	Список ASCII
CAT-1: 3D-модель мантийной электропроводности	MIN_3DM_2b	Список ASCII

Продолжение таблицы 12

CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MIO_SHA_2C	Список ASCII
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MIO_SHA_2D	Список ASCII
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MLI_SHA_2C	Список ASCII(SHC)
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MLI_SHA_2D	Список ASCII(SHC)
CAT-1: Расширенная сферическая гармоническая модель	MLI_SHA_2E	Список ASCII(SHC)
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MMA_SHA_2C	CDF
CAT-1: Сферическая гармоническая модель	MMA_SHA_2F	CDF
CAT-1: Эйлеровы углы для всех спутников	MSW_EUL_2C	Список ASCII
CAT-1: Эйлеровы углы	MSW_EUL_2D	Список ASCII
CAT-1: Эйлеровы углы	MSW_EUL_2F	Список ASCII
CAT-1: временные ряды положения и скорости	SP3xCOM_2_	Список ASCII(SP3)
Кинематическое решение орбиты для спутников CoM	SP3xKIN_2_	Список ASCII(SP3)

Таблица 13 — Список продуктов данных валидации Swarm уровня Level-2, категория 1

Описание файлов данных Swarm	Тип продукта данных	Формат
Level-2 Cat-1 продукты данных валидации		
CAT-1: Отчет о валидации 1D C-отклика	MC1_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации 3D C-отклика	MC3_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации данных магнитного поля ядра Земли	MCO_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации данных магнитного поля ядра Земли	MCO_VAL_2C	PDF
CAT-1: Отчет о валидации данных магнитного поля ядра Земли	MCO_VAL_2D	PDF
CAT-1: Отчет о валидации 1D-модели мантийной проводимости	MII_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации 3D-модели мантийной проводимости	MI3_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации ионосферной магнитной модели	MIO_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации ионосферной магнитной модели	MIO_VAL_2C	PDF
CAT-1: Отчет о валидации ионосферной магнитной модели	MIO_VAL_2D	PDF
CAT-1: Отчет о валидации литосферного поля	MLI_VAL_2_	PDF

Продолжение таблицы 13

CAT-1: Отчет о валидации литосферного поля	MLI_VAL_2C	PDF
CAT-1: Отчет о валидации литосферного поля	MLI_VAL_2D	PDF
CAT-1: Отчет о валидации литосферного поля	MLI_VAL_2E	PDF
CAT-1: Отчет о валидации магнитной модели магнитосферы	MMA_VAL_2C	PDF
CAT-1: Отчет о валидации Эйлеровых углов	MSW_VAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации Эйлеровых углов	MSW_VAL_2C	PDF
CAT-1: Отчет о валидации Эйлеровых углов	MSW_VAL_2D	PDF
CAT-1: Отчет о валидации SP3xCOM_2_	SP3xVAL_2_	PDF
CAT-1: Отчет о валидации DNSxWND_2_	TDWxVAL_2_	PDF

Таблица 14 — Список продуктов данных Swarm уровня Level-2, категория 2

Описание файлов данных Swarm	Тип продукта данных	Формат
Level-2 Cat-2		
Дневное экваториальное электрическое поле	EEFxTMS_2F	CDF
Ионосферные комбинированные токи, направленные вдоль поля	FAC_TMS_2F	CDF
Ионосферные комбинированные токи, направленные вдоль поля	FACxTMS_2F	CDF
Индекс ионосферных пузырей	IBIxTMS_2F	CDF
Данные полного электронного содержания ионосферы	TECx_TMS_2F	CDF

4.1.3 Структура хранилища данных Swarm

Обновленная структура файлового хранилища существует на FTP-сервере (swarm-diss.eo.esa.int) с ноября 2014 г. Структура содержит три директории «Level1b» (уровень 1b), «Level2daily» (ежедневные данные уровня 2) и «L2longterm» (долгосрочные данные уровня 2). Внутри каждой из этих директорий расположены папки «Current» («Текущее») и «Previous» («Предыдущее»), а также упрощенный список типов данных и, наконец, идентификатор спутника в системе Swarm. Для каждой директории данных уровня 1 или уровня 2 создан текстовый файл со списком доступных продуктов данных. В Таблице 15 приведены пути к файлам в директориях продуктов данных уровня 1b и уровня 2.

Таблица 15 — Директории продуктов данных на FTP-сервере ЕКА, <Simplified Type> — тип продукта данных Swarm уровня 1b без суффикса «_1B»

Уровень данных	Описание пути
1b	Level1b\Current\<Simplified type>\Sat_{A,B,C}\<data file> Level1b\Previous\<Simplified type>\Sat_{A,B,C}\<data file>
2	Level2daily\Current\<Product group>[\<Sub-group>]\Sat_{A,B,C}\<data file> Level2longterm\<Product group>\<data file>

Согласно руководству пользователя [Swarm PDGS Data Access User Manual, 2014] в директориях хранятся как файлы, сгенерированные за сутки путем рутинных операций (класс файлов OPER), так и файлы, сгенерированные путем процедур повторной обработки (класс файлов RPRO). Структура FTP-сервера для данных уровня 1b приведена на Рисунке 2. Также для каждой директории уровня данных 1b и 2 присутствует текстовый файл списка всех данных директории, автоматически обновляющийся при изменении содержимого директории. Структура для данных уровня 2 за суточный период (daily) приведена на Рисунке 3(a). Вложенные каталоги подчинены той же структуре, что и для данных уровня 1: конечное место расположения файлов данных — папки Sat_A, Sat_B, Sat_C, соответствующие спутникам A, B и C в созвездии Swarm. В справочном издании [Swarm PDGS Data Access User Manual, 2014] для каталога Level2longterm (Рисунок 3(б)) приведена структура вложенных директорий, включающая в себя подкаталоги MCO, MCR, MIN, MIO, MLI, MMA, MSW, соответствующие не только сферической гармонической модели, но и ионосферной модели, а также некоторым другим типам данных, которые появятся на сервере в перспективе.

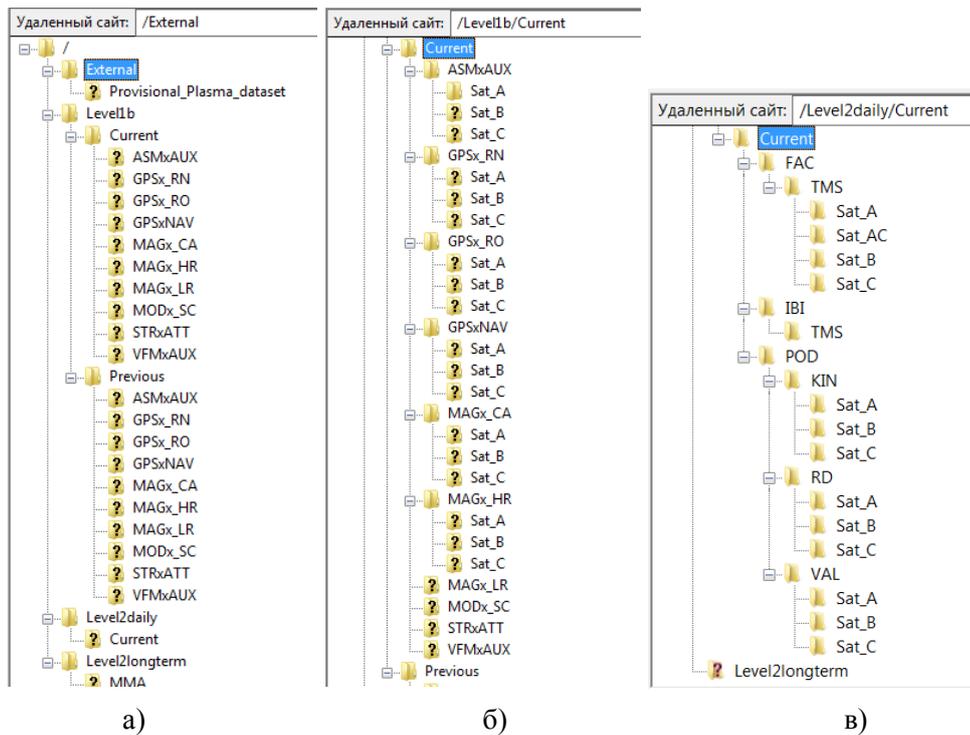


Рисунок 2 — Структура корневого каталога (а), директории «Level-1b Current» (б), директории «Level2daily Current» (в) на сервере ЕКА

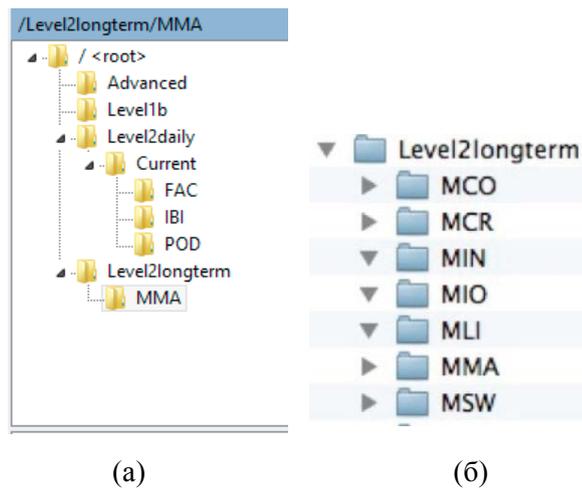


Рисунок 3 — Содержание каталога долговременных данных уровня 2 (Level2longterm) на данный момент (а) и предполагаемое его содержание по состоянию на конец 2015 г. согласно справочному изданию [Swarm PDGS Data Access User Manual, 2014] (б)

4.2 Отбор и систематизация спутниковых данных

Геомагнитные данные, регистрируемые группировкой спутников Swarm, значительно отличаются от обсерваторских данных и требуют организации специального процесса сбора и хранения. Спутниковые данные представляют собой ряды наблюдений трех ортогональных компонент и модуля вектора магнитного поля с частотой дискретизации 50 Гц и 1 Гц. Необходимым критерием при сборе спутниковых магнитных измерений является их координированное хранение с окончательными данными российских наземных обсерваторий. Для

этого из общей базы Swarm необходимо произвести отбор только тех данных, которые относятся к компонентам магнитного поля, привязке к координатам и моментам времени. Поскольку обсерваторские данные имеют шаг дискретизации 1 минута и 1 секунда, то требуется отбор и накопление спутниковых данных, зарегистрированных с частотой дискретизации 1 Гц. Как и в случае обсерваторских наблюдений необходимо обеспечить сбор геомагнитных спутниковых наблюдений, включающих:

- значения северной компоненты вектора магнитного поля;
- значения восточной компоненты вектора магнитного поля;
- значения вертикальной компоненты вектора магнитного поля;
- значения модуля вектора магнитного поля;
- временную привязку регистрируемых значений в системе UT;
- координатную привязку регистрируемых значений.

Следует подчеркнуть, что в отличие от обсерваторий на спутнике ось датчика, определяющего вертикальную компоненту, направлена в центр масс Земли, таким образом реализуя геоцентрическую систему координат. Исходные данные Swarm доступны в файловом хранилище ЕКА в виде бинарных файлов в формате CDF. Каждый файл содержит информацию, накопленную за сутки. При отборе требуемых данных необходимо обеспечить:

- извлечение необходимой информации из базы данных Swarm;
- преобразование данных из бинарного формата CDF в табличный текстовый формат;
- сохранение соответствующих суточных текстовых файлов на сервере экспериментального образца АПК.

Такой подход согласован с общепринятой концепцией независимого хранения геомагнитных данных в исходном формате, помимо их накопления в специализированной базе данных (БД).

В рамках мониторинга экстремальных геомагнитных явлений с использованием наземных и спутниковых данных получение и обработка геомагнитных данных должно осуществляться с минимальной задержкой по времени. Данные спутников Swarm публикуются с периодичностью 1 раз в сутки, поэтому и проверка наличия новых данных должна осуществляться не реже 1 раза в сутки в автоматическом режиме. Отобранные данные преобразуются в табличный текстовый формат для удобства их дальнейшей обработки и конвертации в записи БД. В табличном формате данные хранятся в виде столбцов, структура которых приведена в Таблице 16.

Таблица 16 — Структура хранения спутниковых данных в текстовом табличном виде

Столбец	Формат	Описание
1-10	02d-02d-4d	Дата в формате ДД-ММ-ГГГГ, где ДД — день, ММ — месяц, ГГГГ — год
11	1 символ	Пробел
12-19	02d:02d:02d	Время в формате чч:мм:сс, где чч — часы, мм — минуты, сс — секунды
20	1 символ	Пробел
21-32	12.6f	Широта, десятичные градусы
33	1 символ	Пробел
34-45	12.6f	Долгота, десятичные градусы
46	1 символ	Пробел
47-58	12.2f	Радиус орбиты от центра Земли, м
59	1 символ	Пробел
60-71	12.4f	Компонента (1 из 3) вектора магнитного поля в системе координат векторного магнитометра, нТл
72	1 символ	Пробел
73-84	12.4f	Компонента (2 из 3) вектора магнитного поля в системе координат векторного магнитометра, нТл
85	1 символ	Пробел
86-97	12.4f	Компонента (3 из 3) вектора магнитного поля в системе координат векторного магнитометра, нТл
98	1 символ	Пробел
99-110	12.4f	Северная компонента вектора магнитного поля в системе координат север-восток-центр (система NEC — North-East-Center), нТл
111	1 символ	Пробел
112-123	12.4f	Восточная компонента вектора магнитного поля в системе координат север-восток-центр (NEC), нТл
124	1 символ	Пробел
125-136	12.4f	Вертикальная компонента вектора магнитного поля в системе координат север-восток-центр (NEC), нТл
137	1 символ	Пробел
138-149	12.4f	Полная напряженность вектора магнитного поля, нТл

По аналогии с исходным файловым хранилищем на сервере ЕКА каждый отдельный файл со структурой, описанной в Таблице 16, содержит данные, зарегистрированные одним из трех спутников Swarm за сутки. Имя спутника (А, В или С), а также суточный интервал задаются в названии файла. Таким образом, формат названия файлов выглядит следующим образом:

```
sw_oper_mag<спутник>_lr_1b_<дата>t000000_<дата>t235959_<версия>_mdr_mag_lr,
```

где <спутник> может принимать значения а, в или с, <дата> указывается в формате ГГГГММДД (ГГГГ — год, ММ — месяц, ДД — день), <версия> содержит номер версии исходных данных.

Пример названия файла:

```
sw_oper_maga_lr_1b_20140917t000000_20140917t235959_0301_mdr_mag_lr.txt.
```

Название файла формируется на базе исходного CDF-файла и содержит следующие неизменяемые части:

- sw — Swarm;
- oper — operational (оперативные данные);
- mag — magnetic (магнитные данные);
- lr — low rate (низкочастотные данные 1 Гц);
- 1b — level 1b product (набор исправленных, откалиброванных и сконвертированных в физические единицы исходных данных, зарегистрированных вдоль орбит);
- t000000 — время начала суток 00:00:00;
- t235959 — время конца суток 23:59:59;
- mdr - measurement data record (запись данных измерений).

Результирующие текстовые файлы сохраняются в директории “swarm” на FTP-сервере, где хранятся обсерваторские данные. Общая схема процедуры передачи и обработки спутниковых данных Swarm приведена на Рисунке 4.

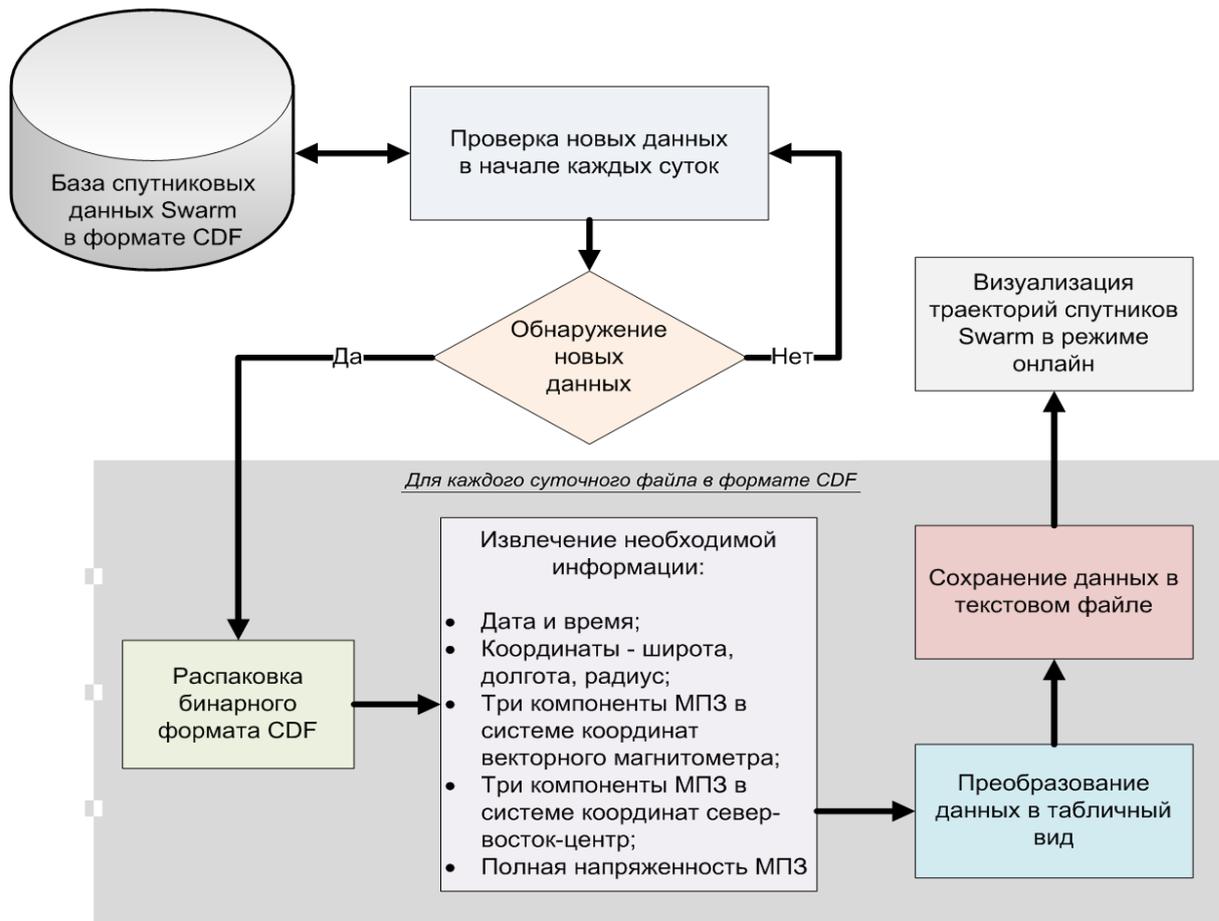


Рисунок 4 — Блок-схема автоматизированной загрузки данных спутников Swarm

5 Формирование базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях

В этом разделе описана логическая структура реляционной базы данных (БД) об экстремальных геомагнитных природных явлениях. Среди объектов, которые необходимо хранить в базе, можно выделить две основные группы:

- непосредственно данные измерений компонент магнитного поля Земли;
- рассчитанные на их основе различные индикаторы геомагнитной активности.

Ниже приведено описание организации хранения каждой из этих групп объектов в БД, а затем представлено объединение получивших структур для формирования логической схемы всей базы данных об экстремальных геомагнитных природных явлениях.

5.1 Хранение данных измерений компонент магнитного поля Земли

В процессе своей обработки данные измерений компонент магнитного поля Земли проходят три стадии:

- оперативные предварительные данные, непосредственно получаемые с обсерваторий;
- квазиокончательные данные;
- окончательные данные.

Каждый из этих типов данных должен храниться в отдельной таблице БД.

В случае хранения данных всех обсерваторий в одной таблице БД, при добавлении в систему данных новой обсерватории нет необходимости в создании дополнительных таблиц, что также обеспечивает большее единообразие при обращении к данным.

Помимо вариационных геомагнитных данных, из обсерваторий поступают значения температуры с датчиков на сенсоре и на блоке электроники вариометра и данные абсолютных измерений. Эти два набора данных должны храниться в отдельных двух таблицах. В отдельной таблице БД также должна храниться справочная информация о самих обсерваториях, в частности, для возможности последующей генерации файлов в формате IAGA-2002. Другие таблицы базы ссылаются на нее при помощи внешних ключей.

Далее приводится описание логической организации таблиц для хранения данных наблюдений компонент магнитного поля Земли. Приборы, измеряющие компоненты магнитного поля, могут иметь разную ориентацию. В зависимости от ориентации приборов компоненты магнитного поля имеют различный физический смысл. Так как возможна ситуация, когда ориентация вариометра может быть в какой-то момент времени изменена с одной на другую, то

необходимо хранить информацию об ориентации приборов вместе с каждым измеренным значением. Это тем более оправдано, что в файлах форматов IMF и IAGA-2002 указан порядок регистрируемых компонент магнитного поля Земли и информацию об ориентации приборов можно получать из этих файлов при загрузке данных в базу. В БД также необходимо предусмотреть поля для хранения результатов работы алгоритмов выделения техногенных помех в данных. Наиболее распространенными помехами в данных наблюдений компонент магнитного поля Земли являются выбросы (спайки) и скачки базисного уровня. В таблице с окончательными данными такие поля не нужны, потому что эти данные по определению являются очищенными от помех. В результате таблица для хранения данных измерений трех компонент и полного вектора напряженности магнитного поля Земли имеет следующие поля: code — IAGA-код обсерватории; date — время и дата измерения; v1, v2, v3, f — значения трех компонент магнитного поля и полного вектора напряженности; orient — порядок, в котором указаны компоненты магнитного поля Земли; sp и jm — результаты работы алгоритмов выделения спайков и скачков (только для таблиц предварительных и квазиокончательных данных). Поля code и date составляют первичный ключ таблицы.

В таблице для хранения абсолютных измерений помимо самих измеряемых абсолютных значений склонения, наклонения и полной напряженности магнитного поля Земли необходимо хранить рассчитываемые на их основе значения базисных значений для компонент и полной напряженности магнитного поля. При этом измерения абсолютных значений склонения и наклонения происходят в разные моменты времени и необходимо хранить оба эти момента времени. Таким образом, в структуру таблицы для хранения данных абсолютных измерений входят следующие поля: id — уникальный идентификатор записи в базе; code — IAGA-код обсерватории; date — дата выполнения абсолютного измерения; da, ia, fa — абсолютные значения склонения, наклонения и полной напряженности магнитного поля; v10, v20, v30, f0 — рассчитанные значения базисной линии для трех компонент и полной напряженности магнитного поля; sp и jm — результаты работы алгоритмов выделения спайков и скачков; td — время привязки абсолютного значения магнитного склонения; ti — время привязки абсолютного значения магнитного наклонения. Первичным ключом таблицы является уникальный идентификатор id.

В таблице для хранения значений температуры хранятся два значения: с датчика на сенсоре и с датчика на блоке электроники вариометра. Выделение для значений температуры отдельной таблицы объясняется тем, что температурные данные могут поступать с обсерваторий в отдельных файлах. Поля таблицы включают: code — IAGA-код обсерватории; date — время и дата измерения

температуры; t_1 и t_2 — измеренные значения температуры. Первичным ключом таблицы являются поля `code` и `date`.

В таблице для хранения справочной информации об обсерваториях необходимо хранить IAGA-код обсерватории, на который ссылаются все остальные таблицы базы (поле `code`). Кроме того, к полям таблицы относятся: `name` — полное название обсерватории; `lat`, `lon` — географические широта и долгота обсерватории; `alt` — высота обсерватории над уровнем моря; `tzone` — часовой пояс, в котором находится обсерватория; `inst` — институт, к которому относится обсерватория; `gin` — геомагнитный информационный узел (GIN) сети ИНТЕРМАГНЕТ, в который отправляет данные обсерватория, при наличии; `format` — формат файлов с данными, поступающих с обсерватории; `ppm`, `var`, `theo` — модели протонного магнитометра, вариометра и феррозондового магнитометра на теодолите (деклинометра/инклинометра), используемые на обсерватории; `nodata` — значение, используемое для обозначения отсутствия данных; `sens` — коэффициент чувствительности феррозондового магнитометра на теодолите, используемый при расчете базисных линий; `comment` — дополнительные комментарии по обсерватории при наличии. Первичным ключом таблицы является IAGA-код обсерватории в поле `code`.

Общая схема таблиц БД для хранения данных измерений компонент магнитного поля Земли представлена на Рисунке 5.

5.2 Хранение индикаторов геомагнитной активности в базе

В БД используются как традиционные индикаторы геомагнитной активности, так и разрабатываемые новые. При этом при хранении значений индикаторов в БД принципиальным является только то, какой интервал усреднения используется для расчета значений индикатора. Все используемые индикаторы можно разделить на те, которые вычисляются за минуту, за час, за 3 часа и за сутки. Для каждого из этих интервалов усреднения необходимо создание отдельной таблицы БД. Ниже приведен список индикаторов геомагнитной активности с указанием интервалы усреднения:

- Кр-индекс — рассчитывается за 3 часа, допускается усреднение за сутки;
- К-индекс — рассчитывается за 3 часа, допускается усреднение за сутки;
- интенсивность по амплитуде возмущений на отдельных обсерваториях — рассчитывается за минуту, допускается усреднения за час, 3 часа и сутки;
- скорость изменения магнитного поля dB/dt на обсерваториях — рассчитывается за минуту, допускается усреднение за час;
- пять самых спокойных Q и возмущенных дней D за месяц — интервал усреднения сутки;

- мера активности μ — может быть рассчитана с любым из указанных интервалов усреднения;
- активность по комплексу обсерваторий — рассчитывается с тем же интервалом усреднения, что и используемый индикатор активности для одной обсерватории.

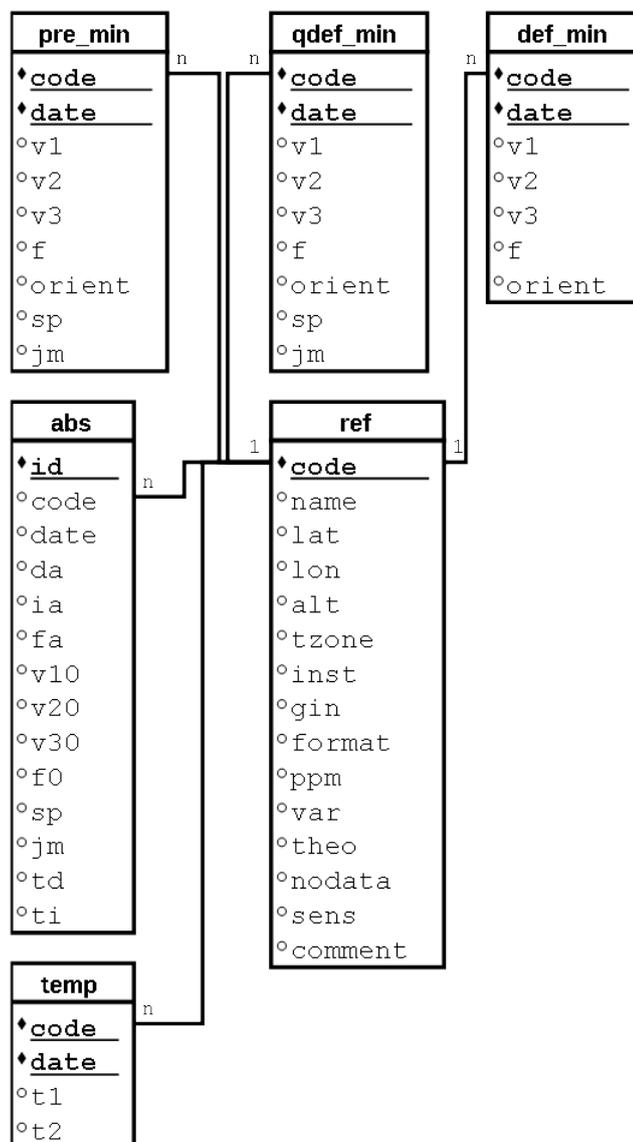


Рисунок 5 — Схема таблиц для хранения данных измерений компонент магнитного поля Земли. В таблицах pre_min, qdef_min и def_min хранятся минутные предварительные, квазиокончателные и окончательные данные соответственно

Таблицы значений индикаторов геомагнитной активности за разные интервалы усреднения имеют одинаковую структуру, поскольку отличаются только интервалами усреднения. Также как и для данных измерений компонент магнитного поля Земли, значения всех индикаторов удобно хранить в одной таблице, в которой есть поле с типом индикатора. Структура таблицы для хранения значений индикаторов геомагнитной активности за один период усреднения содержит следующие поля: code — IAGA-код обсерватории, при этом для индикаторов по комплексу обсерваторий указывается значение «GL» (от “global” — глобальные) и «RU» для индикаторов,

рассчитываемых по данными российских обсерваторий; date — время и дата; ind_type — уникальный идентификатор индикатора; value — значение индикатора. Первичный ключ таблицы образуют поля code, date и ind_type.

Помимо таблицы со значениями индикаторов также необходимы таблица с описанием индикаторов и таблица с описанием шкал активности. В таблице с описанием индикаторов хранится краткое описание каждого типа индикаторов. Она имеет следующие поля: ind_type — уникальный идентификатор индикатора; extremal_grade — экстремальное значение индикатора в баллах по шкале активности; desc — описание типа индикатора. Первичным ключом таблицы является поле с типом индикатора ind_type.

В таблице с описанием шкал для каждого из индикаторов необходимо хранить все возможные баллы по шкале с указанием минимального и максимального значения индикатора, соответствующего баллу. Такая таблица содержит следующие поля: code — код обсерватории; ind_type — уникальный идентификатор индикатора; grade — количество баллов по шкале; min_value — минимальное значение индикатора, соответствующее баллу; max_value — максимальное значение индикатора, соответствующее баллу; desc — текстовое описание данного балла. Первичный индекс таблицы составляют поля code, ind_type и grade. Не обязательным является указание одного из граничных значений баллов по шкале (min_value и max_value).

Общая схема хранения информации об индикаторах геомагнитной активности в БД представлена на Рисунке 6.

В таблицах ind_min, ind_hour, ind_3hour, ind_day хранятся значения индикаторов с интервалами усреднения минута, час, 3 часа и сутки соответственно. Подобная схема хранения информации об индикаторах позволяет по мере необходимости легко расширять список используемых индикаторов геомагнитной активности. Достаточно добавить описание индикатора в таблицу ind_types, описание используемой для индикатора шкалы в таблицу grades и значения индикатора в таблицы с интервалами усреднения, для которых рассчитывается индикатор.

5.3 Общая схема базы данных и выделение экстремальных геомагнитных природных явлений по значениям индикаторов геомагнитной активности

На Рисунке 7 представлена общая схема БД, полученная путем объединения схем хранения исходных данных и индикаторов геомагнитной активности.

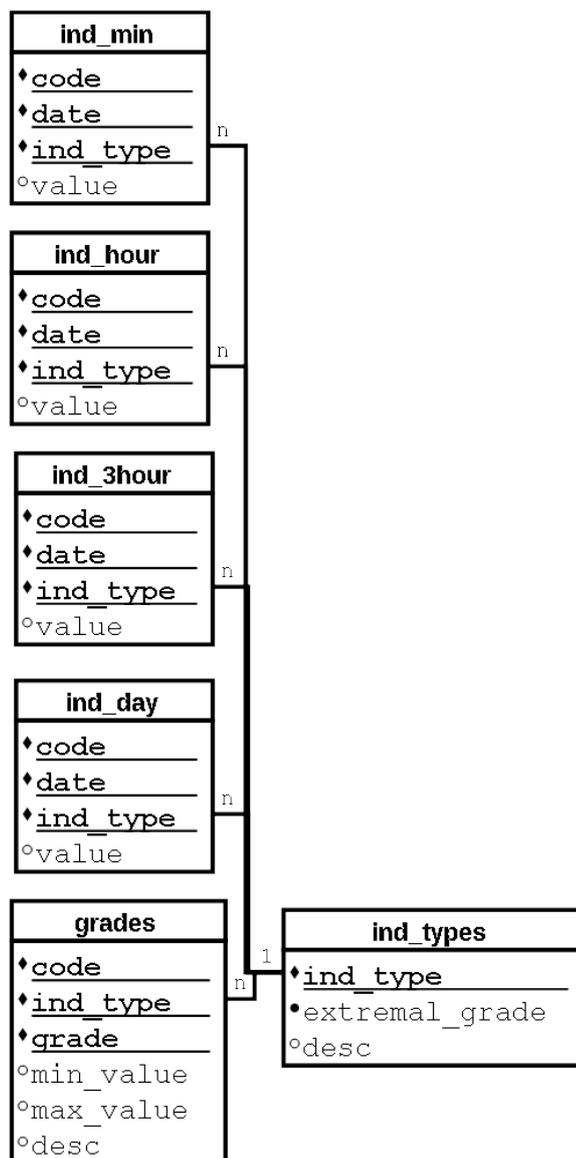


Рисунок 6 — Схема таблиц для хранения информации об индикаторах геомагнитной активности

Экстремальные геомагнитные природные явления выделяются на основании значений индикаторов геомагнитной активности по заданным критериям. Примеры таких критериев описаны в п. 5.4. Критерий может быть основан на значении нескольких индикаторов геомагнитной активности. При этом пользователю системы предоставляется возможность выбрать, на основании каких индикаторов геомагнитной активности будут определяться экстремальные геомагнитные природные явления. Для каждого индикатора в поле `extremal_grade` таблицы `ind_types` указано, начиная с какого количества баллов значения индикатора считаются экстремальными. Сами экстремальные значения индикатора определяются по таблице `grades`, в которой хранится соответствие баллов по шкале активности и значений индикатора для каждой обсерватории. Это позволяет использовать разные шкалы активности для разных обсерваторий. Промежуток времени определяется как экстремальный, если на нем значение хотя бы одного из индикаторов, входящих в критерий, является экстремальным.

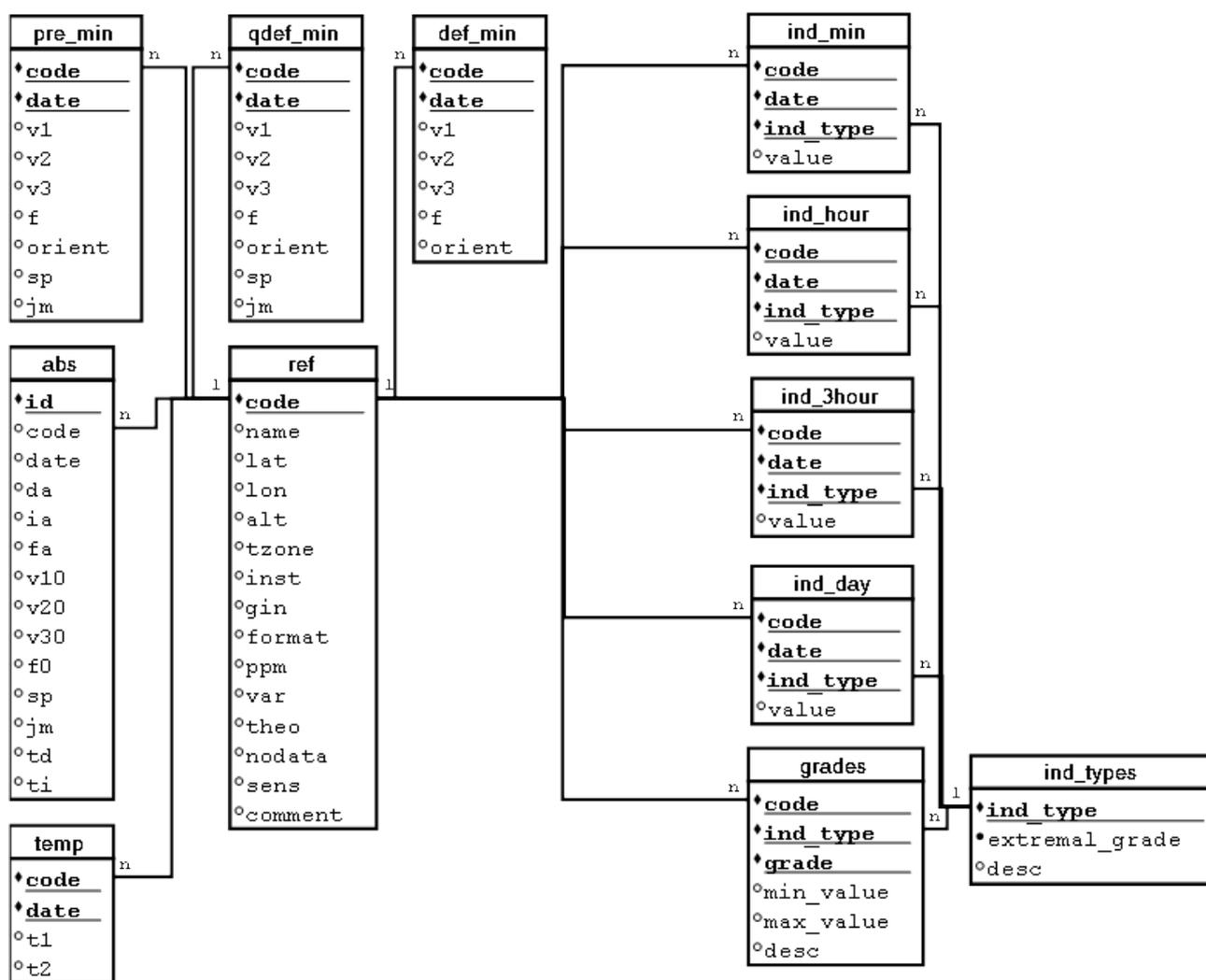


Рисунок 7 — Общая схема базы данных

5.4 Примеры критериев экстремальности геомагнитных природных явлений

Обобщая подходы к классификации геомагнитных данных с целью выявления экстремальных событий и оценки их интенсивности, можно сформулировать следующие критерии для определения «экстремального геомагнитного явления».

Для выявления экстремального поведения внутреннего (главного) геомагнитного поля необходимо проследивать изменение вековых вариаций и производить их сравнение с глобальными моделями, построенными на базе современных спутниковых данных.

Экстремальные явления внешнего геомагнитного поля выделяются на основании значений индикаторов геомагнитной активности. К ним относятся традиционные индексы геомагнитной активности, для обсерваторий это в первую очередь трехчасовой K-индекс, а также планетарный Kp-индекс. Экстремальные события выделяются по значениям индексов 8 и 9. По широко применяемой пятибалльной шкале интенсивности возмущений экстремальными геомагнитными событиями считаются события баллов 4 и 5. Новым индикатором геомагнитной активности

является рассчитываемый в реальном времени и автоматическом режиме параметр «мера аномальности (активности)» [Agayan, 2016]. Этот индикатор изменяется по непрерывной шкале $[-1, 1]$ или по дискретной 3- или 5-балльной шкале. Экстремальными считаются значения индикатора более 0,7 или балл 3 (5). Еще одним новым индикатором являются квантильные характеристики, применяемые к рядам измерений. При таком статистическом подходе соответствующее значение магнитного элемента считается экстремальным, если текущий квантильный показатель превосходит критическое значение. В разряд экстремальных попадает порядка 5% значений.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 20886–85 Организация данных в системах обработки данных (Издание с изменениями, утв. в 1988 и 1990 гг.).
2. Красноперов, Р. И., Р. В. Сидоров, А. А. Соловьев (ред.) (2016) Инструкция по выполнению абсолютных измерений феррозондовым деклинометром/инклинометром. Исследования по геоинформатике, 4(1): BS038, <https://doi.org/10.2205/2016BS038>
3. Agayan, S., S. bogoutdinov, A. Soloviev, R. Sidorov (2016). The Study of Time Series Using the DMA Methods and Geophysical Applications. Data Science Journal, 15(16). <https://doi.org/10.5334/dsj-2016-016>
4. Bureau Central de Magnetisme Terrestre, <http://www.bcmt.fr>, 2015
5. CDF home page, <http://cdf.gsfc.nasa.gov/>, 2015
6. Gvishiani, A., A. Soloviev, R. Krasnoperov, R. Lukianova (2016) Automated Hardware and Software System for Monitoring the Earth's Magnetic Environment. Data Science Journal, 15(18). <https://doi.org/10.5334/dsj-2016-018>
7. Haagmans, R., R. Bock and H. Rider (2013) Swarm: ESA's magnetic field mission. In: Fletcher, K. (prod. ed.) ESA communications, BR-302, September 2013, 2nd edn. ISBN 978-92-9221-067-0
8. Hilla, S. (2010) The Extended Standard Product 3 Orbit Format (SP3-c), <https://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/sp3c.txt>
9. INTERMAGNET Home page, <http://www.intermagnet.org>
10. INTERMAGNET List of IMO's and responsible GINs, <http://intermagnet.org/imos/imotblobs-eng.php>
11. INTERMAGNET (2012) technical reference manual. Version 4.6 / Edited by S.-L. Benoît. Edinburgh: INTERMAGNET, BGS. 2012. 100 p.
12. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, <http://www.iaga-aiga.org/>
13. Jankowsky, J. and C. Sucksdorff (1996) Guide for magnetic measurements and observatory practice. Warsaw: IAGA. 238 p.
14. Love, J. J. (2008) Magnetic monitoring of Earth and space. Physics Today, 61(2): 31–37. <https://doi.org/10.1063/1.2883907>
15. MinGeo Ltd. (2016) The magnetic data collection platform with Maglin, the acquisition software. Available at: <http://www.mingeo.com/prod-magrec4b.html>

16. *Newitt, L. R., C. E. Barton, and J. Bitterly* (1996) Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. Boulder, CO: International Association of Geomagnetism and Aeronomy. 129 p.
17. *Olsen, N. et al.* (2013) The Swarm satellite constellation application and research facility (SCARF) and Swarm data products. *Earth, Planets and Space*, 65(11): 1189–1200. <https://doi.org/10.5047/eps.2013.07.001>
18. *Rasson, J.* (2007) Observatories, instrumentation In: Gubbins, D. and Herrero-Bervera, E. (eds.) *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. New York: Springer. pp. 711–713.
19. *Rasson, J. L.* (2005) About Absolute Geomagnetic Measurements in the Observatory and in the Field. In: Malcorps, D. H. (ed.) *Publication Scientifique et Technique No. 040*. Brussels: L'Institut royal meteorologique de Belgique. 43 p.
20. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format. Version 3.00, <http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex300.pdf>, 2007
21. Russian-Ukrainian Geomagnetic Data Center. Home page: <http://geomag.gcras.ru/>
22. Swarm PDGS Data Access User Manual. European Space Agency, 2014
23. WDC for Geomagnetism (Kyoto), <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>, 2015