

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ НА МАРСИАНСКИЕ И ЛУННЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

А.И.Акишин
НИИЯФ МГУ
akishin2011@yandex.ru

Возникновение мощного магнитного шторма около Земли, вызванного солнечной активностью, может сопровождаться сильнейшей электризацией геостационарных и полярных искусственных спутников Земли (ИСЗ), приводящей к возникновению электрических разрядов, как на их поверхности, так и в объемных диэлектрических элементах конструкции [1,2]. Сопутствующие электрическим разрядам электромагнитные помехи создают в электронном оборудовании ИСЗ аномалии (сбои). Анализ аномалий геостационарных ИСЗ показал, что более половины из зарегистрированных аномалий, связано с их электризацией в момент возникновения возмущений магнитосферы Земли. Роль объемной зарядки диэлектрических элементов и происходящих в них электрических разрядов на возникновение аномалий ИСЗ является решающей. Возможно, что электроразрядные процессы в пылевой плазме у поверхности Марса и Луны, а также электростатическая адгезия пыли на внешних поверхностях космического оборудования, могут заметно повлиять на работоспособность марсианских и лунных космических систем.

Воздействие электрических торнадо на марсианские аппараты

При марсианских экспедициях планетная пыль и ультрафиолетовое излучение Солнца может оказать вредное влияние на бортовое оборудование марсианских аппаратов [3-7]. Сухой климат и низкое атмосферное давление на Марсе около 5-7мм рт. ст. способствуют возникновению электрических торнадо «пылевых дьяволов» у поверхности планеты, из-за резкого перепада температур (Рис.1).

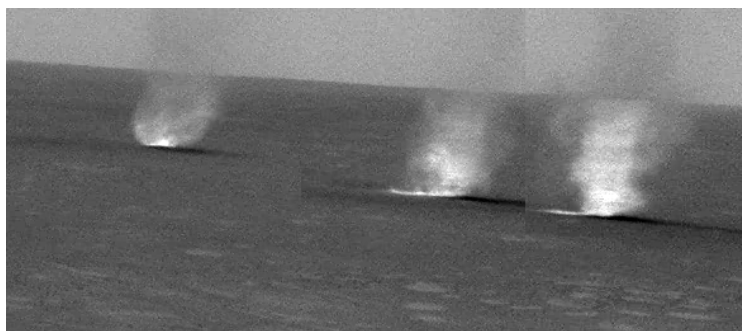


Рис.1 Фотография развития электрического торнадо во времени на поверхности Марса, полученная с помощью марсианского аппарата «Spirit» по проекту « Mars Exploration Rover».

Диаметр торнадо на Марсе может достигать 500м, при высоте ~ 9км. Скорость ветра в марсианском пылевом торнадо достигает до 95 км/час. На Рис.2 дано изображение электрического торнадо на поверхности Марса.

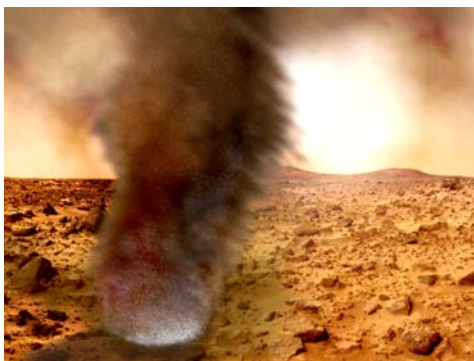


Рис.2 Изображение электрического торнадо на поверхности Марса.

На Рис 3 приведена схема электризации марсианского пылевого торнадо.

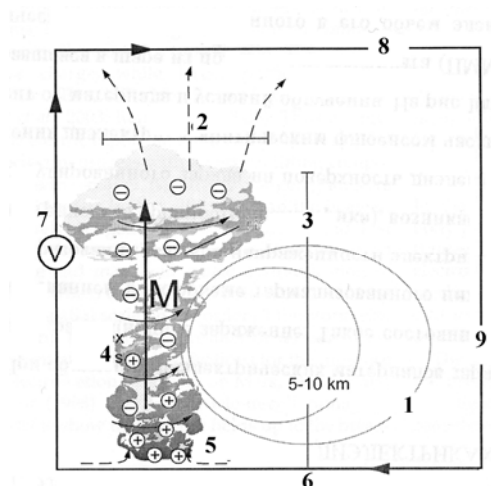


Рис.3. Схема электризации марсианского пылевого торнадо: 1-Электрическое поле. 2-Поток отрицательно заряженных пылинок. 3-Теплая зона. 4-Вихрь ветра. 5-Отрыв воздушного потока, 6-Сопротивление почвы, 7-Уровень потенциала, 8-Сопротивление ионосферы, 9-Сопротивление атмосферы.

Механизм заряжения пылинок в торнадо возможно связан с трибоэлектрическим эффектом, который сопровождается возникновением экзоэлектронной эмиссии при соударении пылевых частиц с различной работой выхода их поверхностей [4]. Из имитационных испытаний по моделированию возникновения торнадо, следует, что движущиеся мельчайшие пылинки в газовой среде, эквивалентной атмосфере Марса, приобретают отрицательный заряд, а более крупные положительный (Рис.4). Эффект разделения пылевых частиц по знаку заряда внутри торнадо создает условия для возникновения высокой разности электрического потенциала по высоте торнадо (Рис.3).

Внутри торнадо в результате потока заряженных пылинок возникают электрические поля с $E \sim 50-80 \text{ кВ/м}$, а одиночный заряд микронных частиц за счет трибоэлектризации лежит в интервале 10^4-10^6 электронов.

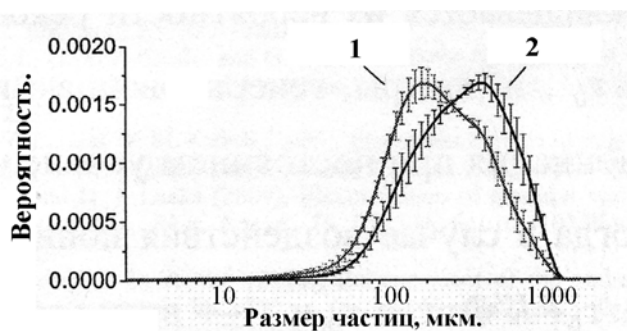


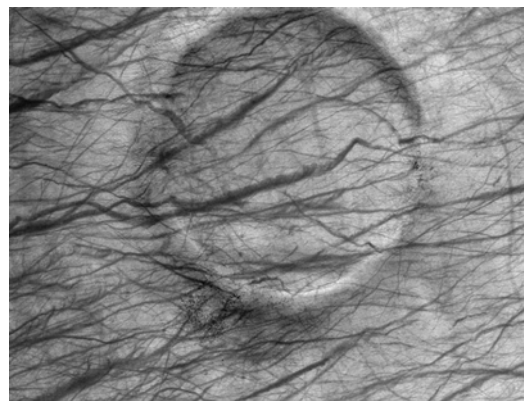
Рис 4. Распределение по размеру и знаку зарядов микрочастиц, имитирующих марсианскую пыль по стандарту JSC-1, полученное в лабораторных экспериментах. 1-частицы с отрицательным зарядом, 2-частицы с положительным зарядом.

Есть основание предполагать, что в приповерхностной зоне внутри торнадо возникает свечение, из-за электрических разрядов, поскольку электрическая прочность марсианской атмосферы должна составлять 20-30кВ/м, что соответствует минимуму на кривой Пашена, так как давление марсианской атмосферы составляет 5-7 мм рт. ст.. Электрическая прочность воздуха у поверхности Земли составляет около 3МВ/м. Электрические разряды между пылинками с различными зарядами в электрическом торнадо могут создавать спектр радиопомех в микроволновом диапазоне (1,35 - 6см).

Электроразрядные процессы в марсианских торнадо могут создавать из компонент атмосферы Марса (CO_2 ; Ar, CO, пары воды) ионы H; OH; CO. В свою очередь из этих ионов при их рекомбинации может возникать перекись водорода (H_2O_2). Перекись водорода является сильнейшим окислителем и может совместно с ультрафиолетовым излучением Солнца стерилизовать поверхность Марса при ее осаждении. Когда марсианские торнадо проходят над поверхностью Марса они возможно создают на почве темные полосы (Рис. 5.a,b) Можно предположить, что ветер торнадо удаляет пыль с ярких участков поверхности, обнажая их от пыли, и тем самым проявляется более темное изображение марсианской почвы. Возможно, что аналогичные процессы происходят и на поверхности спутника Юпитера «Европа».



a



b

Рис.5. Темные полосы (a,b) на поверхности Марса, возможно образовавшиеся под воздействием торнадо.

Воздействие электризованной пыли на лунные аппараты

В течение 5-6 суток каждый месяц Луна пересекает магнитное поле Земли и часть лунной поверхности приобретает статический электрический заряд, за счет адсорбции заряженных частиц, находящихся в магнитосферной плазме Земли (Рис.6) [8]. У поверхности Луны существует пылевая плазма, состоящая из заряженных микронных пылинок, находящихся в условиях левитации, фотоэлектронов на освещенной стороне Луны и заряженных частиц магнитосферной плазмы Земли и солнечного ветра.

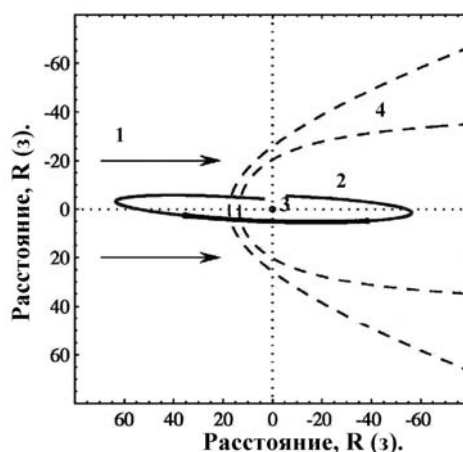


Рис.6. Орбита Луны в магнитосфере Земли в момент проведения полета (10-16/12/1972г) по программе «Аполло-17». 1-Солнечный ветер. 2-Орбита Луны. 3-Земля. 4-Магнитосфера Земли. R-Радиус Земли.

Электростатическая зарядка поверхности Луны может возрасти после 2012г. и может понизить безопасность планируемых лунных экспедиций. Отмечается, что Луна имеет 18-летний цикл изменения своей орбиты вокруг Земли, что может влиять на уровень ее электризации. Предполагается, что Луна, как и другие космические тела, лишённые атмосферы (Меркурий, спутник Юпитера «Европа», астероиды), подвергаются радиационной электризации также как и геостационарные ИСЗ.[8].

На освещенной стороне Луны при пересечении с магнитным полем Земли образуется положительный потенциал в несколько вольт, в связи с тем, что фотоэлектронная эмиссия с лунной поверхности заметно превышает электронный заряд, адсорбируемый из магнитосферной земной плазмы и солнечного ветра. На ночной стороне Луны, где отсутствуют фотоэлектроны, электрический отрицательный потенциал может достигать тысяч вольт [8].

При мощном солнечном шторме на поверхности Луны могут появиться потоки солнечных протонов с энергией до 200МэВ и электроны с энергией до 1 МэВ. В этом случае лунная поверхность в ночное время может приобрести отрицательный потенциал до 4-5кВ и выше. Эти данные получены в 1998-1999г. с помощью орбитального электронного рефлектометра (Lunar Prospector) Как показали эксперименты, проведенные на орбитальном электронном рефлектометре в 8 случаях из 11 сеансов измеренная электронная температура плазмы около поверхности Луны хорошо соответствует с измеряемым на ее по-

верхности отрицательным потенциалом. Как предполагают [8], на лунном терминаторе вероятность возникновения электроразрядных процессов должна возрасти, т.к. будет резко изменяться уровень и знак электрических зарядов на поверхности терминатора (Рис.7).

В этих условиях усиливается процесс перемещения заряженной пыли на лунном терминаторе, зарегистрированный с помощью оборудования, установленного на лунном космическом аппарате «Apollo 17». Заряженная пыль перемещается как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях со скоростью до 1 км/с.

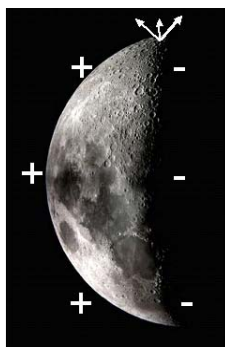


Рис.7. Терминатор Луны в окружении пылевой плазмы: (+) положительный потенциал 5-10 В на освещенной стороне Луны; (-) отрицательный потенциал до 4 кВ на теневой стороне Луны; (↑) выброс заряженной лунной пыли на терминаторе за счет электроразрядных процессов на ее поверхности.

На Рис.8 приведено изображение «горизонтального свечения» от рассеянного света Солнца в лунной приповерхностной пылевой плазме на высоте до 100 км, вызванного левитацией заряженных пылинок с размерами до 1 мкм [8]. Левитация заряженных пылинок возникает в том случае, когда гравитационные силы уравниваются электрическим воздействием.

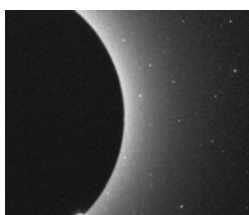


Рис.8 Изображение «горизонтального свечения» рассеянного солнечного света в лунной пылевой плазме на высоте до 100 км, вызванного левитацией заряженных пылинок с размерами ниже 1 мкм.

Второй аспект электризации поверхности Луны и лунных космических аппаратов связан с электрической зарядкой лунной пыли и ее электростатической адгезией на внешних поверхностях оборудования и скафандров космонавтов. Предполагается, что эффективность адгезии-«прилипания» лунной пыли к любой поверхности космических аппаратов зависит от угла падения солнечного света и времени лунного дня. В ночное время эффективность адгезии лунной пыли снижается. Происхождение лунной пыли в основном связы-

вается с микрометеорной бомбардировкой поверхности Луны. Лунные пылинки имеют сложную структуру и острые края. Средний размер пыли около 70 мкм, однако имеется фракция с размерами ниже 1-3 мкм. Часть лунной пыли может иметь поверхности с низкой степенью окисления, обладающей высокой концентрацией свободных радикалов, что резко повышает ее адгезию и токсичность в закрытых обитаемых лунных объектах. Освещенные Солнцем пылинки приобретают за счет фотоэлектронной эмиссии положительный заряд и потенциал, что усиливает адгезию их к поверхности материалов. В первую очередь адгезия лунной пыли может ухудшить работу солнечных батарей, радиаторов системы терморегулирования и оптического оборудования лунных объектов. Механизмы вращения лунных аппаратов будут подвергаться абразивному воздействию пыли. Электростатическая адгезия лунной пыли является серьезной технологической и экологической проблемой для будущих лунных экспедиций.

На обезвоженной поверхности Луны невозможно создать единое «заземление» лунных систем и скафандров космонавтов, из-за очень высокого удельного сопротивления лунной почвы. Каждый лунный аппарат будет иметь свой индивидуальный потенциал относительно поверхности Луны, что создает условия для возникновения высоковольтных электростатических разрядов, поскольку они будут возникать в высоком вакууме. Между освещенными и теневыми диэлектрическими поверхностями лунного объекта, также может возникать высокая разность электрических потенциалов.

1. J.F. Fennell, H.C. Koons, J.I. Roeder, J.B. Blake. Spacecraft Charging: Observation and Relationship to Satellite Anomalies. [URL: http://articles.adsabs.harvard.edu/full/2001ESASP.476..279F/0000279.000.html](http://articles.adsabs.harvard.edu/full/2001ESASP.476..279F/0000279.000.html) (дата обращения: 21.10.2009).
2. Effects of Space Condition on Materials. A.I. Akishin (Editor). Nova Science Publishers, Inc. NY. 2001. p. 199.
3. NASA-Phantoms from the Sand: Tracking Dust Devils Across Earth and Mars. [URL: http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/2005-dust-devil.html](http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/2005-dust-devil.html) (дата обращения: 16.10.2009).
4. Акишин А.И., Докторов Ю.А. Эмиссия заряженных частиц ряда веществ под ударами песчинок // Изв. АН СССР сер. физ., 1962, т. XXVI, в. 11, с. 1435-1437.
5. Акишин А.И., Баранов В.К., Каракулев Д.А., Кирюхин В.П., Терешина Л.П., Тихомиров Г.П. Изменение параметров оптических деталей при имитации марсианской пылевой бури // Оптико-механическая промышленность, 1980, №6, с. 10-12.
6. W. Thornhill. Electric Dust Devils. [URL: http://translate.googleusercontent.com/translatec?hl=ru&sl=en&u=http://www.biblio](http://translate.googleusercontent.com/translatec?hl=ru&sl=en&u=http://www.biblio) (дата обращения: 8.12.2009).
7. K.M. Forward, D.J. Lacks, R.M. Sankaran. Particle-size dependent bipolar charging of Martian regolith stimulant. // Geophysical Research Letters, 2009, v. 36, 113201, doi:10.1029/2009GL938589.
8. T.J. Stubbs, W.M. Farrell, J.S. Halekas, M.R. Collier, R.R. Vondrak, G.T. Delory. The Lunar Dust-Plasma Environment. NASA, Berkeley, Lunar X-ray Observatory (LXO)/Magnetospheric Explorer (MagEX) meeting, Hilton Garden Inn, October 25 2007. [URL: http://www.lpi.usra.edu/meetings/LEA/presentations/wed_am/1_Stubbs_Near_Lunar_Plasma_Environment.pdf](http://www.lpi.usra.edu/meetings/LEA/presentations/wed_am/1_Stubbs_Near_Lunar_Plasma_Environment.pdf) (дата обращения: 16.10.2009).