

## GEOFYZIKA

Кириаков В.Х., Любимов В.В., Цветков Ю.П.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В.Пушкова РАН, ТроицкПРОТОННЫЙ МАГНИТОМЕТР  
ДЛЯ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОСТАТНОГО КОМПЛЕКСА

Аномальное магнитное поле (АМП) является одним из важнейших явлений, активно используемых в изучении глубинного строения литосферы и ее тектонической эволюции. Непосредственно проникнуть в земные недра трудно, поэтому большое значение приобретают результаты, опирающиеся на уникальные эксперименты. Для магнитного корового поля такими экспериментами являются магнитные съемки, выполняемым пока только в ИЗМИРАН с использованием стратосферных аэростатов (СА). По материалам таких полетов получают характеристики магнитных аномалий и их градиентов. Использование трех магнитометров позволяет надежно выделять АМП из измеренного поля, получить характеристики затухания поля в слое стратосферы и, с точностью порядка 1 км, оценить местоположение положительных и отрицательных зон первой и второй вертикальных производных АМП. Физико-геологическая интерпретация стратосферных градиентных съемок доказала значимость их использования в изучении магнитных аномалий и в исследовании строения земной коры [1-3]. Выделенные АМП используются для определения достоверности оценок глубинности источников аномального поля и мощности магнитоактивного слоя литосферы в создаваемых магнитных моделях отдельных регионов земного шара

Используя реальные данные полётов СА, создана методика анализа АМП на приземных, стратосферных и спутниковых высотах, позволяющая рассматривать магнитное поле литосферы Земли как единое явление во всем околоземном пространстве. Сравнение результатов аэростатных и спутниковых магнитных съемок показало, что данные градиентных съёмок СА позволяют более надежно и полно, чем использование данных других видов съемок, интерпретировать характеристики источников региональных магнитных аномалий.

Существует также и целый ряд прикладных задач, решаемых с помощью данных о пространственной структуре и вариаций геомагнитного поля, при использовании СА. Это, прежде всего, задачи навигации, задачи выделения АМП для целей геологоразведки, задачи оценки влияния технических системы, включая спутниковые, задачи влияния на биосистемы, прогноз геомагнитной активности.

В состав стратосферного аэростатного комплекса, кроме специальных приборов и навигационного оборудования, которые должны обеспечивать его полёт на высотах от 27 до 36 км и ориентацию в пространстве, входит комплект магнитометрического оборудования, включающий в себя буксируемый трёхдатчиковый

магнитометр-градиентометр с измерительной вертикальной не жёсткой базой равной 6 км. При этом крайние магниточувствительные датчики (МЧД) и блоки электроники (БЭ) магнитометров, установленных вместе с источниками питания в специальные контейнеры, расположены в вертикальной плоскости на расстоянии 3 км от среднего прибора (его БЭ). В схеме такого измерительного комплекса в качестве магнитометрического оборудования применяются абсолютные магнитометры для измерения модуля вектора магнитной индукции (ВМИ) поля Земли, в качестве которых используются три высокочувствительных протонных магнитометра [3, 4].

Трудность в разработке и создании такого комплекса магнитометрического оборудования заключалась в том, что это оборудование должно работать автономно (при минимальном потреблении энергии источников питания) продолжительное время (до 7..10 суток), в достаточно суровых климатических условиях (при меняющейся температуре на борту СА в диапазоне от минус 40 до +60 °С и при атмосферном давлении в пределах от 5 до 760 мм.рт.ст.). Приборы должны быть достаточно малогабаритными и с малым собственным весом, так как грузоподъёмность СА ограничена весом не более двух тонн.

Была разработана базовая конструкция протонного магнитометра (ПМ), позволяющая использовать его как для полевых работ, для работы в составе информационной системы совместно с ЦМВС «КВАРЦ-4» и приемником GPS в условиях магнитной обсерватории, так и для размещения на дрейфующем аэростате. Новая разработка ПМ получила название МР-03МО [5-7]. Применительно к условиям дрейфующего СА эта конструкция ПМ была доработана в соответствии с более жёсткими эксплуатационными требованиями, о которых было сказано выше, и получила название МААП,- магнитометр аэростатный автоматический протонный. Общий вид МААП показан на рис. 1.

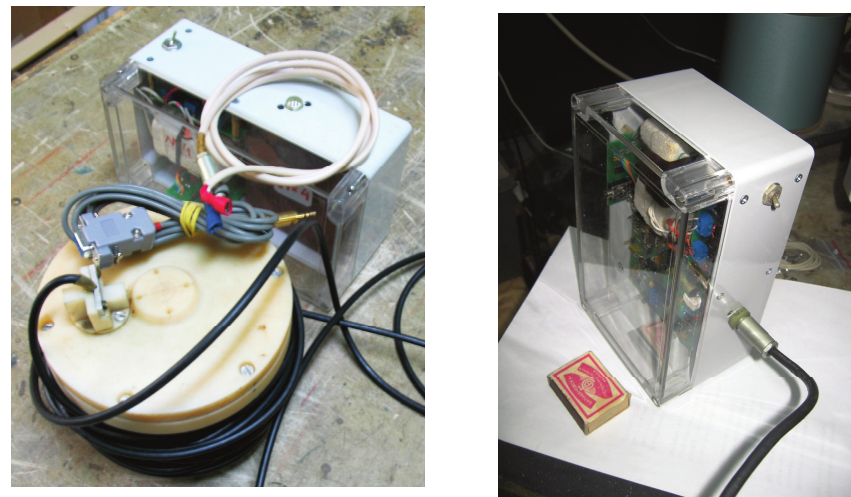
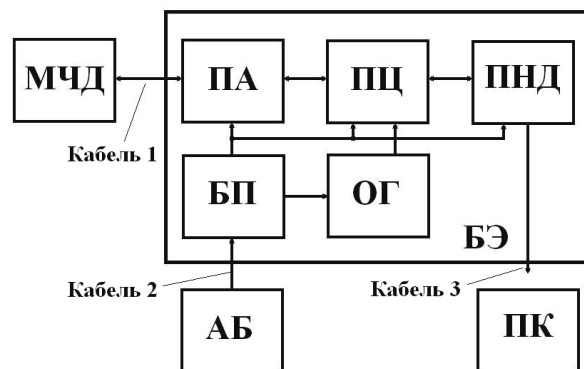


Рис.1. Общий вид МААП.

МАОП позволяет проводить автономные синхронные автоматические измерения модуля ВМИ поля Земли и включает в себя три основные части: БЭ (измерительно-регистрирующий блок) и МЧД, соединенные между собой кабелем, а также источник питания (ИП). Функциональная схема прибора показана на **рис.2**.



Обозначения: МЧД-магниточувствительный датчик, АБ-аккумуляторная батарея, ПК-персональный компьютер, БЭ-блок электроники, ПА и ПЦ-платы аналоговая и цифровая, БП-блок питания, ОГ-опорный генератор, ПНД-плата накопителя данных

**Рис.2.** Функциональная схема МАОП.

Прибор построен на принципе измерения периода прецессии ядер протонодержавшего рабочего вещества, поляризованных постоянным подмагничивающим полем, направление которого примерно ортогонально вектору измеряемого поля. Подмагничивающее постоянное поле включается только на время поляризации. В качестве рабочего вещества используется углеводородное соединение – **гептан** (C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>), который имеет времена продольной и поперечной релаксации соответственно 2,1 и 1,2 с. Следует отметить, что измерительная схема и программное обеспечение (ПО) прибора построены таким образом, что имеется возможность к применению в МЧД прибора различного рабочего вещества с различными временами продольной и поперечной релаксации и гибким изменением всех программно-временных циклов работы прибора. (Для обеспечения экономии энергии АБ в процессе длительного полёта СА может в качестве рабочего вещества применяться **керосин**, имеющий время продольной и поперечной релаксации соответственно 1,4 и 0,7 с.). Максимальный импульсный ток при поляризации рабочего вещества не более 1,0 А. Цикл автоматических измерений может быть установлен в пределах от 3 до 60 с, при этом цикл поляризации (накачки) датчика, времена всех задержек и цикл отсчета (количе-

ство регистрируемых периодов сигнала прецессии) устанавливается оператором вручную (программно) перед началом измерений в зависимости от применяемого рабочего вещества и конкретных условий работы с прибором.

Для обеспечения достоверности измерений в широком температурном диапазоне схема опорного генератора (ОГ) магнитометра выполнена на базе резонатора термостата типа РК257 ДГ, позволяющего обеспечить долговременную стабильность в процессе измерений с точностью не хуже 1-2 ppm.

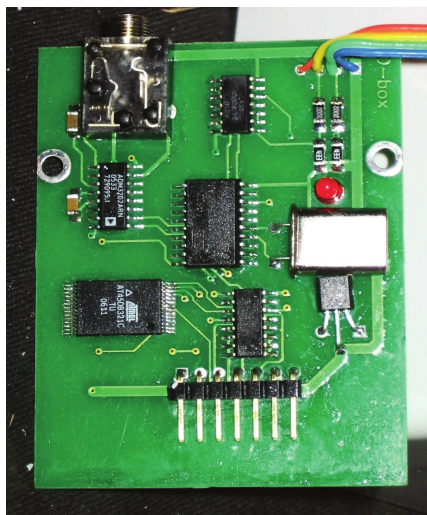
МЧД магнитометра (см. **рис.1**) является датчиком погружного типа, выполненный в виде тора с диаметром 95 мм и высотой 62 мм, размещается в герметичном немагнитном контейнере (с внешними размерами: диаметр 145 мм и высота 100 мм), в который заливается рабочее вещество. Количество рабочего вещества, необходимого для заливки контейнера с МЧД, составляет 0,7...0,8 л. Вес одного МЧД составляет не более 3 кг. Гермоввод обеспечивает герметизацию соединения датчика с с БЭ, которое осуществляется при помощи пайки. Соединение между МЧД и БЭ – двухпроводная линия с общим экраном, выполнено на базе кабеля типа АВК-2-12. Длина соединительного кабеля между МЧД и БЭ для магнитометров, установленных в разных местах буксируемого комплекса, не одинакова: минимальная длина кабеля составляет 15 м, а максимальная – 30 м.

Блок электроники (см. **рис.1**) представляет собой герметичный контейнер (размерами 200x120x80 мм), выполненный, с целью облегчения его веса, полностью из ударопрочного пластика. Все электронные узлы БЭ выполнены на пяти печатных платах (см. **рис.2**) с применением электростатических экранов. Общий вес БЭ составляет не более 0,4 кг.

Диапазон измерений МАОП составляет от 35 до 65 мкТл, при этом цена единицы счета наименьшего разряда отсчетного устройства равна 1 нТл. Основная абсолютная погрешность измерений магнитометра лежит в пределах  $\pm 1,5$  нТл. Информация о величине модуля магнитной индукции **Вт** записывается во внутреннюю память (ПНД) объемом в 1 Мб. Питание прибора осуществляется от источника постоянного тока (АБ) напряжением от 12 до 16 В, при этом потребляемая мощность при единичном измерении составляет не более 10 Вт. При использовании прибора на СА цикл измерения в целях экономии энергии АБ, устанавливается, как правило, 60 с и более. Поэтому средняя мощность потребления прибора во времени заметно снижается, что позволяет проводить более длительные измерения используя ресурс АБ.

Накопитель данных (ПНД) предназначен для регистрации, длительного хранения и передачи в цифровой форме в компьютер измеренных МАОП значений магнитной индукции. ПНД представляет собой микропроцессорное устройство с таймером, выполненное на плате размером 70 x 50 x 15 мм. Память Flash-типа объемом 1 Мб организована в ПНД постранично и составляет 4096 страниц по 264 байта. Запись каждого измеренного магнитометром значения поля и времени составляет 5 байт, что позволяет при цикле измерения 1 мин

накапливать измеренные магнитометром данные в течение 148 суток. При подаче питающего напряжения микропроцессор анализирует состояние памяти и определяет очередную свободную для использования страницу памяти. Питание накопителя данных осуществляется от ИП БЭ и лежит в пределах от 5 до 30 В, при этом потребляемый ток составляет не более 6 мА. Передача данных в компьютер (в лабораторном режиме использования магнитометра) осуществляется по последовательному каналу по стандарту RS232С, при этом скорость передачи данных составляет 19200 бод. Общий вид ПНД показан на **рис.3**.



**Рис.3. Общий вид ПНД.**

Синхронизация работы МААП и всего измерительного комплекса СА осуществляется при помощи трёх приёмников GPS, которые установлены рядом с БЭ магнитометров в специальном контейнере.

Магнитометр МААП может быть использован в качестве системы накопления и сбора геофизической информации в комплексе с другими методами геофизических исследований, а также использоваться в статике, в качестве магнитной вариационной станции. При этом МЧД прибора может быть отнесен от БЭ на расстояние не менее 5 м.



**Рис.4. Магнитометры на подвеске СА.**

Литература:

1. Цветков Ю.П., Ротанова Н.М. Аэростаты зондируют землю. М.: РФФИ. 2002. -11 с.
2. Цветков Ю.П., Ротанова Н.М. Магнитная аномалия: взгляд из стратосферы. М.: РФФИ. 2003. -3 с.
3. Крапивный А.В., Николаев Н.С., Баранов Я.В. И др. Аэростатный магнитный градиентометр // Приборы и техника эксперимента. М.: Наука, 2007, с.159-160.
4. Цветков Ю.П., Алексеев В.А., Филиппов С.В., Пчелкин А.В., Любимов В.В., Аскеров А.Э. Подспутниковый метод повысотного магнитного зондирования земной коры // Сборник научных статей ИКИ РАН «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса / Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. М.: ООО «Азбука-2000», 2006, с.256 –261.
5. Зверев А.С., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Протонные магнитометры // Экономика и производство. /Технологии, оборудование, материалы / Журнал организаторов производства. М., 2005, №2, с.71-73.
6. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Магнитометры для электромагнитного мониторинга окружающей среды и исследований в обсерваториях // Экономика и производство. /Технологии, оборудование, материалы / Журнал организаторов производства. М., 2007, №1, с.78-80.
7. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитная обсерватория: опыт построения и варианты // Актуальные достижения европейской науки-2011 / Материалы международной научно-практической конференции 17-25 июня 2011/ Физика. Том 36. София «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2011, с.37-46.