

УДК 550.38

СТАНЦИЯ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ» В СЕТИ УКРАИНСКИХ МАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ INTERMAGNET

Г.В. Мельник, В.Г. Бахмутов

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 03680, Киев-142, пр. Палладина, 32

Реферат. Приведены сведения об аппаратурном и программном обеспечении украинских магнитных обсерваторий, входящих в INTERMAGNET. Показано, что обсерватория Академик Вернадский является как наиболее оснащенной современной аппаратурой, так и наиболее высококачественной с точки зрения предоставления конечной информации.

Станція «Академік Вернадський» у мережі українських магнітних обсерваторій INTERMAGNET. Г.В. Мельник, В.Г. Бахмутов.

Реферат. Наведено відомості про апаратурне й програмне забезпечення українських магнітних обсерваторій, що входять в INTERMAGNET. Показано, що обсерваторія Академік Вернадський є як найбільш оснащеною сучасною апаратурою, так і найбільш високоякісною з огляду надання кінцевої інформації.

The «Academic Vernadskiy» station in the network of the Ukrainian magnetic observatories of INTERMAGNET. G.V. Melnyk, V.G. Bakhmutov.

Abstract. Information about the equipment and software support of the Ukrainian magnetic observatories of INTERMAGNET is presented. It is shown, that the observatory «Academic Vernadskiy» has the most modern equipment and the high-quality presentation of the final information.

Введение

Первые сведения о вариациях магнитного поля были известны еще в начале 17-го века. С тех пор они постоянно дополнялись и обретали все большую значимость с развитием мореплавания, но особенно – авиации. Новые возможности изучения геомагнитного поля появились с началом запусков космических ракет и спутников Земли. По мере развития спутниковых наблюдений интерес к наземным данным заметно сократился. При исследованиях свойств космической среды акцент в изучении магнитного поля Земли сместился к изучению его вариаций, являющихся индикатором воздействия солнечной активности на околоземное космическое пространство. В качестве наблюдательной основы земного магнетизма в настоящее время служат специальные спутники и глобальная сеть магнитных обсерваторий. Сами наблюдения в магнитных обсерваториях сохранили и свое значение как реперные точки для исследования постоянной и переменной частей магнитного поля Земли. Они были и остаются самым точным, достоверным и надежным источником информации о динамике магнитного поля Земли. За более чем 100-летний период исследований вариаций элементов геомагнитного поля (по данным фотозаписей) было сделано много научных открытий.

В последние десятилетия большинство обсерваторий перешло на цифровую систему получения и обработки данных, при которой основной продукцией являются ежесуточные файлы минутных значений вариаций магнитного поля с привязкой данных к абсолютным наблюдениям. Внедрение новых цифровых технологий позволило повысить точность измерений и автоматизировать процесс получения и обработки информации.

Если несколько десятилетий назад погрешность измерений элементов геомагнитного поля допускалась в пределах 5–10 нТл, то сейчас перед магнитными обсерваториями стоит задача обеспечения погрешности наблюдений 0,1 нТл и ниже. Следовательно, максимально возможная точность измерений геомагнитного поля является главной целью каждой магнитной обсерватории. Второй важной задачей обсерваторий является обеспечение непрерывности регистрации. Пропуски в данных являются безвозвратными и могут привести к потере особо важной информации о геофизических явлениях, в том числе предшествующих техногенным катастрофам. Обсерватории являются источником оперативной информации о состоянии геомагнитного поля, которая необходима в различных областях науки, при проведении геологических изысканий, в хозяйственной деятельности ряда предприятий, мониторинге космической погоды и др. Третьей функцией обсерваторий является контроль вековых вариаций магнитного поля Земли с помощью абсолютных наблюдений. Анализ вековых вариаций позволяет создавать теорию внутреннего строения планеты. Координация деятельности мировой сети обсерваторий осуществляется Международной ассоциацией геомагнетизма и аэронавтики IAGA, которая входит в состав Международного геодезического и геофизического союза IUGG.

На сегодня крупнейшей международной сетью геомагнитных обсерваторий является INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network). Она объединяет обсерватории, которые приняли современные стандарты спецификаций измерительной аппаратуры и оборудование для регистрации, а также единые форматы данных. Основными целями INTERMAGNET являются расширение глобальной сети магнитных обсерваторий, удовлетворяющих требованиям современной стандартной спецификации, облегчение обмена данными и получение материалов геомагнитных измерений в режиме реального времени (или близком к нему). В настоящее время в рамках INTERMAGNET действуют 106 геомагнитных обсерваторий в 43 странах мира (рис. 1). Данные наблюдений оперативно передаются обсерваториями и институтами, которые принимают участие в программе, на региональные геомагнитные информационные узлы через спутники, компьютерные или другие сети. Доступ к данным научного сообщества открыт через носители (ежегодные CD-диски) и сеть INTERMAGNET.

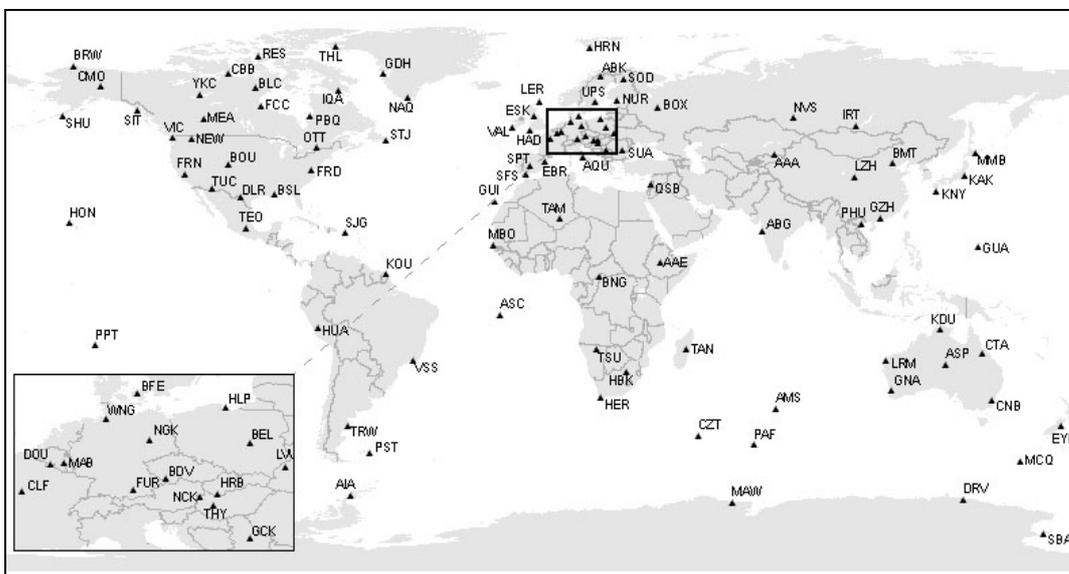


Рис. 1. Схема расположения обсерваторий, входящих в INTERMAGNET по состоянию на начало 2008 г.

В соответствии с требованиями протокола INTERMAGNET запись компонент поля геомагнитного поля должна удовлетворять следующим основным требованиям: точность измерений не более 0,1 нТл, дискретность записи не более 5 с, передача предварительных результатов среднeminутных значений в INTERMAGNET в течение 72 часов.

Украинские магнитные обсерватории в сети INTERMAGNET

На сегодняшний день из четырех украинских магнитных обсерваторий три (Киев – KIV, Львов – LVV и Аргентинские острова, станция «Академик Вернадский» – AIA) имеют необходимую современную цифровую аппаратуру и средства коммуникации для работы в сети INTERMAGNET(таблица).

Таблица

Украинские магнитные обсерватории сети INTERMAGNET

Обсерватория/ код JAGA	Киев (Дымер) KIV	Аргентинские острова AIA	Львов (Ивано- Франково) LVV
Координаты (широта/долгота)	50.72N/30.3E	65.25S/64.27W	49.9N/23.74E
Инструменты для абсолютных измерений	QHM-магнитометр, DI-флюкс магнитометр, протонный магнитометр MMP- 203	ТЕО020В с датчиком MAG01H, протонный магнитометр PMP-8	Магнитный теодолит Cooke and sons Ltd, QHM-магнитометр, DI-флюкс магнитометр, протонный магнито- метр MMP-203
Основной магнитометр	LEMI 008	LEMI 008	Торсионный фотоэлектрический магнитометр ТРМ на основе вариометра Боброва
Ориентировка датчиков	XYZ	XYZ, HDZ	XYZ
Динамический диапазон измерений (нТл)	5000	5000	800
Дискретность измерений (сек)	1	1	5
Фильтрация	5 и 19 точечный фильтр Гаусса	5 и 19 точечный фильтр Гаусса	19 точечный фильтр Гаусса
Дублирующий магнитометр(ы)	LEMI 008	LEMI 008, Fluxgate EDA	Вариометр Боброва
К-индексы 0-9		500 нТл	550 нТл
Начало работы по протоколу INTERMAGNET	2003	2002	2003

Магнитная обсерватория Киев (Дымер) с мая 2003 года начала работать в тестовом режиме INTERMAGNET. В это же время при содействии Института геофизики Польской академии наук (г. Варшава) другая украинская магнитная обсерватория – Ивано-Франково – была оснащена новой аппаратурой и также начала работать по протоколу INTERMAGNET. На протяжении 1998–2003 гг. украинская антарктическая станция Академик Вернадский (магнитная обсерватория Аргентинские острова) была переоснащена современной

аппаратурой, что также позволило перейти на режим работы станции по протоколу INTERMAGNET.

Отдельно следует отметить обсерваторию AIA, которую по всем параметрам можно выделить как и наиболее оснащенную современной аппаратурой, так и наиболее высококачественную с точки зрения предоставления конечной информации. Особой похвалы заслуживают основные регистрирующие магнитометры (вариометры) LEMI 008 производства Львовского центра Института космических исследований, которые по праву можно считать одними из лучших образцов подобной аппаратуры в мире.

Осенью 2000 г. между BGS (British Geological Survey) и ЛЦ ИКД (Львовский центр, Институт Космических Исследований) было достигнуто соглашение о предоставлении обсерватории AIA аппаратуры спутниковой передачи магнитометрических данных. На станцию было поставлено оборудование «3455A GIM (SYNERGETICS INTERNATIONAL)» с передающей антенной, налажена связь в высокочастотном диапазоне (на частоте 401,74 МГц) через геостационарный спутник GOES-E. 10-ваттный передатчик «3421A GOES TRANSMITTER» с цифровой настройкой частоты работает в разрешенном 27-м канале связи. С 11 февраля 2001 года ведется постоянная передача среднeminутных данных вариометра LEMI008 №16. После обработки данные накапливаются на FTP-сервере в информационном центре Канады ([URL:ftp://www.geolab.nrcan.gc.ca/intermagnet/im_arch_01/](ftp://www.geolab.nrcan.gc.ca/intermagnet/im_arch_01/)). Возможен доступ к предварительным данным обсерватории в квазиреальном времени на сайте INTERMAGNET <http://www.intermagnet.org/>, где они представлены в графическом (рис. 2) или числовом виде. Окончательные данные обсерватории представлены на сайте и на финальном диске INTERMAGNET, который выпускается ежегодно Мировым Центром Данных.

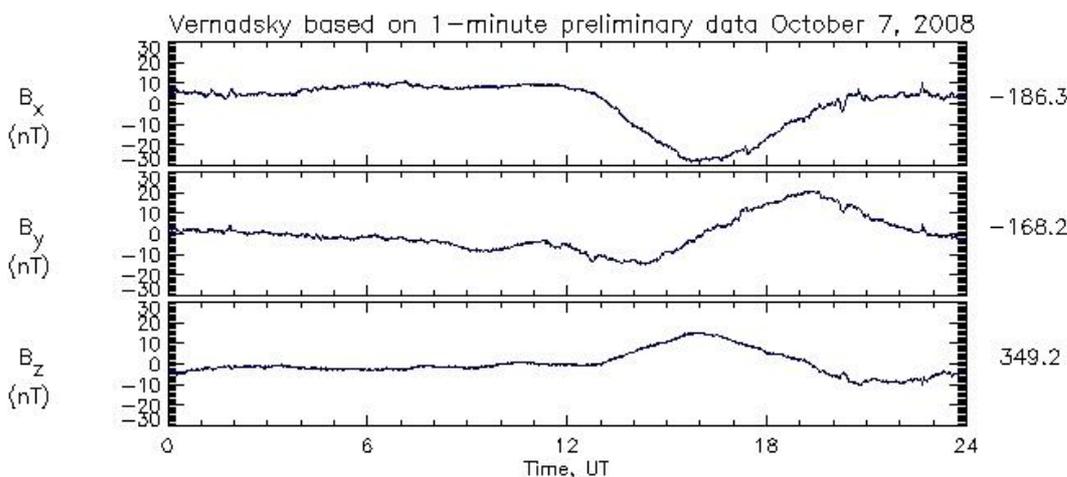


Рис. 2. Магнитограмма предварительных данных обсерватории AIA в INTERMAGNET.

Схема обработки данных (на примере обсерватории AIA)

Основные этапы подготовки данных, в соответствии с рекомендациями (Jankowski and Sucksdorff, 1996), кратко сводятся к следующему:

1. Фильтрация и сохранение данных.
2. Визуализация.
3. Коррекция времени (автоматическая или ручная).
4. Проведение абсолютных измерений и построение базисных линии (предварительных) для каждой из компонент.

5. Коррекция ориентации датчиков.

Вышеперечисленные пять пунктов выполняются непосредственно геофизиком на обсерватории, остальные пункты выполняются специалистами по обработке магнитометрических данных и сводятся к следующему:

6. Введение температурных коэффициентов (производится при отклонении температуры в вариометрическом павильоне более чем на 2 градуса от автоматически поддерживаемой температуры в павильонах на уровне +4°C).

7. Осреднение – исходные данные приводятся к средним одноминутным значениям с использованием разных фильтров: рекомендуется использование фильтра Гаусса.

8. Приведение массива данных к абсолютным значениям базисных линий. Расчет базовых линий по данным абсолютных измерений проводится вручную, визуальным способом, является одной из наиболее ответственных процедур и во многом зависит от опыта оператора. Результаты по каждой из компонент пересчитываются в абсолютные величины. При обработке используется любой стандартный пакет для работы с числовым массивом, например, EXCEL.

9. Удаление помех: а) связанных с определением цены деления прибора; б) аппаратных выбросов; в) распознаваемых помех от внешних источников. Удаление помех, которые могут быть обусловлены разными факторами, является наиболее трудоемкой операцией, которая проводится как автоматически, так и вручную. При этом обработка вручную считается более корректной операцией, поскольку сводит к минимуму возможность потери информации, которая при автоматической обработке может распознаваться программой как помеха. Процедура сводится к визуализации данных и распознаванию разного рода помех с последующей корректировкой, исправлением, интерполяцией либо удалением числовых значений. При этом проводят сравнение данных с дублирующей аналоговой записью (п. 10) и при возможности заполняют пропуски.

10. Заполнение пропущенных результатов по данным дублирующей аппаратуры.

11. Распечатка данных в виде графического материала (ежедневных магнитограмм трех компонент поля с базовыми линиями, приведенными к абсолютным значениям).

12. Форматирование данных (приведение к единому формату) – итоговый числовой массив X, Y и Z компонент поля, приведенный к абсолютным значениям, представляется в виде файлов ежедневных средних одноминутных значений отдельно для каждой из компонент, в формате INTERMAGNET. Каждый файл включает 1440 средних одноминутных данных по каждой из компонент. Такое представление материала позволяет обеспечить доступ к материалу через любой стандартный графический пакет.

Подготовка и архивация материалов

Магнитная обсерватория должна иметь специализированные программы для определения *K*-индексов, создания и обработки средниминутных, среднечасовых и среднемесячных данных. Потребителей геомагнитной информации часто не интересуют детали процессов, происходящих в магнитном поле Земли. Во многих случаях достаточно знать меру магнитной активности на каждый день. Наиболее популярным стал трехчасовой *K*-индекс, который был принят в 1939 г. К «*K*-вариациям» относятся иррегулярные вариации, бухтообразные возмущения, повышенная солнечно-суточная вариация возмущенных периодов. Диапазон в нТл десятибалльной квазилогарифмической шкалы *K*-индексов зависит от широты расположения магнитной обсерватории. Наибольшему баллу *K* = 9 шкалы индексов присваивается максимальная амплитуда вариаций во время очень большой мировой магнитной бури. Современные программы расчета *K*-индексов работают с суточными средниминутными значениями.

Информацию по состоянию геомагнитного поля Земли обсерватории готовят на основе минутных данных вариационных станций. Ошибки в определении базисных уровней напрямую вносятся во все выходные данные (кроме данных по *K*-индексам). Поэтому, как

уже отмечалось, вывод базисных уровней по результатам абсолютных наблюдений является одним из самых ответственных этапов в обсерваторских наблюдениях. Программы разрабатываются под оборудование конкретной обсерватории.

На рис. 3 приведены базисные линии, рассчитанные по данным абсолютных значений для вариометра LEMI08-N2 обсерватории AIA за период 2004–2006 гг. Линейный тренд базисных линий составляет по H-компоненте 1 2нТл, по D-компоненте 0,2 минуты, по Z-компоненте около 1нТл, что свидетельствует о высоком качестве данных и хорошей работе измерительной аппаратуры. В то же время очевидны сезонные флуктуации, причина которых выясняется.

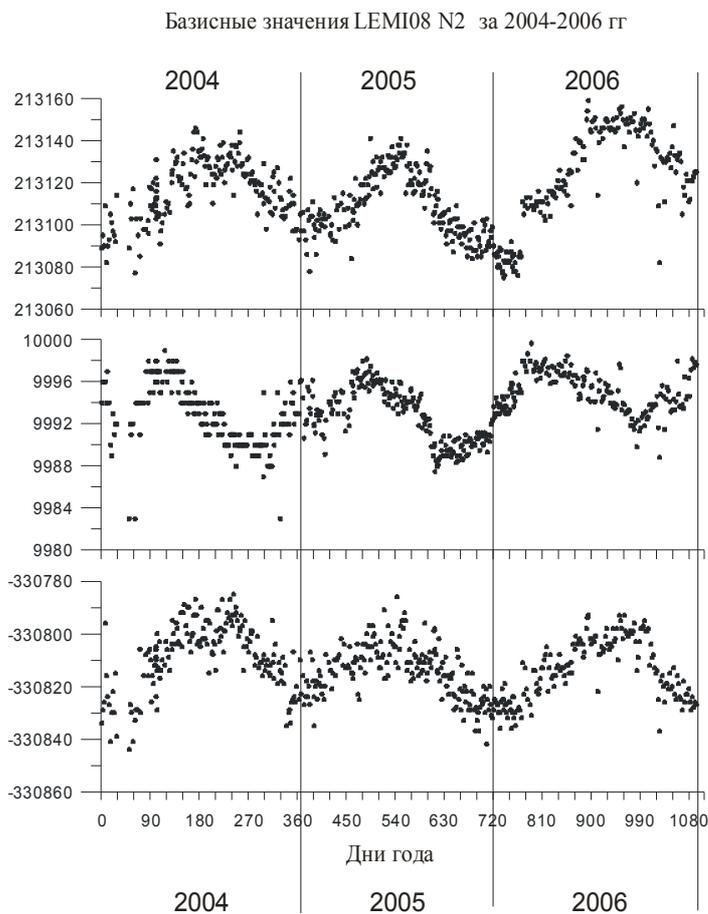


Рис. 3. Базисные линии для вариометра LEMI08-N2 обсерватории AIA за период 2004–2006 гг.

О качестве работы магнитной обсерватории можно судить по анализу среднегодовых значений компонент геомагнитного поля за длительный промежуток времени. На рис. 4 представлен график изменения среднемесячных значений компонент поля обсерватории AIA за 1996–2007 гг., который отражает вековой ход геомагнитного поля в районе Западной Антарктики. Очевидно, что на фоне незначительных флуктуаций среднемесячных значений в течение года (особенно в H-компоненте), которые связаны с сезонными вариациями, общие закономерности изменения компонент поля четко прослеживаются, что свидетельствует о надежности работы аппаратуры и достоверности полученных результатов.

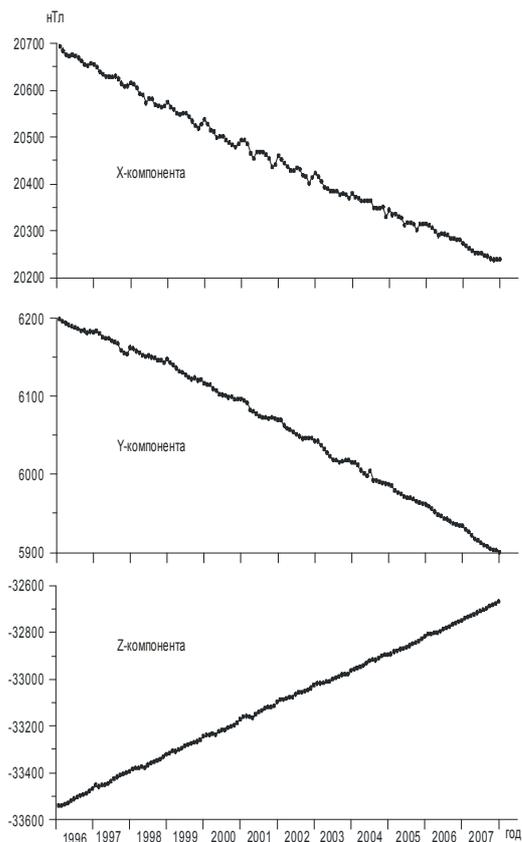


Рис. 4. Изменение среднемесячных компонент геомагнитного поля за период 1996–2004 гг. по данным магнитной обсерватории Аргентинские острова (AIA).

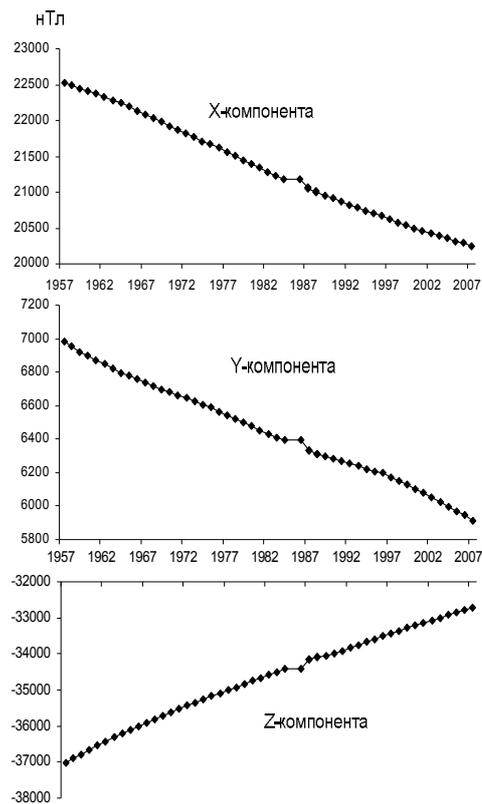


Рис. 5. Изменение среднегодовых компонент геомагнитного поля за период 1955–2007 гг. по данным магнитной обсерватории Академик Вернадский.

Если проанализировать вековой ход за период 1955–2007 гг. (рис. 5), очевидно, что общие закономерности изменения поля в этом секторе Антарктики – плавное уменьшение всех трех компонент поля (с учетом обратного знака Z -компоненты) прослеживаются на протяжении более 50 лет, а общее уменьшение напряженности поля F за период 1957–2007гг. составляет 4296 нТл.

Во времена записи аналоговой записи данных на фотобумагу все материалы магнитной обсерватории оформлялись исключительно на бумажных носителях, и был четкий порядок их хранения. При надлежащем отношении персонала обсерватории к архивному делу бумажные носители действительно могли сохраняться вечно. В то же время опыт показывает, что на многих обсерваториях утеряны первичные материалы по магнитной съемке территории, примененным строительным материалам, астрономическим наблюдениям мира и др. Переход к цифровым методам получения и обработки данных создал новую архивную систему. Бумажный носитель сейчас воспринимается как анахронизм. Но цифровая техника стремительно изменяется, меняются языки программного обеспечения. Еще недавно массивы цифровых данных многих обсерваторий сохранялись на магнитных лентах и перфолентах, которые сейчас уже практически недоступны чтению. В результате этого много ценной информации было потеряно уже за последние десятилетия.

С развитием МЦД и усовершенствованием форматов данных в настоящее время информация, которая поступает в МЦД, гарантированно сохраняется и является доступной для широкого круга пользователей. Ежегодные CD-диски данных сети обсерваторий INTERMAGNET также доступны и представляют окончательные данные в едином формате, что делает их доступными (с использованием специального программного обеспечения) и затребованными специалистами из области разных геофизических дисциплин. Сохранение оригинального фактического материала остается проблемой каждой обсерватории, но при современном развитии компьютерной техники это не составляет проблем. Магнитная обсерватория должна быть оснащена персональным компьютером с лазерным записывающим накопителем CD и цветным принтером. В архивном помещении обсерватории необходимо иметь металлический сейф с отделениями по годам для хранения оригинальных дисков CD. В любом случае архивные материалы должны сопровождаться текстовой информацией о примененных форматах и структуре записи данных. Эта мера связана с возможным в будущем изменением форматов файлов и языка программного обеспечения. Задача состоит в том, чтобы обеспечить возможность чтения архивных материалов и через 50, и через 100 лет. Файлы итоговых годовых материалов, предназначенные для отправки в МЦД, после окончательной редакции должны храниться на отдельном компакт-диске.

Заключение

До недавнего времени страны бывшего СССР оставались «белым пятном» в смысле их покрытия системой станций INTERMAGNET. Хотя до сих пор подавляющее большинство магнитных обсерваторий этих стран проводит регистрацию как в цифровой, так и в аналоговой форме (на фотобумагу), с 2005 года три магнитные обсерватории на территории России (Борок, Иркутск и Новосибирск) и одна в Казахстане (Алма-Ата) начали работать в рамках протокола INTERMAGNET. В этом отношении Украина занимает лидирующее положение. Из четырех украинских магнитных обсерваторий три (Киев – KIV, Львов – LVV и Аргентинские острова – AIA) имеют необходимую современную цифровую аппаратуру и средства коммуникации для работы в сети INTERMAGNET. На очереди обсерватория Одесса (ODE, 46,78N/30,88E), переоснащение которой планируется в ближайшее время. А в связи с крайней неравномерностью распределения магнитных обсерваторий на Земном шаре и совершенно недостаточным их количеством в Южном полушарии научную значимость данных обсерватории Аргентинские острова AIA, имеющей достаточно длинный ряд наблюдений и уникальное географическое положение (Salino, 1985; Bakhmutov, 1997), трудно переоценить.

Литература

Jankowsky J., Suckdorff C. Guide for magnetic measurements and observatory practice / Warsaw, 1996, 235 p.

Salino P.A. Geomagnetic measurement at Argentine islands 1957 – 1982. / Publ. British Antarctic Survey, 1985, 76 p.

Бахмутов В.Г. Магнитная обсерватория «Аргентинские острова». Станция «Академик Вернадский» // Бюлетень Українського Антарктичного Центру. – Вип.1. – 1997. – С. 20–26.