**Солнечные факторы, определяющие состояние космической погоды, и задачи их прогнозирования**

В.П. Максимов

Изменения космической погоды происходят под действием высокоскоростных потоков плазмы и связанных с ними межпланетных ударных волн, потоков высокоэнергичных заряженных частиц, повышенного излучения во всем диапазоне длин волн электромагнитного излучения. В процессе становления и развития солнечно-земной физики взгляды на роль солнечных источников, ответственных за эти возмущения, неоднократно менялись. Менялись и представления о физической природе самих этих источников. Процесс переосмысления громадного количества данных, полученных в наземных и спутниковых наблюдениях, продолжается и в настоящее время. Продолжается поиск новых подходов и решений, создание количественных моделей процессов и явлений, которые необходимы для выполнения основной цели программы космической погоды: обеспечение безопасности наземных и бортовых космических систем, предотвращение угрозы здоровью и жизни людей.

Важными моментами для оценки состояния активной области и прогноза ее развития является разработка методов количественного описания ситуации в активной области, основанных на измерениях магнитных полей, характеристик микроволнового излучения, слежение за динамикой этих параметров, создание прогностических программ и оценка их эффективности.

**Введение**

В результате длительной и кропотливой работы рядом правительственных ведомств США в 1995 г. была разработана программа, названная Национальной Программой «Космическая Погода» (National Space Weather Program, NSWP). Цели и задачи этой программы сформулированы в документе «Стратегический план Национальной Программы «Космическая Погода» [1]. В этом документе впервые дано определение понятия «космическая погода» - это изменения условий на Солнце, в солнечном ветре, магнитосфере и ионосфере, которые могут повлиять на работу и надежность бортовых и наземных технологических систем и угрожать здоровью и жизни людей. В 1999 г. усилиями Европейского космического агентства была создана Европейская программа космической погоды [2]. Существует национальная программа Японии, разрабатываются национальные программы России и Китая.

Основной набор солнечных факторов, определяющих состояние космической погоды, так или иначе присутствует во всех перечисленных программах. Развитие приоритетов обусловлено, в основном, отличиями во взглядах разработчиков программ на природу солнечных явлений и их роль в изменениях космической погоды. Если ограничиться временными масштабами от нескольких минут до нескольких суток, то в качестве основных солнечных факторов рассматривают:

эруптивные протуберанцы,

солнечные вспышки,

корональные дыры.

Хронологически первыми были обнаружены протуберанцы. Есть основания предполагать, что они изображены на некоторых памятниках Древнего Египта. Письменные упоминания о протуберанцах встречаются в летописях, в частности, в Лаврентьевской летописи, в которой описано полное затмение Солнца 1 мая 1185 г. в Новгороде.

Первые научные описания протуберанцев были сделаны во время солнечных затмений 1706, 1733 и 1778 гг. Долгое время полагалось, что протуберанцы связаны с Луной. Их считали извержениями лунных вулканов, углублениями лунного края, сквозь которые проходят лучи Солнца, миражем в лунной атмосфере.

В 1868 г. Жансен и Локьер создали спектрогелиограф, позволивший проводить наблюдения протуберанцев вне затмений. Уже в первых наблюдениях была установлена связь между протуберанцами и темными волокнами на диске Солнца.

1 сентября 1859 г. Кэррингтон и Ходжсон впервые наблюдали в белом свете мощную солнечную вспышку [3]. Вначале она получила название хромосферной вспышки и обозначала внезапное кратковременное усиление излучения в сильных хромосферных линиях. Представления о природе этих солнечных явлений прошли долгий путь от падения комет на поверхность Солнца, гравитационного воздействия планет, электрических разрядов, подфотосферных источников до процессов накопления и внезапного выделения энергии при пересоединении магнитных полей в токовых слоях.

Однако начальный момент зарождения науки о солнечно-земных связях следует, по-видимому, отнести на несколько лет назад - в 1843 г., когда Швабе открыл 11-летнюю цикличность в пятнообразовательной деятельности Солнца [4]. Позднее эта цикличность была обнаружена и в частоте появления других проявлений солнечной активности: солнечных факелов и флоккулов, протуберанцев и темных волокон на диске, солнечных вспышек, а также в форме солнечной короны.

Уже в 1848 г. Вольф предложил индекс для характеристики солнечной активности - так называемое число Вольфа или относительное цюрихское число солнечных пятен, определяемое по формуле



где f - общее число пятен на видимой полусфере Солнца,

g - число групп пятен,

k - коэффициент (обычно < 1), учитывающий суммарный вклад условий наблюдений, тип телескопа, и приводящий наблюдаемые величины к стандартным цюрихским числам.

Подобная цикличность была обнаружена и в явлениях в околоземном космическом пространстве, например, в частотах появления полярных сияний и возмущений геомагнитного поля. Какие проявления солнечной активности являются причиной этих возмущений оставалось неясным до 1896 г., когда Биркеланд [5] высказал предположение, что полярные сияния и геомагнитные бури вызываются приходом энергичных частиц от Солнца. В последующих исследованиях вначале основные усилия были направлены на изучение статистических связей между явлениями на Солнце и Земле, так как практически ничего не было известно об условиях в пространстве между Солнцем и Землей.

Наряду со спорадическими в геомагнитном поле были открыты рекуррентные возмущения. Долгое время солнечный источник этих возмущений был неизвестен. Бартельс назвал их М-областями [6]. В попытках идентифицировать гипотетические М-области исторически сформировалось два различных подхода. Сторонники одного связывали рекуррентные геомагнитные возмущения со специфическими центрами солнечной активности, например, молодыми активными областями. Вторые считали, что повторяющиеся геомагнитные возмущения связаны со спокойными областями на Солнце и с униполярным магнитным полем.

Начавшаяся в 1960-х гг. с запуском первых космических аппаратов новая эра кардинально изменила многие представления о структуре и динамике геомагнитного поля и магнитных полей в явлениях солнечной активности и процессах взаимодействия движений плазмы и магнитных полей. К известному ряду солнечных факторов космической погоды добавились связанные с солнечными вспышками и эруптивными протуберанцами выбросы корональной массы, были открыты корональные дыры, отождествленные с М-областями. Прямые космические измерения дали принципиальную возможность проследить явление и его причинные связи на всем пути от Солнца через межпланетное пространство до магнитосферы и ионосферы Земли.

**Корональные дыры**

В корональных дырах - областях с открытыми силовыми линиями магнитного поля - создаются высокоскоростные потоки солнечного ветра, которые могут быть причиной рекуррентных геомагнитных бурь, обычно не очень интенсивные. С точки зрения космической погоды представляет интерес работа Браво и др. [7] , в которой по статистическим исследованиям трех циклов солнечной активности был сделан вывод о том, что большие геомагнитные бури в этот период происходили в то время, когда вблизи находящейся вблизи центрального меридиана корональной дыры (на расстоянии < 20o) возникали солнечные вспышки. Мак-Алистер и Книпп [8] высказали предположение, что геомагнитная буря в ноябре 1993 г. была связана с рекуррентной корональной дырой, пересекшей центральный меридиан 4 ноября. Во время предыдущего оборота высокоскоростной поток от этой дыры вызвал только слабую геомагнитную бурю. Большая геомагнитная буря 3 ноября, возможно, возникла в результате наложения двух процессов: высокоскоростного потока от корональной дыры и выброса корональной массы, связанного с небольшой вспышкой рентгеновского класса С.

Известно, что границы сформировавшихся корональных дыр могут изменяться при эрупции близлежащих протуберанцев, а короткоживущие корональные дыры могут возникать при эрупциях протуберанцев и вспышек. Вебб и др. [9] определили, что 70 % всех эрупций протуберанцев вблизи сформировавшихся корональных дыр происходили через день после крупномасштабных изменений границ дыры. Почти при всех изменениях уменьшалась площадь дыры.

Эрупция протуберанцев, удаленных от существующей дыры, может приводить к возникновению короткоживущих малых корональных дыр. Вспышки также могут приводить к появлению подобных транзиентных дыр.

Черток и др. [10] описали случай возникновения и эрупции темного волокна внутри корональной дыры. Эта эрупция сопровождалась повышенным рентгеновским и ультрафиолетовым излучением и выбросом корональной массы.

Таким образом, в связи между мощными геомагнитными бурями и корональными дырами появились новые, заслуживающие внимания аспекты.

**Солнечные вспышки и эруптивные протуберанцы**

Длительное время считалось бесспорным, что основным солнечным источником, ответственным за геомагнитные бури, является мощная солнечная вспышка и генерируемые ею потоки плазмы и высокоэнергичных заряженных частиц. И только немногие исследователи поддерживали предположение о геоэффективности эруптивных протуберанцев или внезапно исчезающих темных волокон на диске Солнца.

Такая ситуация существовала до конца 1993 г., когда появилась статья Гослинга «Миф солнечной вспышки». По наблюдениям на орбите Земли Гослинг [11] пришел к выводу, что большие нерекуррентные геомагнитные бури, ударные волны и большие события с энергичными частицами обусловлены выбросами корональной массы. При этом утверждалось, что все эти три явления не имеют фундаментальной связи (в смысле причины и следствия) с солнечными вспышками. Предполагалось, что межпланетные выбросы корональной массы вызываются быстрыми выбросами корональной массы, наблюдаемыми с помощью коронографов белого света вблизи Солнца. Из работы Гослинга можно сделать вывод, что выброс корональной массы является вполне самостоятельным явлением солнечной активности. В середине 1995 г. Американский Геофизический Союз организовал специальную сессию для обсуждения выдвинутой Гослингом новой парадигмы причины и следствия в солнечно-земной физике. В течение ряда последующих лет был опубликован целый ряд работ, в которых прямо или косвенно выражалось отношение авторов к этой парадигме. Подавляющее число участников дискуссии соглашалось с утверждением Гослинга, что причиной больших нерекуррентных геомагнитных бурь и межпланетных ударных волн являются выбросы корональной массы. Наиболее острые расхождения возникли по связи выбросов корональной массы со вспышками.

В новой парадигме причины и следствия в солнечно-земной физике остаются неясными два момента:

переход выброса корональной массы в межпланетный выброс корональной массы;

процесс возникновения выброса корональной массы в атмосфере Солнца и его связь с другими явлениями солнечной активности.

Утверждения Гослинга, на основе которых отрицается связь между солнечными вспышками и выбросами корональной массы, основаны на следующем:

1. Выбросы корональной массы часто происходят на более высоких гелиоширотах, чем активные области и вспышки.

Утверждение основано на результатах Хундхаузена [12]. Как отметил Драйер [13], эти результаты показывают, что действительно существуют выбросы корональной массы, возникающие на гелиоширотах 50o, однако их этих же данных следует, что существует и не меньшая, если не большая, по величине низкоширотная составляющая в распределении выбросов корональной массы по гелиоширотам.



2. Ссылаясь на Харрисона [14], Гослинг утверждает, что выброс обычно начинается раньше, чем происходит любая реальная вспышечная активность.

Сам Харрисон в цитируемой выше и последующей работе [15] делает вывод, что связанные с выбросами корональной массы вспышки могут происходить в любое время в пределах нескольких десятков минут относительно начала выброса: опережать, совпадать или даже запаздывать. Исследованные нами случаи [16-17] также обнаружили как опережение, так и запаздывание выброса корональной массы относительно эруптивного события.

3. Выброс корональной массы обусловлен изменениями в крупномасштабном магнитном поле, тогда как вспышки обусловлены изменениями в более сильных, но меньшего масштаба полях, связанных с активными областями.

Гослинг рассматривал вспышку как мелкомасштабное по сравнению с выбросом корональной массы явление. Если сравнивать наблюдаемые размеры хромосферной вспышки с размерами выброса, то это действительно так. В то же время процесс запасания и выделения энергии во вспышке на корональных высотах охватывает практически всю активную область. Очаги вспышек в хромосфере отмечают только места высыпания вдоль силовых линий магнитного поля потоков плазмы и ускоренных частиц, возникающих в процессе пересоединения магнитных полей в крупномасштабном токовом слое в короне активной области. Видимые в линии Нa очаги хромосферной вспышки составляют только малую часть активной области.

В процессе развития выброса корональной массы его вещество движется не только в антисолнечном направлении, но и в других направлениях. Это в равной мере относится к выбросам, связанным как со вспышками, так и с эруптивными протуберанцами. Как показано в работе [16], выброс «раздувается» во всех направлениях и уже на высотах порядка 15000 км его поперечные размеры становятся больше 10o Еще более наглядно этот процесс виден по наблюдениям на SOHO/EIT и LASCO, (например, события 7 апреля и 23 декабря 1996 г.). В этих событиях выбросы корональной массы наблюдались с самой ранней стадии их возникновения. Инициация началась с очень маленького объема (вспышка 7 апреля и эруптивный протуберанец 23 декабря). Дере и др. [18] сделали вывод, что инициация крупномасштабного выброса мелкомасштабной эрупцией является ключевым моментом, который должен быть включен в понимание возникновения выброса корональной массы.

Уже это краткое обсуждение показывает, что аргументы Гослинга недостаточно убедительны, чтобы полностью отрицать связь солнечных вспышек с выбросами корональной массы.

В своем построении новой парадигмы Гослинг исходит из «классических» представлений о вспышке: «под вспышками мы понимаем повышенное излучение фотонов (или электромагнитное излучение) в широком диапазоне энергий, часто связанное с другими формами солнечной активности. Такое излучение может происходить из фотосферы, хромосферы или короны».

Эти классические представления отражают понимание явления солнечной вспышки середины 60-х гг. В последующие годы с появлением данных в микроволновом, рентгеновском и ультрафиолетовом излучении с высоким временным и пространственным разрешением и развитием теоретических исследований представления о пространственной структуре вспышки и происходящих в ней процессах существенно расширились. В настоящее время вспышка рассматривается как динамическое явление, включающее в себя перестройку структуры магнитного поля, быстрые гидродинамические движения плазмы, ускорение заряженных частиц и генерацию ударных волн. По современным представления «вспышка Гослинга» является вторичным эффектом, обусловленным высыпанием в хромосферу вдоль силовых линий магнитного поля потоков плазмы и ускоренных частиц из области первичного энерговыделения в короне.

В то же время и у сторонников связи между вспышками и выбросами корональной массы нет единства взглядов на эту связь. Здесь можно выделить три подхода к проблеме.

1. По мнению Швестки [19], между вспышкой и выбросом корональной массы существует причинно-следственная связь. Он считает, что одним из наиболее важных известных источников выбросов на Солнце (и, вероятно, преобладающим источником) являются эруптивные вспышки. Эруптивная вспышка, по определению Швестки и Кливера [20],- «процесс высвобождения энергии, который в зависимости от величины магнитного поля проявляется во внезапных исчезновениях волокон без какого-либо поярчания в хромосфере, появлении нескольких Нa-узлов в более сильных полях и, наконец, двухленточных вспышек в полностью развитых активных областях. Термин «эруптивная вспышка» не требует какой-либо хромосферной вспышки, то есть вспышки в старом смысле этого слова». Основной отличительной особенностью этого типа вспышек является разрушение магнитной конфигурации. Вспышки без разрушения магнитной конфигурации (нагрев и поярчание ранее существовавших петель) относятся к компактным вспышкам. Швестка считает, что все важные межпланетные и геомагнитные эффекты связаны с эруптивными вспышками.

Так как Швестка интерпретирует эруптивную вспышку в рамках модели Кармайкла-Старрока-Хираямы-Коппа и Пноймана, то, как отметил Харрисон [15], в этой схеме начало выброса корональной массы либо совпадает с началом вспышки либо предшествует ей. Здесь справедливо замечание, сделанное выше относительно концепции Гослинга.

2. В концепции Харрисона [14] вспышка, выброс корональной массы и любая эрупция протуберанца являются составными частями одного и того же активного события, названного им корональной магнитной бурей. Основным элементом этой концепции является взаимодействие систем магнитных петель разного масштаба. Не привязываясь к конкретной модели, Харрисон считает, что вся эта активность имеет общий драйвер (триггерный механизм) и нет смысла говорить о вспышке, возбуждающей выброс, и наоборот.

3. Драйер [13] полагает, что причина возникновения выброса корональной массы носит бимодальный характер. Выброс корональной массы может быть как результатом эруптивного процесса, так и результатом потери равновесия крупномасштабной магнитной структуры. В последнем случае выброс корональной массы может не проявляться в оптических наблюдениях на диске Солнца.

Нетрудно заметить, что наряду с различиями (касающимися, в основном, причинно-следственной связи) в концепциях Швестки и Харрисона существует и принципиальное сходство. Швестка объединяет мощную вспышку и эруптивный протуберанец в одно явление - эруптивную вспышку. Харрисон добавляет к ним выброс корональной массы и называет это явление корональной магнитной бурей.

Действительно, причина всех трех явлений - выброса корональной массы, эрупции протуберанца и вспышки - заключена в высвобождении энергии в процессе перестройки (разрушения по Швестке) магнитной конфигурации. Однако следует признать, что эти три явления существенно различаются по формам запасания и высвобождения энергии.

В отличие от эруптивного протуберанца во вспышке значительная часть энергии выделяется уже в короне в виде тепловой энергии и энергии ускоренных частиц. Микроволновое излучение является чувствительным индикатором появления в короне электронов с энергиями 10 кэВ. Оно уверенно регистрируется даже в случае субвспышек. В то же время мы не наблюдали микроволнового излучения в случае эруптивного протуберанца. Большая часть ускоренных частиц направлена вниз, в хромосферу, в результате чего возникает хромосферная вспышка. Оба явления отличаются темпом выделения энергии, особенно на их начальной стадии. Исходя из этих обстоятельств, следует признать, что рассмотрение вспышек и эруптивных протуберанцев как одного явления эруптивной вспышки чересчур обобщающее.



Для обеих концепций возникает вопрос: если в зависимости от конкретных условий процессы могут развиваться по различным путям, с различными характерными особенностями каждого из них, следует ли их объединять под одним понятием, будь то эруптивная вспышка или корональная магнитная буря?

Мы склонны рассматривать эти процессы как самостоятельные под сложившимися для них названиями длительной (LDE) или двухленточной вспышки и эруптивного протуберанца.

В процессе развития активной области, включающем в себя всплытие новых магнитных полей и самые различные движения этих полей, может происходить накопление энергии, например, в виде токов, текущих в короне активной области, потенциальной энергии холодного вещества, лежащего на вершинах силовых линий высоко в короне. Эти же причины могут приводить к неустойчивости или потере равновесия магнитной конфигурации, за которой может последовать либо новое равновесное состояние, либо взрывное разрушение конфигурации. В зависимости от того, в каком виде запасена энергия, она может выделиться в виде солнечной вспышки, эруптивного протуберанца и выброса корональной массы, либо по отдельности, либо в различных сочетаниях.

Конечно, вслед за Харрисоном можно предположить, что один и тот же триггерный механизм может одновременно или в той или иной последовательности приводить к возникновению вспышки, эруптивного протуберанца и выброса корональной массы. Однако, как следует из нашего исследования подготовительной стадии солнечных эруптивных событий, процесс накопления энергии затрагивает практически всю активную область. Поэтому перестройка (разрушение) магнитной структуры в короне также происходит на масштабе активной области. И если малое по величине воздействие триггерного механизма инициирует и вспышку, и эрупцию протуберанца, и выброс корональной массы, то почему значительно более мощное возмущение в виде одного из перечисленных событий не может привести к появлению другого? Трудно не дать положительный ответ на этот вопрос. Тогда мы получаем причинно-следственную связь между событиями, которая зависит от того, в каком виде или видах существует запасенная энергия. В таком случае важность и актуальность исследования подготовительной стадии солнечных эруптивных событий состоит не только в понимании физических механизмов запасения энергии и краткосрочного прогноза мощных эруптивных событий, но и в понимании того, что произойдет в результате взрывного высвобождения этой энергии: солнечная вспышка, эрупция протуберанца, выброс корональной массы и в каком сочетании.

Основная трудность в решении проблемы связи выбросов корональной массы с другими явлениями солнечной активности заключалась в том, что выбросы наблюдались только на лимбе на расстояниях больше 1.5 радиусов Солнца.

Первые наблюдения выбросов корональной массы на диске Солнца, по-видимому, были выполнены на Сибирском солнечном радиотелескопе (ССРТ). Проведенные исследования показали связь выбросов корональной массы как с эрупцией волокон, так и со вспышками [16 -17].

Наконец, наблюдения на SOHO позволили внести окончательную ясность в проблему связи выбросов корональной массы с другими проявлениями солнечной активности, в том смысле, что такая связь существует. Однако остается открытым вопрос о количественной стороне этой связи. Так, Джоселин и Мак-Интош [21] на основе данных Skylab пришли к выводу, что 50 % выбросов корональной массы связано с эруптивными протуберанцами и 70% было связано с эруптивными протуберанцами и исчезновениями волокон со вспышками. Брекке [2] по данным SOHO> установил, что 85 % выбросов корональной массы связано со вспышками, 70 % - с эруптивными волокнами, причем 53 % - с корональными волокнами, видимыми в ультрафиолетовом излучении. В то же время согласно Хаймин Вангу [22] связь между эрупцией волокон и выбросами корональной массы довольно слабая: ~ 15 % для волокон вблизи западного лимба и ~ 10 % для волокон в центре диска. Нынешнее состояние проблемы можно охарактеризовать словами Моники Пик [23]: «связь между эруптивными протуберанцами и выбросами корональной массы зависит от цикла солнечной активности и от пристрастий авторов».

**Прогноз**

Наверное, не будет большим преувеличением сказать, что значительная часть задач прогнозирования космической погоды с точки зрения солнечных событий является задачами диагностики, т.е. оценкой геоэффективности солнечного события по наблюдаемым параметрам. И от геофизиков нередко можно услышать мнение, что задача краткосрочного прогноза солнечных эруптивных событий не является актуальной.

Однако достаточно привести только несколько примеров, когда краткосрочный прогноз солнечных эруптивных событий совершенно необходим. Во-первых, это случай прямой угрозы жизни и здоровью людей:

выход космонавтов в открытый космос;

трансполярные перелеты на самолетах;

планируемые полеты на Луну и Марс.

Во-вторых, это возможность потери дорогостоящих спутников уже при их запуске и маневрах на орбите в условиях мощных солнечных вспышек.

В зависимости от назначения прогнозы по заблаговременности разделяются на несколько классов. Например, при полетах на больших высотах экипаж самолета и его пассажиры подвергаются радиационному облучению. Во время очень мощной солнечной вспышки доза облучения может представлять смертельную опасность. Организация прогноза и действия наземного персонала и экипажа при таких полетах могут быть представлены следующим образом [24].

Краткосрочный прогноз (заблаговременность 1 - 3 дня) опасных уровней излучения на высотах и маршрутах, используемых коммерческими авиалиниями, которые могут представлять угрозу для экипажа, пассажиров и бортовой электронной аппаратуры. На основе мониторинга солнечной активности предсказывается вероятность эруптивного события с энергичными частицами. Производится оценка степени риска и выбор экипажа в зависимости от полученной ранее дозы облучения.

Предупреждение (заблаговременность 0 - 24 часа) о наблюдении вспышек и выбросов корональной массы. Переоценивается вероятность события с энергичными частицами. Прогнозируется доза радиации. Руководитель полетов принимает меры по минимизации опасности выхода из строя электроники.

Диагностика осуществляется в реальном масштабе времени с целью идентификации события с энергичными частицами на Земле и на борту самолета и предусматривает непрерывный мониторинг развития события. С запаздыванием в несколько часов вычисляется доза радиации. Принимаются меры по снижению высоты полета, изменению курса или посадке.

Анализ произошедших событий. Определяются параметры события (энергетический спектр, поток, длительность, локализация). Проводятся расчеты полученной дозы радиации для реальных высот и маршрутов полета, исследуются аномалии в работе оборудования.

В активной области с момента ее рождения и до распада происходят непрерывные изменения структуры магнитных полей, которые включают всплытие магнитных полей из-под фотосферы, погружение части полей под фотосферу, различного рода движения холмов магнитного поля. Эти изменения находят свое отражение в изменениях площадей пятен и факелов, изменениях тонкой структуры хромосферы, повышении яркости отдельных структурных элементов, появлении и активизации темных волокон и систем арочных волокон и т.п. В одних случаях изменения структуры и динамики магнитных полей приводят к запасанию энергии и последующему ее взрывному выделению в виде солнечной вспышки, а в других - нет. Для распознавания вспышечной стадии развития активной области предложены многочисленные признаки предвспышечной ситуации. В алгоритмах прогноза, как правило, от нескольких признаков до нескольких десятков признаков. Важное место среди них занимают площадь группы пятен и ее магнитный класс, напряженность магнитных полей пятен, величина градиентов магнитного поля, всплытие новых магнитных полей и собственные движения пятен и пор, форма линии раздела полярностей продольного магнитного поля. Однако задача определения необходимых и достаточных признаков для распознавания предвспышечной ситуации до сих пор остается нерешенной: реализация одной и той же комбинации признаков в одних случаях действительно заканчивается вспышкой, в других случаях вспышка не происходит. С одной стороны, это объясняется тем, что используемые признаки получены эмпирическим путем, а не следуют из теоретических предпосылок, так как законченной теории солнечных вспышек до сих пор не существует. С другой стороны, подавляющее большинство используемых в прогнозах признаков получено из наблюдений на фотосферном и хромосферном уровнях, в то время как процессы накопления и первичного высвобождения энергии происходят в короне активной области.

Появление крупных радиотелескопов, обладающих высоким пространственным и временным разрешением, привело к попыткам разработки алгоритмов прогноза солнечных вспышек по данным микроволнового излучения, которое несет информацию об изменениях магнитного поля и параметров плазмы в короне активной области. Одним из преимуществ этих алгоритмов является возможность прогноза вспышек за 1 - 2 дня до выхода активной области из-за восточного лимба и за 1- 2 дня после ее захода за западный лимб.

Оправдываемость прогнозов до сих пор во многом определяется искусством прогнозиста. Для краткосрочных прогнозов она составляет 70 - 80 %, а для предупреждений может доходить до 90 %.

Если в прогнозе солнечных вспышек ведется интенсивная работа большими коллективами исследователей, то прогноз эруптивных протуберанцев все еще остается без должного внимания. Основным, если не единственным, используемым критерием остается анализ лучевых скоростей. Однако это явление наблюдается всего за несколько минут до эрупции волокна.

В то же время следует указать на принципиальную возможность прогноза появления и разрушения протуберанцев по динамике магнитных полей. Темные волокна (протуберанцы в проекции на солнечный диск) появляются над линией раздела полярностей (ЛРП) фотосферного магнитного поля, и само существование таких линий считается первым необходимым условием для возникновения волокна. Одной из характеристик ЛРП является градиент продольного магнитного поля в ее ближайшей окрестности. Так как сама ЛРП, лежащее над ней волокно, возникающие по обе стороны этой линии ленты вспышки являются протяженными образованиями, то для описания ситуации на ЛРП недостаточно измерений градиента в месте его максимального значения, а необходимо строить распределение градиента магнитного поля вдоль всей длины ЛРП. В работах [25 - 27] показано, что для появления волокна в активной области необходим сдвиг распределения градиента магнитного поля в сторону низких значений и существование на ЛРП достаточно протяженных участков, однородных по магнитному полю, на которых значения градиента не превышают некоторого предельного значения. Возрастание градиента магнитного поля на участках ЛРП с существующим волокном приводит к активизации и разрушению волокна.

Некоторые задачи в проблеме прогноза солнечных факторов:

1. Исследования связи между геоэффективностью корональных дыр, и солнечными вспышками и эруптивными протуберанцами в их окрестности.

2. Исследование связи между солнечными вспышками, эруптивными протуберанцами и выбросами корональной массы.

3. Разработка и практическое использование методов краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек по данным радиоизлучения с высоким пространственным, временным и спектральным разрешением.

4. Разработка методов прогноза эруптивных протуберанцев.

**Список литературы**

1. National Space Weather Program. Strategic Plan. Office of Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research FCM-P30-1995. Washington DC. August 1995.

2. Rationale for a European Space Weather Programme. ESA Space Weather Study (ESWS). FMI-RP-0002. March 30, 2001.

3. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. М.: Мир. 1966.

4. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна. М.: Мир. 1967.

5. Акасофу С.И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Часть 2. М.: Мир. 1975.

6. Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир. 1976.

7. Bravo S., Cruz-Abeyro J.A.L., Rojas D. The spatial relationship between active regions and coronal holes and the occurence of intense geomagnetic storms throughout the solar activity cycle // Ann. Geophys. 1997. V. 16. P. 49.

8. McAlister A.H., Knipp D.J. Identification of solar drivers: The November 3 - - 4, 1993 geomagnetic storm // J. Geophys. Res. 1998. V. 221. P. 10326.

9. Webb D.F., McIntosh P.S., Nolte J.T., Solodyna C.V. Evidence linking coronal transients to the evolution of coronal holes // Solar Phys. 1978. V. 58. P. 389.

10. Chertok I.M., Mogilevsky E.I., Obridko V.N., et al. Solar disappearing filament inside a coronal hole and associ ated large-scale activity // Astrophys. J. 2001 (in press).

11. Gosling J.T. The solar flare myth // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 18937.

12. Hundhausen A.J. Sizes and locations of coronal mass ejections - SMM observations from 1980 and 1984 - - 1989 // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 13177.

13. Dryer M. Comments on the origins of coronal mass ejection // Solar Phys. 1996. V. 169. P. 421.

14. Harrison R.A. The nature of solar flares associated with coronal mass ejection // Astron. Astrophys. 1995. V. 304. P. 585.

15. Harrison R.A. Coronal magnetic storms: a new perspective on flares and the 'Solar flare myth' debate // Solar Phys. 1996. V. 166. P. 441.

16. Maksimov V.P., Nefedyev V.P. The observation of a 'negative burst' with high spatial resolution // Solar Phys. 1991. V. 136. P. 335.

17. Maksimov V.P., Nefedyev V.P. Some possibilities of microwave diagnostics of eruptive prominences // Ann. Geophys. 1992. V. 10. P. 354.

18. Dere K.R., Brueckner G.E., Howard R. et al. EIT and LASCO observations of the initiation of a coronal mass ejection // Solar Phys. 1997. V. 175. P. 601.

19. Svestka Z. On 'The solar flare myth' postulated by Gosling // Solar Phys. 1995. V. 160. P. 53 - - 56.

20. Svestka Z., Cliver E.W. History and basic characteristics of eruptive flares // Eruptive Solar Flares. Proceed. IAU Coll. 133 / Eds Z.Svestka et al. NY: Springer-Verlag. 1992. P. 1 - 24.

21. Joselyn J.A., McIntosh P.S. Disappearing solar filaments - a useful predictor of geomagnetic activity // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. P. 4555.

22. Wang H. Space weather: scientific forecasting // COSPAR Colloquium: Solar-Terrestrial Magnetic Activity and Space Environment. Bejing, China. 2001. P. 55.

23. Pick M. Coronal mass ejections from the corona to the interplanetary medium // Ibid. P. 67.

24. Максимов В.П., Каленых А.В. Влияние солнечных эруптивных событий на безопасность кроссполярных полетов // САКС-2001: Материалы международной научно-практической конференции / Ред. Г.П. Поляков. Красноярск. 2001. С. 37.

25. Максимов В.П., Ермакова Л.В. Волокна и магнитное поле активной области // Астрон. журн. 1985. Т. 62. С. 558.

26. Максимов В.П., Ермакова Л.В. О связи появления волокна с изменениями магнитного поля активной области // Астрон. журн. 1987. Т. 64. С. 841.

27. Максимов В.П., Прокопьев А.А. Динамика магнитного поля и появление, развитие и разрушение волокна на Солнце // Астрон. журн. 1993. Т. 70. С. 1099.