

## НОВАЯ МАГНИТНАЯ СТАНЦИЯ В Г. КУРЧАТОВЕ, КАЗАХСТАН

<sup>1)</sup>Беляшов А.В., <sup>2)</sup>Гвоздарев А.Ю., <sup>3)</sup>Хомутов С.Ю.

<sup>1)</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>2)</sup>Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия

<sup>3)</sup>Геофизическая обсерватория "Ключи" Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН, Новосибирск, Россия

В 2011 г. в г. Курчатове на базе Института геофизических исследований НЯЦ РК построена магнитная станция взамен станции, работавшей в советское время (70-годы прошедшего столетия) в составе комплексной системы Курчатов-Крест. В качестве основных требований приняты стандарты, разработанные для действующей глобальной сети геомагнитных обсерваторий INTERMAGNET, включающей более 100 обсерваторий по всему миру и обеспечивающей измерения магнитного поля с разрешением 0.1 нТл и долговременной стабильностью не хуже 5 нТл/год. Ориентируясь на эти требования, место для строительства станции выбрано вблизи технической площадки № 2 Института по результатам проведенной полевой магнитной съемки и оценки значений градиента магнитного поля. Для новой магнитной станции запланировано решение целого ряда задач: непрерывный мониторинг магнитного поля Земли с перспективой получения статуса магнитной обсерватории сети INTERMAGNET, участие в геофизическом мониторинге ядерных испытаний, работа в качестве вариационной станции при проведении полевых магнитных измерений в местах проведения ПЯВ на СИП, обеспечение контрольных измерений и тестирования полевой магнитометрической аппаратуры. На территории станции построены два немагнитных павильона - для абсолютных и вариационных измерений, - и технический павильон для вспомогательной аппаратуры. Станция оснащена современными цифровыми магнитометрами российского и украинского производства. В марте 2012 г. Государственная приемная комиссия провела приемку в эксплуатацию магнитной станции Курчатов.

В докладе приводятся техническое описание новой магнитной станции и результаты предварительной оценки качества ее работы.

### **Введение**

В 1960-80-е гг. в г. Курчатове на базе воинской части №14053 действовала 9 отдельная лаборатория спецконтроля [1], одним из основных направлений работы которой был мониторинг ядерных испытаний на мировых полигонах. В состав геофизической службы мониторинга входили сейсмическая, инфразвуковая, магнитная, ионосферная и радионуклидная технологии. С середины 1990-х годов техническое обеспечение вышеперечисленных технологий начало сокращаться и к середине 2000-х годов они пришли практически в полный упадок. В связи с актуальностью выполнения мероприятий по мониторингу несанкционированных ядерных испытаний в рамках Международной сети мониторинга (МСМ) Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) и контролю за региональной и локальной сейсмичностью, было принято решение о восстановлении геофизических технологий мониторинга в г. Курчатове на базе Института геофизических исследований НЯЦ РК. В 2005-2006 гг. с помощью финансирования и организационного обеспечения ВТС ОДВЗЯИ была полностью восстановлена система сейсмического группирования AS-058 "Курчатов-Крест", официально входящая в состав МСМ. С 2008 года за счёт республиканского бюджетного финансирования ведутся работы по восстановлению инфразвуковой и магнитной технологий, в результате которых в 2010 году была построена инфразвуковая группа, в 2011 – магнитная станция.

Новая магнитная станция в г. Курчатове организована на территории, относящейся к Институту геофизических исследований НЯЦ РК, вблизи технической площадки №2. Организационно она представляет собой комплекс, состоящий из двух павильонов для магнитных измерений (абсолютного и вариационного), и технического павильона для вспомогательного оборудования. Магнитная станция будет решать следующие задачи: непрерывный мониторинг регионального и глобального магнитного поля Земли, участие в мониторинге ядерных испытаний совместно с другими восстановленными геофизическими технологиями, работа в качестве базовой (опорной) вариационной станции при проведении полевых магнитных измерений в местах проведения ПЯВ на СИП, обеспечение контрольных измерений и тестирование полевой магнитометрической аппаратуры.

### ***Проектирование и строительство станции***

В рамках предпроектных работ по строительству станции в первую очередь были проведены мероприятия по оценке пригодности для восстанавливаемой магнитометрической технологии немагнитного павильона, действовавшего ранее на территории технической площадки №2. Оценка пригодности проводилась по международным требованиям к магнитным станциям, согласно которым, в частности, магнитное поле на участке станции должно иметь градиент не более 5 нТл/м [2, 3, 4]. Выполнены измерения уровня локального магнитного поля на участке размещения павильона площадью 100x100 м<sup>2</sup>, в результате которых выявлена магнитная аномалия от обсадной колонны 25-метровой сейсмической шахты, расположенной в 25 метрах к югу от старого павильона (Рис. 1). Данная аномалия интенсивностью до 6000 нТл и с градиентом порядка 200 нТл/м вносила бы недопустимые помехи в стационарные магнитные измерения, поэтому старый немагнитный павильон не подошёл для новой станции.

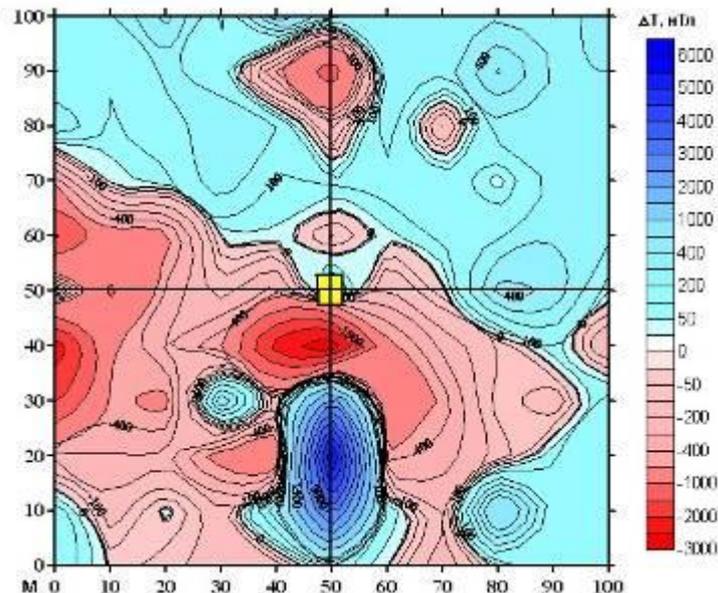


Рис. 1. Распределение магнитного поля в районе старого павильона (жёлтый прямоугольник)

Для выбора нового места под размещение магнитной станции была выполнена магнитная съемка на двух перекрывающихся участках площадью 1000x1000 м<sup>2</sup> каждый (Рис. 2), по результатам которой были выделены два участка с низкими градиентами поля, потенциально пригодных под размещение новой станции – к северо-востоку и юго-западу от технической площадки №2. Участок, расположенный к северо-востоку, был отбракован по общеорганизационным соображениям – он расположен в холмистой местности недалеко от

[Введите текст]

резкого обрыва без прямой видимости от технической площадки №2. В связи с этим, под размещение новой станции был выбран участок в 500 м к юго-западу от старого павильона. Детальные измерения на данном участке показали, что градиент магнитного поля на нём не превышает 0.7 нТл/м (Рис. 2).

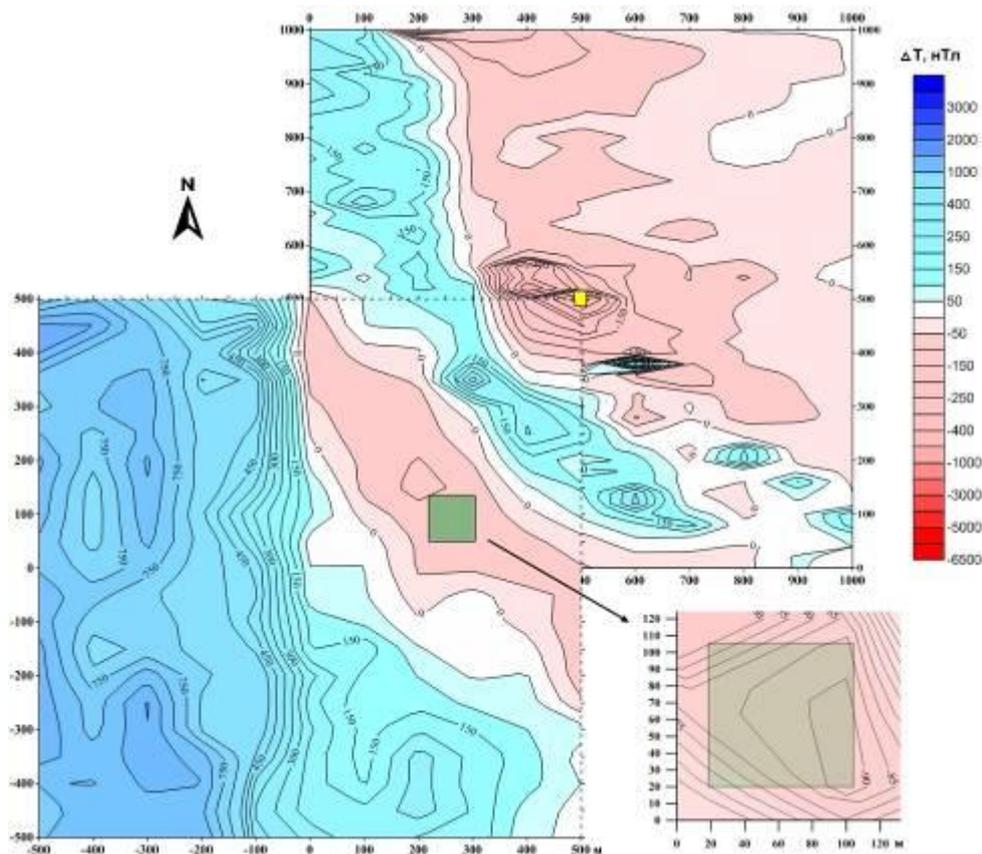


Рис. 2. Распределение модуля магнитного поля в районе технической площадки №2 с выбором места под размещение новой магнитной станции (жёлтый прямоугольник – старый павильон, зелёный – участок под новую станцию)

По результатам предпроектных работ было составлено Задание на разработку Рабочего проекта «Магнитная станция ”Курчатов”, г. Курчатов, ВКО». Проект, разработанный в 2009 г. в ТОО “Промэнергопроект” (г. Семей, РК), в 2010 г. получил положительную оценку Государственной экспертизы.

Строительство магнитной станции по Рабочему проекту проведено в 2011 г. силами ДГП «Байкал» РГП НЯЦ РК. Согласно техническим требованиям станцию необходимо было монтировать из немагнитных материалов [3, 4], в связи с чем процесс строительства был обеспечен геофизическим сопровождением – проверкой всех материалов (бутового камня, песка, цемента, кирпича и пр.) на немагнитность с помощью капметра МП-01 (АО “Геотекс”, г. Алматы, РК) и протонного магнитометра ММ-61 (“Казгеофизприбор”, г. Алматы, РК). Павильоны были построены из белого силикатного кирпича (Рис. 3). Внутренняя отделка помещений выполнена из деревянных элементов с использованием медного (немагнитного) крепежа – гвоздей и шурупов. Приборные постаменты изготовлены из бутового камня на цементно-известковом растворе.

Параллельно со строительством станции выполнялись мероприятия по приобретению магнитометрической аппаратуры. Для абсолютных измерений модуля индукции магнитного поля был приобретён обсерваторский оверхаузеровский магнитометр POS-1 (НИЛ КМ

[Введите текст]

УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург, РФ), для определения магнитного склонения и наклона — DI-магнитометр LEMI-204 на базе немагнитного теодолита ЗТ2КП, для измерения вариаций поля – трехкомпонентный феррозондовый вариометр LEMI-025 (ЛЦ ИКИ НАНУ, г. Львов, Украина). Современное высокоточное оборудование, отвечающее всем техническим требованиям [2], установлено в немагнитных павильонах (Рис. 4).



Рис. 3. Внешний вид магнитной станции (слева – технический павильон, в центре – вариационный павильон, справа – абсолютный павильон)

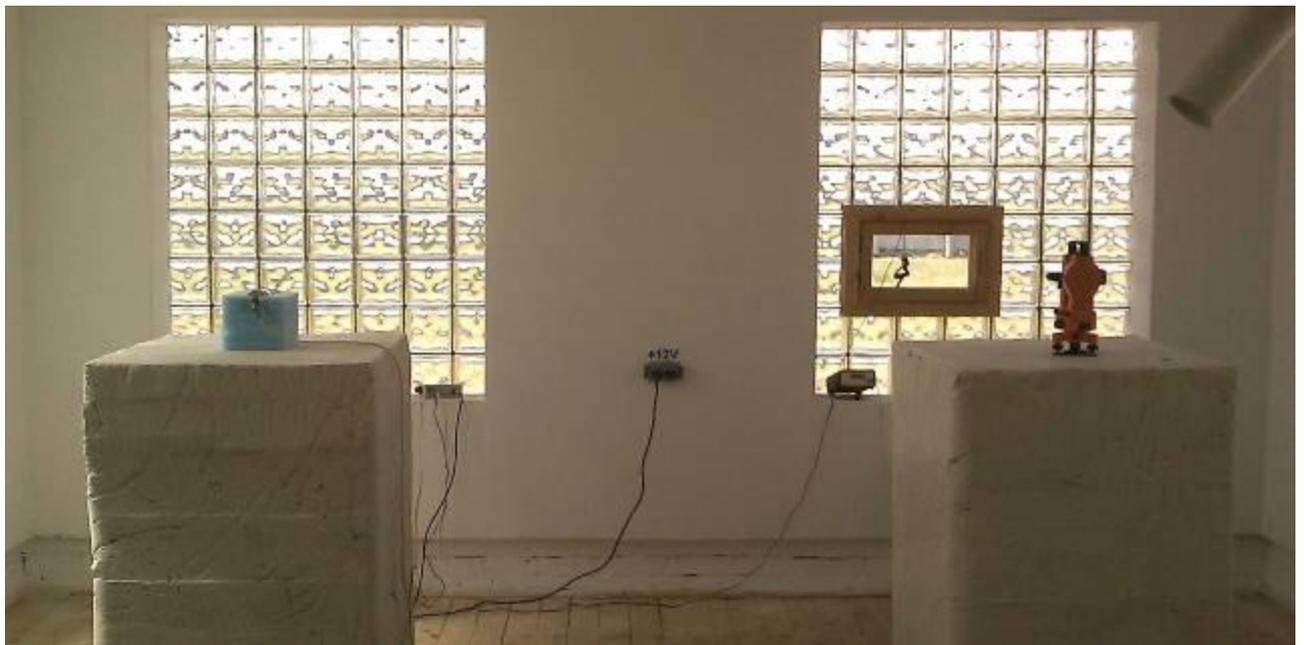


Рис. 4. Расположение аппаратуры в абсолютном павильоне. Слева – постамент для измерений модуля поля (POS-1), справа – постамент для DI-измерений (LEMI-204). Над DI-постаментом установлена специальная монтировка, обеспечивающая астрономические наблюдения Полярной

Для проведения режимных контрольных измерений уровня магнитного поля на участке размещения станции, а также для полевых наблюдений в местах проведения подземных ядерных взрывов на СИП, были приобретены два мобильных магнитометра – магнитометр ММРОС-1 и магнитометр-градиентометр ММРОС-2 (НИЛ КМ УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург, РФ).

#### *Оценка магнитных характеристик новой станции*

В феврале 2012 г. проведена комплексная оценка новой магнитной станции. В число оцениваемых характеристик вошли:

- распределение магнитного поля и его градиента на участке размещения станции;
- магнитные свойства материалов, из которых построены павильоны, а также распределение поля и его градиента внутри павильонов и над постаментами;
- уровень технических решений (размеры помещений, постаментов, электротехническое обеспечение и пр.);
- работоспособность магнитометрического оборудования.

Съемка территории станции была выполнена полевым магнитометром POS-1 с автономным накопителем DLPOS в пешеходном режиме с отметкой пикетов с помощью штатного GPS-приемника, высота съемки 2 м. Второй POS-1 использовался в качестве вариационной станции, для учета естественных геомагнитных вариаций. Результаты представлены на рис. 5. Хорошо прослеживается повышение поля субмеридионального простирания амплитудой около 50 нТл в центральной части площадки. Вариационный павильон стоит несколько сбоку от её оси, а абсолютный – на оси, однако в зоне, где на эту структуру накладывается субширотная отрицательная аномалия. Общая картина согласуется с субмеридиональными особенностями, выделяемыми по результатам более масштабной съемки (рис. 2).

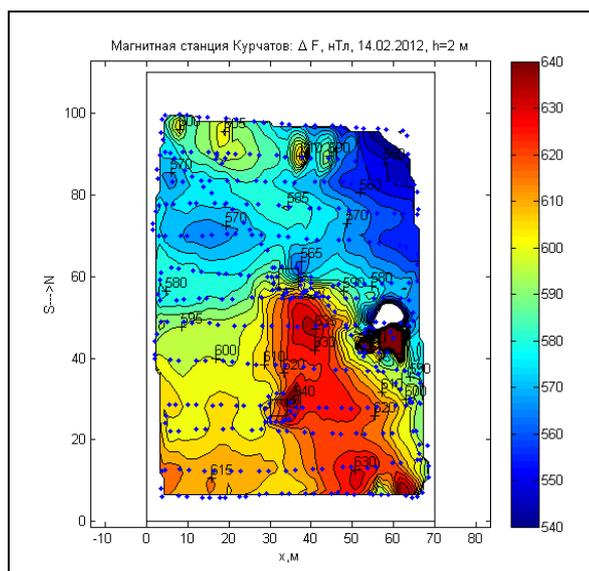


Рис. 5. Распределение модуля поля  $F$  по территории станции на высоте 2 м. Точками показаны пикеты, прямоугольниками – павильоны.

Съемка в вариационном и абсолютном павильонах была выполнена теми же магнитометрами, что и съемка территории, шаг сетки 0.5 м, высотные уровни 0.5, 1.0 и 1.5 м. Карты изодинам для высоты 1 м (примерно уровень поверхности постаментов) представлены на рис.6. В вариационном павильоне наиболее заметной является сильная аномалия в юго-восточном углу, вызванная экранирующей стальной лентой сигнального кабеля (экран кабеля в павильоне уже снят). Также хорошо видно влияние постамента из цементно-известковой смеси на поле: непосредственно над столбом наблюдается усиление поля на 20 нТл, а вокруг столба – ослабление на 10 нТл. Вид этой аномалии говорит о намагниченности постамента за счёт примеси цемента. В распределении поля в абсолютном павильоне прослеживается понижение к северу на 13 нТл, что даёт средний горизонтальный градиент 2.7 нТл/м (около 3.1 и 1.7 нТл/м на высотах 0.5 и 1.5 м). Кроме того, заметно влияние намагниченности постаментов: на высоте 150 см над ними наблюдается

[Введите текст]

положительная аномалия, а на других высотах рядом с ними локализуются знакопеременные аномалии.

Микросъемка над постаментами выполнена на сетке с шагом 20 см на высотных уровнях 10, 20 и 50 см. Для контроля стабильности измерений выполнялись измерения по диагональному профилю. Распределение поля на высоте 10 см представлено на рис.7. Как видно, поле над постаментом в вариационном павильоне имеет характерный тренд к северу, возможно, отражающий эффект стальной оболочки кабеля в юго-восточном углу. Распределение аномального поля  $F$  над южным постаментом в абсолютном павильоне, на котором в дальнейшем был установлен датчик POS-1, имеет сложную структуру, с возможным источником положительной аномалии на южной стене павильона (или за ней). Постамент для DI-наблюдений показывает более симметричную картину поля с максимумом до +20 нТл практически в центре постамента (с высотой аномалия сохраняет вид, однако ее амплитуда падает до 5 нТл на высоте 50 см).

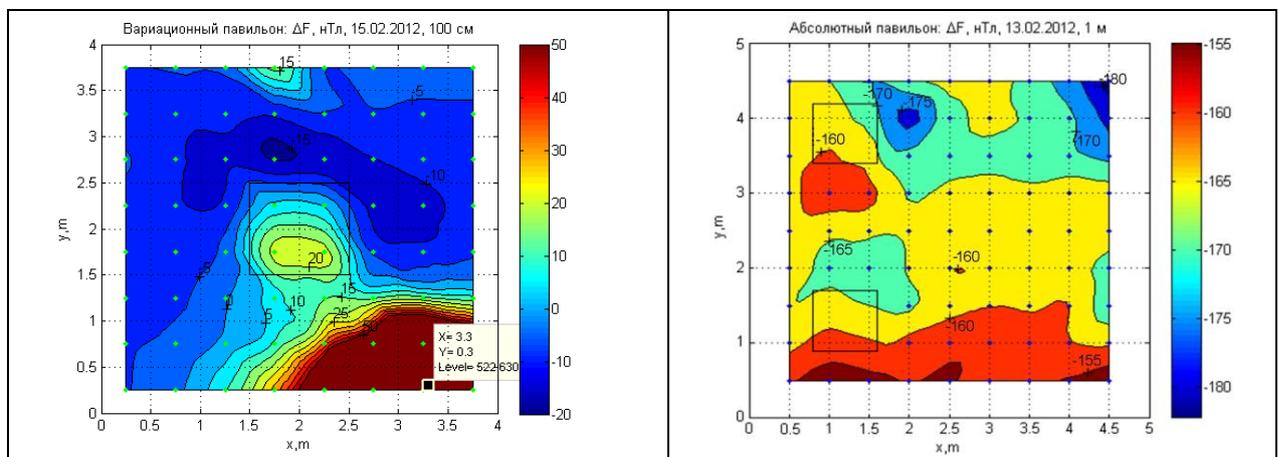


Рис. 6. Распределение модуля поля  $F$  в вариационном (слева) и абсолютном (справа) павильонах на высоте 1 м. Точками показаны пикеты, прямоугольниками – постаменты.

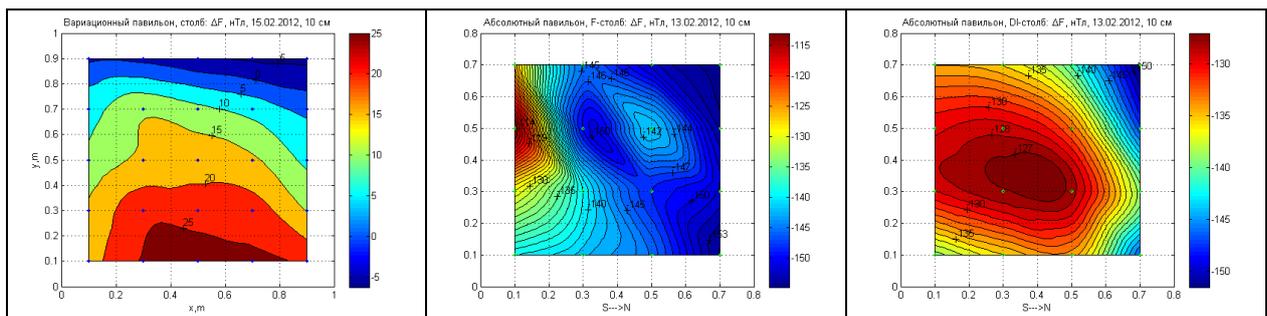


Рис. 7. Распределение модуля поля  $F$  на высоте 10 см над постаментом в вариационном павильоне (слева) и над F- (в центре) и DI- (справа) постаментами в абсолютном павильоне.

После получения результатов о пространственном распределении поля, которые показали принципиальную пригодность станции для магнитных измерений, была выполнена установка магнитометров.

Блок датчиков феррозондового вариометра LEMI-025 установлен в центре постамента на штатные подпятники, отnivelирован и сориентирован по магнитному меридиану. Блок электроники LEMI расположен в юго-восточном углу павильона, GPS-приёмник – на крыше. Регистрирующий компьютер находится в основном здании площадки №2, связь – по Ethernet-каналу, используя на концах длинной линии специальные адаптеры

[Введите текст]

"RS232-Ethernet". Питание 12 В подаётся из технического павильона. Регистрация выполняется с помощью штатного программного обеспечения, поставляемого с аппаратурой, частота измерения вариаций  $dH$ ,  $dD$ ,  $dZ$  – 10 Гц, данные сохраняются во внутреннем формате (исходные) и в формате IAGA2002 (1-секундные и 1-минутные). Кроме магнитных данных также выполняется измерение температуры в блоке датчиков и в блоке электроники. Расположение LEMI-025 в вариационном павильоне показано на рис. 8.

Датчик оверхаузеровского магнитометра POS-1 установлен в абсолютном павильоне в центре F-постаменты (южного) в специальной подставке (см. рис. 8), его электронный блок и антенна встроенного GPS-приемника – на окне. Питание и связь с регистрирующим компьютером обеспечиваются так же, как и для LEMI-025. Управление магнитометром и регистрация данных выполняется с помощью штатной программы POS Manager, периодичность измерений – 3 с.

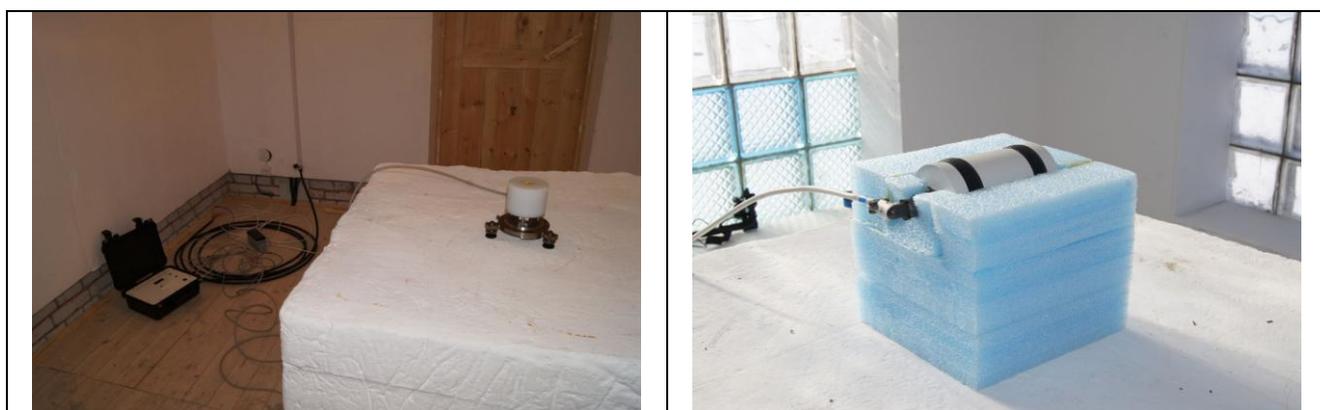


Рис. 8. Расположение феррозондового трехкомпонентного магнитометра LEMI-025 в вариационном павильоне (слева) и датчика оверхаузеровского магнитометра POS-1 на F-постаменте в абсолютном павильоне (справа).

На расстоянии около 500 м от абсолютного павильона в направлении на север был временно установлен удаленный репер, необходимый для определения магнитного склонения. Он представляет собой стальную трубу диаметром 20 см, заглубленную на 2 м и высотой около 2 м. Предварительный азимут репера был определен геодезическим (по координатам) и астрономическим (по Полярной и по Солнцу) методами и составляет около  $03^{\circ}31'$ .

На северном постаменте в абсолютном павильоне были проведены тестовые измерения магнитного склонения  $D$  и наклонения  $I$ . К сожалению, у штатного  $DI$ -магнитометра LEMI-204 обнаружились проблемы с лимбом горизонтального круга, поэтому все дальнейшие наблюдения выполнялись на приборе ЗТ2КП обсерватории "Ключи" (Новосибирск). Абсолютные измерения полного вектора поля (элементы  $D, I, F$ ) являются обязательными для магнитных обсерваторий и позволяют эффективно контролировать стабильность вариометров (базисных линий  $H_0, D_0, Z_0$ ). На станции "Курчатов" в рассматриваемый период (для 16-18 февраля 2012 г.) было выполнено 9 таких измерений, сериями по три в сутки. Результаты представлены в таблице. Абсолютные значения поля отнесены к эпохе 2012, февраль "Date, UT". Для сравнения в последней строке представлены элементы, вычисленные по модели Международного опорного магнитного поля IGRF-2010 для эпохи 2012.5. По базисным значениям за каждые сутки представлены стандартные отклонения.

Как видно, индивидуальные базисные значения за сутки имеют низкий разброс, что говорит о высоком качестве абсолютных наблюдений и низком шуме в вариационных

[Введите текст]

данных. Однако имеются изменения базисных значений от суток к суткам, которые для  $D_0$  могут быть объяснены влиянием температуры, для  $H_0$  и  $Z_0$  – совместным влиянием температуры и наклоном блока датчика в плоскости магнитного меридиана.

Результаты установки, настройки и тестирования магнитометров и вспомогательного оборудования позволили сделать следующие выводы о станции:

1) поле на территории станции и внутри магнитных павильонов представляется как имеющее допустимый уровень неоднородности, однако целесообразно также при возможности предусмотреть замену имеющихся постаментов на менее магнитные;

2) размеры магнитных павильонов представляются вполне оптимальными, просторный абсолютный павильон очень удобен для магнитных измерений;

3) постаменты в абсолютном павильоне стабильны, постамент для протонного магнитометра оптимален. Однако постамент для DI-наблюдений получился громоздким, что делает его очень неудобным при проведении работ с DI-магнитометром;

4) обогрев павильонов с помощью термошнуров неэффективен, нестабильность температуры в вариационном павильоне до  $10^{\circ}\text{C}$  может давать значимый эффект в магнитных измерениях, пониженная температура в абсолютном павильоне создает некомфортную обстановку для магнитолога при DI-наблюдениях.

В рамках тестирования станции была выполнена сверка оверхаузеровских магнитометров POS-1: штатных приборов №413 и №414 (Курчатов), №105 (Новосибирск) и №285 (Горно-Алтайск). Два привозных прибора осенью 2011 г. были сверены на обсерватории "Арти" (ИГФ УрО РАН, г.Екатеринбург) и у разработчика (НИЛ КМ УГТУ-УПИ). Использовалась стандартная методика, в качестве образцового принимался POS-1 №285. Результаты сверки показали, что инструментальные погрешности магнитометров №№413 и 414 относительно №285 составляют  $+0.86$  и  $+0.64$  нТл, соответственно, т.е. находятся в пределах заявленной разработчиком абсолютной погрешности.

#### Результаты абсолютных наблюдений и определения базисных значений вариометра LEMI-025

Date	UT	Абсолютные значения					Базисные значения		
		D	I	F	H	Z	$D_0$	$H_0$	$Z_0$
16	09:58.1	06:20:45	70:32:51	57617.5	19188.2	54328.6	06:12:53	19148.9	54341.0
16	10:19.6	06:21:06	70:33:04	57615.8	19184.1	54328.2	06:12:54	19148.3	54341.4
16	10:58.1	06:22:06	70:33:30	57614.2	19176.7	54329.1	06:13:03	19148.6	54341.2
							$\pm 05''$	$\pm 0.3$	$\pm 0.2$
17	05:53.1	06:23:30	70:32:34	57612.8	19190.9	54322.6	06:12:30	19145.7	54342.7
17	06:10.4	06:22:60	70:32:33	57612.3	19191.1	54321.9	06:12:26	19144.8	54343.0
17	06:22.5	06:23:01	70:32:32	57611.7	19191.0	54321.4	06:12:32	19144.7	54343.0
							$\pm 03''$	$\pm 0.6$	$\pm 0.2$
18	10:27.5	06:21:17	70:32:13	57616.5	19197.8	54324.0	06:12:59	19143.1	54343.8
18	10:42.4	06:21:36	70:32:18	57616.0	19196.2	54324.1	06:12:51	19142.6	54344.0
18	11:01.2	06:21:27	70:32:21	57616.0	19195.6	54324.4	06:12:42	19143.3	54343.8
<b>модель IGRF10, 2012.5</b>		<b>07:49</b>	<b>70:23</b>	<b>57897.8</b>	<b>19439.9</b>	<b>54536.6</b>	$\pm 08''$	$\pm 0.4$	$\pm 0.1$

#### **Оценка качества магнитных данных на новой станции**

В настоящее время магнитная станция "Курчатов" работает в тестовом режиме непрерывной регистрации магнитного поля. Формируется база данных, выполняется отладка программного обеспечения для оперативной обработки результатов измерений, идет обучение персонала методике абсолютных наблюдений и их обработки.

Предварительный анализ полученных данных показывает, что фоновый шум имеет очень низкий уровень, и после исключения техногенных помех по завершению наладочных и

[Введите текст]

тестовых работ на территории станции результаты измерений могут быть использованы для решения задач, заявленных при проектировании. Для примера на рис. 9 представлены результаты измерений 8 марта 2012 г. на станции "Курчатов" и на обсерватории "Ключи" (Новосибирск). В эти сутки наблюдалась развивающаяся магнитная буря с K-индексом 5 в начальной фазе. Также на рис. 9 показан фрагмент вариации  $dH$  с геомагнитными пульсациями. Можно отметить, что поле в Курчатове заметно более чистое, в особенности это хорошо заметно в Z-компоненте.

На рис. 10 показаны изменения температуры в вариационном павильоне (данные LEMI-025) за 19 февраля – 9 марта 2012 г. Для сравнения приведена кривая разностей модуля поля  $F(LEMI)$ , вычисленного по вариациям и базисным значениям, и непосредственно измеренного  $F(POS)$ . Хорошо видны суточные вариации температуры с амплитудой до  $1^\circ\text{C}$ , которые прослеживаются и в магнитных данных. Причина последних – температурная зависимость вариометра LEMI-025. Еще более выразительно эта зависимость проявляется во время нагрева вариационного павильона в течение 21 февраля (температура возросла почти на  $25^\circ\text{C}$ ), однако необходимо учитывать возможный скачок в магнитных данных из-за размещения в павильоне нагревателей.

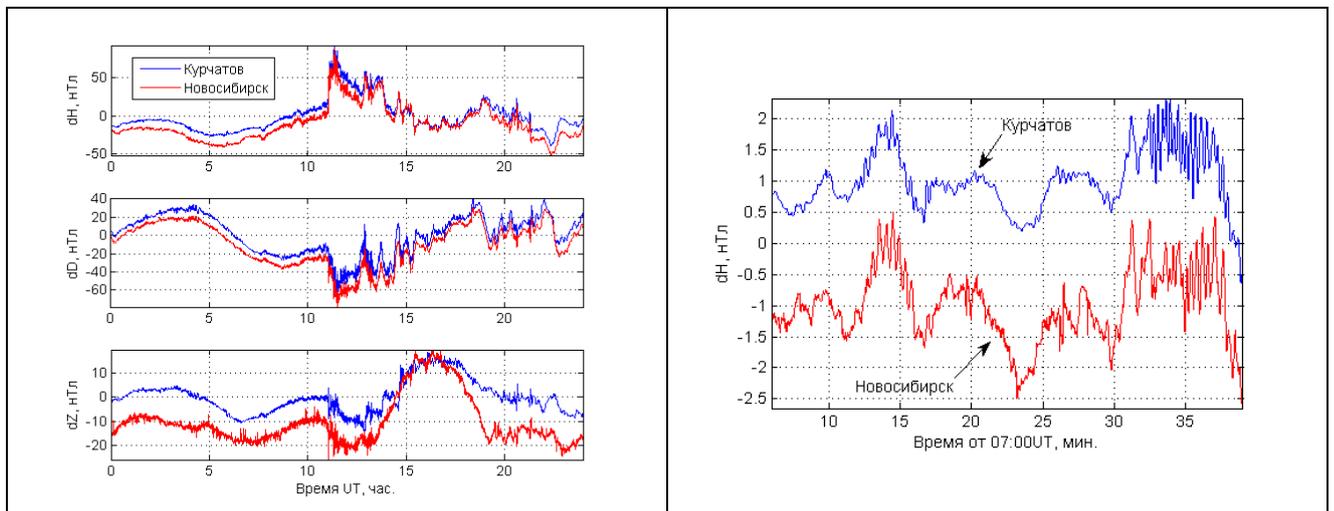


Рис. 9. Вариации магнитного поля 9 марта 2012 г., зарегистрированные на станции "Курчатов" и обсерватории "Ключи" (Новосибирск). Левая панель – вариации  $dH$ ,  $dD$  и  $dZ$  за сутки (для наглядности кривые для Новосибирска смещены вниз на 10 нТл), правая панель – фрагмент записи вариаций  $dH$  с геомагнитными пульсациями.

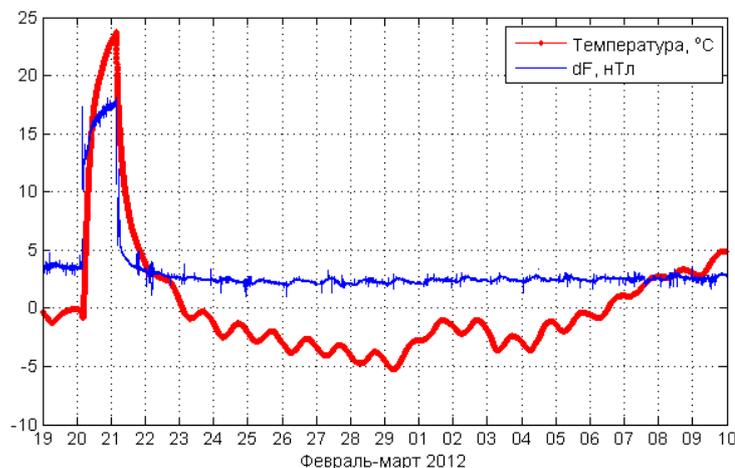


Рис. 10. Вариации температуры в вариационном павильоне и разность модулей  $F_{LEMI}-F_{POS}$  (пояснения см. в тексте).

### ***Заключение***

По результатам работы Государственной приёмочной комиссии МИНТ в марте 2012 г. новая магнитная станция «Курчатов» была принята в эксплуатацию. В настоящее время станция проходит этап комплексного тестирования совместно с другими геофизическими станциями системы «Курчатов-Крест». Результаты технической оценки станции и регистрируемых магнитных данных показали уровень, позволяющий после подтверждения его долговременной стабильности (6 - 12 мес.) говорить о соответствии станции "Курчатов" требованиям международной сети INTERMAGNET.

После завершения тестирования станция начнёт работу в полноценном режиме непрерывной регистрации магнитных данных в рамках решения поставленных перед нею задач по изучению регионального и глобального магнитного поля Земли, непрерывному мониторингу ядерных испытаний и других событий совместно с восстановленными геофизическими технологиями в г. Курчатове и пр. Регистрируемые данные также могут быть использованы в совместных наблюдениях с другими магнитными обсерваториями, расположенными как на территории Казахстана (с геомагнитной обсерваторией “Алма-Ата” Института ионосферы МОН РК), так и за его пределами (например, с обсерваторией “Ключи” АСФ ГС СО РАН, магнитной станцией “Байгазан” Горно-Алтайского университета и др.).

Одной из приоритетных задач станции "Курчатов" должно стать обеспечение мониторинга магнитного поля в соответствии с требованиями стандарта INTERMAGNET.

### **Литературные источники**

1. Васильев А.П., Востриков А.А., Ерастов В.В. и др. История Семипалатинской лаборатории. – *Вестник НЯЦ РК*, 2008, №1, СС. 78-98
2. St-Louis, B.J., Sauter, E.A., Trigg, D.F., Coles, R.L. and Regimbald, D, INTERMAGNET Technical Reference Manual, Version 4.5, 2011.
3. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. – *Иркутск*, 2003.
4. Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for magnetic measurements and observatory practice. - IAGA, Warsaw, 1996, 235 p.