

25.11.2013

СПУТНИКОВЫЙ РОЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Проект SWARM Европейского космического агентства (ЕКА), предназначенный для наблюдений магнитного поля и выведенный в космос 22 ноября с космодрома Плесецк, — пример современной тенденции «многоточечных измерений» в околоземном космосе. Сегодня уже недостаточно измерять параметры электрического и магнитного полей по ходу движения одного аппарата. Необходимо сравнивать их с тем, что происходит в других областях земной магнитосферы, и желательно, чтобы измерения проводили одинаковые или очень похожие приборы.

О том, что будут измерять приборы на аппаратах SWARM, какие процессы происходят в магнитосфере Земли и что планируется изучать с помощью российских многоспутниковых проектов «Резонанс» и «Рой», рассказывает Анатолий Петрукович, руководитель отдела физики космической плазмы Института космических исследований Российской академии наук, член-корреспондент РАН.

Проект SWARM [1], предназначенный для картографирования собственного магнитного поля Земли, включает три одинаковых аппарата, каждый из которых несёт одну и ту же полезную нагрузку из шести приборов: двух магнитометров, инструмента для измерения параметров электрического поля, акселерометр, приёмник GPS, лазерный отражатель.

Главный научный инструмент — магнитометр измерения вектора магнитного поля (Vector Field Magnetometer), чувствительный не только к величине, но и направлению магнитного поля (отсюда и название «векторный»). Для его калибровки и независимых измерений будут использоваться данные второго прибора — абсолютного скалярного магнитометра (Absolute Scalar Magnetometer), который выполняет высокоточные измерения величины поля. Оба инструмента расположены на выносной штанге длиной около 4 м — это необходимо, чтобы влияние наведенных полей от самого аппарата было минимальным. Остальные научные приборы предназначены для поддержки работы магнитометров. Точные данные о положении спутников на орбите нужны, чтобы соотнести величины собственного магнитного поля с ландшафтом Земли: как влияет на него, например, минеральный состав поверхности или океанические течения.

Проект SWARM в списке проектов ЕКА входит в группу аппаратов наблюдения Земли (вместе с такими спутниками дистанционного зондирования, как SMOS), поскольку его основная задача связана с нашей планетой: картографировать ее собственное магнитное поле и изучить механизм его формирования. Аппараты будут работать на низких околоземных орбитах: два — на орбите с начальной высотой 460 км (за 3 года она должна снизиться до 300 км) и один — на высоте 530 км.

SWARM — следующий, после миссии *Cluster*, многоспутниковый проект ЕКА для исследования магнитного поля Земли и её взаимодействия с солнечным ветром. Если *Cluster* изучает вариации внешнего магнитного поля на далеких орбитах (более ста тысяч км), то SWARM интересуется самая близкая часть, которую создаёт сама Земля.

Однако оба проекта включают несколько аппаратов. Подобные многоспутниковые миссии становятся всё более предпочтительными по сравнению с одиночными аппаратами, поскольку одновременные измерения в разных точках пространства (и чаще всего одинаковыми или специально подобранными для совместной работы приборами) дают гораздо больше

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

25.11.2013

информации о том, как сложная система геомагнитного поля и магнитосферы Земли меняется в пространстве и во времени.

Два многоспутниковых проекта: «Резонанс» и, подобно европейскому, «Рой», разрабатывается в Институте космических исследований РАН. Каждый включает четыре аппарата на базе микроспутниковой платформы «Карат» (разработка НПО им. С.А. Лавочкина). Проект «Резонанс» также предполагает изучение внутренней магнитосферы Земли, а именно — процессов формирования внешнего радиационного пояса. «Рой» нацелен на более далекие области, изучение быстропеременных процессов во внешней магнитосфере (высота орбит спутников будет доходить до 200 тысяч км).

В чем «изюминка» каждого проекта и что каждая из них даст для понимания космической погоды, рассказывает **Анатолий Петрукович**, руководитель отдела физики космической плазмы Института космических исследований Российской академии наук, член-корреспондент РАН.

«Собственное магнитное поле нашей планеты формируется так называемыми внутренними источниками: электрическими токами, текущими в ядре Земли, и приповерхностными магнитными аномалиями — горными породами, имеющими свойства постоянного магнита. Говорят, что магнитное поле Земли имеет форму диполя, но это верно только в общих чертах, из-за неоднородности источников профиль поля у поверхности Земли достаточно сложен. Точные карты магнитного поля используются для навигационных задач, для поиска полезных ископаемых, в оборонных целях. Более того, магнитное поле Земли хотя и медленно, но меняется. В частности, широко известно о дрейфе геомагнитного полюса, а последние сто лет регистрируется небольшое, но постоянное ослабление поля. Чтобы обеспечить потребителей магнитными картами и разобраться в причинах изменений поля регулярно проводится так называемая магнитная съемка и на масштабах планеты наиболее удобно сделать ее с борта космического аппарата.

С удалением от Земли ее собственное магнитное поле быстро спадает и на расстояниях в десятки тысяч километров становится сравнимым с межпланетным магнитным полем. Взаимодействие солнечного ветра и земного магнитного поля создает магнитосферу Земли, магнитная конфигурация которой поддерживается так называемыми внешними источниками магнитного поля — электрическими токами, текущими по ее границам, и управляется солнечной активностью. Магнитное поле внешних источников очень динамично, в отличие от поля внутренних источников. Хотя около Земли на высотах в сотни километров, где будут работать спутники SWARM, поле, создаваемое внешними источниками, относительно мало, при высокоточных измерениях пренебрегать им нельзя.

Проект SWARM не первый в ряду спутников для магнитной съемки. От прежних (MAGSAT, CHAMP и OERSTED), его отличает рекордная точность измерений и использование трех спутников одновременно. Многоспутниковые наблюдения дают важное преимущество. Одиночный аппарат, двигаясь по своей траектории, не может определить, вызваны ли наблюдаемые вариации магнитного поля изменениями по времени или пересечением какой-либо пространственной структуры. Как правило, все быстропеременные явления в магнитном поле на низкой орбите вызваны внешними источниками поля и должны быть отфильтрованы перед построением магнитных карт. Разделить поля внешних и внутренних источников можно, только сравнив измерения нескольких близколетящих спутников и сопоставив магнитные измерения с параметрами плазмы, также измеряемыми на этих спутниках.

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

25.11.2013

Увеличение точности магнитной съемки позволит обновить модели магнитного поля, выявить детали внутренней структуры Земли, разобраться в механизмах возникновения поля, уточнить влияние океанских течений, решить много других интересных задач. Например, хотя с точки зрения задач магнитной съемки вариации магнитного поля, вызываемые солнечной и геомагнитной активностью, являются помехой, но они несут важную информацию о структуре магнитосферы и ее связях с ионосферой (верхними слоями атмосферы) Земли. Поэтому данные проекта SWARM будут также использованы для исследований солнечно-земных связей и космической погоды.

Группировки из нескольких спутников используются для исследований плазмы и магнитного поля и на более высоких орбитах в магнитосфере Земли. Например, европейский проект *Cluster*, запущенный в 2000 г., произвел революцию в понимании процессов, происходящих на границах магнитосферы, при ее взаимодействии с солнечным ветром. Четыре спутника, формирующие в пространстве тетраэдр и оборудованные одинаковыми приборами для измерений магнитного и электрического поля, и частиц плазмы различных сортов, позволяют восстановить трехмерную структуру плазменных образований, проследить ее эволюцию во времени. В 2014 г. ему на смену будут запущены четыре американских спутника MMS. Их главное отличие от проекта *Cluster* — гораздо меньшие расстояния между спутниками (несколько километров, по сравнению с сотнями и тысячами километров у *Cluster*), позволяющие проводить гораздо более детальные исследования. Разумеется для этого требуется и научная аппаратура более высокого класса точности.

Многоспутниковые проекты есть и в планах российской науки. В 2015–17 гг. должен быть запущен проект «Резонанс» [2], состоящий из двух пар спутников. Его место работы — внешний радиационный пояс, одно из наиболее опасных для спутников мест магнитосферы. С помощью «Резонанса» ученые смогут проследить, как при взаимодействии с магнитными полями образуются потоки высокоэнергичных электронов, заполняющих пояс и наносящих радиационные повреждения электронной аппаратуре спутников. Сейчас по проекту «Резонанс» идет изготовление и испытание научной аппаратуры. В более далекой перспективе после 2020 г. будет реализован проект «Рой», предусматривающий развертывание нескольких малых спутников для инновационных дистанционных исследований структуры быстрых вариаций магнитного поля в солнечном ветре и внешней магнитосфере одновременно на нескольких масштабах. Сейчас проводится предварительное исследование реализуемости ключевых технологий, требуемых для данного проекта, таких как радиотомография, использование наноспутников и других».

Дополнительная информация:

1. Проект SWARM на сайте Европейского космического агентства http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/Swarm
2. Сайт проекта «Резонанс» <http://resonance.cosmos.ru/index.php?id=1445>