

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ  
С ПОМОЩЬЮ ЦМВС-6 НА МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «ХАБАРОВСК»  
THE FIRST RESULTS OF MONITORING OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD  
USING CMVS-6 AT MAGNETIC OBSERVATORY «Khabarovsk»**

Бобылев Я.М.<sup>1</sup>, Думбрава З.Ф.<sup>1</sup>, Хомутов С.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
[labfiz@vzm.kht.ru](mailto:labfiz@vzm.kht.ru)

<sup>2</sup> Геофизическая обсерватория «Ключи» АСФ ГС СО РАН, г. Новосибирск,  
[khomutov@gs.nsc.ru](mailto:khomutov@gs.nsc.ru)

*There are presented the first results of the measurements of the Earth's total magnetic field at the magnetic observatory "Khabarovsk" after a long break time.*

*The problems of quality measurements such as the accuracy of the absolute magnetometers, the compliance of new data to INTERMAGNET standards, the requirements to the recording software and to the type of ADC are discussed.*

*The values of local K-index were calculated using digital magnetometer and were compared with K-index data, obtained by analog photorecording quartz Bobrov's variometers. The conclusions about the advantages of digital measurements are made.*

### **Введение**

Хабаровская магнитная обсерватория (МО) была создана в 1968 г. в составе комплексной магнитно-ионосферной станции, расположенной в 120 км к югу от г. Хабаровска (47.6°N, 134.7°E) в с.Забайкальское. Но фактически началом работы нужно считать 1972 г., когда были задействованы 3 серии вариометров Боброва, аппаратура для абсолютных измерений поля, освоена обработка и начато представление отчетов в МЦД и существующий в то время иркутский отдел сети. Параллельно с этим данные по К-индексам, в соответствии с существующим договором, направлялись также в Хабаровский центр Гидрометеослужбы. Но уже к 1978 г. измерения полного вектора  $F$  прекратились и до 2006 г. проводилась регистрация только геомагнитных вариаций с помощью одного из вариометров в рамках договора с Гидрометеослужбой.

### **Экспериментальная база и представление информации**

В 2006 г. после длительного перерыва было принято решение о возобновлении мониторинга магнитного поля на новой модернизированной базе в составе сети станций ИКИР ДВО РАН [1]. С этой целью специалистами из магнитных обсерваторий "Патроны" (Иркутск) и "Ключи" (Новосибирск) была проведена полная ревизия имеющегося оборудования, сделана оценка пространственного распределения модуля  $F$  внутри павильонов и между ними, переустановлены старые датчики вариационной серии, установлена и запущена ЦМВС-6 с программой сбора данных, разработанной в ИКИР. ЦМВС-6 была укомплектована 12-ти разрядным АЦП L-Card L-154, который в силу недостаточного разрешения и скорости регистрации уже в 2007 г. был заменен на АЦП L-Card E-14-140 (разрядность – 14).

В 2008 г. получены и задействованы приборы для измерения полного вектора поля: протонный магнитометр ММП-203 с отсчетной точностью 1нТл и fDI-магнитометр на базе немагнитного теодолита ТТ-5 с разрешающей способностью 0.5', использующиеся до этого на Сахалине и Камчатке. В этом же году в связи с некорректной работой старый датчик  $Z$  заменен на новый и на постаменте вблизи ЦМВС установлен температурный датчик разработки С.А.Нечаева (МО "Патроны"). Аналоговые сигналы каналов  $D$ ,  $H$ ,  $Z$  и температуры по кабельным линиям длиной около 30 м передаются в технический павильон, где установлены АЦП и регистрирующие компьютеры.

Для привязки часов компьютера к точному времени UT используется GPS Acutime-2000. Для связи регистрирующего компьютера с техническим зданием (расстояние около 600 м), где расположены компьютеры для обработки и имеющие выход в Internet, используется радиомодем Arlan-640. Общая схема МО представлена на рис.1.

В одной из кабин вариационного павильона установлен цифровой вариационный магнитометр ЦАИС (ИТиГ ДВО РАН), данные которого здесь приводятся для сравнения и при непрерывном мониторинге могут быть использованы как дублирующие.

Для расчета и графического представления магнитных вариаций и абсолютных значений компонент поля  $D$ ,  $H$ ,  $Z$ , полного вектора  $F$  и  $K$ -индексов подготовлены, отлажены и используются

специализированные программы обработки данных (MatLab и C++). Данные ежедневно представляются на сайте ИКИР: <http://ru.www.ikir.ru/Data/Zabaikalskoye/>.

### О качестве проводимых измерений

Вопросом точности измерений в последнее время придается большое значение. Об этом говорит ужесточение требований для МО, входящих в INTERMAGNET [2]. Для оценки соответствия возможностей ЦМВС-6 этим требованиям нами рассмотрены характеристики станции при различных типах АЦП (расчетные и непосредственно измеренные), которые

представлены в табл.1. Измерения проводились с АЦП L-Card E14-140 в двух вариантах: входное напряжение на измерительных каналах D, H  $\pm 2.5$  В, на канале Z  $\pm 10.0$  В (вариант 1) и напряжение на каналах D, H, Z  $\pm 10$  В (вариант 2), а также с АЦП L-Card E-24, входное напряжение на каналах которой всегда  $\pm 2.5$  В (вариант 3). Для сравнения приведены рассчитанные характеристики для гипотетической 16-тиразрядной АЦП с напряжениями  $\pm 10$  В (такая, например, работает в МО "Патроны", Иркутск). В последней графе представлены требования INTERMAGNET [2].

В настоящее время ЦМВС-6 работает по варианту 1. Имеется возможность перехода на вариант 2 перезапуском регистрирующей программы.

Коэффициенты преобразования и оценки разрешения получены при градуировках магнитометра. Из табл.1 видно, что используемый в настоящее время вариант ЦМВС-6 удовлетворяет требованиям INTERMAGNET лишь в части разрешения. Диапазон измерения мал и при сильной магнитной буре ценная информация по вариациям будет "обрезана".

Для оценки температурных коэффициентов (зависимости измерений ЦМВС от температуры) было проведено несколько серий экспериментов с нагревом вариационного павильона. При естественном охлаждении производились непрерывные измерения вектора F в абсолютном павильоне и оценивалась величина базисных значений компонент поля в зависимости от температуры. Конечно, определение температурных коэффициентов с использованием контрольной кабины с другой ЦМВС (можно было бы использовать ЦАИС) и постоянной температурой было бы точнее, но, поскольку кабины в вариационном павильоне не изолированы друг от друга, такой возможности не было.

Величины полученных температурных коэффициентов существенны (табл.1) и для корректного отображения регистрируемых данных необходима термостабилизация кабин или, что гораздо лучше во избежание температурных градиентов, - всего вариационного павильона.

Таблица 1. Характеристики вариационного магнитометра ЦМВС-6 при различных вариантах АЦП

№ п/п	Характеристики	АЦП E-14 DH - $\pm 2.5$ В, Z - $\pm 10$ В (вар. 1)	АЦП E-14 DHZ - $\pm 10$ В (вар. 2)	АЦП E-24 DH,Z - $\pm 2.5$ В, Z - через делитель. (вар.3)	АЦП, 16 разр., 10В	Стандарт INTERMAGNET для средних широт
1	Количество каналов и входные напряжения	16; 0.65, 2.5, 10В	16; 0.65, 2.5, 10В	4; 2,5В	8; 2.5,10В	
2	Диапазон измеряемой величины D, нТл	$\pm 330$	$\pm 1330$	$\pm 335$	$\pm 1340$	$\pm 3000$
3	Диапазон измеряемой величины H, нТл	$\pm 350$	$\pm 1380$	$\pm 350$	$\pm 1400$	$\pm 3000$
4	Диапазон измеряемой величины Z, нТл	$\pm 300$	$\pm 300$	$\pm 75$	$\pm 300$	$\pm 3000$
5	Разрешение по D, нТл	0.0405 *	0.1624 *	0.0000385	0.041	0.1

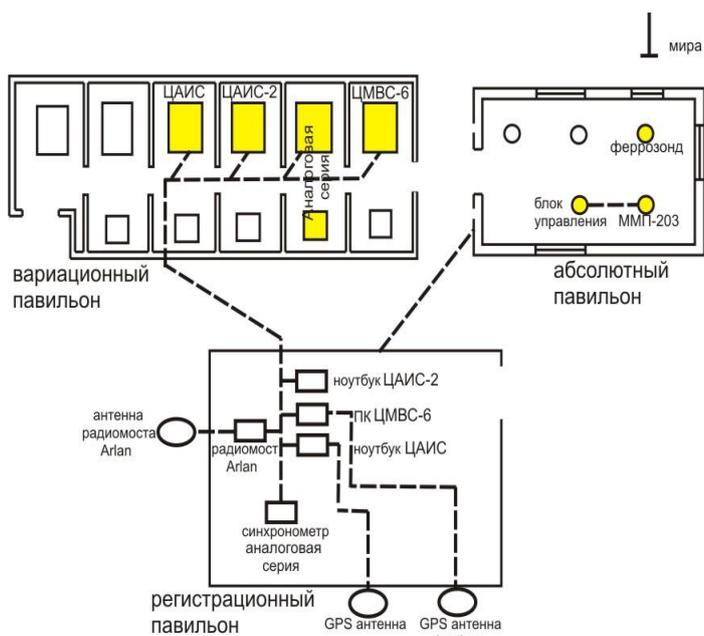


Рис.1. Схема размещения аппаратуры.

6	Разрешение по H, нТл	0.0423 *	0.1692 *	0.0000403	0.043	0.1
7	Разрешение по Z, нТл	0.0366 *	0.0366 *	0.0000381	0.009	0.1
8	Коэфф. преобразования по D, нТл/мВ	0.1337 *	0.1330 *	0.1340	0.1340	
9	Коэфф. преобразования по H, нТл/мВ	0.1399 *	0.1386 *	0.1400	0.1400	
10	Коэфф. преобразования по Z, нТл/мВ	0.0300 *	0.0300 *	0.0300	0.0300	
11	Температурный коэфф. по D, нТл/°С	0.00 *				≤0.25
12	Температурный коэфф. по H, нТл/°С	0.55 *				≤0.25
13	Температурный коэфф. по Z, нТл/°С	0.77 *				≤0.25
14	Дрейф базисных уровней, нТл/год	≤5 *				≤5
15	Погрешность базисных значений, нТл	7-10 *				±5
16	Частота измерений, Гц	1	1	1-10, Δf=1Гц		1
17	Программа регистрации	GO32, ИКИР, C++, библ. АЦП	GO32, ИКИР, C++, библ. АЦП	e24, ТОИ, FreePascal, библ. АЦП не использ.		
19	Получение оперативной информации	1 сутки	1 сутки	1 мин.		
20	Оперативная передача информации	e-mail - 1раз/сутки	e-mail - 1раз/сутки	автомат. на сервер,		
21	Визуализация (коэфф. усиления 1-8)	-	-	+		

Примечание: \* - значения, определенные экспериментально.

Погрешность определения базисных значений ЦМВС определяется их разбросом во время периода регистрации МП. Эта величина составила  $\pm(8-10)$  нТл для разных компонент поля. Величина погрешности складывается из погрешностей абсолютных приборов, опытности наблюдателей и погрешности регистрирующего вариометра ЦМВС-6. Для проверки влияния последнего предположения были использованы данные, полученные с помощью ЦАИС. Сравнение результатов для ЦАИС и ЦМВС-6 в течение двух месяцев существенного различия в разбросе базисных значений не показало. Измерения полного вектора проводили четыре наблюдателя, разбросы значений у трех из них были примерно одинаковы. Следовательно, причиной разброса являются погрешности абсолютных магнитометров: ММП 203 и феррозондового деклинометра/инклинометра, что является ожидаемым, принимая во внимание их невысокое разрешение. Кроме того, еще в 2005 г при сверке именно этого fDI и DI-магнитометра LEMI-203 (немагнитный теодолит ЗТ2КП с отсчетной ценой деления 1") на МО "Стекольный" (Магадан) отмечалось, что fDI имеет проблемы с измерением наклона из-за наличия магнитных деталей и люфтов в горизонтальной оси теодолита. Систематическая погрешность по наклону была оценена примерно в  $-1.5'$ , и, исходя из этой величины, различие в значениях  $H_0$  и  $Z_0$  до 20 нТл. Больше сверок этого магнитометра не проводилось.

Дрейф базисных линий определялся по двум рядам данных: январь – июнь 2009 г. и январь – апрель 2010 г. Между этими периодами измерения не производились из-за ремонта павильонов. Оценки показали, что медленные изменения базисных значений находятся в пределах 5 нТл, что говорит о достаточно хорошей долговременной стабильности магнитометра ЦМВС-6.

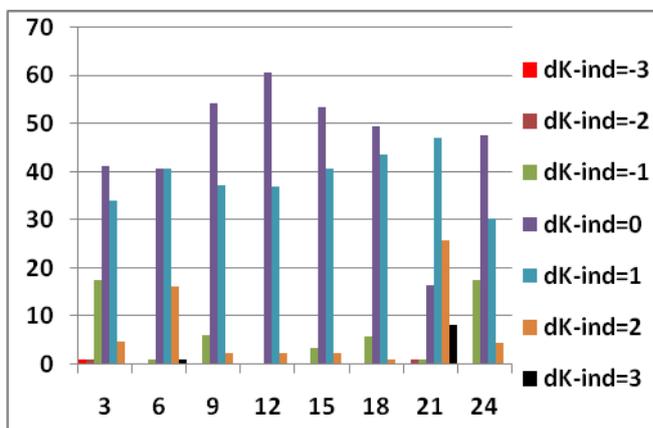


Рис.2. Отклонение K-ind(an) - K-ind(dig), %.

Проведено сравнение полученных значений модуля F за январь 2009-апрель 2010 гг., за 1975г. и соответствующих данных модели IGRF11. По порядку значений и общему ходу результаты удовлетворительные.

**Оценка К-индексов, полученных с помощью аналоговой МВС и ЦМВС-6**

Для марта-июня 2009 г. выполнено сопоставление К-индексов, определенных методом Майо при  $K_9=350$  нТл с помощью аналоговой и цифровой записей, т.е. фактически сопоставление ручного и программного

способа. Цифровой расчет выполнялся с помощью специальной программы KAsm, рекомендованной INTERMAGNET. Результаты представлены на рис.2.

Видно, что расхождения нет ( $dK-ind=0$ ) в 40-60% случаев. Исключение составляет только период с 18 по 21UT (16%). Ручная обработка завышает K-индексы по сравнению с цифровой в 35-80% случаев, в основном не более чем на 1 балл. Доля случаев превышения (на 3 балла) незначительна (0-8%). При этом максимум расхождений наблюдается в минимумах суточного хода и связано это с погрешностями ручной обработки. Все вышесказанное относится к спокойному полю. Статистику расхождений при  $K-ind \geq 3$  посмотреть не удалось, т.к. в течение всего анализируемого периода магнитных бурь практически не было.

Цифровой метод представляется авторам более единообразным и менее подверженным субъективным оценкам.

### **Заключение**

Проведенные в 2008-2009 гг. измерения магнитного поля на МО «Хабаровск» показали ряд проблем, требующих срочного решения.

Для получения корректных результатов необходимо дооснащение МО современной аппаратурой для измерения полного вектора F: протонным магнитометром с разрешением 0.1 нТл и феррозондовым fDI-магнитометром с ценой деления (1-5)", а также переход на АЦП с большей разрядностью и с более гибким ПО.

Исходя из характеристик имеющихся магнитных датчиков и стандартов INTERMAGNET, можно сформулировать оптимальные требования к типу АЦП и программе регистрации:

- 1) 16-ти разрядное АЦП, с входным напряжением по каналам  $\pm 10В$ ;
- 2) поддержка температуры в кабине с ЦМВС в пределах  $\pm 0.3^{\circ}C$ ;
- 3) частота измерений в пределах 1-10 Гц, с дискретом 1 Гц – в расчете на будущее, т.к. уже сейчас INTERMAGNET для исследования быстрых процессов продвигает новый стандарт магнитных данных – секундный;
- 4) возможность визуализации уровня сигнала на экране монитора с различными коэффициентами усиления;
- 5) программа регистрации, позволяющая получать данные в режиме on-line с доступом не более чем с трехчасовой задержкой (для возможности оперативного расчета K-индексов) и выводить их на сервер в автоматическом режиме.

Авторы благодарят В.Каплуна (ИТиГ ДВО РАН) за предоставление данных ЦАИС и И.Дмитриева (ТОИ ДВО РАН) за возможность использования АЦП L-Card E-24 и программу сбора данных к нему.

### **Литература**

1. Кузнецов В.В., Хомутов С.Ю. Исследование вариаций геомагнитного поля с использованием сети магнитных обсерваторий ИКИР ДВО РАН // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Сб. докладов. IV международная конференция, с.Паратунка Камчатского края, 14-17 авг. 2007 г. [http://ru.www.ikir.ru/Conferences/iv\\_international\\_data/collection.rar/2\\_2.pdf](http://ru.www.ikir.ru/Conferences/iv_international_data/collection.rar/2_2.pdf).
2. INTERMAGNET. Technical Reference Manual. Ver.4.4, 2008. [http://www.intermagnet.bgs.ac.uk/TechnicalSoft\\_e.html](http://www.intermagnet.bgs.ac.uk/TechnicalSoft_e.html).
3. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: изд. Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2006.- 140с.