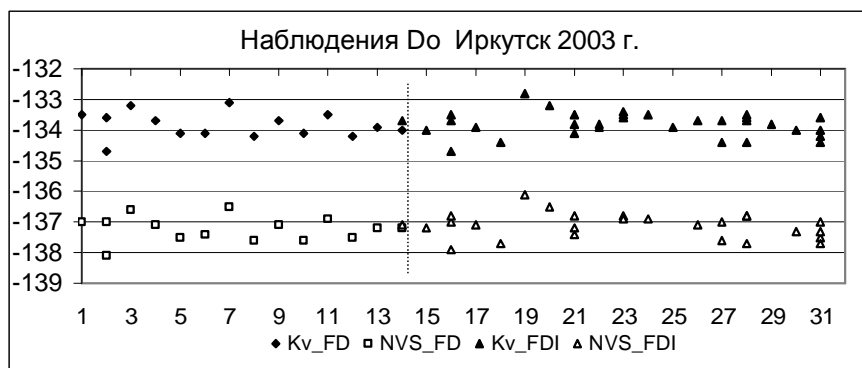


ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЙ И ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИРКУТСКОЙ МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

С. А. Нечаев (ИСЗФ СО РАН)

Иркутская магнитная обсерватория (ИМО) с 1993 г. производит модернизацию своего технического парка с переходом на современные цифровые технологии обработки данных. Для измерения склонения D и вертикальной компоненты Z были изготовлены феррозондовый деklinометр на базе немагнитного теодолита ТТ-5 и колечная установка с протонным магнитометром. В 1996 г. запущена цифровая магнитовариационная станция «Кварц-3М» разработки Бурцева-Белова и создана дублирующая станция НВС. Компьютерная техника обеспечила прием, накопление, обработку и отправку данных по модемной связи с обсерватории в институт. Программное обеспечение создано В. В. Харченко. В результате этой работы ИМО (международный индекс IRT) с 1998 г. вошла в состав мировой сети цифровых обсерваторий INTERMAGNET.

Обсерватория производит наблюдения склонения феррозондовыми деklinометрами FD с ценой деления кругов теодолитов 30 угловых секунд и деklinометрами / инклинометрами THEO-010A и LEMI-203 с ценой деления 1 с. При первом взгляде на цифры разрешающей способности этих теодолитов появляется ожидание повышения на порядок точности измерений склонения односекундными деklinометрами. Реальные измерения дают иные результаты. На графике наблюдений D_0 приведены базисные значения вариометров двух цифровых станций.



Первые 14 дней наблюдения проводились «грубыми» деklinометрами, а последующие – точным деklinометром FD/I. Средние значения D_0 , измеренные разными приборами, совпадают для обеих станций до десятой доли угловой минуты, т.е. в измерениях нет систематической

приборной ошибки. Дисперсия наблюдений оказалась также одного порядка. Погрешность каждого измерения склонения складывается из погрешностей определения положения на круге магнитного и географического меридианов. Основная часть первой погрешности связана с неточной нивелировкой феррозонда, закрепленного на оптической трубе теодолита: $\Delta D \approx (Z/H)\sin \alpha$, где α – угол наклона магнитной оси к горизонту. Для измерений склонения с погрешностью 0.1 угловой минуты необходимо сохранять нивелировку магнитной оси феррозонда в пределах 2-3 секунд после поворотов его в новые положения для компенсации ошибок измерения. Такие высокие требования можно реализовать только при размещении деклинометра на стабильном постаменте и при отсутствии люфтов в подвижных соединениях теодолита.

Вторым источником разброса данных являются погрешности наведения на миру. Требования к взаимной стабильности положения миры и точки наблюдения зависят от расстояния между ними, а точность наведения – от исполнения мишени миры. ИМО имеет наблюдательные деревянные столбы и миру в виде стальной трубы на малом расстоянии от абсолютного павильона (около 100 м). Отклонение миры при воздействии внешней среды или смещение деклинометра всего на 3 мм соответствует ошибке ± 0.1 мин. Реальная погрешность наведения и отсчетов положения миры находится в пределах 0.3 мин.

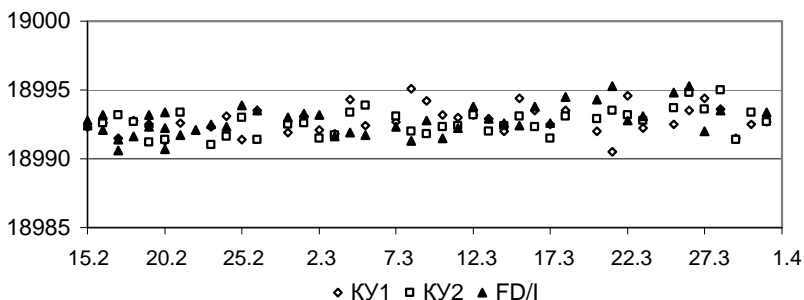
Компонентные измерения обычно производятся коленной установкой с протонным магнитометром и с помощью феррозондового инклинометра. На коленной установке применяются два способа измерений: метод компенсации горизонтальной компоненты H и метод дополнительного поля. Измерение наклона I феррозондовым инклинометром позволяет рассчитать H и Z с погрешностью:

$$\Delta H = \cos I \cdot \Delta F + F \sin I \cdot \Delta I,$$

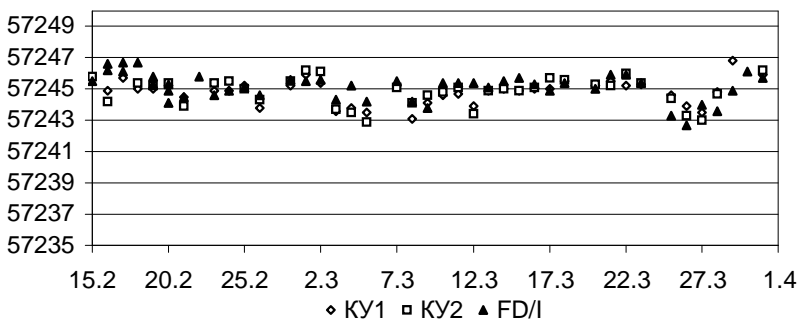
$$\Delta Z = \sin I \cdot \Delta F + F \cos I \cdot \Delta I.$$

Из графиков абсолютных наблюдений разными инструментами видно, что разброс значений H_0 и Z_0 находится в пределах 5 нТл, а средние значения совпадают до десятых долей нанотеслы. Практика показывает, что любой вариант наблюдений не дает заметных преимуществ по качеству измерений, т.к. сохраняется основная погрешность, связанная с неточностью нивелировки магнитных осей инструментов: $\Delta Z \approx H \sin \alpha$ и $\Delta H \approx Z \sin \alpha$. Можно лишь отметить, что наблюдения на коленной установке проще и реже допускаются ошибки. Расчеты возможных инструментальных погрешностей показывают, что точность измерений H и Z должна быть в пределах 1-2 нТл, склонения D – в пределах 0.4 мин. Следовательно, остальная часть разброса базисных значений относится к погрешностям регистрации вариаций геомагнитного поля и к неточной временной привязке моментов абсолютных наблюдений к данным цифровых вариационных станций.

Наблюдения No Иркутск 2003



Наблюдения Zo Иркутск 2003

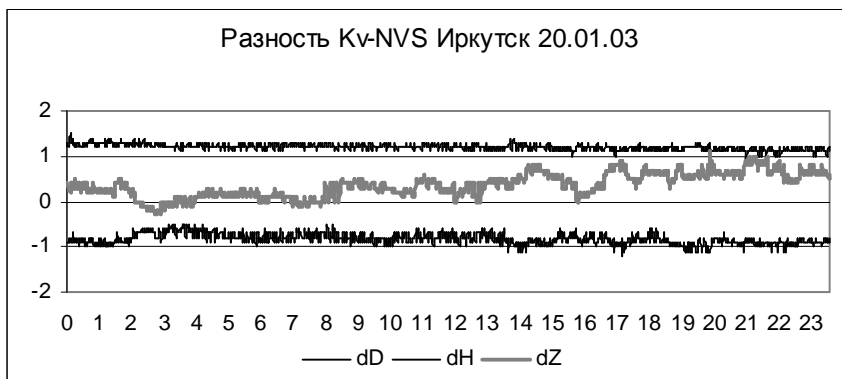


Две цифровые станции на базе кварцевых магнитоэлектрических датчиков с фотопреобразователями имеют амплитудный диапазон ± 1000 нТл при разрешающей способности 0.1 нТл и долговременной стабильности 2 нТл/год. Кварцевые датчики Боброва традиционно выпускались для установки их по магнитному меридиану с регистрацией D и H . При введении глубокой обратной связи по магнитному полю чувствительный магнит датчиков почти не отклоняется от исходного направления. В этом случае для датчиков цифровых станций следует в программу обработки данных вводить уточняющий пересчет исходных регистрируемых вариаций δD_v и δH_v по формулам:

$$H = [(H_o + \delta H_v)^2 + \delta D_v^2]^{1/2}, \quad D = D_o + (360 \cdot 60 / 2\pi) \cdot \arctg[\delta D_v / (H_o + \delta H_v)],$$

где D и D_0 выражены в угловых минутах, а δD_v и остальные элементы – в нанотеслах.

В зависимости от векового хода склонения блок датчиков необходимо переустанавливать по новому положению магнитного меридиана через 5-8 лет. Установка датчиков по географическому меридиану для регистрации компонент X и Y устраняет эти недостатки. Линию географического меридиана на постаменте вариационного павильона можно определить геодезическим методом или по известному углу магнитного склонения.



Представление о шумах вариационных станций можно получить сравнением их минутных данных в магнитоспокойный день. Из графика следует, что наибольшей амплитудой шумов сложного спектра обладают Z-датчики (до 1 нТл). Эти микровариации в иные дни уменьшаются до 0.2 нТл и не зависят от возмущенности геомагнитного поля.



Существенное значение при регистрации иррегулярных возмущений имеет метод создания минутных значений вариаций поля из секундных данных. Обычно применяются цифровые фильтры с весовыми коэффициентами или берется среднее значение за 60 с. На сравнительном графике представлены разности минутных данных магнитной бури, полученных путем применения двух названных методов цифровой фильтрации. Расхождение между минутными данными может достигать нескольких десятков нанотесл в зависимости от активности нерегулярных флуктуаций поля DS. Если абсолютные наблюдения по времени совпали с периодом повышенной магнитной активности, то будет внесена существенная дополнительная ошибка в определении базисных значений элементов. Такие наблюдения нужно удалять из обработки или обеспечивать жесткую привязку моментов отсчетов к секундным данным цифровых вариационных станций, введя на обсерватории службу единого точного времени (например, на основе спутниковой глобальной системы GPS).

Программное обеспечение системы сбора и обработки данных условно можно разбить на три блока. Первый блок, выполняющий функции управления, накопления и первичной обработки цифровых данных, должен обладать повышенной надежностью от сбоев и зависаний для предотвращения необратимой утраты исходной информации. Второй блок состоит из программ подготовки данных с использованием констант вариометров, вычисления модуля поля F , формирования суточного файла в текстовом формате, сравнения данных цифровых станций с данными абсолютных наблюдений, передачи по сетям ежедневной информации (объемом около 50 КБ). Сервисный блок обеспечивает визуальный просмотр вариаций, редакцию сбойных участков, вычисление К-индексов, среднечасовых и среднемесячных значений, переформатирование файлов, создание квартальных и годовых архивных материалов.

Архив обсерватории состоит из дисков CD-RW с данными и графического материала результатов обработки и анализа наблюдений.

Внедрение в практику работы распределенной по павильонам непрерывно работающей дорогостоящей электронной техники потребовало от обсерватории обязательного решения вопросов грозозащиты. Эту проблему желательно решать путем применения оптоволоконных кабелей и аккумуляторного электропитания всех устройств цифровых станций.

В заключение следует подчеркнуть метрологическую особенность геомагнитных измерений, при которых приборные постаменты, павильоны, мира и территория обсерватории фактически являются частью измерительного комплекса и ненадлежащее их состояние может существенно снизить точность самых совершенных магнитометров. Достоверность наблюдений и отсутствие потерь данных обеспечивается дублирующим комплектом инструментов и программным обеспечением контроля данных. Это позволило нам уверенно определять базисные уровни вариометров с

погрешностью 0.4 нТл и практически обойтись без потерь данных в течение последних десяти лет.

Участие в сети INTERMAGNET обязывает совершенствовать работу обсерватории для достижения мировых стандартов геомагнитных измерений.