

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ НА маршруте ЗЕМЛЯ – МАРС

Нефедьев Ю.А., Андреев А.О., Демина Н.Ю.

Казанский федеральный университет, г. Казань, star1955@mail.ru

Аннотация.

Работа посвящена определению параметров распределения метеоритных тел на трассе Земля – Марс. При анализе использовались данные космических миссий «Маринер-2», «Маринер-4», «Пионер-10» и «Пионер-11», «MAVEN», «Феникс», «Орбиты следовых газов». Определено, что близкие к орбите Марса малые метеороиды увеличивают свое количество, что подтверждает гипотезу их выброса с марсианской поверхности и спутниками марса при воздействии на них других метеороидов. При моделировании параметров высоты геопотенциала северного полушария Земли была подтверждена гипотеза геострофических ветров, которые вызываются вращением Земли и являются результатом баланса между горизонтальным компонентом силы барического градиента и силой Кориолиса. При выполнении работы был проведен анализ околоземных слоев атмосферы: тропосферы, мезосферы, термосферы и ионосферы с применением данных радиоастрономических наблюдений. Результаты этих исследований позволяют их использовать для изучения метеорологических явлений и их прогнозирования.

Введение.

В настоящее время роботическое освоение Марса является одной из самых востребованных мировыми космическими агентствами задач. Сейчас на поверхности планеты активно работает Mars Science Laboratory (MSL) и марсоход третьего поколения «Curiosity» [Abbey et al, 2019]. Работа сфокусирована на расчете метеорной опасности на маршруте Земля – Марс и нахождении параметров, которые необходимы для создания государственного стандарта (метеорное вещество, модель пространственного распределения). Данное научное направление является важным и актуальным. До сих пор этот стандарт является лучшим по сравнению с американским аналогом, разработанным НАСА, и европейским стандартом. Существует также другой стандарт – «Метеорное вещество: термины и определения» [Rizvanov, Nefedjev, 2005], который был разработан сотрудниками метеорологического отдела астрономической обсерватории Энгельгардта (АОЭ) [Sokolova et al., 2018]. До сих пор оба стандарта являются обязательными документами для проектирования космических аппаратов.

Метод анализа.

В АОЭ проводятся работы по исследованию генетических связей околоземных метеороидов [Sokolova et al., 2016; Roper, 1990]. Сложность реализации работ по анализу метеорной опасности на маршруте Земля – Марс заключается в том, что наблюдения метеоров с поверхности Земли не могли дать полную метеорную ситуацию на всех этапах полета космического корабля к Марсу. Чем ближе к Марсу, тем наименьшие метеорные орбиты с одинаковыми орбитальными элементами пересекают орбиту Земли и траекторию космических кораблей. Вот почему данные наземных наблюдений должны быть экстраполированы на другие расстояния. Кроме этого, при анализе в настоящей работе использовались результаты наблюдений, которые были сделаны миссиями «Маринер-2», «Маринер-4», «Пионер-10» и «Пионер-11», «Атмосфера Марса и эволюция летучих веществ» (MAVEN), «Феникс», «Орбитер следовых газов». Применялись также данные о влиянии зодиакального света. Кстати, полученная авторами формула трансформации плотности потока спорадических метеорных тел из одной системы координат в другую позволила обработать результаты метеорных наблюдений с американских космических кораблей «Маринер-4» и «Пионер-10» и получить то, что американские исследователи не смогли получить при обработке измерений.

Результаты.

Как результат определено, что имеется экспоненциальное увеличение плотности потока спорадических метеорных тел в 2 раза для тел массой более 10^{-6} г и в 6 раз для метеорных тел в диапазоне масс 10^{-9} – 10^{-12} г. Такие параметры наблюдаются на траектории полета космического корабля с орбиты Земли на орбиту Марса согласно моделирования данных трех датчиков. Плотность потока резко падает до нормальной за пределами орбиты Марса. Согласно этим данным можно сделать вывод, что поверхность Марса и его спутников Фобос и Деймос являются источниками вторичных выбросов метеорных тел во время бомбардировки их поверхностей метеоритами из пояса астероидов. Полученная гипотеза и теоретические исследования подтвердили выводы, которые были сделаны в Санкт-Петербургском государственном университете.

Анализ результатов.

При анализе высоты геопотенциала северного полушария была подтверждена гипотеза о существовании геострофических ветров. Также было проведено исследование околоземного космического пространства, включая нижнюю атмосферу, нижнюю верхнюю мезосферу, нижнюю термосферу и ионосферу с использованием радиофизических методов и определены параметры влияния динамики нижней и средней атмосферы на распространение радиоволн.

Заключение.

Следует отметить, что существует еще одна исследовательская программа, проект Глобальной системы метеорологических наблюдений (GLOBMET) [Roper, 1990], в которой приняли участие сотрудники метеорологического отдела АОЭ. Программа GLOBMET была направлена на исследование астрономических радио- и оптических наблюдений метеорных потоков и разработку физических принципов их взаимодействия с земной атмосферой. Необходимо отметить, что существуют специальные методы для анализа метеорологических процессов мезопаузы в структуре атмосферы. Известно, что приливные температуры оказывают существенное влияние на прогнозируемое движение геострофических ветров, а определение высотных характеристик является сложной проблемой. Поэтому разработка соответствующих методов учета этих процессов является перспективной задачей [Sokolova et al., 2014].

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности

среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также поддержана Российским научным фондом (грант 19-72-00033), Российским фондом фундаментальных исследований (проект 19-32-90024 Аспиранты), стипендией Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abbey W. et al. A look back: The drilling campaign of the Curiosity rover during the Mars Science Laboratory's Prime Mission // *Icarus*. 2019. V. 319. P. 1–13.
2. Rizvanov N., Nefedjev J. Photographic observations of Solar System bodies at the Engelhardt astronomical observatory // *Astronomy & Astrophysics*. 2005. V. 444(2). P. 625–627.
3. Roper R.G. Globmet – the contributions of radio meteor measurements to the middle atmosphere program // *Advances in Space Research*. 1990. V. 10(10). P. 189–192.
4. Sokolova M., Nefedyev Y., Sergienko M., Demina N., Andreev A. Analysis of the Lyrids' meteor stream structure for long timeslots // *Advances in Space Research*. 2016. V. 58(4). P. 541–544.
5. Sokolova M.G., Nefedyev Y.A., Varaksina N.Y. Asteroid and comet hazard: Identification problem of observed space objects with the parental bodies // *Advances in Space Research*. 2014. V. 54(11). P. 2415–2418.
6. Sokolova M., Sergienko M., Nefedyev Y., Andreev A., Nefediev L. Genetic analysis of parameters of near earth asteroids for determining parent bodies of meteoroid streams // *Advances in Space Research*. 2018. V. 62(8). P. 2355–2363.