

СТРУКТУРНО АДЕКВАТНАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА»

Седых П. А.

Учреждение Российской академии наук Институт солнечно-земной физики СО РАН,
г. Иркутск, Россия.

Магнитосфера Земли представляет собой самую внешнюю ее оболочку. Солнечный ветер является сверхзвуковым течением корональной плазмы. Солнечный ветер, сталкиваясь с магнитным полем Земли, образует кометообразную полость с довольно сложным строением, отделенную от межпланетного пространства фронтом головной ударной волны.

Общепринятым является представление о том, что основным источником энергии для магнитосферных процессов является солнечный ветер. Однако в вопросе о том, как энергия солнечного ветра трансформируется в энергию магнитосферных процессов, как и в вопросе о ее передаче в ионосферу – нет единого мнения. Между тем цена вопроса достаточно высока, поскольку магнитосфера, с одной стороны, является средой, через которую должны проходить воздействия, ответственные за солнечно-земные связи; с другой стороны, там во все большей степени отражается деятельность человека. В последние годы появилось понимание роли магнитосферы как связующего звена между процессами на Солнце, в солнечном ветре и метеорологических процессов в атмосфере Земли. В связи с этим исследование магнитосферных процессов становится еще более актуальным. Известно, что потоки захваченных в геомагнитную ловушку энергичных заряженных частиц усиливаются во время магнитосферных возмущений на порядки величины. Создается реальная радиационная опасность для космонавтов, в особенности, для работающих в открытом космосе, а также для электронной аппаратуры космических кораблей и спутников. Серьезную техническую проблему создает электризация спутников. Возрастание потоков электронов с энергией более 20 кэВ в магнитосфере вызывает явление электризации космического аппарата и, как следствие этого – выход из строя аппаратуры. Важность космической погоды, т.е. состояния электромагнитных полей, плазмы и потоков частиц в околоземном пространстве, для космических аппаратов определяется возможностью роста потенциально опасных факторов за короткое время. Электроны и протоны способны в зависимости от энергии вызвать прямые повреждения внутренних элементов спутников, дифференциальную зарядку внешних и внутренних диэлектриков с последующим пробоем, повреждение панелей солнечных батарей, нарушения в модулях оперативной памяти бортовых компьютеров, блоках флэш-памяти и в других важных узлах космических аппаратов. Существует положительная корреляция частоты сбоев различных типов с солнечной активностью. Анализ отказов в работе космических аппаратов, связанных с гелиогеофизическими возмущениями, может не только способствовать защите космических систем в будущем, но и поможет разработать принципы продления жизни искусственных спутников Земли, функционирующих в настоящее время в околоземном космическом пространстве. Существует и связь между вероятностью сбоя и уровнем геомагнитной активности. Одной из причин сбоев на низкоорбитальных спутниках могут быть проникающие в магнитосферу солнечные протоны. Существует связь между потоками релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе, и сбоями, вызванными внутренним электростатическим разрядом,

на аппаратах, находящихся на геостационарных и эллиптических орбитах. Некоторые сбои в работе аппаратуры спутников могут быть также связаны с резким изменением электромагнитной обстановки вблизи КА при прохождении им разных участков орбиты. Бывает, что часть сбоев происходит на фоне низких значений потоков солнечных протонов. Возможной причиной являются высыпания авроральных электронов, космические лучи, энергичные частицы внутреннего радиационного пояса. Во время мощных геомагнитных возмущений погрешности определения дальности, доплеровского смещения частоты и углов прихода трансионосферных радиосигналов увеличиваются как минимум на порядок по сравнению с магнитоспокойными днями. Это может послужить причиной ухудшения функционирования современных спутниковых радиотехнических систем навигации, связи и спутниковой радиолокации, а также систем радиоинтерферометрии со сверхбольшой базой. Одновременно растет относительная плотность сбоев фазовых измерений в навигационной системе ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, превышающая соответствующий показатель для магнитоспокойных дней на один – два порядка. Изменение плотности плазмы и турбулентность в ионосфере приводят к нарушению и искажению радиосвязи и не контролируемому изменению траектории полета космического аппарата. Магнитосферные возмущения создают индукционные электрические поля и токи в длинных линиях электропередач, кабельных линиях, линиях связи, в газопроводах и нефтепроводах. Особенно сильны подобные помехи в высокоширотных областях, близких к авроральным овалам, например, в Арктических областях России, в Канаде и на Аляске, в Скандинавии и Антарктике. Во время самых сильных магнитосферных бурь авроральные овалы расширяются вплоть до низких широт, вместе с их полярными сияниями и максимальной магнитной активностью, индуцирующей электрические поля и токи.

Существующие эмпирические модели магнитосферных процессов хорошо справляются с ответом на вопрос «что происходит» и «как происходит», но не могут дать ответа на вопрос «почему так происходит». Эти модели оптимально ориентированы на практический результат и не обладают простотой и прозрачностью, которая необходима исследовательским моделям, создаваемым с целью понять «почему так происходит».

Разрабатываемая модель построена по блочному принципу. Каждый блок соответствует некоторой магнитосферной структуре и описывает происходящие в магнитосфере процессы в терминах физики, т. е., по существу, является субмоделью. Выход каждого блока согласован со входом следующего. Модель предназначена для того, чтобы воспроизвести цепочку физических процессов, действующих на пути от солнечного ветра к магнитосферно-ионосферным процессам.

Модель состоит из следующих блоков (субмоделей):

I. Блок ГУВ. Описывает трансформацию кинетической энергии солнечного ветра в газокинетическую и электромагнитную энергию.

II. Блок ПС (Переходный слой, Magnetosheath). Формирует распределение электрического потенциала на магнитопаузе. Регулирует поступление энергии в магнитосферу.

III. Блок формирования электрического поля конвекции в магнитосфере.

IV. Блок формирования распределения газового давления в магнитосфере, высыпаний частиц и продольных токов из магнитосферы.

V. Блок магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Описывает влияние ионосферы на магнитосферные процессы, генерацию продольных токов из ионосферы и процесс их сопряжения с токами из магнитосферы.

VI. Блок формирования плазменных неоднородностей в хвосте магнитосферы. Описывает процесс образования плазменных неоднородностей в струе конвекции в момент возрастания модуля отрицательной V_z – компоненты межпланетного магнитного поля солнечного ветра.

Созданная теория магнитосферных процессов может быть использована для создания метода расчета параметров магнитосферных процессов, в котором на входе будут задаваться текущие реальные параметры солнечного ветра перед фронтом головной ударной волны (например, данные со спутника ACE {<http://www.srl.caltech.edu/ACE/>}), а на выходе будут:

1. поток энергии в магнитосферу;
2. пространственно-временная картина распределения плазменного давления в магнитосфере;
3. распределение объемных токов в магнитосфере;
4. пространственно-временная картина распределения продольных токов из магнитосферы в ионосферу;
5. пространственно-временная картина высыпаний частиц в ионосферу;
6. энергетические характеристики магнитосферно-ионосферного взаимодействия.

Используя данные спутниковых измерений различных параметров магнитосферных процессов, возможна корректировка выходных параметров развиваемой модели (метода).

Помимо познавательной ценности, такая модель полезна для предсказания реакции магнитосферы на экстремальные ситуации, отсутствующие в обучающей выборке эмпирических моделей, а также для сопряжения различных эмпирических моделей прогнозирования геомагнитосферных возмущений и определения границ их применения. В целом, работы подобного направления в мире пытаются делать в рамках большой всемирной программы Space Weather – Космическая Погода. Если мы изучим механизмы взаимодействия солнечного ветра с геомагнитосферой, научимся прогнозировать магнитосферные возмущения, их интенсивность, то это позволит нам обеспечить в большей степени безопасность околоземного космического пространства и деятельность человека на Земле, потому что магнитосферные возмущения и их интенсивность воздействуют на околоземное пространство, на космические аппараты, на человеческую деятельность на нашей планете и в космосе, и чтобы это как-то предсказывать, мы должны знать механизмы взаимодействия солнечного ветра с геомагнитосферой, уметь прогнозировать магнитосферные возмущения. И также известно, что планируются полеты на Луну, на Марс, на другие планеты, пусть это в далекой перспективе, но, тем не менее, это выход человека в открытый космос, в магнитосфере и за ее пределами. Например, при полете на Марс – там не будет защиты, нужна будет защита на корабле или нужно знать радиационную обстановку в гелиосфере.

В будущем службы Космической Погоды будут предупреждать о возникающей реальной радиационной опасности для космонавтов, в особенности, для работающих в открытом космосе, а также для электронной аппаратуры космических кораблей и спутников. В отличие от обычного известного нам атмосферного прогноза погоды, как предполагается, служба Космической Погоды будет выдавать прогноз в виде карт различных областей околоземного космического пространства, на которых будут выделены опасные области (отдельно для живых существ и для электронной начинки космических аппаратов) в те или иные периоды времени.