

УДК 550.837

СОЗДАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ НА АЛЕКСАНДРОВСКОЙ БАЗЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРАКТИК ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ (КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н.Л. ШУСТОВ, В.А. КУЛИКОВ, Е.В. МОЙЛАНЕН,
А.Ю. ПАЛЕНОВ, П.Ю. ПУШКАРЕВ, В.К. ХМЕЛЕВСКОЙ, А.Г. ЯКОВЛЕВ,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
геологический факультет, Москва

Ключевые слова: геомагнитная обсерватория, INTERMAGNET, магнитное поле Земли, магнитотеллурическое зондирование, магнитовариационное зондирование.

Аннотация. С мая 2011 года в немагнитном павильоне на геофизической базе Московского университета в Калужской области производится непрерывная регистрация длиннопериодных вариаций магнитотеллурического (МТ) поля. При строительстве немагнитного павильона особое внимание было уделено подбору строительных материалов с немагнитными свойствами, контролю локальных аномалий магнитного поля, установке независимого от стен здания фундамента для датчиков. Установлена регистрирующая аппаратура с феррозондовыми и оптико-механическими магнитометрами с тремя комплектами электрических линий с разными типами электродов. Проведены записи на идентичность регистрирующих каналов. Идет подготовка к установке сейсмологического оборудования и метеорологической станции.

Key words: geomagnetic observatory, INTERMAGNET, magnetic field of the Earth, magnetotelluric sounding, magnetovariational sounding.

Abstract. Since May 2011 we collected long-period magnetotelluric (MT) data in non-magnetic pavilion on geophysical base of Moscow University in Kaluga region. During the construction of non-magnetic pavilion a special attention was paid to the selection of construction materials with non-magnetic properties, control of local anomalies of magnetic field and to the setting of independent from the main building basement for the magnetometers. The recording equipment with flux-gate and optics-mechanical magnetometers with three sets of electric lines with different types of electrodes were installed. The records on identity of channels have been performed. Now, we are beginning the preparation for setting of seismological units and meteorological station.

Введение

На сегодняшний день 128 геомагнитных обсерваторий зарегистрировано в Международной сети INTERMAGNET. Из них только 7 функционирует на территории Российской Федерации, в то время как на территории Европы число геомагнитных обсерваторий – 35. Очевидно, развитие сети геофизических (геомагнитных, сейсмологических и др.) наблюдательных пунктов на территории России является важной задачей для изучения глубинного строения Земли и физических полей, ее окружающих.

В европейской части России фактически только геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН (58°04'N, 38°14'E) обеспечивает

получение качественных геомагнитных данных в условиях «геофизического заповедника», то есть данных, свободных от промышленных помех [Анисимов и др., 2010].

С 2006 г. на базе геофизических практик геологического факультета МГУ в пос. Александровка Калужской области создается обсерватория для постоянных наблюдений вариаций геомагнитного поля, измерений полного вектора магнитного поля Земли и непрерывной регистрации вариаций горизонтальных компонент электрического поля [Шустов и др., 2011]. Предполагаются также установка сейсмологических трехкомпонентных измерительных станций и метеорологические наблюдения совместно с Институтом экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», г. Обнинск.

Александровская база находится на северо-западе Калужской области (Юхновский район) [Алексанова и др., 2010]. Поселок Александровка слабо заселен, другие населенные пункты в радиусе 8 км отсутствуют, расстояние до ближайшей электрифицированной железной дороги составляет более 50 км, что обеспечивает низкий уровень промышленных помех. Поселок электрифицирован, на базе имеется система аварийного электропитания от дизель-генератора. Связь с сетью Интернет осуществляется с помощью двусторонней спутниковой системы.

В настоящее время завершено строительство немагнитного павильона для установки датчиков вариаций магнитного поля Земли и регистрирующей аппаратуры. Координаты павильона 54°53.79' N и 35°00.87' E (координаты в системе WGS 84).

Строительство немагнитного павильона

Для выбора места строительства немагнитного павильона была произведена магниторазведочная съемка части территории базы в масштабе 1:200 (рис. 1). Был выбран участок для застройки с небольшим горизонтальным градиентом постоянного магнитного поля. Этот

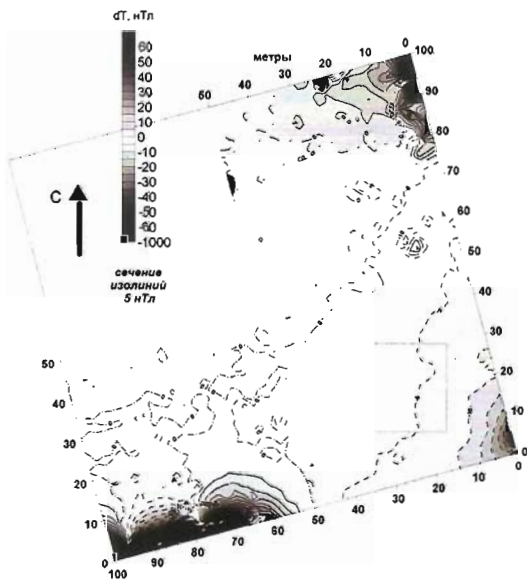


Рис. 1.

Результат магнитометрической съемки для выбора участка для строительства немагнитного павильона: карта аномалий модуля полного вектора магнитного поля Земли. Прямоугольником обозначена территория под строительство немагнитного павильона. Масштаб съемки 1:200

участок удален на 200 м от вводного электрического трансформатора и на 100 м от ближайшего здания.

Для обеспечения помехозащищенности от микросейсмов фундамент павильона раз-



Рис. 2.

Независимое расположение фундаментов под стены и под постаменты для датчиков

делен на две части. Первая часть – куб размерами 3х3х3 м под постаменты для датчиков магнитного поля, вторая независимая часть – ленточный фундамент для стен дома (рис. 2).

При выборе строительного материала измерялась магнитная восприимчивость образцов (песка, цемента) и выбирался материал с ее минимальными значениями. Следует заметить, что при смешивании бетонного раствора и в результате его застывания, магнитная восприимчивость увеличивалась. Арматура фундамента набрана из немагнитных пластиковых полимерных материалов.

Для отбора строительных материалов при возведении стен, крыши, облицовки здания также использовался метод каппаметрии. Крыша здания радиопрозрачна, что позволя-

580

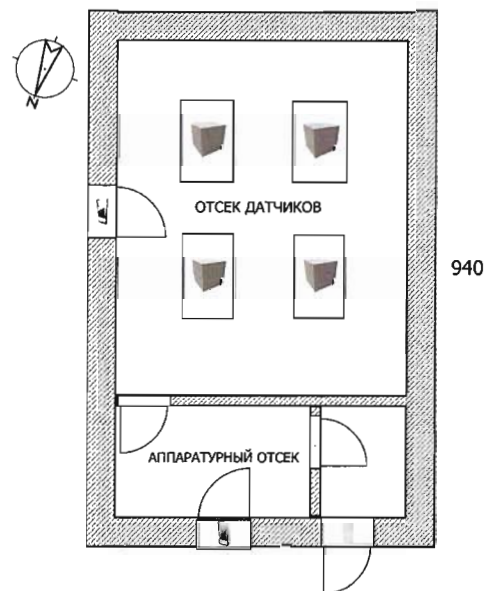


Рис. 3.

Схема расположения отсеков павильона и постаментов для датчиков

ет использовать антенны глобальной системы позиционирования (GPS) внутри здания. При строительстве применялись немагнитные соединительные элементы (гвозди, шурупы, болты) из латуни.

Павильон состоит из двух отсеков. Основной отсек предназначен для установки датчиков. Второй отсек – для регистрирующей аппаратуры (рис. 3). Температурная стабильность внутри павильона поддерживается за счет поступления тепла (или отвода тепла) системой кондиционирования, установленной в отдельном стоящем помещении на удалении 50 м.

Аппаратурное обеспечение

Для непрерывной регистрации вариаций электромагнитного поля Земли используются две длиннопериодные магнитотеллурические станции LEMI-417M, трехкомпонентный односекундный обсерваторский магнитометр LEMI-025 производства Львовского центра Института космических исследований НАН Украины, а также измерительные станции «Кварц-4», разработанные в ИЗМИРАН.

Магнитотеллурические станции LEMI-417M обеспечивают регистрацию магнитного поля в диапазоне ± 68000 нТл с разрешением 0,01 нТл при частоте дискретизации 1 Гц трехкомпонентными феррозондовыми датчиками. Кроме того, станции позволяют регистрировать электрический сигнал с 4 линий в динамическом диапазоне ± 600 мВ при разрешении в 0,075 мкВ [Корепанов, 2011].

В качестве датчиков горизонтальных компонент электрического поля используются электрические диполи длиной 100 м, по три параллельных диполя в направлении юг-север и запад-восток. Для длиннопериодных МТ-наблюдений необходимы стабильные неполяризующиеся электроды. Были установлены 3 комплекта электрических линий со следующими электродами:

- Электроды на основе $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – штатные электроды МТ-станции LEMI, разработанные в Львовском центре ИКИ НАНУ (Украина) [Корепанов и др., 2007], установлены по истинным меридиану и широте.
- Электроды, разработанные в университете г. Упсала (Швеция) на основе PbCl_2 (PbCl_2 -электроды), установлены по магнитным меридиану и широте, заземлены по технологии Н.А. Пальшина [Palshin et. al., 1997].
- Электроды, созданные на базе батарейных элементов, на графитной основе, установлены по истинным меридиану и широте.

В настоящее время проводится сравнение результатов длительных измерений с разными электродами.

Трехкомпонентный односекундный обсерваторский феррозондовый магнитометр LEMI-025 обеспечивает регистрацию магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 3,5 Гц. Разрешение составляет 0,001 нТл при уровне шумов 0,01 нТл и частоте дискретизации 10 Гц в диапазоне частот от 0,01 Гц до 1 Гц [Корепанов, 2011].

В станции «Кварц-4» используются три оптико-механических кварцевых магнитометра. Чувствительность составляет до 0,1 нТл.

Бесперебойное питание напряжением 12 В обеспечивается автоматическим источником польского производства с возможностью перехода на резервное питание от аккумулятора. Вся регистрирующая аппаратура обеспечивает периодическую синхронизацию и регистрацию точного времени с помощью сигналов времени GPS (по Гринвичу).

Контроль на идентичность записей

С конца мая 2011 г. в обсерватории началась непрерывная регистрация вариаций электромагнитного поля в тестовом режиме. Для обеспечения необходимой точности измерений анализировались записи на идентичность трех комплектов феррозондовых магнитометров и электрических диполей с разными электродами. Одновременно проводилась регистрация протонным магнитометром POS с частотой дискретизации 1 Гц.

Данные трехкомпонентных феррозондовых магнитометров пересчитывались в значения полного вектора магнитного поля. На рис. 4 показано сравнение записей вариаций магнитного поля станции LEMI-417 и протонного магнитометра POS. Разница в абсолютных значениях в несколько нТл объясняется тем, что феррозондовые магнитометры не предназначены для регистрации абсолютных значе-

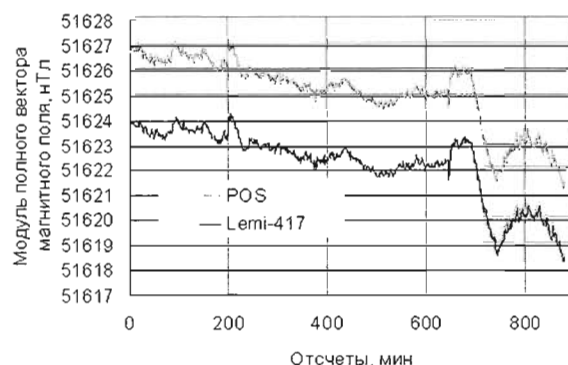


Рис. 4. Запись вариаций магнитного поля трехкомпонентным магнитометром станции LEMI-417, пересчитанная в полный вектор магнитного поля (чёрная линия) и запись протонного магнитометра POS (серая линия)

ний магнитного поля. Абсолютные значения магнитного поля определяются калибровочными коэффициентами при обработке. Кроме того, несмотря на тщательный отбор материалов при строительстве постаментов, на их поверхности наблюдаются незначительные локальные аномалии магнитного поля. В связи с этим принято решение о поднятии феррозондовых датчиков над поверхностью постаментов с использованием мраморных или деревянных плит. Однако, учитывая тот факт, что станции LEMI-417 предназначены для регистрации вариаций магнитного поля, а протонный магнитометр по стандарту ИНТЕРМАГНЕТ будет расположен в отдельном помещении, данный результат можно считать приемлемым.

Результаты записи на идентичность трех станций LEMI совпадают в пределах погрешности аппаратуры.

На рис. 5 представлены результаты синхронной записи горизонтальных компонент электрического поля (E_x и E_y) с разными типами электродов на концах приемных линий.

Записи достаточно идентичны в течение долгого времени (на рис. 5 показан трехсуточный интервал). Тем не менее следует учесть, что графитовые электроды в силу простоты конструкции и установки (для полевых работ) не смогут длительно работать в условиях низких температур. В этой связи электроды на основе $PbCl_2$, установленные ниже слоя промерзания, представляются более надежными, хотя и имеют достаточно большое сопротивление заземления (до 30 кОм). Но при регистрации низкочастотных вариаций большое сопротивление заземления не вносит заметных искажений.

Штатные электроды станций LEMI использовались нами и для регистрации магнитотеллурического поля в режиме глубинных магнитотеллурических зондирований (ГМТЗ) в полевых условиях. Летом 2011 г. такие работы были выполнены на юге Калужской области при трехсуточных наблюдениях на одной точке. Производились синхронные записи станцией MTU-5 (Phoenix Geophysics Ltd., Канада) с индукционными датчиками и графитовыми электродами и станцией LEMI-417 с феррозондовыми датчиками магнитного поля и штатными электродами. В результате

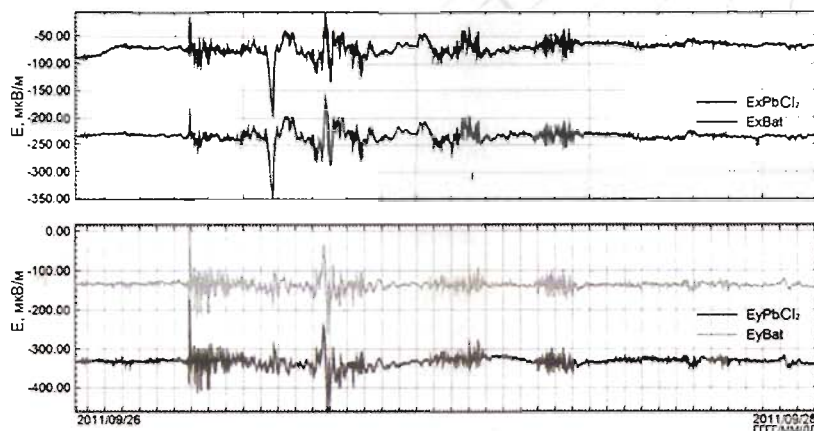


Рис. 5. Запись вариаций меридиональной E_x и широтной E_y компонент электрического поля с двумя типами приемных электродов (на основе $PbCl_2$ и графитовых)

были получены идентичные кривые компонент тензора импеданса (по диапазону частот кривые, полученные с помощью станций LEMI, ограничены в высокочастотной части).

Основные направления деятельности обсерватории

Непрерывная регистрация длиннопериодных вариаций электрического и магнитного полей позволяет решать два типа задач. Во-первых, обработка таких данных в режимах магнитовариационных и магнитотеллурических зондирований дает информацию о распределении электрической проводимости в Земле на больших глубинах. Это позволяет изучать проводящие слои в земной коре и верхней мантии, природа которых обусловлена составом и строением недр, а также их флюидным, термальным и реологическим режимами [Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., 2009].

Второй тип задач связан с изучением структуры и временных изменений магнитного поля Земли. Современные спутниковые проекты наблюдения за Солнцем (проект МГУ «Ломоносов», www.sinp.msu.ru; проект ФИАН «Тесис», www.tesis.lebedev.ru) позволяют коррелировать события на поверхности Солнца и реакцию магнитосферы и ионосферы на эти возмущения. Поведение магнитных полюсов фактически изучается только на протяжении последних ста лет при более чем четырехмиллиардной истории Земли. Необходим качественный скачок накопления информации для создания прогнозов. В связи с этим предполагается включение обсерватории в международную сеть ИНТЕРМАГНЕТ.

Также представляют интерес исследования, связанные с корреляцией вариаций магнитного и электрического полей с сейсмическими вариациями. Такие исследования ведутся

в направлении сейсмических прогнозов [Шестопалов и др., 2004]. Установка метеорологической станции, кроме того, дает возможность изучать связь магнитных возмущений и метеорологических явлений. В частности, представляет интерес работа по обнаружению следов циклонической активности в геомагнитном поле [Пикалов и др., 2009]. Проблема здесь заключается в том, что предстоит обнаружить очень тонкие эффекты взаимодействия среднеширотных циклонов и геомагнитного поля, что, впрочем, можно сделать в условиях малых промышленных электромагнитных помех. Также перспективность установки метеорологической станции обусловлена отсутствием таких станций в радиусе 100 км от Александровской базы.

Благодарности

Авторы выражают признательность Waldemar Jozwiak, Tomasz Ernst, Jan Reda, В.Ю. Семенову (Институт геофизики РАН) за консультации по созданию геомагнитной обсерватории и за организацию посещения Бельской обсерватории РАН, Е.Н. Волковой и Е.И. Соколовой (Саратовский государственный университет) за сотрудничество в области создания геомагнитных обсерваторий, Н.А. Пальшину (Институт океанологии РАН) за участие в создании обсерватории и за ценные методические советы. Развитие геофизической базы МГУ, в том числе строительство немагнитного павильона, осуществляется благодаря поддержке ООО «Северо-Запад». Низкочастотная аппаратура закуплена в рамках проекта «Программа развития МГУ до 2020 года» (станции LEMI-417M и LEMI-025). Комплексные исследования глубинного строения в районе, в котором располагается Геофизическая база, выполняются при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-05-00491-а, 11-05-00496-а, 11-05-92501-АФГИР-Э_а.

Литература

1. Алексанова Е.Д., Варенцов И.М., Верещагина М.И., Куликов В.А., Пушкарев П.Ю., Соколова Е.Ю., Шустов Н.Л., Хмелевской В.К., Яковлев А.Г. Электромагнитные зондирования осадочного чехла и консолидированной земной

коры в зоне перехода от Московской синеклизы к Воронежской антеклизе: проблемы и перспективы // Физика Земли. 2010. № 8. С. 62–71.

2. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Информатизация геомагнитных наблюдений на геофизической обсерватории «Борок» // Вестник ОНЗ РАН. 2010. №2, NZ6005, doi:10.2205/2010NZ000023.

3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики // Научный мир. 2009.

4. Корепанов В.Е. Магнитометр нового поколения для 1-секундного стандарта системы INTERMAGNET // Материалы Международной конференции «Искусственный интеллект в изучении магнитного поля Земли. Российский сегмент INTERMAGNET». Углич. 2011.

5. Корепанов В.Е., Свенсон А.Н. Высокоточные неполяризуемые электроды для наземной геофизической разведки. Киев: Наукова думка, 2007.

6. Пикалов М.В., С.А. Колесник, Соловьев А.В. Взаимосвязь спектральных характеристик электромагнитного фона крайне низкочастотного диапазона и инфразвуковых колебаний // Секция А. Физика околоземного космического пространства. БШФФ-2009. С. 171–173 УДК 550.385:551.5, 2009.

7. Шестопалов И.П., Харин Е.П. О связи сейсмичности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // Материалы III Международной конференции «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений». Камчатская обл., с. Паратунка, 2004.

8. Шустов Н.Л., Куликов В.А., Мойланен Е.В., Паленов А.Ю., Пушкарев П.Ю., Хмелевской В.К., Яковлев А.Г. Создание системы регистрации низкочастотных вариаций электромагнитного поля Земли на Александровской базе геофизических практик геологического факультета МГУ: Тезисы докладов научной конференции «Ломоносовские чтения» (секция Геология). М.: МГУ, 2011.

9. Palshin N.A., Kaikkonen P., Vanyan L.L., Tiikkainen J., Rukol V.H. On-land detecting of a motionally induced electric field: test measurements in the Northern Finland // J.Geomag. Geoelectr. 1997. V. 49. P. 1343–1350.