

Возможности использования старых аналоговых магнитограмм обсерваторий для получения новых данных о вариациях магнитного поля Земли

ХОМУТОВ С. Ю., ХОМУТОВА И. Н.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с.
Паратунка, Камчатский край, Россия
e-mail: Khomutov@ikir.ru

Аналоговые магнитограммы являются практически единственным источником информации об изменении магнитного поля Земли в эпоху до-цифровых измерений. Эти магнитограммы, в соответствии со стандартами IAGA, использовались на обсерваториях для получения среднечасовых значений полного вектора магнитной индукции, доступных через систему Мировых центров данных. Однако, магнитограммы содержат больше информации, чем имеется в МЦД, например о быстрых вариациях. Кроме того, во многих случаях по ряду причин (проблемы с обработкой, передачей, организационные и т.п.) в МЦД не представлены стандартные часовые данные, и архивы магнитограмм, имеющиеся на обсерваториях, остаются единственной возможностью восполнить эти пробелы в многолетних рядах.

Международными и отечественными научными организациями и фондами были реализованы проекты по сохранению старых аналоговых магнитограмм - получение цифровых графических образов с требуемым разрешением и масштабированием, сопровождающихся необходимой дополнительной информацией (коэффициенты чувствительности, базисные значения и т.п.). Подобный проект по сохранению архива магнитограмм обсерватории "Паратунка" (PET) за 1967-2006 гг. был выполнен в 2014 г. в ИКИР ДВО РАН при поддержке международной программы VarSITI [1]. Полученные графические файлы доступны в МЦД [2].

Заполнение пропусков в старых данных - вторая важная задача. В настоящее время в МЦД (ftp://ftp.nmh.ac.uk/wdc/obsdata/hourval/single_obs/) отсутствуют часовые данные обсерватории PET за 1996-2007 гг. Частично эти данные имеются в базе ИКИР, однако их достоверность требует проверки. Кроме того, с начала 2000-х годов на обсерватории уже проводились измерения с помощью цифровых магнитометров и полученные при выборочной оцифровке данные могут позволить "связать" ряды аналоговых и цифровых магнитных измерений. Поэтому работы, результаты которых представлены ниже, должны дать оценку возможностей метода по точности, достоверности и производительности.

База данных и используемое программное обеспечение

Полученные цифровые образы магнитограммы представляют собой файлы формата TIFF размером А4 и разрешением 300x300 dpi. Обычно магнитограмма представлена тремя образами, с перекрытием около трёх часов записи (см. пример на рис. 1). Оцифровка выполняется с помощью программы WFD [3], позволяющей в автоматическом и ручном (при корректировке) режиме выделять трек требуемой компоненты, маркировать часовые метки и фикс-линии и задавать масштабную метку. Далее программой для каждой минуты вычисляются ординаты трека относительно фикс-линии, пересчитываются в миллиметры и выводятся в файл. Последующая обработка выполняется в среде MATLAB, при необходимости.

Для тестирования были выбраны интервалы за январь 1995 г., для которого в МЦД имеются часовые данные, и март 2001 г., когда на обсерватории работал цифровой магнитометр FRG-601. Оцифровка выполнена четырьмя магнитологами (KAM, IRA, RAY и

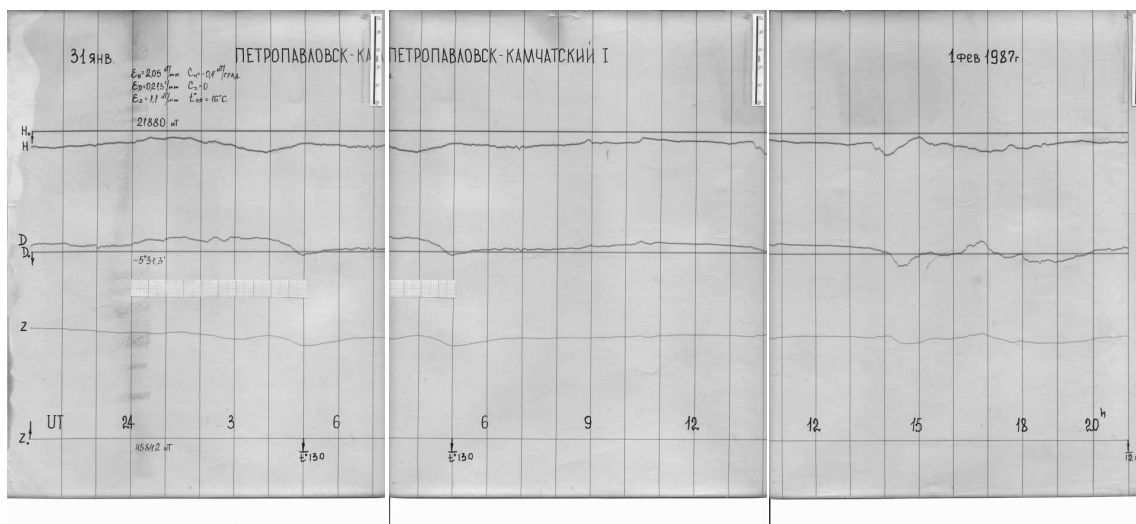


Рис. 1. Пример отсканированной магнитограммы обсерватории "Паратунка" (Петропавловск-Камчатский) за 1 февраля 1987 г. В верхнем правом углу каждого образа находится масштабная линейка (50 мм). Обычно на магнитограмме в начале месяца записывается вспомогательная информация: градуировочные и температурные коэффициенты, базисные значения.

OLG), каждым получены наборы файлов для каждого образа магнитограммы для H-, D- и Z-составляющих (ординаты в миллиметрах для каждой минуты). Основные проблемы, которые возникали при оцифровке: (1) плохое качество магнитограмм (засветка, пожелтение от старости и т. п.), (2) слабые треки, как технические, так и во время возмущений магнитного поля из-за быстрого перемещения блика по фотобумаге, (3) субъективность при коррекции автоматически распознанного трека.

Результаты

1. Результаты оцифровки (минутные ординаты в мм) на перекрывающихся участках графических образов (обычно 3 часа) позволяют оценить качество данных каждого магнитолога индивидуально, в т.ч. смещение по ординате кривых, полученных с соседних образов, а также среднеквадратическое значение (СКО) разности для каждых суток. Статистика по всем магнитологам за январь 1995 г., включая возмущенные дни, показывает, что смещения лежат в пределах 0.2-0.4 мм, СКО – в пределах 0.2-0.6 мм. С учетом градуировочных коэффициентов (1-2 нТл/мм в зависимости от составляющей), можно оценить ожидаемые случайные ошибки для H,D,Z $\pm(0.4 \text{ нТл}, 0.04', 0.2 \text{ нТл})$ и $\pm(2 \text{ нТл}, 0.2', 1 \text{ нТл})$, соответственно для спокойного и возмущенного поля. Отметим, что только на данном этапе возможен более-менее эффективная проверка достоверности оцифровки, если отсутствуют возможности внешнего контроля.

2. Для сравнения ординат разных обработчиков между собой при отсутствии точных данных о естественных вариациях поля, для каждой компоненты были получены "эталонные" кривые как средние по результатам четырех магнитологов (интервалы с сильными индивидуальными отклонениями были исключены). Разности между исходными ординатами и средней вариацией использовались для оценки качества оцифровки; результаты для H-составляющей представлены на рис. 2 (левая панель). Средние и средние квадратические значения разностей за весь период представлены в табл.1. Как видно по рис. 2 и табл.1 существуют заметные отклонения в индивидуальных данных, достигающие при возмущенном поле 1-2 мм, т. е. первые нТл (в единицах поля). Основная причина — субъек-

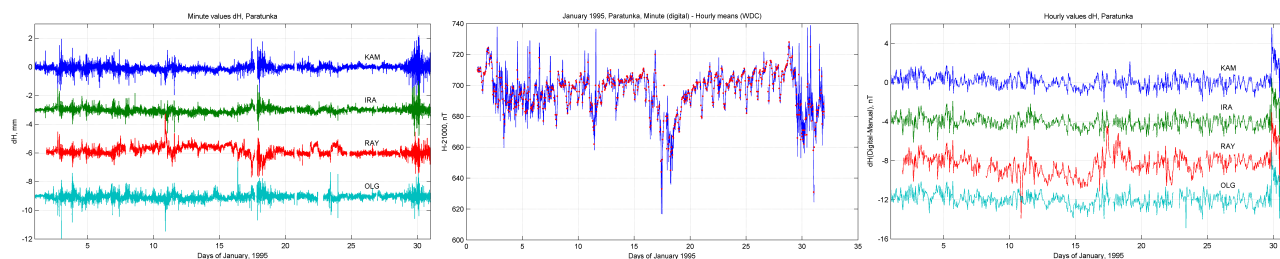


Рис. 2. Оценка качества оцифровки по магнитограммам за январь 1995 г. Левая панель — ординаты dH (в мм) после исключения естественных вариаций поля (кривые смещены для наглядности). Средняя панель — полное значение H-составляющей (в нТл, оцифровка - КАМ) и среднечасовые значения H по данным из МЦД (точки). Правая панель — разности среднечасовых значений H, посчитанных по результатам оцифровки и полученных из МЦД (кривые смещены для наглядности).

активность при выборе степени сглаживания в автоматическом режиме выделения трека и при его ручной коррекции при быстрых вариациях поля.

Таблица 1. Средние и среднеквадратические значения разностей минутных ординат ("мм") и часовых данных ("нТл", "угл.мин") за январь 1995 г.

	КАМ	IRA	RAY	OLG
dH, мм	-0.06 ±0.22	-0.01 ±0.18	+0.14 ±0.30	-0.06 ±0.20
dD, мм	+0.13 ±0.32	+0.16 ±0.27	-0.39 ±0.62	+0.09 ±0.34
dZ, мм	-0.01 ±0.13	-0.00 ±0.11	+0.01 ±0.12	+0.00 ±0.17
dH, нТл	+0.11 ±0.75	-0.00 ±0.85	-0.34 ±1.15	+0.09 ±0.90
dD, угл.мин.	+0.068 ±0.093	+0.062 ±0.102	+0.175 ±0.194	+0.081 ±0.125
dZ, нТл	-0.40 ±0.52	-0.40 ±0.49	-0.39 ±0.51	-0.40 ±0.55

Пример вариации H-составляющей в январе 1995 г. по минутным значениям, полученным при оцифровке, и часовым данным из МЦД (ручная обработка магнитограмм) показан на рис. 2 (средняя панель), разности часовых значений цифровой оцифровки и ручной обработки - на рис.2 (правая панель). Статистика по кривым на правой панели рис. 2 представлена в табл.1. Как видно по графикам и цифрам в таблице, имеется достаточно хорошее согласие между часовыми данными, полученными двумя разными способами. Тем не менее, среднеквадратические значения разности достигают 1 нТл по H и 0.5 нТл по Z, т. е. экстремальные различия возможны до нескольких нТл, в основном, в при возмущениях поля. К сожалению, субъективный фактор при снятии часовых ординат вручную с помощью палетки значительный, несмотря на предполагаемую по правилам проверку "во вторую руку". И в этом смысле, цифровое усреднение минутных ординат представляется более объективным.

4. Чтобы по возможности исключить субъективный фактор при снятии ординат с магнитограмм (вручную или цифровым методом), было выполнено сравнение результатов оцифровки с имеющимися в марте 2001 г. данными японского феррозондового магнитометра FRG-601, установленного на обсерватории по Соглашению с японскими институтом NICT. По исходным данным FRG (1 Гц, H,D,Z-вариации) с помощью гауссовского фильтра (стандарт INTERMAGNET) были получены минутные вариации, по которым вычислены полные компоненты (базисные значения использовались приближенные и постоянные для всего месяца). По минутным ординатам, полученным при оцифровке, как и ранее, были вычислены полные значения составляющих, которые сравнивались с данными цифрового

FRG. Необходимо отметить, что при визуальном сопоставлении был замечен сдвиг кривых, примерно на 2 мин., вероятной причиной которого является ошибка механизма, формирующего часовые метки на магнитограммах. Пример такого сравнения для составляющей Н представлен на рис. 3 (левая панель). Заметны существенные медленные вариации разностей, которые скорее всего связаны либо с температурной зависимостью FGR, если в марте температура в вариационном павильоне менялась, либо с присущей этому магнитометру низкой долговременной стабильностью. После вычитания медленных изменений в разностях, СКО итоговых минутных разностей составляют 1.01 нТл, 0.14' и 0.29 нТл для Н, D, Z, соответственно.

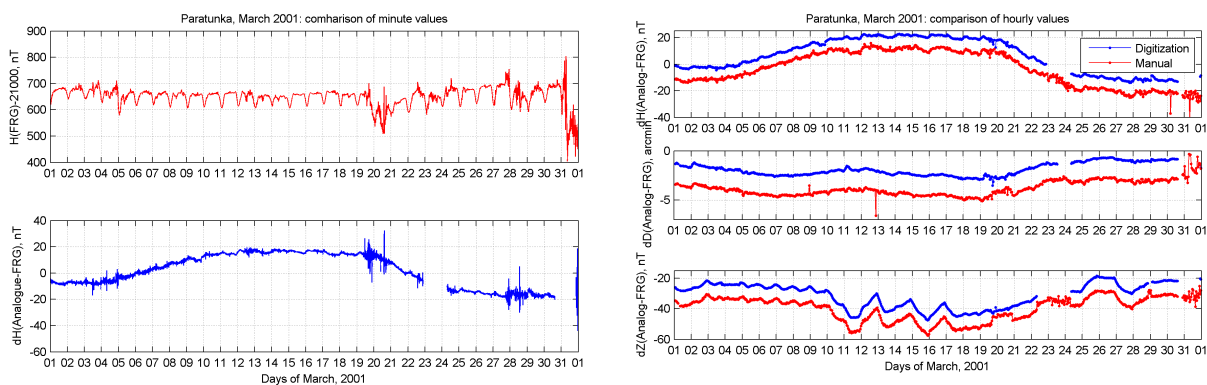


Рис. 3. Сравнение данных, полученных в марте 2001 г. с магнитограмм и с помощью цифрового магнитометра FRG-601. Левая панель — вариации Н-составляющей по данным FRG (вверху) и разность данных по оцифровке (КАМ) и FRG (внизу). Правая панель — среднечасовые данные, снятые с магнитограмм палеткой вручную и при оцифровке, после вычитания вариаций по данным FRG. Кривые для наглядности смещены по вертикали.

Аналогичное сравнение было выполнено для среднечасовых значений, при этом дополнительно использовались данные, полученные при ручной обработке магнитограмм, имеющиеся только в БД ИКИР. Результаты представлены на рис. 3 (правая панель). После исключения медленных вариаций в разностях СКО остаточных кривых dH, dD, dZ составляют 0.50 нТл, 0.062' и 0.44 нТл и 0.96 нТл, 0.130' и 0.62 нТл, для оцифровки и ручной обработки магнитограмм, соответственно (данные ручной обработки при оценке СКО были взяты за те же интервалы, что и данные оцифровки).

Выводы

Результаты цифровой обработки графических образов аналоговых магнитограмм обсерватории "Паратунка" ИКИР ДВО РАН за январь 1995 г. и март 2001 г. показали следующее:

1) минутные данные сопоставимы с данными цифровых магнитометров, однако могут включать случайные субъективные ошибки при выделении треков, достигающие несколько нТл. Важным становится вопрос точности часовых меток на магнитограммах, который при ручной обработке был несущественным. Ошибки могут существенно возрастать при возмущенном поле;

2) среднечасовые значения, вычисленные по оцифрованным минутным ординатам, по точности сопоставимы с данными обсерватории, которые ранее были проверены и отправлены в МЦД (по 1995 г. включительно), и могут быть использованы для заполнения пропусков и пополнения ряда магнитных данных до появления приемлемых результатов измерений цифровыми магнитометрами;

3) полученные при оцифровке данные могут быть использованы для выборочного контроля и коррекции имеющихся в БД ИКИР среднечасовых данных с последующей передачей в МЦД;

4) полученные при оцифровке часовые данные будут полезны для определения или уточнения параметров ранних измерений цифровыми магнитометрами, например, для оценки базисных значений, погрешностей ориентации или температурных зависимостей;

5) минутные магнитные данные, получаемые при оцифровке магнитограмм, могут быть использованы для получения полноценных данных для некоторых важных интервалов; массовая обработка затруднительна из-за невысокой производительности.

Авторы благодарят магнитологов обсерватории "Паратунка" Э.П.Каменских, А.Ф.Райкевич и О.С.Богунову за качественные данные, используемые в настоящей работе, и признательны разработчикам программы WFD за возможность удобной и эффективной оцифровки магнитограмм. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 14-11-00194.

Литература

1. Khomutov S.Y. The creation of the database of images of old analogue magnetograms of Geophysical Observatory "Paratunka Kamchatka, Russia, 1967-2006 // VarSITI Newsletter. - 2014. - Vol.3. - P.7-8
(http://newserver.stil.bas.bg/varsiti/newsL/VarSITI_Newsletter.html – дата обращения 15.10.2015)
2. Цифровые изображения магнитограмм // www.wdcb.ru/stp/magnetogr_list.ru.html
3. Бурцев А., Жижин М. Waveform digitizer, v.2.1 b4. - 2003 г.