

УДК 550.837

Н.Л. Шустов¹, В.А. Куликов², Е.В. Мойланен³, А.Ю. Паленов⁴, П.Ю. Пушкарев⁵,
В.К. Хмелевской⁶, А.Г. Яковлев⁷

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

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

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

Since May 2011 we are collecting long-period magnetotelluric (MT) data in non-magnetic pavilion at the 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 the basement for the magnetometers, independently from the main building. The recording equipment with flux-gate and optics-mechanical magnetometers with three sets of electric lines with different types of electrodes were installed. The parallel testing of channels have been performed. Now, we are preparing to install the seismological units and meteorological station.

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

Введение. На конец 2011 г. в международной сети INTERMAGNET зарегистрировано 128 геомагнитных обсерваторий. Из них только 7 функционируют на территории Российской Федерации, в то время как на территории Европы их 35. Очевидно, развитие сети геофизических (геомагнитных, сейсмологических и др.) наблюдательных пунктов на территории России — важная задача для изучения глубинного строения Земли и физических полей, окружающих ее.

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

качественных геомагнитных данных в условиях «геофизического заповедника», т.е. данных, свободных от промышленных помех [Анисимов, Дмитриев, 2010].

С 2006 г. на базе геофизических практик геологического факультета МГУ в пос. Александровка (Калужская область) 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]. Предполагается установка сейсмологических трехкомпонентных измерительных станций, а также

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, науч. с.; *e-mail:* nicksh@hotmail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, доцент, канд. физ.-мат. н.; *e-mail:* vic@nw-geophysics.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, аспирант; *e-mail:* moilanen@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, ассистент; *e-mail:* palenov@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, доцент, канд. физ.-мат. н.; *e-mail:* pavel_pushkarev@list.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, профессор, докт. геол.-минер. н.; *e-mail:* decalo@geol.msu.ru

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, доцент, канд. физ.-мат. н.; *e-mail:* mail@nw-geophysics.ru

метеорологические наблюдения совместно с сотрудниками Института экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун» (г. Обнинск).

Александровская база находится на северо-западе Калужской области (Юхновский район) [Алексанова и др., 2010]. Поселок Александровка малонаселенный, 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 через 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 выполнена магниторазведочная съемка части территории базы в масштабе 1:200 (рис. 1). Для застройки выбран участок с небольшим горизонтальным градиентом постоянного магнитного поля. Этот участок удален на 200 м от вводного электрического трансформатора и на 100 м от ближайшего здания.

Для защиты от сейсмических помех фундамент павильона разделен на две части. Первая часть — куб с длиной ребра 3 м под постаменты для датчиков магнитного поля, вторая независимая часть — ленточный фундамент для стен дома (рис. 2).

При выборе строительного немагнитного материала измеряли магнитную восприимчивость образцов (песка, цемента) и выбирали материал с ее минимальными значениями. Заметим, 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, облицовке здания также

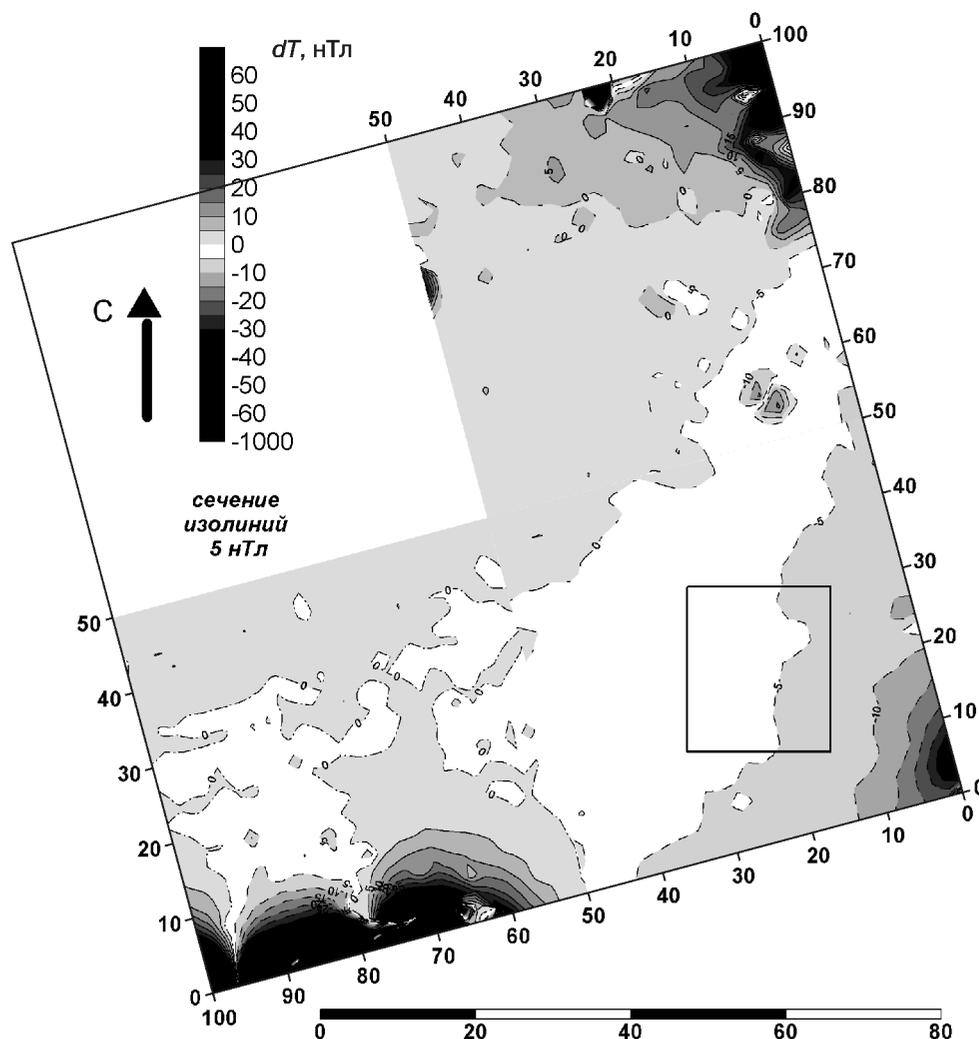


Рис. 1. Результат магнитометрической съемки при выборе участка для строительства немагнитного павильона: карта аномалий модуля полного вектора магнитного поля Земли. Прямоугольник — территория под строительство немагнитного павильона



Рис. 2. Независимое расположение фундаментов под стены и постаменты для датчиков

использовали метод каппаметрии. Крыша здания радиопрозрачна, что позволяет использовать антенны глобальной системы позиционирования (GPS) внутри здания. При строительстве применяли немагнитные соединительные элементы (гвозди, шурупы, болты) из латуни.

Павильон состоит из двух отсеков. Основной отсек предназначен для установки датчиков, другой — для регистрирующей аппаратуры (рис. 3). Температурная стабильность внутри павильона поддерживается за счет поступления тепла (или отвода

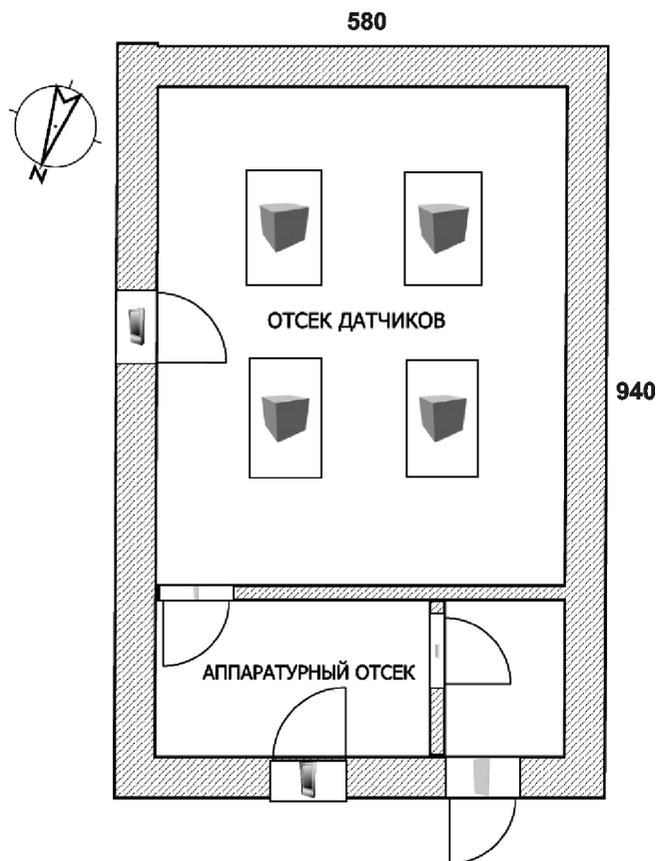


Рис. 3. Схема расположения отсеков павильона и постаментов для датчиков

тепла) системой кондиционирования, установленной в отдельно стоящем помещении на удалении 50 м.

Аппаратурное обеспечение. Для непрерывной регистрации вариаций электромагнитного поля Земли используются две длиннопериодные магнитотеллурические станции «LEMI-417М», 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-417М» обеспечивают регистрацию магнитного поля в диапазоне $\pm 68\ 000$ нТл с разрешением 0,01 нТл при частоте дискретизации 1 Гц трехкомпонентными

феррозондовыми датчиками. Кроме того, станции позволяют регистрировать электрический сигнал с четырех линий в динамическом диапазоне ± 600 мВ при разрешении в 0,075 мкВ [Коребанов, 2011].

В качестве датчиков горизонтальных компонент электрического поля используются электрические диполи длиной 100 м, по три параллельных диполя в широтном и меридиональном направлениях. Для длиннопериодных магнитотеллурических (МТ) наблюдений необходимы стабильные неполяризуемые электроды. Установлено три комплекта электрических линий со следующими электродами:

1) электроды на основе $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ — штатные электроды МТ-станции «LEMI», разработанные в Львовском центре ИКИ НАН (Украина) [Коребанов, Свенсон, 2007], установлены по истинным меридиану и параллели;

2) электроды, разработанные в Университете г. Упсала (Швеция) на основе PbCl_2 (PbCl_2 -электроды), установлены по магнитным меридиану и параллели, заземлены по технологии Н.А. Пальшина [Palshin et al., 1997];

3) электроды, созданные на базе батарейных элементов (на графитной основе), установлены по истинным меридиану и параллели.

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 до 1 Гц [Коребанов, 2011].

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

Бесперебойное напряжение 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 пересчитывали в значения полного вектора магнитного поля. На рис. 4 показано сравнение записей вариаций магнитного поля станцией «LEMI-417» и протонным магнитометром «POS».

Разница в абсолютных значениях в несколько нанотесла объясняется тем, что феррозондовые магнитометры не предназначены для регистрации абсолютных значений магнитного поля. Абсолютные значения магнитного поля при обработке определяются калибровочными коэффициентами. 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 постаментами с использованием мраморных или деревянных плит. Однако, учитывая, что станции «LEMI-417» предназначены для регистрации вариаций магнитного поля, а протонный магнитометр по стандарту ИНТЕРМАГНЕТ будет расположен в отдельном помещении, этот 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 связи с этим электроды на основе $PbCl_2$, установленные ниже слоя промерзания, представляются более надежными, хотя и имеют достаточно большое сопротивление заземления (до 30 кОм). Однако при регистрации низкочастотных вариаций большое сопротивление заземления не вносит заметных искажений.

Штатные электроды станций «LEMI» мы использовали и для регистрации магнитотеллурического поля в режиме глубинных магнитотеллурических зондирований (ГМТЗ) в полевых условиях. Летом 2011 г. такие работы выполнены на юге Калужской области при трехсуточных наблюдениях на одной точке. Проводились 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 получены

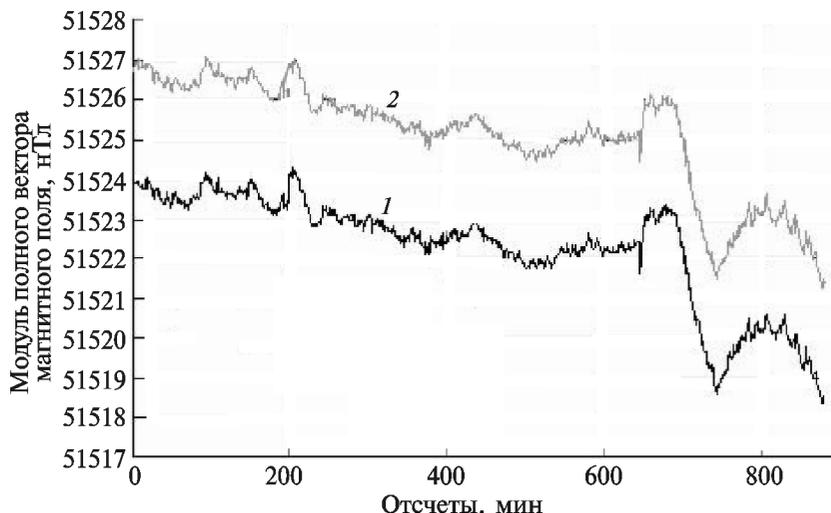


Рис. 4. Запись вариаций магнитного поля трехкомпонентным магнитометром станции «LEMI-417», пересчитанная в полный вектор магнитного поля (1) и запись протонного магнитометра «POS» (2)

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 большой глубине. 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, Дмитриев, 2009].

Другие задачи связаны с изучением структуры и временных изменений магнитного поля Земли. Современные спутниковые проекты наблюдения за Солнцем (проект МГУ «Ломоносов» (www.sinp.msu.ru).

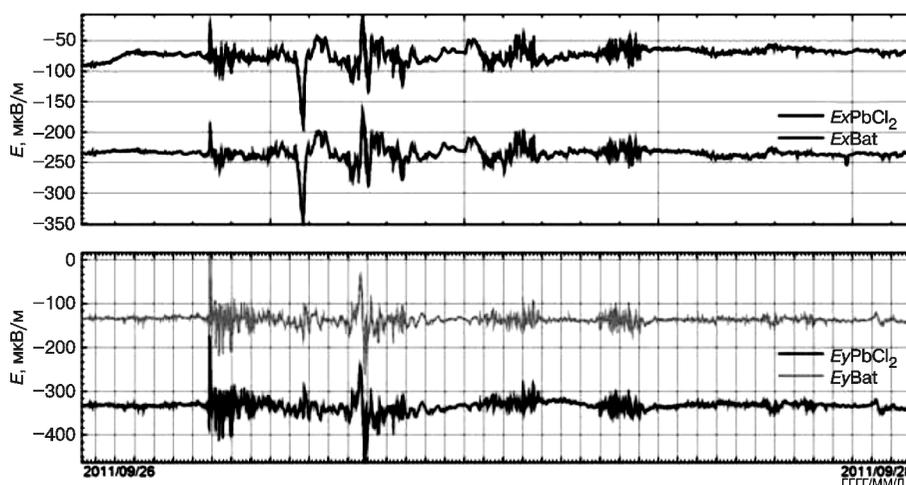


Рис. 5. Запись вариаций меридиональной (E_x) и широтной (E_y) компонент электрического поля с приемными электродами на основе $PbCl_2$ и графитовыми

ru), проект ФИАН «Тесис» (www.thesis.lebedev.ru)) позволяют коррелировать события на поверхности Солнца и реакцию магнитосферы и ионосферы на эти возмущения. Поведение магнитных полюсов изучается фактически только на протяжении последних нескольких сотен лет при геологической истории Земли, насчитывающей более 4 млрд лет. Необходим качественный скачок накопления информации для создания прогнозов. В связи с этим предполагается включение нашей 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, Харин, 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 от взаимодействия среднеширотных циклонов и

геомагнитного поля, что, впрочем, можно сделать в условиях малых промышленных электромагнитных помех. Кроме того, перспективность установки метеорологической станции обусловлена отсутствием таких станций в радиусе 100 км от Александровской базы.

Авторы выражают признательность В. Джозваку, Т. Эрнсту, Я. Реда, В.Ю. Семенову (Институт геофизики РАН) за консультации по созданию геомагнитной обсерватории и 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 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 «LEM1-417M» и «LEM1-025»). Комплексные исследования глубинного строения в районе, где расположена геофизическая база, выполняются при финансовой поддержке РФФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрова Е.Д., Варенцов Ив.М., Верещагина М.И. и др. 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.

Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Информатизация геомагнитных наблюдений на геофизической обсерватории «Борок» // *Вестн. ОНЗ РАН*. 2010. Вып. 2, N Z6005, doi: 10.2205/2010NZ000023.

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

Корепанов В.Е. Магнитометр нового поколения для 1-секундного стандарта системы INTERMAGNET // *Мат-лы Междунар. конф. «Искусственный интеллект в изучении магнитного поля Земли. Российский сегмент INTERMAGNET*. Углич, 2011.

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

Пикалов М.В., Колесник С.А., Соловьев А.В. Взаимосвязь спектральных характеристик электромагнитного фона

крайне низкочастотного диапазона и инфразвуковых колебаний // *Физика околоземного космического пространства*. Секция А. БШФФ2009. С. 171–173.

Шестопалов И.П., Харин Е.П. О связи сейсмичности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // *Мат-лы III Междунар. конф. «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений»*, с. Паратунка, Камчатская обл. Паратунка, 2004.

Шустов Н.Л., Куликов В.А., Мойланен Е.В. и др. Создание системы регистрации низкочастотных вариаций электромагнитного поля Земли на Александровской базе геофизических практик геологического факультета МГУ // *Тез. докл. науч. конф. «Ломоносовские чтения»* (секция геология). М.: МГУ, 2011.

Palshin N.A., Kaikkonen P., Vanyan L.L. et al. On-land detecting of a motionally induced electric field: test measurements in the Northern Finland // *J. Geomag. Geoelectr.* 1997. Vol. 49. P. 1343–1350.

Поступила в редакцию
31.01.2012