
**XVI МЕЖДУНАРОДНОЕ РАБОЧЕЕ СОВЕЩАНИЕ IAGA ПО ИНСТРУМЕНТАМ,
СИСТЕМАМ СБОРА И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ
ГЕОМАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ.
ХАЙДАРАБАД, ИНДИЯ, ОКТЯБРЬ 2014 г. (КРАТКИЙ ОБЗОР)**

**XVI IAGA WORKSHOP ON GEOMAGNETIC OBSERVATORY INSTRUMENTS,
DATA ACQUISITION AND PROCESSING.
HYDERABAD, INDIA, OCTOBER 2014: BRIEF REVIEW**

С.Ю. Хомутов

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Паратунка, Камчатский край, Россия,
hom@ngs.ru, Khomutov@ikir.ru*

S.Y. Khomutov

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS,
Paratunka, Kamchatka, Russia,
hom@ngs.ru, Khomutov@ikir.ru*

Аннотация. Представлен краткий обзор работ XVI Международного совещания МАГА по инструментам и данным магнитных обсерваторий (Хайдарабад, Индия, октябрь 2014 г.). Основное внимание уделено новым магнитным приборам обсерваторий, а также программному обеспечению для практической работы магнитологов и архивным данным. Доклады по новым аппаратурным разработкам показывают тенденцию сохранения в ближайшие годы принятой в INTERMAGNET методики получения данных полного вектора магнитного поля: комбинирование абсолютных (ручных) и вариационных измерений. Отмечается недостаточное внимание к программному обеспечению, необходимому для полной обработки магнитных измерений непосредственно в обсерваториях.

Ключевые слова: магнитная обсерватория, магнитометры, сверка, программное обеспечение, обзор.

Abstract. The brief review of the XVI IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments Data Acquisition and Processing (Hyderabad, India, October 2014) is presented. Much attention is given to new magnetometers and software for practical work of magnetologists as well as to archive data. Reports on new devices point to the tendency that in the near future, the technique for obtaining the total field vector data adopted by INTERMAGNET will remain changeless as the combination of absolute (manual) and variation measurements. Besides, a low interest of the community to software necessary for full processing of magnetic measurements directly in observatories should be also noticed.

Key words: magnetic observatory, magnetometers, comparison, software, review.

ВВЕДЕНИЕ

Международные рабочие совещания «Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing» проводятся под эгидой МАГА каждые два года. Задачами совещаний являются:

- проведение сверок магнитометров, прежде всего абсолютных (инклинометров/деклинометров и скалярных), и обучение магнитологов наблюдениям и обработке (измерительная сессия);
- представление докладов по практике измерений в магнитных обсерваториях, новой аппаратуре, методам обработки и научным приложениям магнитных данных (научная сессия).

В 2014 г. XVI рабочее совещание проводилось на базе магнитных обсерваторий «Хайдарабад» (Hyderabad — HYD), отмечающей 50-летие начала регулярных магнитных измерений, и «Чутуппал» (Choutuppal — CPL) Национального института геофизических исследований (National Geophysical Research Institute — CSIR-NGRI, Хайдарабад) при поддержке Индийского института геомагнетизма (Indian Institute of Geomagnetism, Мумбаи) и МАГА. Сроки

проведения: измерительная сессия — 7–10 октября, научная сессия — 13–16 октября 2014 г.

В работе совещания приняли участие сотрудники магнитных обсерваторий «Патроны» (ИСЗФ СО РАН, Иркутск) и «Паратунка» (ИКИР ДВО РАН, Камчатка), а также сотрудник Геофизического центра РАН (Москва). Из-за сложностей таможенного оформления временного вывоза-ввоза аппаратуры на сверку были привезены только два магнитометра из обсерватории «Патронь». Из СНГ в работе совещания принимали также участие группа магнитологов из обсерватории «Алма-Ата» (Институт ионосферы, Казахстан) с *DI*-магнитометром для сверки и представитель разработчиков магнитометров ЛЕМІ Львовского центра ИКИ (Национальная АН Украины). К началу работы совещания был подготовлен сборник тезисов (в печатном и электронном форматах [XVI IAGA Workshop..., 2014]).

ИЗМЕРЕНИЯ

Абсолютные наблюдения склонения D , наклонения I и модуля поля F выполнялись в обсерватории CPL в 60 км от города. Было оборудовано семь постаментов

(см. рисунок). В измерительной сессии принимали участие 42 наблюдателя на 28 *DI*-магнитометрах (*Diflux*, *DIF*), выполнено более 150 абсолютных определений *D*, *I*. Магнитометры *DIF* из обсерваторий представлены в основном приборами на базе немагнитных теодолитов Zeiss Theo 010B, 015B и 020B, было несколько приборов на базе теодолитов Wild-T1 (Швейцария) и один на базе немагнитной версии российского теодолита ЗТ2КП. Феррозондовые датчики и электроника магнитометров *DIF* были представлены преимущественно компанией Bartington Ltd (Mag-01H), Датским техническим университетом (DTU) Львовским филиалом ИКИ НАН Украины (LEMI). Это стандартные приборы, которые используются и в российских обсерваториях. Основная проблема при *DI*-наблюдениях в Хайдарабате — малое значение магнитного склонения *I* (направление вектора магнитной индукции близко горизонтальному), из-за чего для снятия показаний вертикального круга необходимо было использовать специальные оптические Г-образные насадки на окуляр микроскопа шкал, требуемое количество которых не было подготовлено. Кроме того, были сложности с обработкой результатов наблюдений, поэтому сводная информация к концу совещания была только предварительной, сделать итоговые обобщения по результатам пока не представляется возможным.

Важной задачей совещания было обучение начинающих магнитологов методикам ведения магнитной службы. Было прочитано несколько лекций и проведены практические занятия, в том числе по *DI*-измерениям и астрономическим наблюдениям Солнца.

По результатам измерительной сессии ожидалась оценки систематических погрешностей привезенных на сверку магнитометров с выдачей соответствующих сертификатов для каждого прибора. К сожалению, к окончанию совещания были представлены только оценки погрешностей работы магнитологов по выполненным *DI*-измерениям и выданы персональные сертификаты от оргкомитета.



Павильоны для абсолютных магнитных *DI*-наблюдений во время измерительной сессии совещания. В каждом из павильонов расположены один-два немагнитных постаментов. На переднем плане — павильон с установленным автоматическим *DI*-магнитометром AutoDIF

АППАРАТУРА

Особый интерес представляли новые приборы для абсолютных наблюдений, которые разработчики демонстрировали на измерительной сессии в режиме реальных измерений. К ним можно отнести следующие.

1. Приборы Королевского метеорологического института Бельгии (Royal Meteorological Institute of Belgium), основной разработчик — д-р Жан Рассон (Jean Rasson).

- Автоматическая система AutoDIF для абсолютных определений магнитного склонения и наклона. В приборе используются немагнитные керамические двигатели, обеспечивающие вращение узлов, отсчетные системы вертикального и горизонтального кругов с точностью до $0.1'$, лазерная система ориентации по удаленному реперу для азимутальной коррекции склонения. AutoDIF в течение трех суток работы в штатном режиме показал хорошие результаты, сравнимые с лучшими стандартными *DIF*-приборами на основе немагнитных теодолитов. AutoDIF рассматривается разработчиками как решение проблемы абсолютных наблюдений в обсерваториях, где невозможно обеспечить штат подготовленных магнитологов.

- Стандартный магнитометр *DIF* с очень компактными электронными узлами, полностью размещенными на трубе теодолита, в том числе феррозондовый датчик, его электроника, GPS-приемник, дисплей и батарея питания. Магнитометр имеет название WiDIF, в качестве теодолита используется немагнитный теодолит TDJ6E-nm (цена деления кругов $0.1'$), серийный выпуск которого начал китайской компанией Beijing Bofei Instruments Co, Ltd. WiDIF рассматривается разработчиками как магнитометр для полевых абсолютных измерений *D*, *I*, например, на пунктах векового хода.

- Стандартный магнитометр *DIF* на основе теодолита TDJ6E-nm с развитым сервисом в блоке электроники (встроенный GPS-приемник, связь с компьютером, большой цифровой индикатор).

2. Магнитометр *DIF* венгерской компании MinGeo Ltd., основной разработчик — д-р Ласло Хедьмеги (Laszlo Hegyemegi). Главной особенностью магнитометра является беспроводная связь между феррозондовым датчиком на трубе теодолита и блоком электроники, в который встроены GPS-приемник, обеспечивающий точное время, и цифровой дисплей. Есть возможность подключения к компьютеру. Используются стандартные теодолиты Zeiss Theo и ЗТ2КП, переделанные в немагнитные.

3. Стандартный магнитометр *DIF* на основе немагнитного теодолита с феррозондовым датчиком и электроникой Датского технического университета (DTU), разработчик — д-р Ларс Педерсен (Lars W. Pedersen).

Об этих же приборах, их тестировании, особенно в презентациях на устных и стендовых секциях. Были представлены также доклады о компонентных вариометрах, их особенностях, калибровке, амплитудно-частотных характеристиках преимущественно применительно к использованию для

измерений в соответствии с разрабатываемым INTERMAGNET стандартом для данных, полученных с частотой опроса 1 Гц. Лидерами среди вариационных магнитометров обсерваторского класса являются феррозондовые магнитометры LEMI-025 (Львовский филиал ИКИ НАН Украины) и FGE (Датский технический университет). Магнитометрам для измерения модуля магнитной индукции было уделено очень мало внимания, практически только в рамках сверки нескольких привезенных оверхаузеровских приборов.

В целом представленные реальные разработки и доклады показывают, что прорыва в автоматизации полноценных измерений магнитного поля в обсерваториях не наблюдается. Сохраняется тенденция применения стандартной схемы — комбинации абсолютных (D , I , F) и вариационных наблюдений, причем для абсолютных DI -измерений используются магнитометры DIF на основе немагнитных теодолитов [INTERMAGNET..., 2012]. Тот факт, что зарубежные разработчики, имея доступ к современным технологиям и материалам, практически не продемонстрировали новых подходов, указывает на реальные сложности при создании систем для непрерывных автоматических абсолютных магнитных измерений в обсерваториях.

Отмеченная тенденция показывает, что российские обсерватории в настоящее время и в некоторой перспективе будут испытывать трудности с оснащением современными приборами и их модернизацией, так как аналогов вышеперечисленных зарубежных разработок в России практически не имеется.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Еще один важный момент, который можно отметить по результатам совещания, — отсутствие докладов, посвященных программному обеспечению (ПО) текущей и итоговой обработки результатов магнитных измерений на рабочем месте магнитолога, причем потребность в таком ПО очень острая: даже при наличии современных приборов многие обсерватории не ведут полноценную обработку получаемых данных в реальном времени и при подготовке годовых данных для INTERMAGNET DVD. Как отметил в своем докладе д-р Жан Рассон, возможно, одной из причин является отсутствие стандартов на ПО для магнитных обсерваторий. Проблема ПО для рабочего места магнитолога реально проявилась на совещании — оперативная обработка результатов, полученных во время измерительной сессии, оказалась невозможной.

Одной из реализаций ПО является пакет GDASView, подготовленный Британской геологической службой (British Geology Survey, BGS), для работы с данными, получаемыми в системе INDIGO (стандарты данных в сети магнитных обсерваторий BGS и оборудования, установленного BGS в других обсерваториях). Детали пакета неизвестны, но один из разработчиков, д-р Крис Турбитт (Chris Turbitt), подтвердил возможность его адаптации к данным, получаемым с помощью магнитометров различных типов.

ПО для ведения магнитной службы в обсерваториях разрабатывается в ИКИР ДВО РАН на базе

математических пакетов Octave и MatLab. После демонстрации автором эффективности этого ПО при практической обработке результатов измерительной сессии оно вызвало интерес у индийских магнитологов.

ДАННЫЕ И ОБСЕРВАТОРИИ

Особо необходимо выделить тему архивных (исторических) магнитных данных, которой было посвящено несколько обзорных и специальных докладов, в том числе были затронуты вопросы исследования исторических данных, поддержки архивов и оцифровки старых аналоговых магнитограмм. Работы в этом направлении очень актуальны, в том числе для обсерваторий России и СНГ, где регулярная передача данных в МЦД прекратилась в 90-х гг. прошлого столетия. Эти работы поддерживаются грантами различных международных организаций и программ, например VarSITI [Khomutov, 2014].

В нескольких презентациях было рассказано о новых магнитных обсерваториях. Интересен доклад д-ра Жана Рассона о создании новой магнитной обсерватории в восточной Антарктиде, в котором показаны новые технологии и подходы к организации магнитных измерений в полярных условиях (экстремальные температуры, ограничения по энергии и персоналу). Специфике таких магнитных измерений посвящен и доклад японских магнитологов (станция Syowa в Антарктиде).

ВЫВОДЫ

Имеющиеся магнитометры, представленные на XVI Рабочем совещании в Хайдарабаде на сверку, продемонстрированные новые приборы, доклады по аппаратурному, программному и методическому обеспечению, сделанные на научной сессии совещания, позволили сделать следующие выводы.

1. Отсутствие новых прорывных разработок по автоматизации магнитных измерений в обсерваториях указывает на сохранение распространенной в настоящее время методики получения данных о полном векторе магнитного поля: абсолютные наблюдения на DI -магнитометрах (феррозондовый датчик на немагнитном теодолите) и скалярных (оверхаузеровских) магнитометрах, а также вариационные компонентные измерения с помощью феррозондовых приборов. Ожидается, что эта тенденция будет сохраняться несколько ближайших лет.

2. Начало серийного производства в Китае немагнитных теодолитов, необходимых для DI -магнитометров, дефицит которых создавал существенные проблемы для модернизации обсерваторий, в значительной степени эти проблемы снимает. Данное обстоятельство также подкрепляет долгосрочную перспективу, отмеченную выше.

3. Наблюдается значительный дефицит ПО для оперативной работы с результатами магнитных измерений в обсерваториях. В подавляющем большинстве случаев используемое ПО ограничено по функциональности, гибкости и дружелюбности к пользователю.

4. Отмечается интерес к архивным данным, в которых содержится информация об уникальных со-

бытиях в прошлом. Это приводит к актуальности переработки старых данных, с одной стороны, для заполнения пропусков уже существующих в МЦД баз данных обсерваторий, с другой — для получения данных с большим разрешением, чем имеющиеся (с часовым интервалом), полученные по стандартам МАГА.

Можно отметить также, что проблемы с таможенным оформлением временного ввоза-вывоза приборов и большие расходы на зарубежные командировки являются существенными препятствиями для российских обсерваторий при выполнении периодического контроля параметров своих магнитометров. В качестве решения проблемы можно было бы предложить проведение на территории России сверок, подобных тем, что проводятся на рабочих совещаниях МАГА, с максимальным привлечением российских магнитологов-практиков и наблюдателей.

Автор благодарит О. Соколову и Г. Бурлакова, магнитологов обсерватории «Алма-Ата» (Казахстан), Ю. Липко, магнитолога обсерватории «Патроны» (ИЗСФ СО РАН, г. Иркутск) и Йоахима Линса, магнитолога обсерватории «Нимегк» (Германия) за плодотворные дискуссии во время совещания и возможность провести измерения на их приборах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №14-11-00194.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

INTERMAGNET TECHNICAL REFERENCE MANUAL. Version 4.6. 2012 / Ed.: Benoît St-Louis. BGS, Edinburgh, UK, 2012. 92 p.

http://intermagnet.org/publications/intermag_4-6.pdf accessed 14 October 2015.

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. V. 3. P. 7–8. http://newserver.stil.bas.bg/varsiti/newsL/VarSITI_Newsletter.html, accessed 14 October 2015.

XVI IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, October 7–16, 2014, Hyderabad, India. Abstract Volume. CSIR-NGRI, Hyderabad, 2014. 56 p.

REFERENCES

INTERMAGNET TECHNICAL REFERENCE MANUAL. Version 4.6 / Ed.: Benoît St-Louis. BGS, Edinburgh, UK. 2012, 92 p.

http://intermagnet.org/publications/intermag_4-6.pdf, accessed 14 October 2015).

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, pp. 7–8. http://newserver.stil.bas.bg/varsiti/newsL/VarSITI_Newsletter.html, accessed 14 October 2015.

XVI IAGA Workshop On Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition And Processing, October 7–16, 2014, Hyderabad, India. Abstract Volume. CSIR-NGRI, Hyderabad, 2014. 56 p.