

Спутник “Ломоносов”: первые результаты исследований

В.А. САДОВНИЧИЙ,
академик
МГУ им. М.В. Ломоносова
М.И. ПАНАСЮК,
доктор физико-математических наук
МГУ им. М.В. Ломоносова
Л.А. МАКРИДЕНКО,
доктор технических наук
АО «Всесоюзный научно-исследовательский
институт электромеханики»



Российский университетский спутник “Ломоносов” массой 646,2 кг запущен 28 апреля 2016 г. с помощью РН “Союз-2.1а” с нового российского космодрома “Восточный” на круговую солнечно-синхронную

орбиту высотой около 510 км, с наклоном 97,6° и периодом обращения 94,7 мин. Спутник оснащен научной аппаратурой общей массой 170 кг. Спутник “Ломоносов” передает на Землю научную информацию со

скоростью 122 Мбит/с. В статье рассказывается о назначении приборов, о проводимых на спутнике экспериментах и первых результатах исследований.

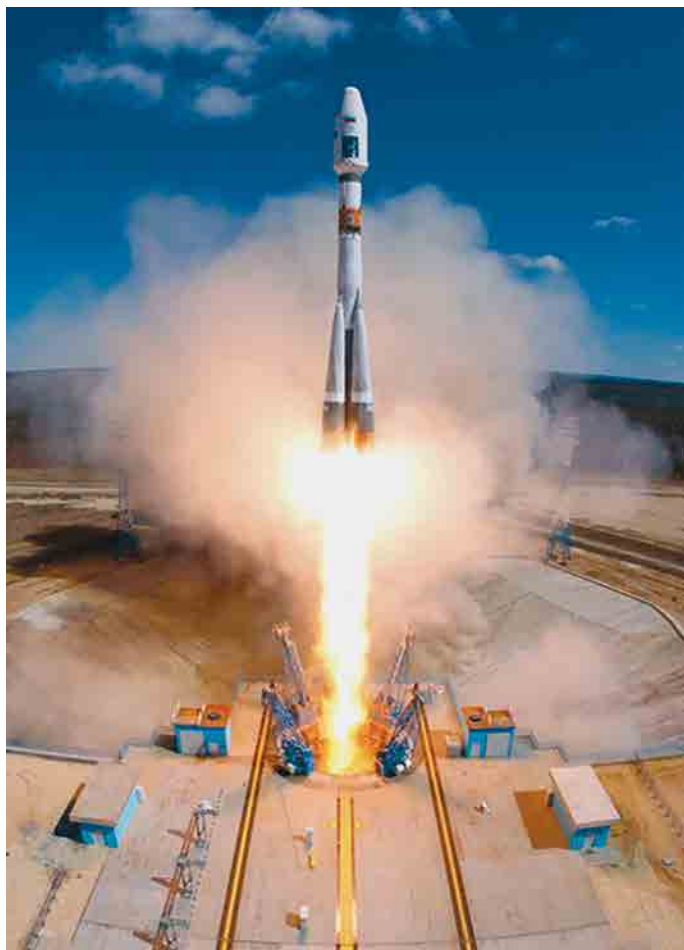
ВНАЧАЛЕ БЫЛА ИДЕЯ

Разработчики и поставщики экспериментов из Московского университета со своими коллегами из других организаций в качестве основных научных целей проекта выбрали амбициозные научные задачи по изучению экстремальных явлений во Вселенной. Все они – предмет интенсивных научных исследований и часть образовательного процесса в МГУ. Среди них: исследования заряженных

частиц самых высоких энергий – ядер различных элементов, существующих в природе (космических лучей предельно высоких энергий, КЛПВЭ с энергиями более 10^{10} ГэВ); гамма-всплесков – явлений в ранней Вселенной, связанных с наиболее мощным высвобождением энергии в астрофизических процессах; а также изучение природы воздействия энергичных частиц в околоземном космическом прост-

ранстве на земную атмосферу.

На спутнике установлено семь приборов – детекторов для регистрации космических частиц и излучений: ТУС (изучает вспышки в ночное время в атмосфере Земли), БДРГ (наблюдает рентгеновское и гамма-излучения), УФФО (снабжен аппаратурой для наблюдения за гамма-вспышками, в частности ультрафиолетовым (УФ) телескопом с апертурой 20 см и камерой рентгеновского диапазона); ШОК – оптические камеры сверхширокого поля зрения (наблюдение гамма-вспышек), ДЭПРОН – дозиметр электронов, протонов и нейтронов), ЭЛФИН-Л – детектор заряженных частиц, ИМИСС-1 – прибор для исследований в области микрогравитации в условиях космического пространства. ИМИСС-1 позволяет смоделировать коррекцию зрительного аппарата человека в экстремальных условиях космоса – в условиях почти полного отсутствия гравитации. Кроме этого, на борту спутника имеется бортовой блок обработки, сбора, хранения и передачи данных



Старт РН "Союз-2.1а" со спутником "Ломоносов" на борту. Космодром "Восточный", 28 апреля 2016 г. Фото корпорации "Роскосмос".



Эмблема космического проекта МГУ «Ломоносов».

на наземные станции приема телеметрии – по сути, сложное информационно-вычислительное устройство.

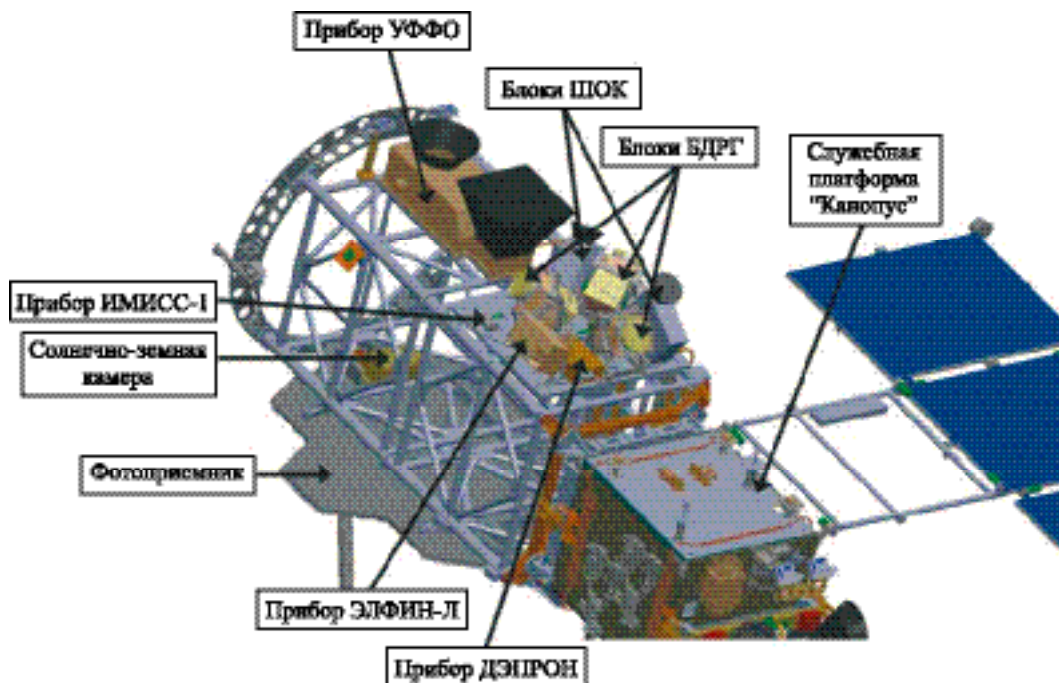
Научная аппаратура спутника создана

Конструкция космической платформы служебных систем спутника и комплекс научной аппаратуры. Рисунок ВНИИЭМ, НИИЯФ МГУ.

учеными МГУ вместе со студентами, аспирантами и преподавателями университета. Среди них: НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, физический факультет МГУ, ГАИШ МГУ, НИИ механики, механико-математический факультет МГУ и Институт математических исследований сложных систем. Сотрудники этих организаций были инициаторами и главными разработчиками всего комплекса научной аппаратуры. В проведении научных экспериментов участвовали также университеты Южной Кореи, Норвегии, Дании, Испании, Мексики и США. Космическая служебная платформа для спутника была разработана специалистами АО

«Корпорация «ВНИИЭМ» на базе серийной космической платформы «Канопус» при активном участии специалистов МГУ.

В течение последних месяцев участники проекта проводили интенсивное тестирование научной аппаратуры, оптимизируя программные режимы ее работы. К настоящему времени испытания аппаратуры закончены и специалисты приступили к плановым исследованиям по разработанной научной программе. Тем не менее, уже в первые месяцы работы спутника были получены интересные и значимые научные результаты, на базе которых будут планироваться будущие эксперименты.





Космический аппарат “Ломоносов” перед отправкой на космодром. Январь 2016 г. Фото НИИЯФ МГУ.

во Вселенной – связана с тем, что специалистами пока не в полной мере выяснена сама природа этих удивительных частиц. Дело в том, что еще 50 лет назад известные физики К. Грейзен, Г.Т. Зацепин и В.А. Кузьмин теоретически предсказали (академик Г.Т. Зацепин был профессором МГУ и заведующим кафедрой физики космоса на физическом факультете), что эти частицы, зарождаясь вне пределов нашей Галактики, не могут достичь нашей планеты вследствие эффекта уменьшения их потока (“обрезание” энергетического спектра в области предельно высоких энергий, ГЗК-эффект) на реликтовом фоне (фотонном излучении Вселенной), образовавшемся после Большого взрыва. Наземные детекторы по изучению космических лучей несколько лет назад действительно зарегистрировали похожее на ГЗК-эффект уменьшение интенсивности таких частиц. Но, так как статистика событий – число зарегистрированных наземными детекторами частиц – была очень мала (при энергии частиц в 10^{19} эВ на Землю

Далее расскажем более подробно о научной аппаратуре, установленной на спутнике, и приведем некоторые результаты первых месяцев полета.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ИХ ОТКЛИКА В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Орбитальный телескоп ТУС (Трековая УСтановка) на “Ломоносове” – первый в мире инструмент, предназначенный

для регистрации КЛПВЭ в атмосфере Земли с борта космического аппарата. Он регистрирует в атмосфере Земли “следы” космических частиц – быстрые ультрафиолетовые вспышки, возникающие при взаимодействии каскада вторичных частиц от КЛПВЭ с атомами воздуха на высотах в несколько десятков километров. Актуальность изучения КЛПВЭ – самых высокоэнергичных заряженных частиц

На космодроме “Восточный” перед пуском ИСЗ “Ломоносов”: директор НИИЯФ МГУ М.И. Панасюк, заместитель Председателя Правительства РФ, председатель Наблюдательного совета корпорации “Роскосмос” Д.О. Рогозин, ректор МГУ академик В.А. Садовничий. 28 апреля 2016 г.
Фото НИИЯФ МГУ.



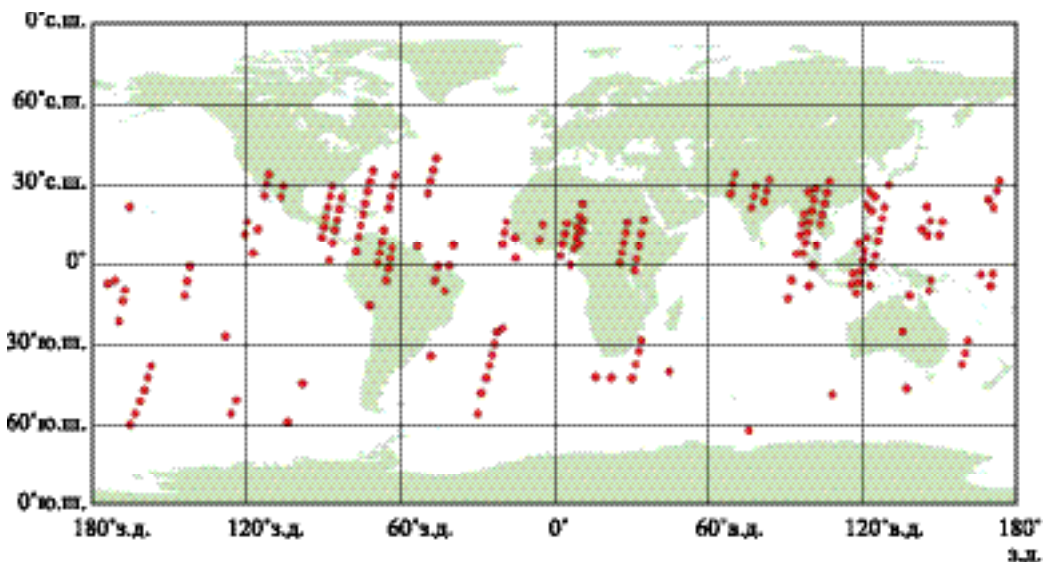
“падает” всего 1 частица на 1 км² в год!), ученым пока не удается сделать окончательный вывод о том, является ли наблюдаемый эффект действительно ГЗК-эффектом. Вполне возможно, что и этот результат – предмет научных дискуссий сегодня – укажет на то, что во Вселенной просто нет астрофизических объектов, способных ускорить частицы до столь гигантских энергий.

По сути, орбитальный телескоп ТУС на “Ломоносове” использует атмосферу нашей планеты в качестве гигантской мишени, где происходит процесс взаимодействия КЛПВЭ. Тем самым он позволяет значительно увеличить эффективную площадь регистрации частиц по сравнению, к примеру, с наземными установками. Именно

этот фактор и стал решающим при выборе нового направления – космического – в экспериментальных исследованиях совсем немногочисленных космических частиц столь больших энергий. Возможности наземных установок ограничены – для увеличения статистики событий требуются детекторы большой площади. Достаточно упомянуть, что 1600 детекторов наземной Обсерватории им. Пьера Оже (P. Auger) в Аргентине, наблюдающие космические лучи сверхвысоких энергий, расположены на гигантской площади – 3000 км².

Кроме выполнения этой задачи (поиска космических частиц), УФ-телескоп ТУС на “Ломоносове” может фиксировать и другие разнообразные быстрые атмосферные явления, проявляющиеся

при УФ-излучении: разряды молний и мало изученные транзиентные световые явления (спрайты, эльфы, синие струи, гигантские джеты). Интерес исследователей к событиям такого типа в земной атмосфере возник сравнительно недавно, лет 25 назад, когда были зарегистрированы в ее верхних слоях на высотах в десятки километров вспышки света в ультрафиолете, напоминающие вспышки молний. Среди основных гипотез их происхождения – модели, основанные на генерации разрядных процессов в воздухе и связанные с инжекцией из грозовых областей в приземных слоях атмосферы лавин убегающих электронов, распространяющихся вверх вдоль магнитных силовых линий. Тем не менее в результате наших



предыдущих экспериментов в космосе, выполненных на университетских спутниках “Татьяна”, “Татьяна-2” и “Вернов” (Земля и Вселенная, 2012, № 2), было обнаружено, что далеко не все ультрафиолетовые транзиенты “генетически” связаны с грозовыми областями. Возможны и другие механизмы “возбуждения” этих вспышек: например, воздействие на атмосферу потоков заряженных частиц не “снизу”, а “сверху”. Такие потоки частиц могут “высыпаться” из радиационных поясов. Не исключается и прямое возбуждение атомов воздуха на больших высотах электромагнитными волнами природного и техногенного происхождения. Именно поэтому исследования таких явлений сегодня становятся актуальными.

Уже первые измерения на “Ломоносове” в тестовом режиме позволили накопить довольно большой объем информации по атмосферным явлениям и по работе самого прибора на борту спутника. В одном из режимов работы телескопа ТУС удалось зарегистрировать мощные ультрафиолетовые вспышки продолжительностью от нескольких до ста миллисекунд. Как правило, большое их количество действительно связано с грозовыми областями на средних и низких широтах.

Однако наиболее интересные из этих событий имеют сложную пространственно-временную структуру, которая подлежит дальнейшему детальному исследованию. Они, по-видимому, принадлежат к классу надоблачных, высокоатмосферных транзиентных

Карта событий, на которой показаны транзиентные УФ-свечения в атмосфере Земли по данным первых трех месяцев работы телескопа ТУС ИСЗ “Ломоносов”. По данным НИИЯФ МГУ.

световых явлений – эльфам, спрайтам, джетам. Отметим, что (по данным мировой сети радиочастотной локализации молний) некоторых таких событий не нашлось ни в одной из областей грозовой активности в районе области их регистрации. Этот факт может поставить под сомнение модель их генерации, связанную с интенсификацией атмосферного электричества в нижних слоях атмосферы; это подтверждают более ранние эксперименты МГУ в космосе. В ближайшее время предстоит полная классификация

событий по типу признаков. Они будут сопоставлены с данными наземных сетей регистрации молний, а также с другими экспериментами с целью выяснения их природы. Подобного рода ультрафиолетовые вспышки в атмосфере Земли, представляя собой, с одной стороны, неже-

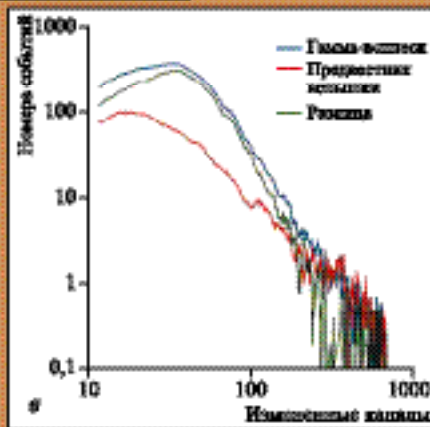
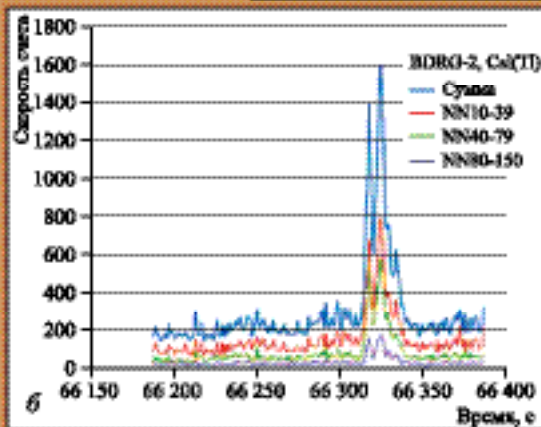
лательный “фон” при регистрации КЛПВЭ (основная задача телескопа ТУС), с другой – являются актуальной целью эксперимента, проводимого с помощью телескопа ТУС.

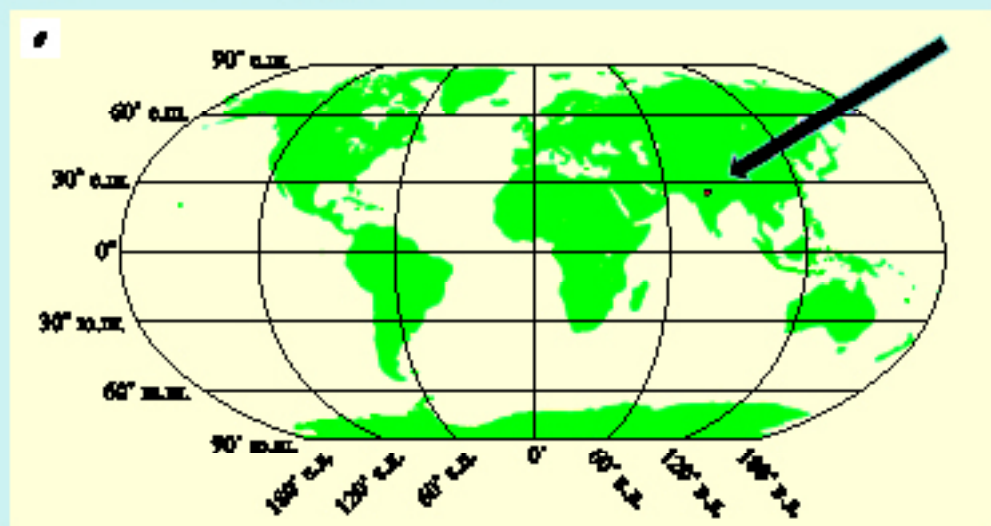
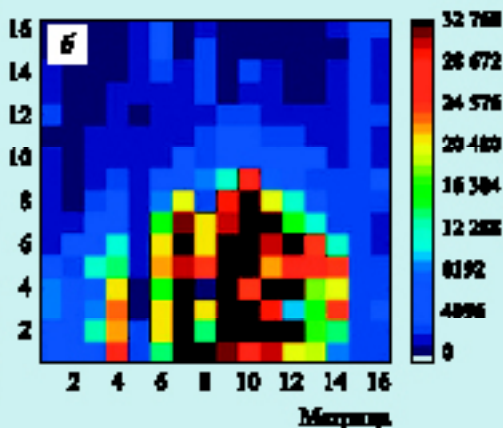
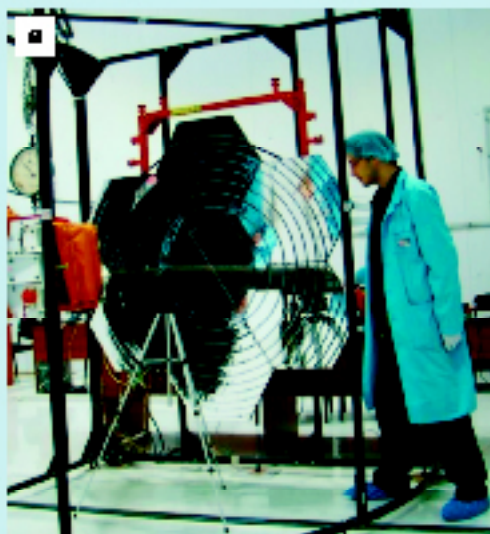
**ИССЛЕДОВАНИЯ
ГАММА-ВСПЛЕСКОВ
ВСЕЛЕННОЙ**

Возникновение, рождение гамма-всплесков космического происхождения сопровождается выделением огромной энергии – свыше 10^{53} эрг/с – приблизительно столько же, сколько при взрыве сверхновой звезды, но за одну секунду. Генерация гамма-всплесков

в объектах Вселенной остается одной из загадок современной астрофизики. Считается, что порождающие их источники находятся на очень далеких, космологических расстояниях и связаны с коллапсом массивных звезд. Для понимания природы гамма-всплесков очень важны одновременные наблюдения в оптическом и гамма-диапазонах. До сих пор удавалось зарегистрировать, в основном, лишь оптическое “послесвечение”, то есть “отклик” межзвездной среды на проходящую через нее ударную

Гамма-спектрометры БДРГ спутника “Ломоносов” – а и гамма-всплеск от GRB 160720 – б, зарегистрированный 20 июля 2016 г., а также его энергетические спектры – в. По данным НИИЯФ МГУ.





волну, возникающую во время взрыва звезды. “Поймать” оптическое излучение непосредственно в момент самого события гамма-всплеска необычайно трудно, поскольку заранее неизвестно, из какой области Вселенной придет сигнал.

Спутник “Ломоносов” – первая российская много-

волновая обсерватория, способная регистрировать излучение объектов от гамма-диапазона до видимого. Для этого на “Ломоносове” установлены приборы, позволяющие измерять эмиссию излучений этих необычных явлений в широком диапазоне длин волн. Прежде всего, это –

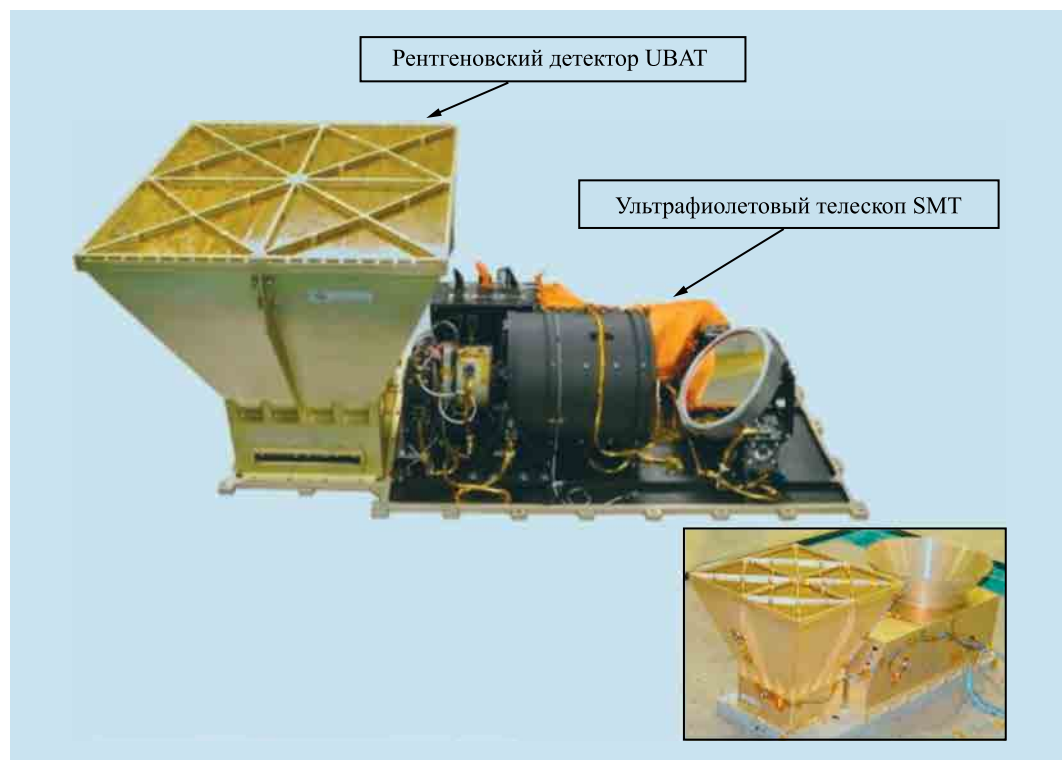
Ультрафиолетовый телескоп ТУС спутника “Ломоносов” во время предстартовых испытаний – а; пример мощной ультрафиолетовой вспышки в атмосфере Земли, зарегистрированной прибором 27 июня 2016 г. (цветом обозначена интенсивность УФ-излучения, зарегистрированная в матрице из 256 ячеек фотоумножителей ТУС) – б; карта с указанием места вспышки над северной Индией – в.

гамма-спектрометр БДРГ (Блок Детекторов Рентген-Гамма), обеспечивающий регистрацию гамма-излучения с высоким временным разрешением и чувствительностью. Кроме этого, БДРГ подает специальный короткий сигнал на оптические минитеlescопы с широким полем наблюдения ШОК (Широкопольные Оптические Камеры), по которому осуществляется запоминание изображения той области неба, где произошел

Ультрафиолетовый 20-см телескоп УФФО для регистрации гамма-всплесков. Фото НИИЯФ МГУ.

гамма-всплеск. Прибор позволяет определять местоположение на небе источника гамма-всплеска и оперативно передавать информацию в мировую сеть для наведения наземных телескопов на эту область. К настоящему времени с помощью БДРГ зарегистрировано девять космических гамма-всплесков космологической природы, а также пять гамма-всплесков от магнитара SGR 1935 + 2154 – быстро вращающейся нейтронной звезды с очень сильным магнитным полем, порядка 10^{15} Гс. Особый интерес представляет собой всплеск с несколькими пиками во времени, пришедший от

источника GRB160802; его возникновение может быть обусловлено столкновением релятивистских оболочек, возникающих во время взрыва астрофизических объектов. Все эти события вошли в реестр мирового каталога, созданного NASA. Прибор БДРГ регистрирует не только астрофизические события, но также и гамма-излучение (по тормозному рентгеновскому излучению) от солнечных вспышек, а также “отклик” в рентгене от множества “высыпаний” магнитосферных электронов с релятивистскими и субрелятивистскими энергиями из радиационных поясов Земли. Это также





представляет интерес для наших исследований в области магнитосферной физики.

На “Ломоносове” установлен еще один прибор для изучения гамма-всплесков – УФФО (UFFO, Ultra Fast Flash Observatory – сверхбыстрая обсерватория вспышек) – обсерватория для регистрации сверхбыстрых вспышек. Он представляет собой 20-см ультрафиолетовый телескоп, работающий по принципу адаптивной оптики и управляемый по триггеру от расположенного в нем широкоугольного рентгеновского детектора. Задача этого рентгеновского детектора – фиксация времени появления

и направления транзита в рентгеновском спектре, и по этой информации наведение УФ-телескопа на его источник. В настоящее время заканчивается отработка программного обеспечения, позволяющего управлять прибором в условиях реального полета.

ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЧАСТИЦ

Заряженные частицы, захваченные в магнитную ловушку радиационных поясов в околоземном пространстве (процесс их “высыпания”), могут покидать ее в результате ряда физических процессов, природа которых недостаточно исследована.

Спутник “Ломоносов” на околоземной орбите. Рисунок ВНИИЭМ.

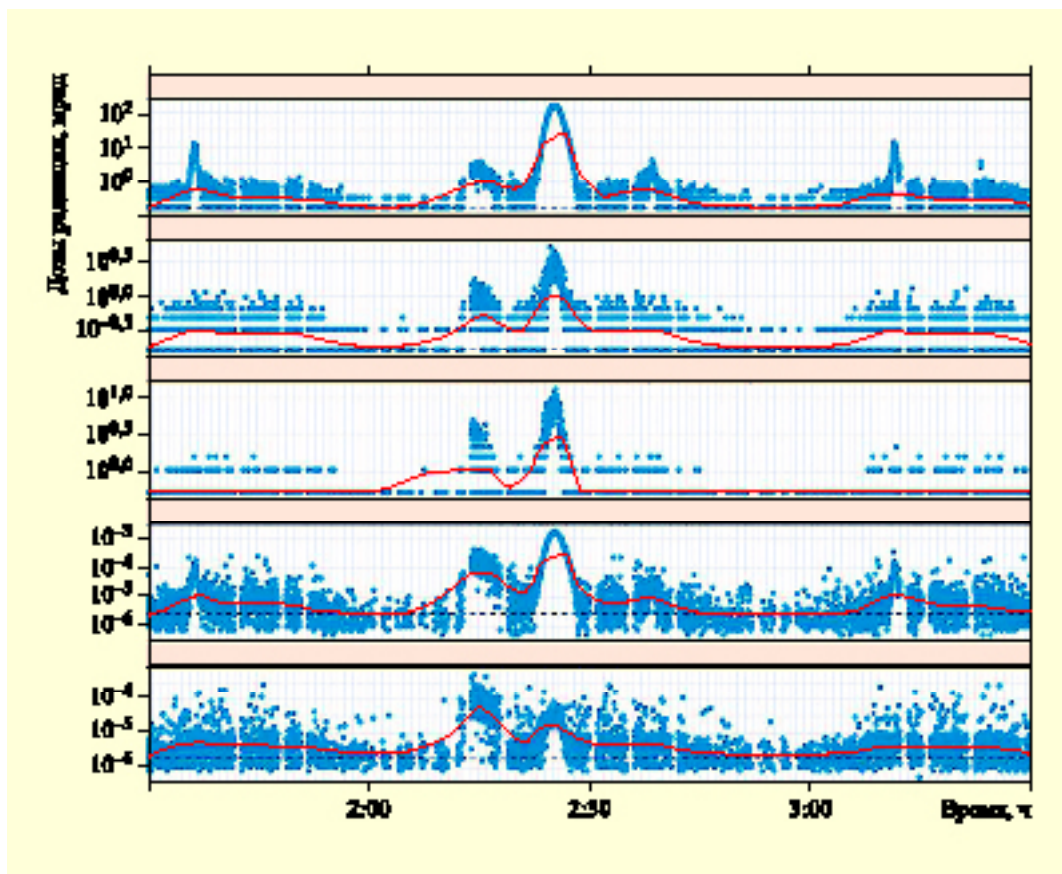
“Высыпание” частиц из зоны устойчивого захвата (из магнитной ловушки Земли) может происходить под воздействием различных физических механизмов. В качестве основного рассматривается взаимодействие электромагнитных волн и заряженных частиц в околоземном пространстве. Волны могут быть техногенного (наземные радиопередатчики) и естественного (развитие плазменных неустойчивостей) происхождения. Частицы (в основном – электроны)

могут достигать релятивистских энергий, и их воздействие на атмосферу путем ионизации ее атомов может иметь существенные последствия для изменения ее физических свойств.

График доз радиации, зарегистрированных прибором ДЭПРОН примерно за 12 ч полета. Обнаружены значительные изменения мощности дозы радиации и плотности потока частиц, обусловленные характером орбитального движения. По данным НИИЯФ МГУ.

В связи с этим направлением исследований следует упомянуть о начале совместных экспериментов по наблюдениям “высыпаний” электронов из радиационных поясов Земли на ИСЗ “Ломоносов” и в серии аэростатных экспериментов по программе BARPEL (BARREL, Ballon Array for RBSP Relativistic Electron Losses – аэростатные исследования в связи с изучением потерь релятивистских электронов на космическом зонде радиационных поясов). В рамках международной

программы экспериментов BARPEL проводились запуски аэростатов в авроральных широтах – в настоящее время из Кируны в Швеции. Идея совместных с “Ломоносовым” экспериментов – в измерениях характеристик “высыпаящихся” заряженных частиц из радиационных поясов одновременно на больших (на спутниках) и малых (на аэростатах) высотах. Такие коррелированные эксперименты на разных высотах могут помочь в выяснении как самой природы “высыпаний” частиц – эффектов





взаимодействия частиц и волн в околоземном пространстве, так и механизмов взаимодействия частиц с земной атмосферой, приводящих к модификации ее физических свойств.

Измерения заряженных частиц на “Ломоносове” проводятся с помощью трех приборов: БДРГ, ДЭПРОН (Дозиметр Электронов, ПРОтонов, Нейтронов) и ЭЛФИН-Л (ELFIN-L, Electron Loss and Fields Investigator for Lomonosov; потери электронов и исследования полей) на

“Ломоносове”. Эти приборы охватывают широкий диапазон энергий частиц радиационных поясов Земли, их спектральные и угловые характеристики – с высоким временным разрешением: от миллисекунд и более. В ходе совместных аэро- и статных экспериментов БАРЕЛ и на спутнике “Ломоносов” уже получены уникальные данные о тонкой временной структуре потоков “высыпающихся” электронов, которые могут пролить свет на выяснение природы этого

Стоп-кадры космических объектов, попавших в поле зрения оптических камер ШОК на спутнике “Ломоносов”. По данным НИИЯФ МГУ.

уникального явления, происходящего в ближнем космосе.

Наряду с решением фундаментальных космофизических задач, один из “радиационных” приборов на “Ломоносове” – ДЭПРОН – обеспечивает мониторинг радиационной обстановки в околоземном

космическом пространстве. Благодаря двум полупроводниковым детекторам для регистрации заряженных частиц и двум счетчикам медленных нейтронов это устройство позволяет регистрировать потоки протонов, электронов и нейтронов, а также измерять мощность поглощенной дозы радиации на траектории полета ИСЗ “Ломоносов”. Вместе с информацией от других приборов по мониторингу радиационной обстановки на спутниках серии “Метеор” и на геостационарном “Электро”, созданных также в НИИ ядерной физики МГУ, экспериментальные данные, полученные на ИСЗ “Ломоносов”, станут важным элементом в единой системе контроля радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

Еще один эксперимент, который проводится на борту спутника “Ломоносов”, предназначен для изучения экстремальных явлений, но в области космической биологии и физиологии. Прибор ИМИСС-1 (Институт математических исследований сложных систем) позволяет регистрировать и анализировать ускорения спутника в процессе его полета.

Основные цели данного исследования связаны с возникновением “болезни движения” в условиях микрогравитации, одним из проявлений которой является запаздывание стабилизации взора человека в космическом полете. Борьба с ней можно путем разработки специального устройства – корректора стабилизации взора. Сигналы корректора предлагается формировать в зависимости от движения головы космонавта (по показаниям инерциальных микромеханических датчиков) и передавать их с помощью гальванической стимуляции на первичные афферентные нейроны его вестибулярного аппарата. В ходе эксперимента с помощью прибора ИМИСС-1 предстоит выяснить, каким образом изменяются характеристики датчиков в полете (по сравнению с данными наземных испытаний). В настоящее время идет накопление информации для проведения статистического анализа. Предполагается получить сведения об инструментальных ошибках микроакселерометров. Цель – использовать экспериментально полученные значения микроперегрузок при наличии данных об элементах орбиты и показаний штатных датчиков угловой скорости спутника для пробных масс с целью

дальнейшего их использования в будущих разработках, корректирующих “эффект запаздывания взора” в будущих приборах.

МОНИТОРИНГ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В БЛИЖНЕМ КОСМОСЕ

Работа оптических камер ШОК на “Ломоносове” (помимо основной, фундаментальной задачи – регистрации гамма-всплесков) направлена и на решение важной прикладной: тестирование космического сегмента на ИСЗ – прообраза глобальной системы мониторинга в космическом пространстве потенциально опасных объектов техногенного и природного происхождения. Уже на первых витках спутника удалось получить впечатляющие изображения различных объектов, попавших в поле зрения объективов ШОК. Важно подчеркнуть, что ШОК и на “Ломоносове” работает “в линию” с наземной системой роботизированных телескопов “Мастер”, созданной в МГУ и расположенной в различных точках нашей планеты (Земля и Вселенная, 2011, № 3). Тем самым создаются предпосылки для отработки методов и технических средств оперативно-го обнаружения и слежения за объектами,

представляющими потенциальные угрозы для космической и наземной инфраструктур, созданных человеком.

Полет спутника “Ломоносов” продолжается

(сайт проекта – lomonosov.sinp.msu.ru). Созданный в МГУ Центр данных и космического мониторинга продолжает получать и обрабатывать информацию.

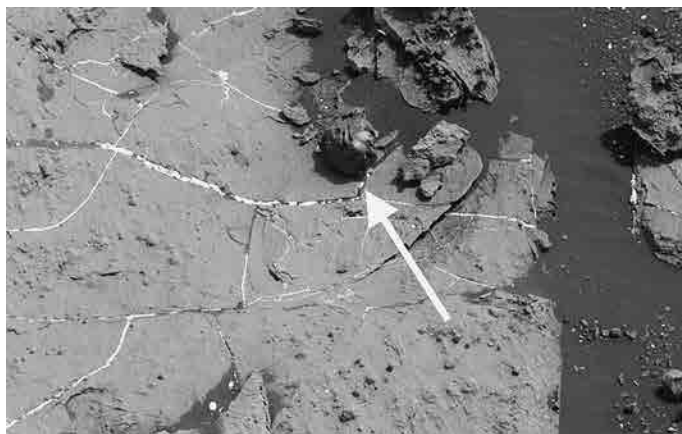
Команда “Ломоносова” – сотрудники, студенты и аспиранты МГУ (вместе с коллегами из других организаций) – анализирует поступающую информацию.

Информация

“Кьюриосити” нашел метеорит на Марсе

Марсоход “Кьюриосити” (“Curiosity”; Земля и Вселенная, 2012, № 3, с. 110–112; 2013, № 5, с. 37) обнаружил железоникелевый метеорит размером 4 см на склоне Эолиды в кратере Гейла. Метеорит лежит в нижних слоях горы Шарпа в районе формации Мюррей, где осадочные породы древнего озера хранят сведения о прошлом Марса. Ученые назвали метеорит “Egg Rock” (яйцо-камень) за его округлую форму и гладкую поверхность с глубокими бороздами. Метеориты на Марсе – не редкость, но такой встречается впервые. Ранее, 26 мая 2014 г., “Кьюриосити” нашел в кратере Гейла несколько железоникелевых метеоритов (Земля и Вселенная, 2014, № 5, с. 83).

Глубокие борозды и гладкая поверхность “Egg Rock” указывают на то, что при



Небольшой железоникелевый метеорит размером 4 см (указан стрелкой) на Марсе. Снимок выполнен 27 октября 2016 г. камерой Mastcam марсохода “Кьюриосити”. Фото NASA/JPL.

столкновении (или в полете) метеорит расплавился, а затем остыл. Для определения его химического состава использовался набор инструментов ChemCam. Элементный состав метеорита исследован с применением лазерной технологии. В нем содержится железо, никель и фосфор, а также другие элементы в небольших количествах, концентрации которых определяются на основе анализа спектра, получаемого от десятков лазерных импульсов в девяти

точках на объекте. Анализ указал на присутствие минерала, который считается редким в железоникелевых метеоритах.

Метеорит “Egg Rock” мог прилететь из средней части Главного пояса астероидов. Металлические метеориты, упавшие на поверхность Марса, могут сохранять свой первозданный вид миллионы лет, так как там они не окисляются.

*Пресс-релиз NASA,
28 октября 2016 г.*