

## ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ БАЗИСНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВАРИОМЕТРОВ НА МАГНИТНОЙ СТАНЦИИ «БАЙГАЗАН»<sup>1</sup>

Бакчабаев А.М., Гвоздарев А.Ю., Учайкин Е.О., Хомутов С.Ю.\*

Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск

\*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
п.Паратунка, Камчатский край

### Введение

Регистрация магнитных вариаций играет важную роль в исследовании процессов в ионосфере и магнитосфере Земли, позволяя фиксировать электрические токи, текущие в её газоплазменных оболочках в условиях различных космических событий: солнечных вспышек, магнитных бурь, пересечений секторов межпланетного магнитного поля. Эта информация находит практическое применение в радиосвязи, управлении искусственными спутниками Земли, используется при геолого-геофизической разведке недр, бурении скважин. Кроме того, развиваются работы по изучению предвестников землетрясений в геомагнитных вариаций. В последнее время значительное внимание уделяется экологическому аспекту геомагнитных вариаций, появилось новое направление – электромагнитная экология.

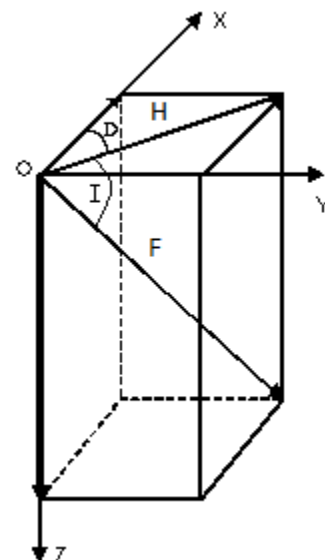
В декабре 2009 г. в результате выполнения гранта РФФИ на кордоне Алтайского заповедника Байгазан (Телецкое озеро) начала работать новая магнитная станция, осуществляющая непрерывную регистрацию геомагнитных вариаций (Гвоздарев и др, 2010; Измерения..., 2012). Станция удалена от промышленных объектов и транспортных магистралей, а ее расположение на территории заповедника гарантирует неизменность магнитной обстановки в течение длительного периода. Питание станции осуществляется от солнечной батареи пиковой мощностью 230 Вт и ветрогенератора пиковой мощностью 500 Вт. На кордоне возведен павильон из немагнитных материалов, для регистрации DHZ-вариаций геомагнитного поля с частотой 5 Гц используется цифровая магнитовариационная станция «Кварц-ЗЕМ» с регистратором разработки лаборатории робототехники ГАГУ (Кудин, Учайкин, 2010). Удаленность от промышленных районов и применение современной малошумящей электроники позволяет измерять естественные геомагнитные вариации с очень низким уровнем шумов - около 0.01 нТл (Гвоздарев и др, 2011), что на порядок ниже требований к чувствительности магнитометров обсерваторий международной сети INTERMAGNET. На ближайшей к Алтаю магнитной обсерватории в Новосибирске («Ключи») измерения выполняются в условиях все возрастающей техногенной нагрузки, что приводит к шумоподобным помехам амплитудой до 1 нТл и импульсным помехам до 4-5 нТл. Отметим, что в 2012 г. в Восточном Казахстане была организована новая магнитная станция «Курчатов» Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (Беляшов и др., 2012), есть планы по созданию новых магнитных станций в Монголии и Китае, что позволяет в перспективе создать довольно густую сеть с шагом около 400 км, результаты измерений на которой позволят изучать магнитные вариации в Алтае-Саянском регионе.

---

<sup>1</sup> Работа поддержана проектом научно-технической программы Министерства науки, образования и молодежной политики Республики Алтай

### Схема измерений на магнитной обсерватории

Основной задачей магнитных обсерваторий (МО) является измерение вариаций геомагнитного поля в диапазоне периодов от секунд до десятков лет (Нечаев, 2006). При этом вариации составляющих поля (северной  $X$ , восточной  $Y$ , вертикальной  $Z$  или магнитного склонения  $D$  и горизонтальной компоненты  $H$ ) измеряются с помощью феррозондовых или магнитомеханических магнитометров, обычно с периодичностью в 1 с. Необходимо отметить, что эти приборы имеют небольшой динамический диапазон около 1000 нТл и являются относительными, т.е. регистрируют только изменения элементов поля относительно некоторых базисных уровней  $H_0, D_0, Z_0$ .



$$\begin{aligned} H &= H_0 + \delta H \cdot GH \\ D &= D_0 + \delta D \cdot GD \\ Z &= Z_0 + \delta Z \cdot GZ \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\delta H, \delta D, \delta Z$  - показания вариометров станции (в мВ),  $GH, GD, GZ$  - коэффициенты преобразования каналов вариометра.

Для определения базисных значений с помощью инклинометров-деклинометров на основе немагнитных теодолитов вручную специалистом-магнитологом выполняются измерения абсолютных значений магнитного склонения  $D$  и наклонения  $I$  на, которые для одного определения требуют около 15-20 мин. времени при точности до  $0.1'$ , согласно стандарту ИНТЕРМАГНЕТА такие измерения должны делаться на обсерватории от одного до нескольких раз в неделю (на Байгазане - раз в год). Измерения магнитного наклонения и модуля полного вектора позволяют определить горизонтальную и вертикальную составляющие

$$\begin{aligned} H &= F \cos I \\ Z &= F \sin I \end{aligned} \quad (2)$$

а по ним рассчитать базисные значения

$$\begin{aligned} H_0 &= H - \delta H \cdot GH \\ D_0 &= D - \delta D \cdot GD \\ Z_0 &= Z - \delta Z \cdot GZ \end{aligned} \quad (3)$$

Как видно из последних формул, важную роль играют также калибровочные измерения, позволяющие определять коэффициенты преобразования  $GH, GD, GZ$ . Это выполняется с помощью дополнительного поля, создаваемого калиброванным ток в специальных обмотках магнитоизмерительных преобразователей – опыт показывает, что они тоже могут меняться с течением времени (Бакчабаев, 2012), а точность их определения в значительной степени определяет точность расчёта базисных по результатам абсолютных измерений. На станции «Байгазан» погрешность  $GH, GD, GZ$  определяется точностью измерения тока (около 0.1%) стандартного блока калибровки ЦМВС «Кварц-ЗЕМ», некоторого повышения точности удаётся добиться за счёт относительно частого (раз в десять дней) проведения калибровочных измерений.

Измерения базисных значений при разных температурах ЦМВС  $TR$  позволяют определить их температурные коэффициенты  $TH, TZ$

$$H_0 = H_0(0) + TH \cdot TR \quad (4)$$

$$Z_0 = Z_0(0) + TZ \cdot TR$$

где  $H_0(0), Z_0(0)$  - базисные значения при нулевой температуре.

Стабильность базисных  $H_0, D_0, Z_0$  контролируется сравнением модуля поля, вычисленного по вариациям ЦМВС

$$F(\text{var}) = \sqrt{H^2 + Z^2}, \quad (5)$$

с независимыми измерениями модуля полного вектора магнитного поля  $F$  с помощью протонных магнитометров с абсолютной точностью 0.2 нТл и отсчётной точностью до 1 пТл (оверхаузеровский процессорный магнитометр POS-1). Согласно стандарту INTERMAGNET они производятся раз в 30 сек и позволяют контролировать стабильность во времени инструментальной разности

$$\Delta = F - \sqrt{H^2 + Z^2} \quad (6)$$

Если наблюдаются её изменения, значит базисные значения нестабильны. Они могут меняться в результате изменения температуры, старения механических частей системы, наклонов постаментов станции, изменения магнитной обстановки в районе обсерватории и других причин.

### **Результаты абсолютных измерений на станции «Байгазан»**

Абсолютные измерения на станции «Байгазан» выполнялись в октябре 2010, 2011 и 2012 гг. С.Ю. Хомутовым (обсерватория «Ключи», г. Новосибирск). Измерения проводились при помощи инклинометра-деклинометра на основе немагнитного теодолита ЗТ2КП (№32164 – в 2010,2011 гг., №32150 – в 2012 г.) и оверхаузеровских процессорных магнитометров POS-1, принадлежащих обсерватории «Ключи» (№105) и ГАГУ(№285). Для проведения абсолютных наблюдений в октябре 2010 г. был установлен специальный столб №2 (DI-столб) из лиственницы в 15 м к югу от вариационного павильона, а на скалах на противоположном берегу Телецкого озера (на расстоянии около 2 км) нанесены изображения, играющие роль удаленных реперов – мир (рис.1 и 2). Азимуты мир были определены в 2011 г. астрономическим методом по наблюдениям Солнца:

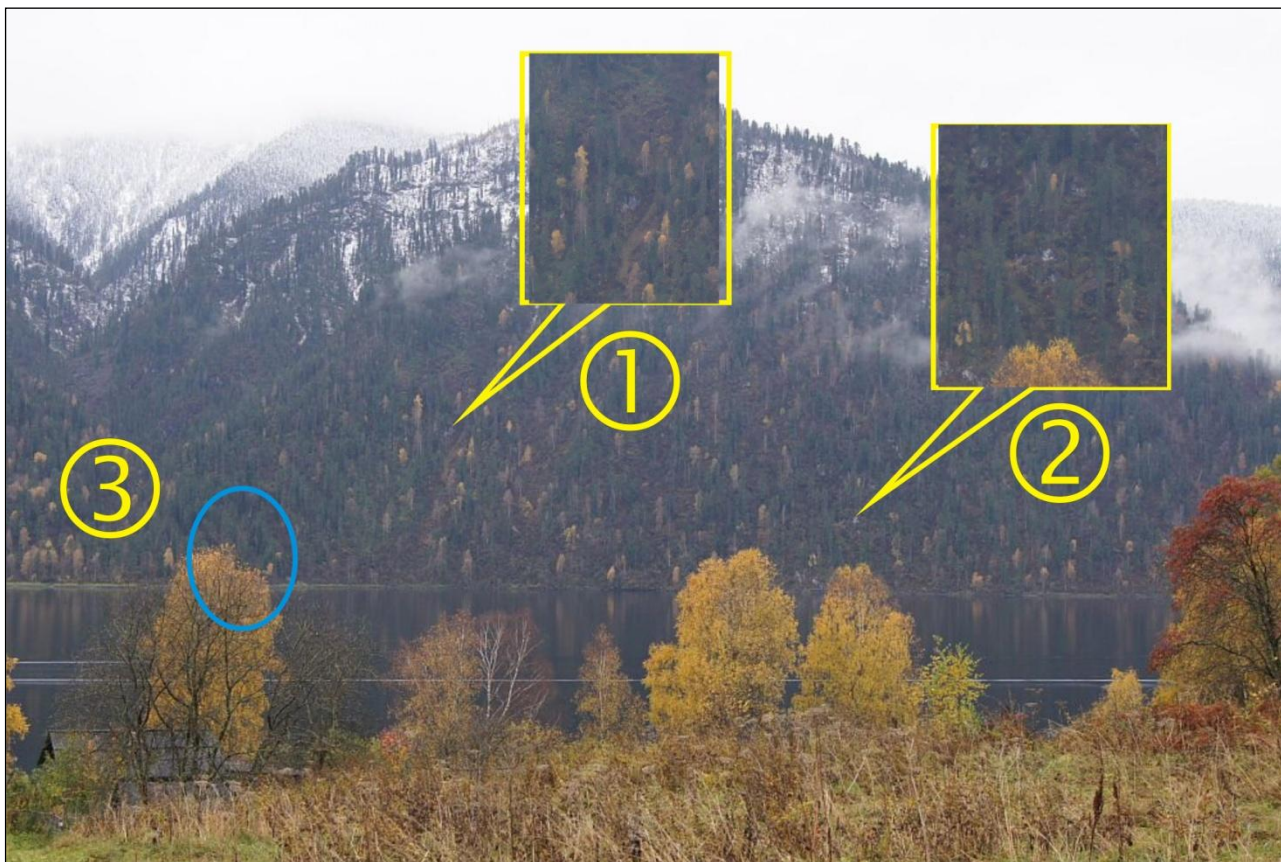
$$\text{Мира 1} = 204^{\circ}09'07'' \pm 04''$$

$$\text{Мира 2} = 215^{\circ}58'40'' \pm 18''$$

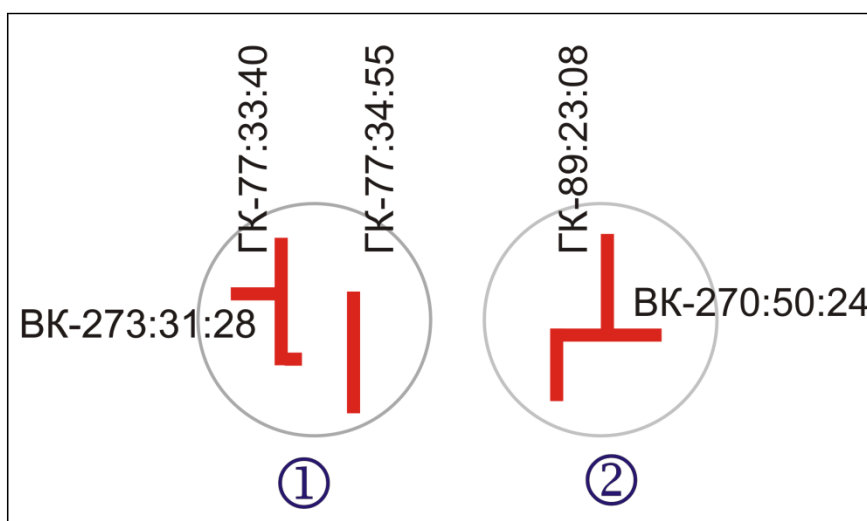
Для размещения магнитометра POS-1 во время абсолютных измерений в 2011 г. был установлен столб №3 (F-столб). Градиент поля между столбами 2 и 3 определялся методом многократной перестановки датчика магнитометра между столбами и в 2011 г. составил  $dF_{23} = F(2) - F(3) = -4.5$  нТл, а в 2012 г.  $dF_{23} = -3.3$  нТл. Эти значения использовались для определения модуля поля на DI-столбе в момент измерения склонения/наклонения по данным POS-1, установленного на F-столбе в режиме вариометра.

Методика измерений склонения/наклонения при помощи немагнитного теодолита описана например, в (Измерения..., 2005). Далее по результатам измерения модуля полного вектора с помощью POS-1 по формулам (2) рассчитывались значения горизонтальной и вертикальной компонент, а по формулам (3) – базисные значения. Результаты определения базисных значений представлены в табл.1. Как видно, за год (2010-2011) наблюдаются небольшие изменения базисных: по магнитному склонению – на 3', по горизонтальной компоненте – на 17 нТл, по вертикальной – на 7 нТл. К сожалению, измерения базисных в 2012 г. проводились уже после установки нового регистратора в начале октября, при этом менялись коэффициенты преобразования (по H-каналу – почти в два раза), поэтому сравнивать их с предыдущими

значениями нельзя. 13.10.2012 блок датчиков ЦМВС снимался с постаментов для проведения профилактических работ по защите от влажности – с этим связаны скачки базисных на 10' по D, 337 нТл по H и на 5 нТл по Z-каналу между 12.10 и 13.10.2012г.



**Рис.1.** Расположение мест, где были организованы удаленные реперы (противоположный, южный, берег Телецкого озера). Слева внизу – крыша дома егеря. В кружке – временная Мира (ствол березы у самой воды), на данном фото закрыта кроной березы на северном берегу.



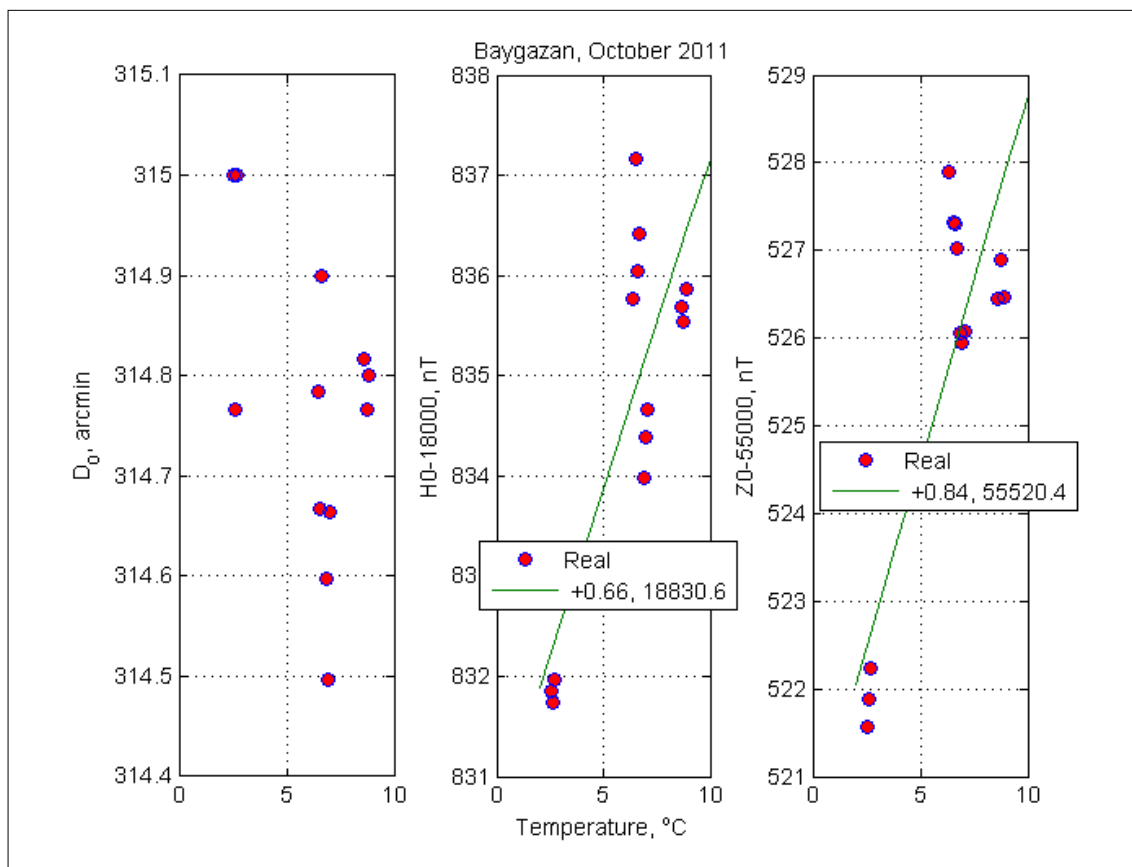
**Рис.2.** Схематическое изображение Мир №1 и №2 в поле зрения теодолита. Горизонтальные подписи – отсчеты по вертикальному кругу теодолита, вертикальные – по горизонтальному кругу (изменения азимута) в 2010 г.

В 2011 г. удалось также провести оценку температурного коэффициента для базисных значений – для этого 24.10.2011 была снята крышка термокожуха ЦМВС и проведено

несколько серий абсолютных измерений при температурах в блоке датчиков, меняющихся от 2 до 9°C. Результаты измерений представлены на рис.3.

**Таблица 1. Базисные значения вариометров станции Байгазан по результатам абсолютных измерений. В скобках – базисные без учёта температурного эффекта.**

Дата	D0	H0	Z0
09-10.10.2010	5:11:22±0:00:06	(18817.6±0.5)	(55517.9±1.4)
23-24.10.2011	5:14:46±0:01:58	18830.6±1.1 (18834.7±1.8)	55520.4±1.1 (55525.6±2.2)
12.10.2012	5:14:30±0:00:11	(18304.0±2)	(55461.5±0.6)
13-14.10.2012	5:04:44±0:00:02	(18641.2±0.7)	(55467.0±0.3)



**Рис.3. Зависимость базисных значений ЦМВС от температуры по данным измерений 23-24 октября 2011 г. Маркерами представлены реальные измерения, прямыми - их линейные аппроксимации, параметры которых даны в легендах к графикам.**

Результаты абсолютных измерений элементов геомагнитного поля на магнитной станции за три года и расчеты элементов поля и их годовых изменений по модели международного опорного поля IGRF11 представлены на рис.4 и в табл.2. Сравнение экспериментальных результатов с моделью показывает, что в 2012 г. вековая вариация поля изменилась по всем компонентам – по H, Z увеличилась практически в 2 раза, по D – изменила знак на положительный. Поскольку DI-магнитометр 3T2КП при контрольных измерениях на обсерватории "Ключи" до и после работ на станции "Байгазан" в 2012 г. показал отсутствие каких-либо систематических погрешностей, а используемые методики наблюдений были однотипными, то абсолютные DI-измерения не могут рассматриваться как источник возможных ошибок в оценке годовых изменений поля.

Возможным источником ошибок могут быть только абсолютные DI-наблюдения, поскольку вариации слишком малы, чтобы дать такие изменения. Возможное магнитное загрязнение возле DI-столба также маловероятно, поскольку величина градиента между DI- и F-столбами за год изменилась всего на 1 нТл. Наиболее вероятным источником полученных межгодовых изменений являются внутригодовые и внутрисуточные вариации поля, которые не могут быть корректно учтены для ЦМВС. Однако не исключено, что наблюдаются региональные изменения поля, не отражаемые глобальной моделью IGRF11.

**Таблица 2. Вековые изменения магнитного поля на Байгазане по результатам абсолютных наблюдений в 2010 и 2012 гг.**

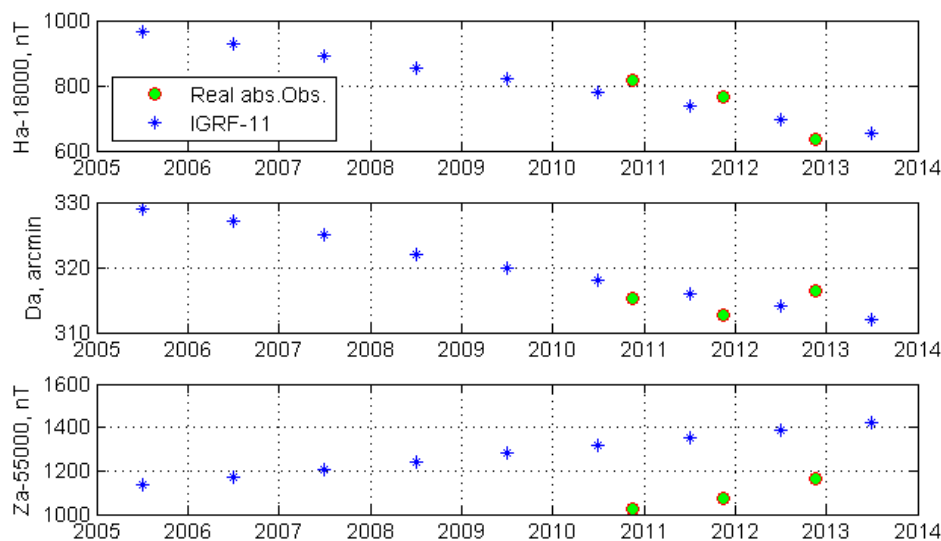
	2010	2011	2012	2011-2010	2012-2011	IGRF	IGRF 2011.5	IGRF 2012.5
D	5:15:11	5:12:45	5:16:17	-02:26	+03:32	-02:00	05:16:00	05:14:00
H	18815.7	18766.5	18637.0	-49.2	-129.5	-42.1	18737.6	18695.5
Z	56021.6	56070.1	56163.9	+48.5	+93.8	+35.0	56351.0	56386.0

Примечания: "2010", "2011" — абсолютные значения, приведенные к эпохам 2010 и 2011 гг.

"2011-2010" — изменение поля между эпохами 2011 и 2010 гг

"IGRF" — годовое изменение поле на Байгазане по модели IGRF2010

"IGRF 2011" — значения поля по модели IGRF для октября 2011 г.



**Рис.4. Сравнение абсолютных значений поля, полученных по наблюдениям на Байгазане, и рассчитанные по модели IGRF-11.**

### Установка протонного магнитометра на магнитной станции «Байгазан»

Для контроля стабильности базисных значений кварцевых вариометров на станции был разработан протонный магнитометр на основе керосинового датчика стандартного устаревшего пешеходного магнитометра ММП-203, работающий по схеме периодомера (Гвоздарев и др, 2012а).

2-3 июня 2012 г. на кордоне Байгазан велись работы по установке протонного магнитометра. Датчик магнитометра установили на отдельном столбе (№4), расположенном в 15 м к западу от вариационного павильона на высоте 1 м (рис.5а), от дождя защитили пластиковой крышкой. Регистратор (электронный блок) магнитометра разместили в отдельном строении – павильоне для электроники (рис.5б). Общий план размещения строений магнитной

станции (на октябрь 2012 г.) показан на рис.6. В октябре 2012 г. был оценен пространственный градиент между столбами 2 и 4:  $dF_{24}=F(2)-F(4)=-15.4$  нТл.



а

б

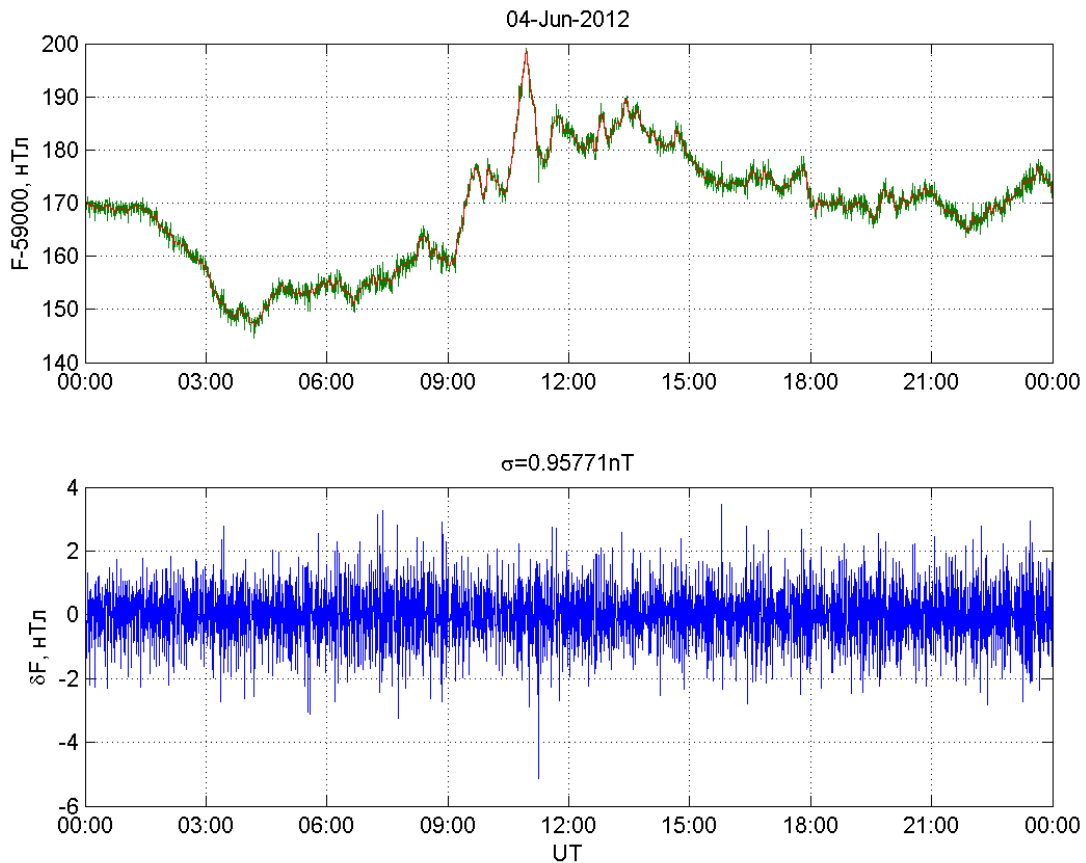
Рис.5. Павильон для регистратора и МИП протонного магнитометра ММП-203 и датчик ММП-203 на отдельном выносном столбе.



Рис.6. Общий вид аппаратуры и строений на магнитной станции "Байгазан" в октябре 2012 г. На переднем плане видна регистрирующая аппаратура POS-1 и другое оборудование (отнесенное от датчиков).

С 4 июня началась непрерывная регистрация полного вектора магнитного поля с интервалом между измерениями 30 сек. Результаты измерений за этот день показаны на рис. 7-9. Для анализа данных была написана программа в среде MATLAB, целью которой являлось построение графиков данных и их печать в файлы, расчёт разностей расчётного и измеренного поля, амплитуды шума протонного магнитометра. Последняя рассчитывалась как среднеквадратичное отклонение результатов измерений от сглаженной кривой (сглаживание проводилось при помощи функции `csaps` при параметре  $p=0.999999999$ ). Как видно из рис.7,

амплитуда шума магнитометра составила около 1 нТл. Сам график представляет собой довольно типичную картину суточной вариации при слабой возмущённости поля. Понижение поля около 04 часов UT (незадолго до локального полудня; станция находится на 87 градусе восточной долготы, поэтому астрономический локальный полдень наступает в 05:48 UT) и его последующее увеличение связано с уменьшением вертикальной компоненты поля при проходе станции под токовым вихрем суточной вариации. Относительно быстрые изменения поля длительностью около часа связаны с магнитными возмущениями, которые лучше наблюдаются в ночном секторе. В нашем случае наиболее интенсивное возмущение амплитудой около 30 нТл приходится на вечерний сектор (около 11 часов UT)



**Рис.7. Результаты измерений протонного магнитометра за сутки 04.06.2012: сверху – вариационная кривая, нижняя панель – отклонение измеренных значений от сглаженной кривой.**

Для расчёта вариаций полного вектора по данным кварцевого вариометра использовались формулы (1), (4), (5). Для коэффициентов преобразования каналов вариометра  $GH, GZ$  в работе (Бакчабаев, 2012) на основе обработки калибровочных измерений за 2010-2011 гг. получены следующие формулы:

$$\begin{aligned}
 GZ &= 123.73 + 3.7 \cdot 10^{-3} (T - T_0) \\
 GH &= 120.19 + 1.6 \cdot 10^{-2} t^0 \text{ [нТл/В]} \\
 GD &= 120.06 + 0.17 \cdot 10^{-2} t^0
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где  $T$ - время проведения калибровки,  $T_0$ - «нулевое» время 01.01.2011.

Результаты сравнения результатов измерений полного вектора протонным магнитометром и его расчётного значения по измерениям кварцевого вариометра приведены на рис.8. В целом видно, что обе кривые имеют схожий характер при большей зашумленности сигнала от протонного



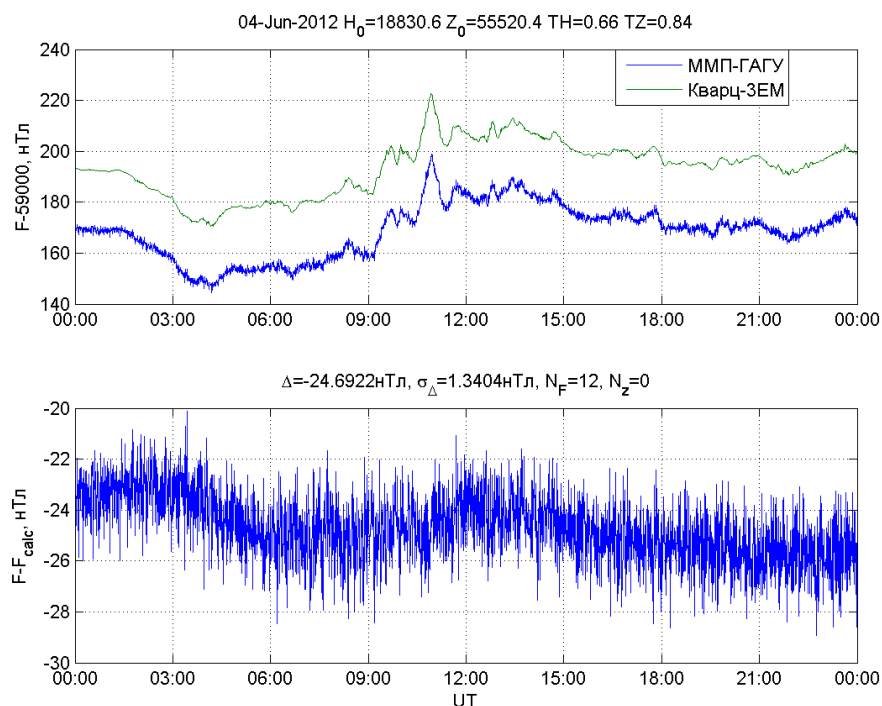
магнитометра. Однако в разностях наблюдается вариация с периодом около 12 часов и амплитудой около 1 нТл, говорящая о нестабильности базисных значений либо неполном учёте температурных или ориентационных эффектов. Среднеквадратичное отклонение разности  $\sigma_{\Delta} = 1.34$  нТл, а амплитуда шума протонного магнитометра  $\sigma_F = 0.96$  нТл. Таким образом, неучтенной остаётся источник погрешности с амплитудой  $\sigma = \sqrt{\sigma_{\Delta}^2 - \sigma_F^2} = 0.87$  нТл.

На рис.9 сопоставляется кривая разностей (нижнее окно) и возможные источники нестабильности базисных: в верхнем окне показана динамика горизонтальной и вертикальной компонент за сутки, в среднем – величины температурного эффекта в изменении полного вектора за счёт изменения базисных значений вариометров, рассчитываемые по формулам

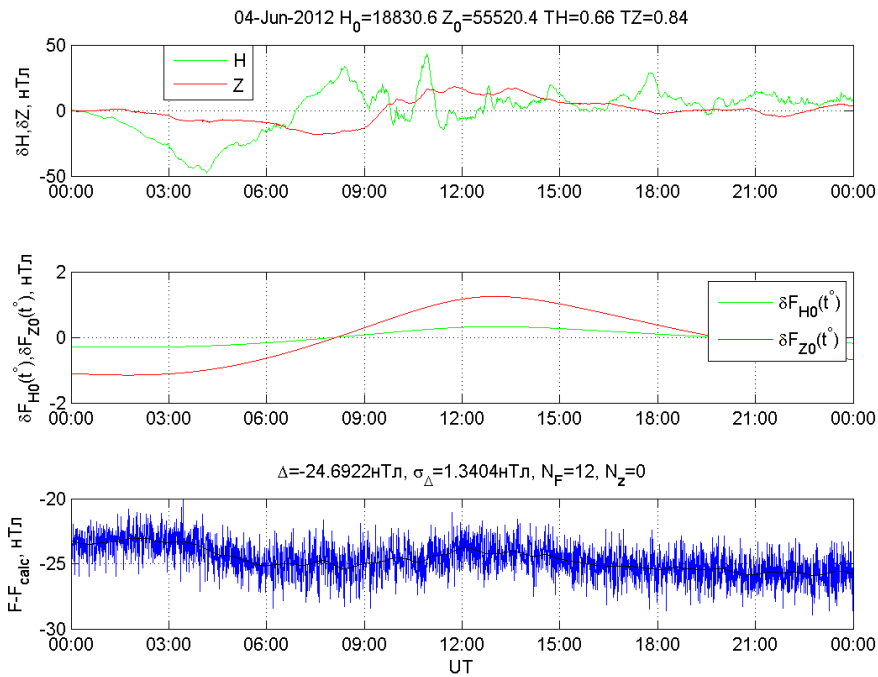
$$\delta F_{H0} = \frac{H}{F} \cdot TH \cdot (t^o - \bar{t}), \quad \delta F_{Z0} = \frac{Z}{F} \cdot TZ \cdot (t^o - \bar{t}) \quad (8)$$

где  $\bar{t}$  - среднесуточное значение температуры. Как видно из графика, амплитуда данного эффекта по вертикальной компоненте достигает значения 1 нТл.

Результаты анализа стабильности разностей измеренного и рассчитанного значений модуля полного вектора геомагнитного поля на станции «Байгазан» за 4-22 июня показаны на рис.10. Как видно из него, за три недели разность изменилась на 10 нТл, что говорит о нестабильности базисных значений вариометров. Причина таких изменений пока неясна и будет исследована в дальнейшем. В частности, планируется наладить контроль температуры в блоке усилителей кварцевого вариометра. В настоящее время контролируется только температура в блоке вариометров.



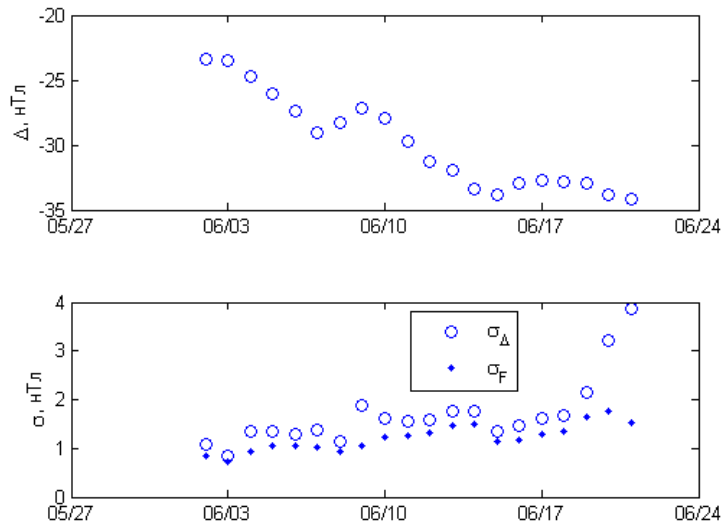
**Рис.8. Сравнение результатов измерений протонного магнитометра и расчётного полного вектора (по данным кварцевого вариометра): сверху – вариационные кривые за сутки 04.06.2012, внизу – разность измеренного и расчётного поля.**



**Рис. 9. Изменение горизонтальной и вертикальной компонент геомагнитного поля, расчётный температурный эффект базисных значений вариометров и динамика разности измеренного и расчётного значений модуля полного вектора геомагнитного поля за 04.06.2012**

К сожалению, 22 июня регистрация полного вектора магнитного поля прекратилась из-за выхода из строя протонного магнитометра: в датчике была нарушена герметичность, в результате весь керосин (рабочая протонсодержащая жидкость) вытек. Ухудшение качества сигнала отражено на рис.11 (нижняя панель) в резком увеличении амплитуды шума магнитометра с 20 июня.

Взамен испорченного от Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН был получен другой датчик, который был установлен на станции 23 ноября 2012 г. При этом были проведены изменения в режиме измерений: измерения теперь проводятся раз в 10 минут. Уменьшение частоты измерений связано с обнаружением помехи в D-канале кварцевого вариометра амплитудой 0.1 нТл и около 0.02 нТл в Z-канале, возникающей при поляризации протонного магнитометра. Дело в том, что при этом по проводу питания идёт довольно значительный ток (около 1А), который и создаёт такой магнитный сигнал. Попытки сгладить ток при помощи конденсатора большой ёмкости результата не дали, поэтому было принято решение уменьшить количество помех, выведя их из частотного диапазона микропульсаций геомагнитного поля (периоды от 10 мин до 1/5 с). При этом сохраняется довольно большое количество измерений – 144 в сутки, чего вполне достаточно для контроля базисных: при усреднении за сутки и амплитуде шума магнитометра 1 нТл погрешность определения разности составляет около 0.1 нТл.



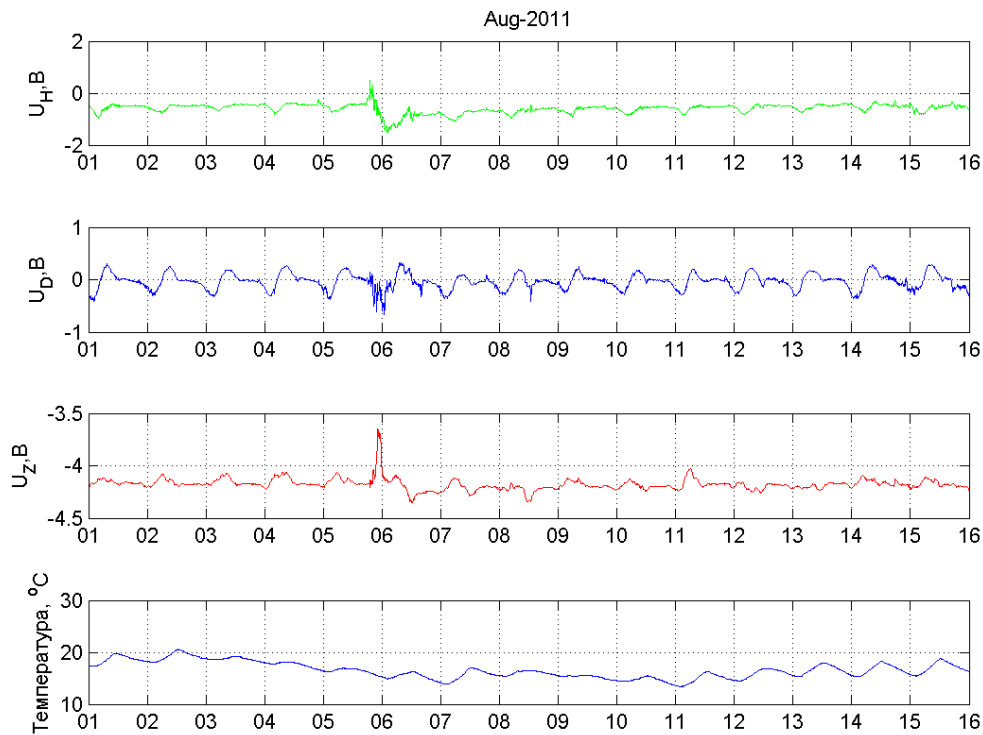
**Рис. 10.** Изменение разности расчётного и измеренного полей (верхняя панель) и среднеквадратичного отклонения разности ( $\sigma_{\Delta}$ ) и поля от сглаженной кривой ( $\sigma_F$ ) в течение 2-22 июня 2012 г.

### Оценка температурного эффекта по минутным средним

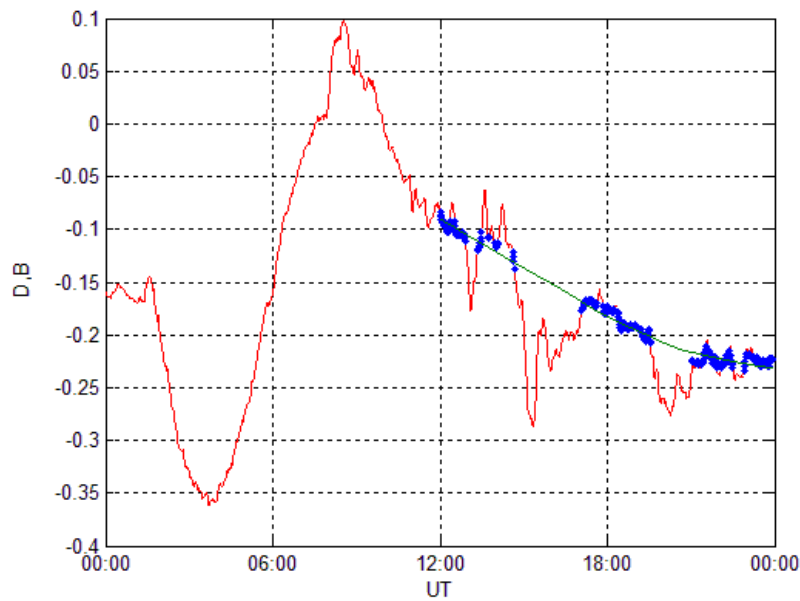
Как показал предшествующий анализ, нам не удалось добиться удовлетворительной стабильности базисных значений. Возможно, это связано с не совсем корректным учётом температурной зависимости для них. Оценку коэффициентов этой зависимости можно провести также по результатам измерений магнитной станции в течение года, когда температура меняется в широких пределах. Ниже приводится такой анализ, выполненный на основе результатов расчёта минутных средних для станции за 2011 г. (Бакчабаев, Бетёв, 2012).

Чтобы исключить влияние суточной вариации, для анализа использовались данные, полученные в ночное время: зимой в интервале 12-24 UT, что соответствует 18-06 часам локального времени, в апреле и сентябре 14-22 UT, с мая по август - 15-21 UT. Далее эти данные очищались от дней с возмущенной магнитной обстановкой ( $K_p > 3$ ; значения индекса планетарной геомагнитной возмущённости брались с сайта [www.spidr.com](http://www.spidr.com)), однако даже после удаления суточной вариации и возмущенных дней, в ночных данных наблюдались бухтообразные возмущения значительной амплитуды. Для их удаления по целым суткам строилась сглаженная кривая вариации при помощи робастного метода локальной линейной интерполяции Льюиса с окном сглаживания 180 минут (функция `smooth(t, Nm, 180, 'rlowes')` в пакете MATLAB), задавался некоторый уровень отклонения (2.4 нТл для D-, H-компонент и 0.6 нТл для Z-компоненты) и при превышении этого уровня отклонения от сглаженной кривой данные отбрасывались (см. рис.12). Для каждого месяца на основе очищенных данных проводилась линейная аппроксимация зависимости от температуры (см. рис.13) и рассчитывались значения температурных коэффициентов и средних значений компонент при нулевой температуре. Результаты этих расчётов приведены на рис.14-15. Бросается в глаза сильное изменение температурных коэффициентов с течением времени – вплоть до изменения знака. В целом для D-канала характерны значения, не превышающие 0.5 нТл/°C по модулю, в то время, как у H- и Z-каналов они могут превышать 1 нТл/°C. В зимний период коэффициенты для обоих каналов отрицательны, а в тёплый период наблюдаются близкие нулю, и даже положительные значения. Всё это может свидетельствовать о нелинейности температурной

зависимости базисных значений, и, в частности, объяснять дрейф разностей измеренного и рассчитанного значений модуля полного вектора: использовавшиеся температурные коэффициенты были получены в октябре 2011 г. и не соответствовали летним значениям.



**Рис.11.** График значений H,D,Z – каналов вариометра (в вольтах) и температуры за август 2011 г. на станции «Байгазан». Заметна магнитная буря 5-6 августа (Kp=7.8)



**Рис.12.** Пример отбрасывания данных полученных во время ночных бухтообразных возмущений при помощи сглаживания. Сглаженная кривая получена робастным методом локальной линейной интерполяции Льюиса с окном сглаживания 180 минут, точки – отобранные данные при полуширине окна отбора 1.2 нТл.

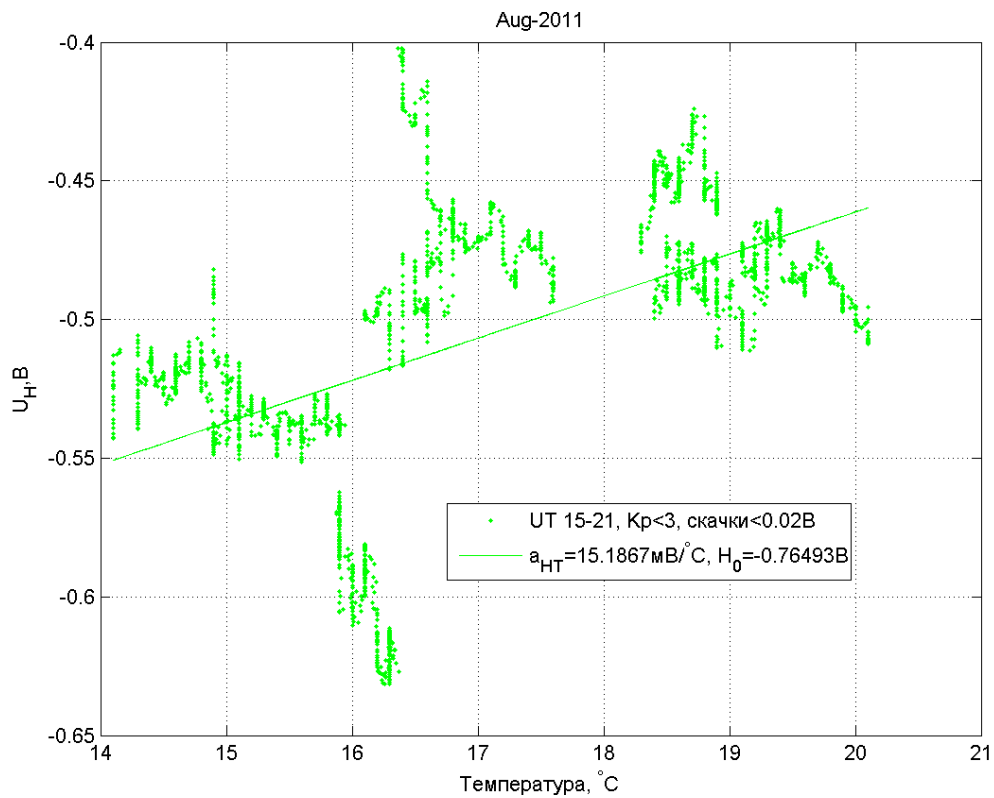


Рис.13. Зависимость очищенных ночных данных для напряжения на Н-канале МВС от температуры за август 2011г.

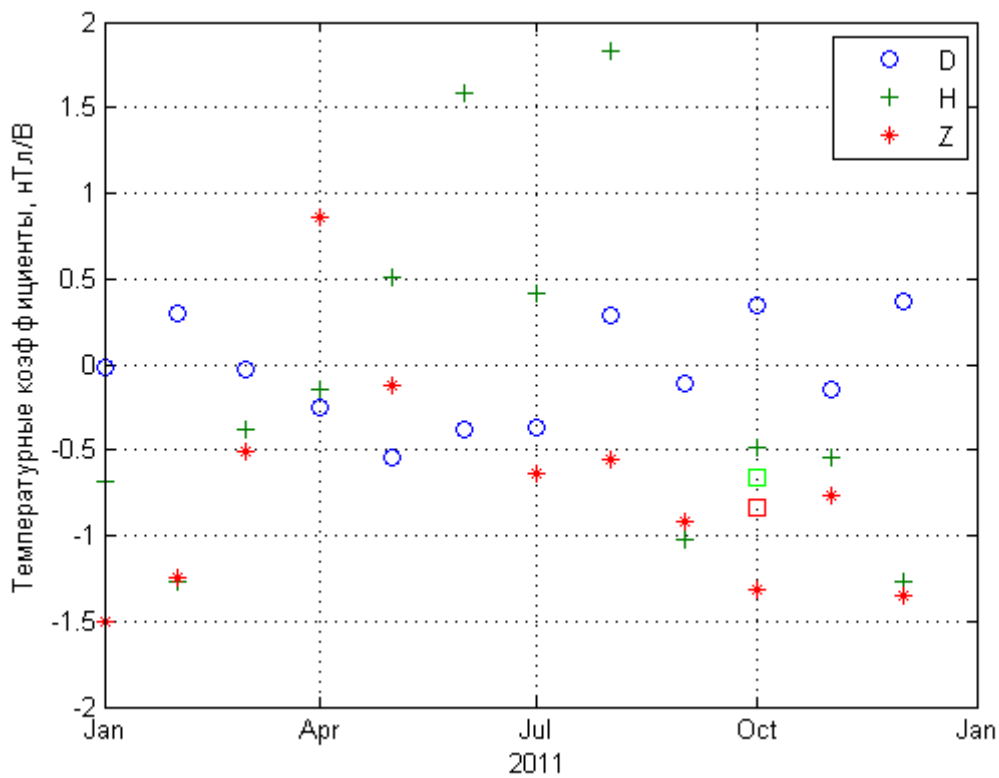
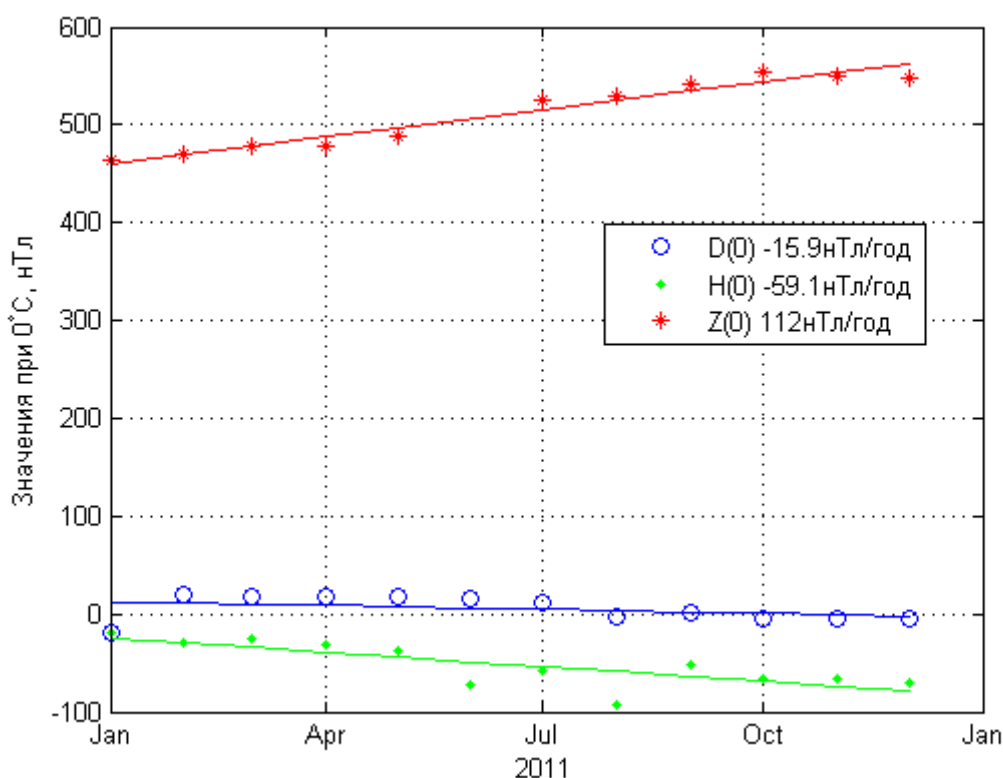


Рис. 14. Зависимость температурных коэффициентов от времени за 2011 г. Квадратами показаны значения, полученные в результате абсолютных измерений.

На рис. 15 показано изменение расчётных средних месячных ночных очищенных значений компонент (относительно базисных) при нулевой температуре за 2011 г. Данные довольно хорошо описываются линейными трендами, показанными на графике прямыми линиями. Скорость изменения компонент за год приведена в легенде. Заметим, что вековая вариация для Байгазана ( $51.759^\circ \text{ N}$ ,  $87.432^\circ \text{ E}$ , высота 460 м) в 2011 г. для горизонтальной компоненты согласно модели международного референтного геомагнитного поля IGRF11 (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>)  $-42.1$  нТл/год (согласно WMM 2010  $-35.5$  нТл/год), для вертикальной  $+35.0$  нТл/год ( $33.6$  нТл/год), для склонения  $-0.03$  градуса/год ( $-0.04$  градуса/год). Таким образом, изменение расчётных средних месячных ночных очищенных значений компонент (относительно базисных) при нулевой температуре происходит быстрее, чем предсказывает модель, что может свидетельствовать о дрейфе базисных значений.



**Рис. 15.** Зависимость расчётных средних месячных ночных очищенных значений компонент (относительно базисных) при нулевой температуре от времени за 2011 г. Прямыми линиями показана линейная аппроксимация.

### Заключение

1. На магнитной станции «Байгазан» в октябре 2010, 2011, 2012 гг. С.Ю. Хомутовым произведены абсолютные измерения, позволившие определить базисные значения станции.
2. Для контроля стабильности базисных значений вариометров на станции установлен протонный магнитометр разработки ГАГУ. Его эксплуатация в течение двух недель выявила наличие дрейфа разности измеренного и рассчитанного по данным вариометра модуля поля со скоростями около  $0.5$  нТл/сутки.
3. Анализ зависимости ночных значений компонент от температуры показал, что температурные коэффициенты этой зависимости не являются стабильными, меняя в тёплое время года даже знак. Необходимо дальнейшее исследование этих эффектов.

Годовой дрейф по H- и Z-компонентам несколько превышает вековую вариацию по модели международного референтного геомагнитного поля IGRF11.

4. Необходимо наладить систематический контроль базисных значений на станции.

### Литература

1. *Бакчабаев, А.М., Бетёв, А.А.* Расчёт минутных средних значений компонент геомагнитного поля на станции «Байгазан» за 2010-2011 гг. // Вестник молодых учёных: Сборник научных трудов. - №9. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2012. – С.152-155.
2. *Беляшов А.В., Гвоздарев А.Ю., Хомутов С.Ю.* Новая магнитная станция в г. Курчатове, Казахстан [текст] // Вестник НЯЦ РК – Вып.2 (50). – июнь 2012. – С.41 – 47.
3. Векторные магнитные измерения с феррозондовыми теодолитами: Методическое пособие / Сост.: Ладынин А.В., Попова А.А., Семаков Н.Н. – Новосибирск: НГУ, 2005. – 90 с.
4. *Гвоздарев, А.Ю., А.И. Бакиянов, А.А. Бетёв, Е.О. Учайкин, П.Б. Бородин, С.Ю. Хомутов* Организация непрерывной регистрации магнитных вариаций на станции Байгазан (Телецкое озеро) [Текст // Научный вестник Республики Алтай – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010. - №4. – С.31-42; Физика окружающей среды: Материалы VIII Международной школы молодых ученых. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. – С. 46-59.
5. *Гвоздарев А.Ю., Бетёв А.А., Бакиянов А.И., Учайкин Е.О.* Регистрация геомагнитных вариаций на станции Байгазан (Телецкое озеро, Горный Алтай): результаты 2010 г.// Физика окружающей среды: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвящённой 50-летию первого полёта человека в космос и 75-летию регулярных исследований ионосферы в России – Томск: Томское университетское изд-во, 2011. – С. 240-243.
6. *Гвоздарев, А.Ю., Кудин, Д.В., Учайкин, Е.О.* Об одном подходе к разработке протонного магнитометра [текст] // Ползуновский вестник - №3/2 – 2012а. – С.184 – 186.
7. Измерения вариаций геомагнитного поля на магнитной станции Байгазан: база данных / Гвоздарев А.Ю., Кудин Д.В., Учайкин Е.О., Хомутов С.Ю., Кудрявцев Н.Г., Бетёв А.А., Бакиянов А.И., Бакчабаев А.М. – свидетельство о гос. регистрации №2012621011 от 28.09.2012.
8. *Кудин Д.В., Учайкин Е.О.* Разработка регистратора данных для цифровой магнитовариационной станции «Кварц-ЗЕМ» // Физика окружающей среды: Материалы VIII Международной школы молодых ученых. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. – С. 99-101.
9. *Нечаев С.А.* Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. - 140 с.
10. INTERMAGNET Technical Reference Manual, ver.4.4, 2008, 85 P. (ref. <http://www.intermagnet.org>)