

2.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕКУЩИХ ЛЕТНЫХ НАУЧНЫХ ПРОГРАММ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАБЛЮДЕНИЙ

2.2.1. ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

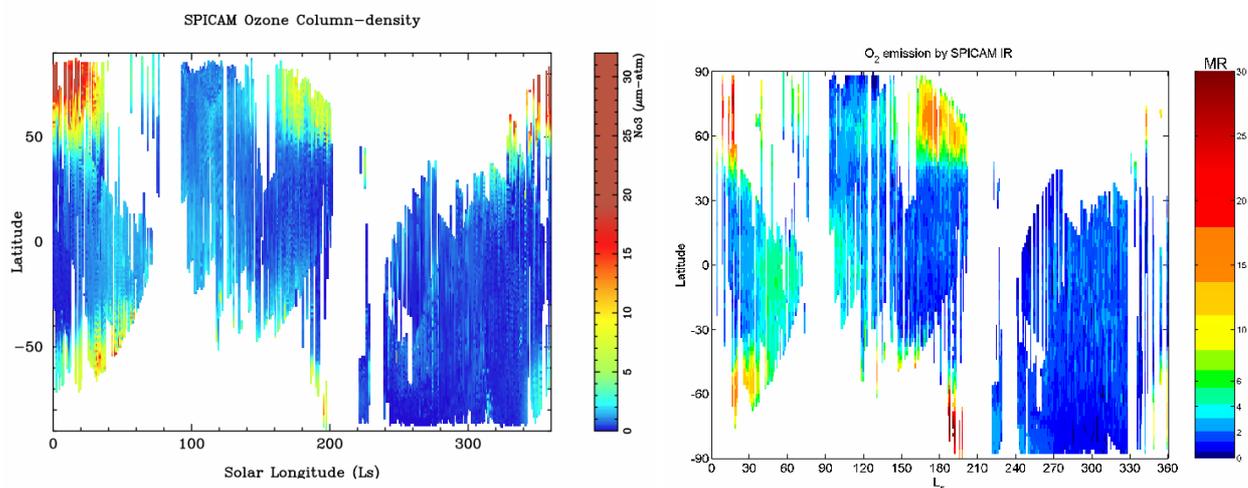
2.2.1.1. Планетные исследования

1. МАРС

Результаты исследований Марса с орбитального космического аппарата «Марс-Экспресс» приборами с российским участием

1.1. Сезонное распределение озона и свечения кислорода. Глобальная климатология озона по данным эксперимента СПИКАМ

Спектрометр СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс» работает на орбите Марса с января 2004 года. Эксперимент позволяет реализовать сразу несколько методов наблюдения озона. В надирном режиме наблюдений проводятся одновременные измерения озона несколькими методами. Во-первых, содержание озона измеряется по полосе Хартли (260 нм) в ультрафиолетовом канале (118–320 нм, разрешение ~0,51 нм). Во-вторых, свечение синглетного кислорода ($O_2^1\Delta_g$), наблюдаемое в ИК-диапазоне по полосе 1,27 мкм, является результатом фотодиссоциации озона и чувствительно к содержанию озона на высотах более 20 км. В режиме солнечных и звездных затмений прибор позволяет проводить измерения вертикального профиля озона по полосе Хартли в УФ-канале на высотах от 20 до 70 км. За первый марсианский год наблюдения с января 2004 по март 2006 г. впервые были получены сезонные карты распределения интегрального содержания озона в столбе атмосферы и свечения синглетного кислорода ($O_2^1\Delta_g$).



Основные результаты:

- значительное увеличение содержания озона на высоких широтах в конце зимы и начале весны в обоих полушариях, которое полностью исчезает в летний период;
- значительные изменения в содержании озона весной в северном полушарии, относящиеся к колебаниям полярного вихря;
- низкое содержание озона в экваториальной области.

Кроме того, на низких широтах (3°S – 31°N) наблюдается максимум сезонного распределения эмиссии O_2 в районе афелия, что может быть связано с вариациями высоты насыщения водяного пара, который в значительной мере контролирует распределение озона в атмосфере Марса.

1.2. Обнаружение облаков CO_2 льда в мезосфере Марса по данным звездных просвечиваний в эксперименте СПИКАМ

Существование облаков из CO_2 льда в верхней атмосфере Марса предполагалось на основании нескольких измеренных температурных профилей. Тем не менее, до измерений на КА «Марс-Экспресс» подобные облака никогда не наблюдались напрямую. Ультрафиолетовый канал спектрометра СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс» впервые обнаружил самые высокие облака на Марсе. Методом звездного просвечивания наблюдалось несколько мезосферных слоев аэрозоля на высоте около 100 км зимой в субтропических широтах южного полушария. Одновременные измерения температуры указывают, что углекислый газ перенасыщен и должен конденсироваться на этих высотах. Оценки размеров частиц по данным наблюдений оказались меньше 100 нм. Такие облачные слои на Марсе близки к серебристым облакам, наблюдаемым в полярной мезосфере Земли.

1.3. Вертикальные профили аэрозоля и обнаружение субмикронных частиц в атмосфере Марса по данным звездных просвечиваний в УФ-области

Проведена обработка и анализ результатов лимбовых наблюдений и звездных просвечиваний атмосферы в УФ-диапазоне за первые три четверти марсианского года наблюдений спектрометра СПИКАМ на КА «Марс-Экспресс». Выявлена различная морфология профилей, полученных около экватора и на средних широтах. Высотное распределение марсианской дымки испытывает значительные сезонные вариации. Из-за конвекции и изменения уровня гидропаузы в холодных областях высота распространения дымки меньше, чем в теплых. Обнаружена корреляция размера частиц с непрозрачностью атмосферы: увеличение размера совпадает с увеличением экстинкции, что может указывать на формирование облачных слоев. Оптическая толщина слоя облаков на высотах около 40 км составляет 0,01–0,1 в видимой области. Размер облачных частиц, как правило, не менее 0,3 мкм, хотя по некоторым профилям размер порядка 0,1–0,2 мкм. Несмотря

на различия вертикальных профилей аэрозоля, они указывают на однородные свойства частиц на высотах около 60 км, что говорит о присутствии постоянной фракции субмикронных частиц на этих высотах.

Наблюдения южной полярной ночью указывают на чистую от пыли атмосферу с $\tau < 0,1$, аэрозоль сконцентрирован на небольших высотах, размер частиц порядка 0,1 мкм.

Кроме того, проводились оценки размера частиц по анализу отраженного солнечного излучения на лимбе в УФ-области. На высотах более 20 км получены значения радиусов от 10 до 100 нм.

1.4. Содержание водяного пара в атмосфере Марса по данным эксперимента СПИКАМ, два марсианских года наблюдений

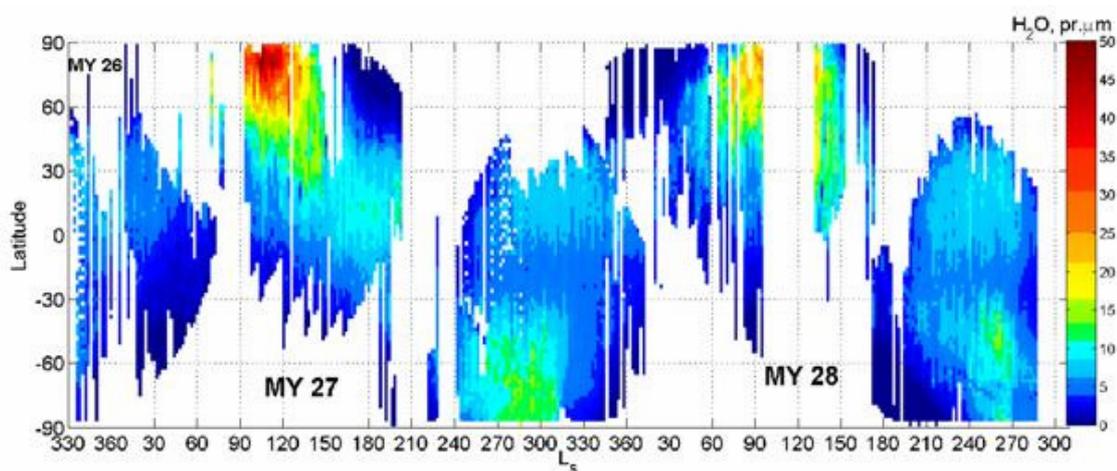
СПИКАМ ИК — акустооптический спектрометр, работающий в диапазоне 1–1,7 мкм с разрешением ~ 2000 . Основной научной задачей СПИКАМ является измерение водяного пара в атмосфере Марса, малой составляющей, играющей важную роль в климате планеты. Измерения интегрального содержания водяного пара на Марсе проводились одновременно тремя экспериментами на КА «Марс-Экспресс». СПИКАМ показал низкое содержание по сравнению с остальными экспериментами. В результате возникла необходимость провести наземные калибровки лабораторной версии прибора, которые прошли в июне 2007 г. в Службе Аэронавтики, Верьер-ла-Бьиссон и Институте спектроскопии в Реймсе. Полученные калибровки были использованы для повторного восстановления содержания водяного пара, а также обработки новых данных, поступивших за 2007 г. При восстановлении использовалась последняя версия спектроскопической базы данных HITRAN2004. В работе представлены карты сезонного распределения водяного пара за два марсианских года в период января 2004 ($L_S = 330^\circ$, MY26) по август 2007 ($L_S = 287^\circ$, MY28). Сравнение максимумов водяного пара летом в южном полушарии ($L_S = 260$ – 300) указывает на значительные расхождения. Максимум 2007 года менее выражен по сравнению с 2005 г. и содержание резко падает после $L_S = 270$. Подобная картина наблюдалась в эксперименте MAWD на КА «Викинг-1» и -2 в 1977 г., когда две глобальные пылевые бури на Марсе, начавшиеся на L_S 205 и 275, привели к видимому уменьшению содержания водяного пара из-за значительного вклада рассеяния света в глубину полосы поглощения H_2O 1,38 мкм. Подобная пылевая буря, начавшаяся в июле 2007 года ($L_S = 275$, MY28), объясняет уменьшение содержания водяного пара по сравнению с предыдущим годом (2005, MY27).

1.5. Исследование водяного пара в атмосфере Марса в экспериментах ОМЕГА и ПФС на КА «Марс Экспресс»

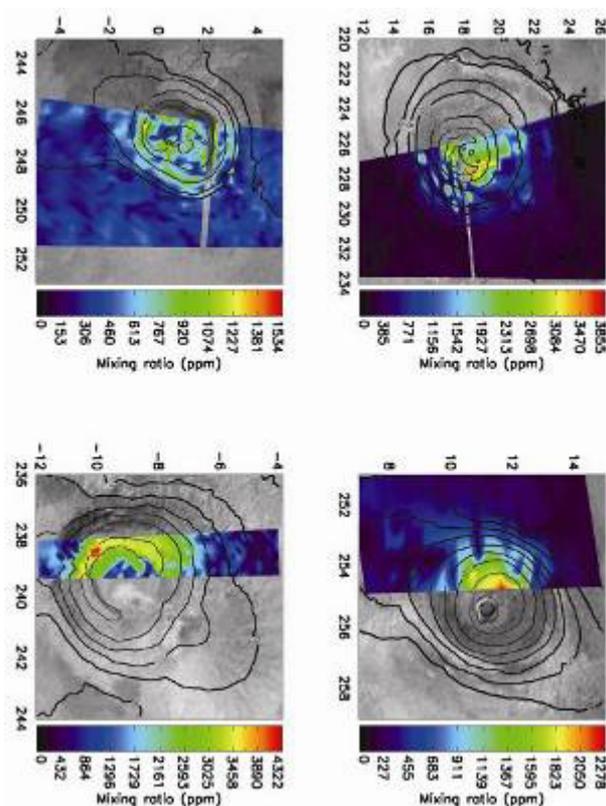
Водяной пар является самой переменной малой составляющей атмосферы Марса. Вариации содержания определяются тем, что атмосферная вода участвует в обмене с другими резервуарами, такими как полярные шапки, реголит, подповерхностный лед. Одна из основных целей миссии

Марс Экспресс состоит в исследовании цикла водяного пара в атмосфере. Эта работа заключалась в анализе данных наблюдений спектрометров ОМЕГА и ПФС. Основными результатами являются детальное исследование сезонного цикла водяного пара, а также его аномального поведения над Марсианскими вулканами области Тарсис.

Сезонный цикл водяного пара. Для восстановления содержания атмосферного H_2O использовались спектры высокого разрешения ПФС в области полосы поглощения 2,56 мкм. Обработанный объем данных включает период с января 2004 по апрель 2005 г., что соответствует Марсианскому времени с зимы ($L_S = 331^\circ$) MY26 по лето ($L_S = 196^\circ$) MY26. На рис. 1 показан сезонный цикл атмосферной воды. Среднее содержание воды в столбе в зимний и весенний (северное полушарие) период составляет около 8 $pr.\mu m$ (осажденных микрон воды). Максимальное содержание наблюдается в начале лета ($L_S \sim 110$) вблизи края тающей северной полярной шапки ($75^\circ N$) и составляет 65 $pr.\mu m$. Во второй половине лета (после $L_S = 130^\circ$) максимум атмосферной воды быстро исчезает в течение 50 дней. На рис. 1 видно, как максимум содержания водяного пара распространяется в сторону низких широт в течение лета, что указывает на роль переноса водяного пара атмосферной циркуляцией. Содержание водяного пара имеет отчетливые максимумы над областями Arabia и Tharsis, что вероятно вызвано взаимодействием с поверхностью и/или особенностями атмосферной циркуляции.



Водяная аномалия над вулканами области Tharsis. Поведение атмосферной воды над вулканами области Tharsis исследовалось инфракрасным картирующим спектрометром ОМЕГА, наблюдения которого достаточно равномерно покрывают полный Марсианский год в разное время суток. Наблюдения обнаружили аномально высокую концентрацию водяного пара (до 2000–3000 ppm (частей на миллион)) над вершинами всех четырех вулканов в сравнении с окружающим плоскогорьем (рис. 2). Такое поведение наблюдалось в течение всего года и демонстрировало четкий сезонный тренд.



Карты концентрации атмосферной воды над вулканами области Tharsis по данным наблюдений спектрометра OMEGA

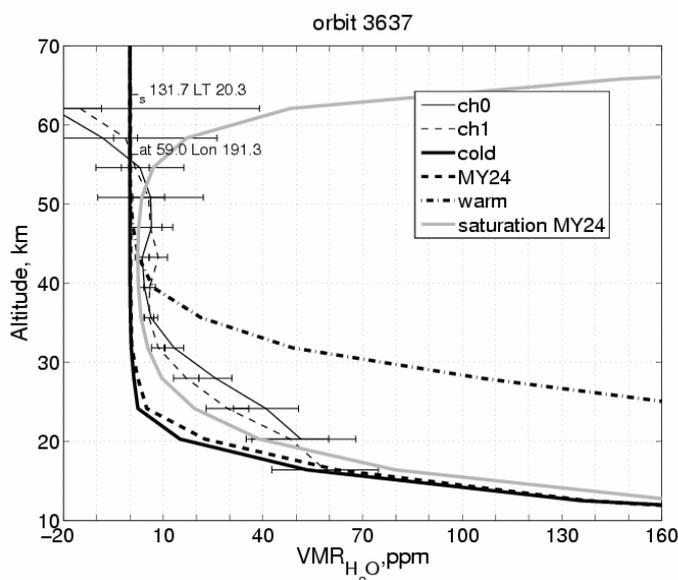
Подобное поведение свидетельствует в пользу того, что водяной пар в области вулканов неравномерно распределен по высоте и сильно концентрируется у поверхности, что указывает на роль реголита. Причины обогащения атмосферы над вулканами скорее всего кроются в особенностях мезо-масштабной циркуляции. Экстремальный перепад высот и тепловой инерции на вулканах вызывает склоновые ветры, которые переносят водяной пар из долин к вершинам, где в области пониженной температуры он либо осаждается в виде инея, либо адсорбируется реголитом. Аналогичные исследования ведутся над другими областями с большими перепадами высот, такими как Hellas Basin and Valles Marineris.

1.6. Солнечные затмения в эксперименте СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс»: вертикальные профили водяного пара и аэрозоля

Спектрометр СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс» начал работу на орбите Марса в январе 2004 г. За два марсианских года исследований было выполнено около 350 наблюдений в режиме солнечных затмений, позволяющих провести вертикальное просвечивание атмосферы планеты. Спектральный диапазон СПИКАМ позволяет проводить одновременные наблюдения атмосферной плотности и содержания водяного пара по газовым полосам поглощения, а также восстанавливать свойства и распределения аэрозолей с высотой. В работе был проведен анализ 24 орбит, полученных в ноябре–декабре 2007 г. ($L_s = 130\text{--}160$, конец лета в северном полушарии Марса). Несмотря на небольшой объем обработанных данных, было найдено большее относительное содержание воды, по сравнению с предсказаниями моделей общей циркуляции Марса, что говорит о более теплых условиях на

5–10 К на высотах от 20 до 45 км, чем предсказывает модель. Это первые вертикальные профили водяного пара, полученные в атмосфере Марса, после результатов эксперимента Огюст на КА «Фобос-2» (1989).

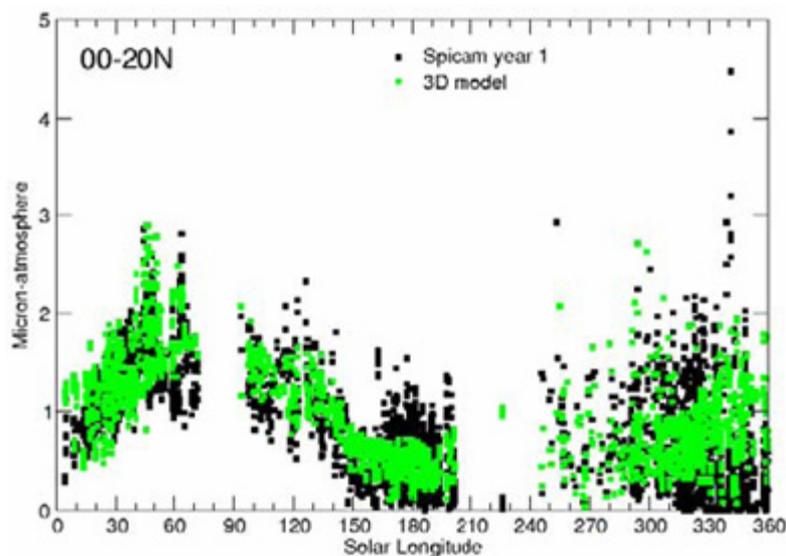
Кроме того, были обнаружены облака на высотах 50–60 км в узком диапазоне широт от 320 до 50° в.д. на Марсе, что свидетельствует о волновой активности в свободной атмосфере. Оптические толщины таких облаков не превышают 0,001 на 1 мкм, а численная плотность достигает 10 частиц в см³.



Сравнение полученных профилей водяного пара (канал 1 и 2) с предсказаниями модели общей циркуляции

1.7. Исследования озона на Марсе по данным СПИКАМ

Продолжены исследования распределения и сезонных изменений озона на Марсе по данным спектрометра СПИКАМ. Получены сезонные и широтные вариации, вертикальные распределения, проведено сравнение с различными фотохимическими моделями, в рамках модели общей циркуляции атмосферы Марса LMD. Показано, что фотохимические модели, не включающие гетерогенной химии на облаках водяного льда, плохо аппроксимируют наблюдения.

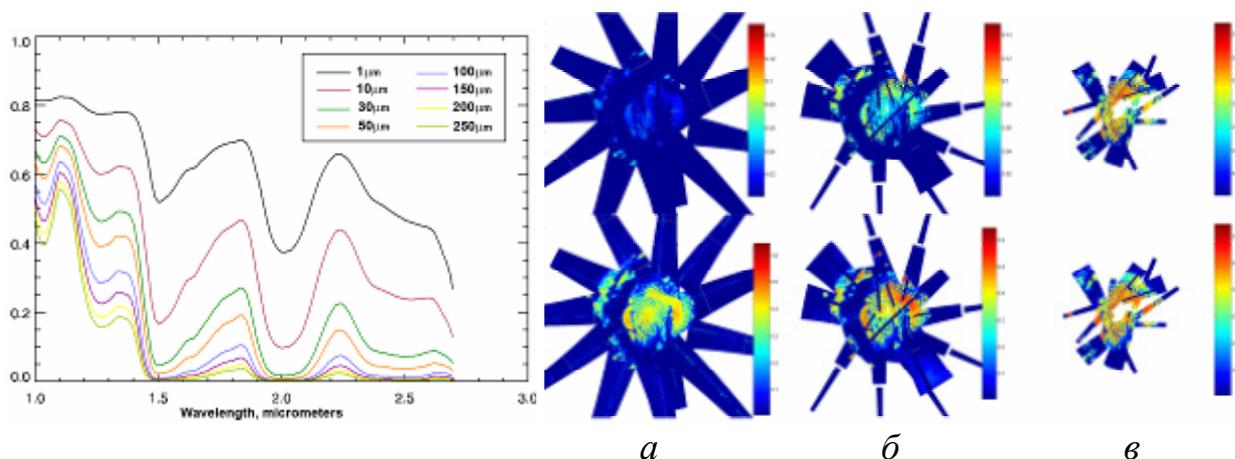


1.8. Сезонная динамика льда H_2O в районе северной полярной шапки по данным прибора ОМЕГА КА «Марс-Экспресс»

Данные прибора ОМЕГА (КА «Марс-Экспресс») дают большой объем информации, в том числе о динамике полярных ледовых шапок. Эту динамику удобно отслеживать по широким полосам льда H_2O (около 1,2; 1,5 и 2,0 мкм). Для этого спектры, полученные прибором, были очищены от воздействия атмосферы. Для атмосферной коррекции спектров в каждой точке наблюдения использовались модель GCM (European Mars Climate Database — *Forget et al.*, 1999), топография MOLA, учитывалась шкала высоты водяного пара (зонально-усредненные значения — *Smith et al.*, 2004; распределение на каждой широте — по модели GFDL MGCM — *Родин* и др., 2006).

Спектры водяного льда чувствительны к размерам частиц, слагающих поверхность (*Langevin et al.*, 2005; *Green et al.*, 2007; и др). Мы рассчитали несколько модельных спектров для различных эффективных радиусов частиц, используя модель для расчета коэффициентов отражения плоской поверхности, сложенной сферическими частицами (*Mishchenko et al.*, 1999).

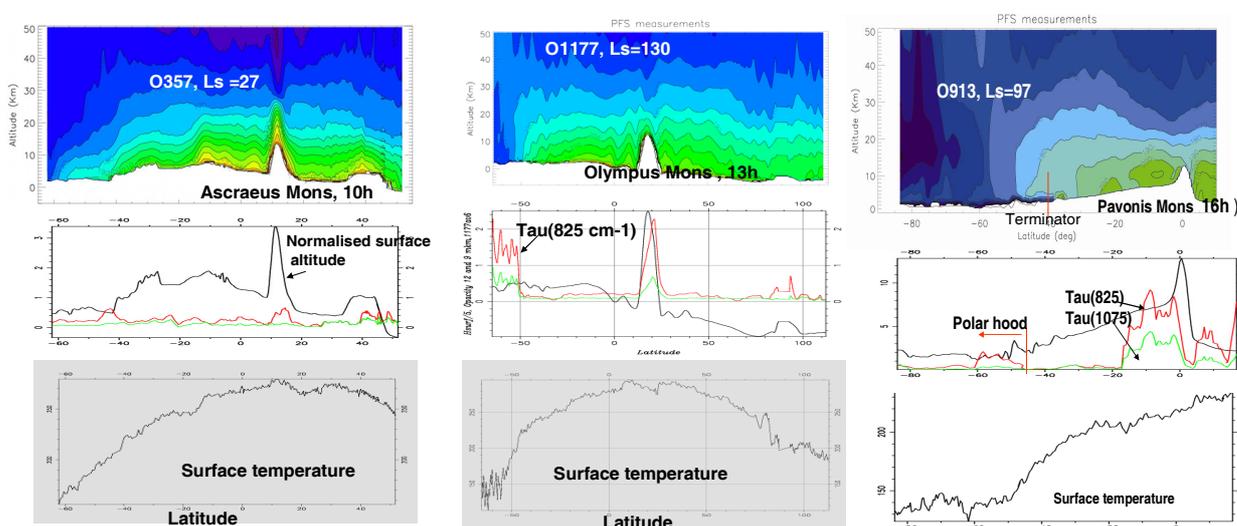
Полоса в области 1,2 мкм наиболее чувствительна к размеру частиц и может служить хорошим индикатором изменения размеров частиц льда на поверхности. Показаны также результаты картирования северной полярной шапки для трех летних сезонов первого года наблюдений по полосам 1,2 и 1,5 мкм (в качестве спектрального индекса бралась относительная площадь внутри широкой полосы поглощения). Полоса 1,2 мкм в течение лета становится все глубже. Такую картину мы можем трактовать как сезонное изменение микроструктуры поверхности северной полярной шапки, происходит сублимация более мелких зерен льда. Кроме того, такая картина сублимации отражает появление зональных волновых мод-3 и -4 ближе к середине лета ($L_s \sim 113-115$).



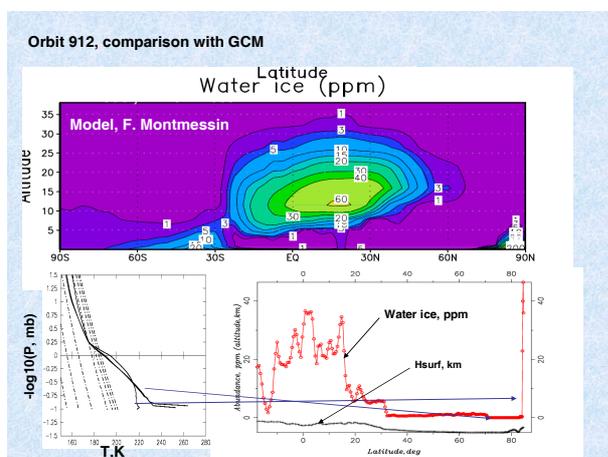
Теоретические спектры, рассчитанные с помощью модели для рассеивающей поверхности (*Mishchenko et al.*, 1999) и картирование спектральных индексов водяного льда по полосам 1,25 и 1,5 мкм для северного лета: *а* — $L_s \sim 93-97$ (орбиты 886–922); *б* — $L_s \sim 113-115$ (орбиты 1048–1060); *в* — $L_s \sim 127-138$ (орбиты 1150–1216)

1.9. Сезонные вариации поля температуры и облаков в районе вулканов Tharsis

ПФС является уникальным прибором, позволяющим восстанавливать из одного и того же спектра температурный профиль и оптическую толщину аэрозоля, т. о. вдоль каждой орбиты получая поле температуры. Сезонные вариации температурного поля от весны до лета в северном полушарии можно видеть на примере орбит, проходящих через Tharsis. Практически вдоль всех трех орбит наблюдаются облака из водяного льда, оптическая толща которых растет от весны к лету и после полудня (красная линия – оптическая толща облаков). Оптическая толща максимальна в районе вулканов, она составляет от 0,5 при $L_s = 27^\circ$, $10h$ до 2 при $L_s = 130^\circ$, $LT = 13h$ и до нескольких единиц при $L_s = 97^\circ$, $LT = 16h$. Облака из водяного льда наблюдаются в области южного полярного воротника (polar hood). В сезон $L_s = 913^\circ$ CO_2 может конденсироваться на поверхности при $\phi > 40^\circ$ S.



1.10. Облака над северным полюсом в афелии и экваториальный пояс облаков

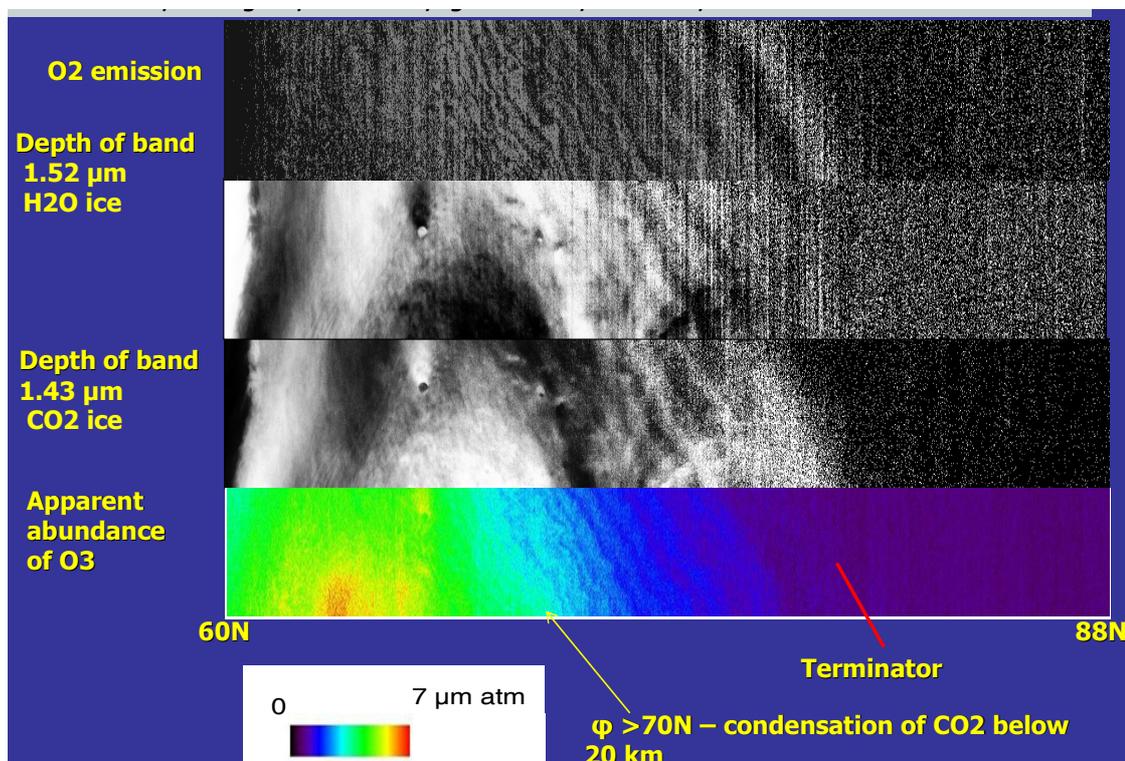


Впервые показано, что в афелии во время бурного таяния полярной шапки над северным полюсом образуются облака из водяного льда. Они

формируются вблизи поверхности, где температурный профиль близкий к изотермическому и имеет слабую инверсию. Сравнение содержания водяного льда в полярных облаках с результатами GCM показало разумное согласие. То же относится и к экваториальным облакам. Результаты ПФС могут быть использованы для проверки модели в нестандартных ситуациях. При восстановлении температурных профилей, никакой априорной информации, полученной с помощью GCM не используется, т. о. полученные результаты независимы от модели.

1.11. Гравитационные волны в атмосфере Марса (по измерениям ОМЕГА и ПФС)

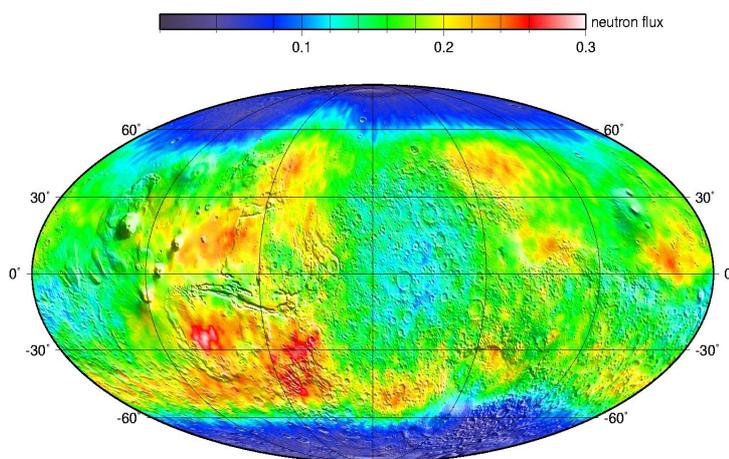
Обнаружены гравитационные волны в атмосфере Марса над северной полярной шапкой Марса, связанные с областями, где существуют облака из CO_2 . Эти волны обнаруживаются в распределении эмиссии O_2 1,27 мкм, облаков из водяного льда и льда CO_2 . Они обнаруживаются только на широтах, где возможна конденсация CO_2 в атмосфере. Одновременные наблюдения с ПФС позволяют отделить области, где CO_2 -лед лежит на поверхности, т. е. наблюдается полярная шапка из льда CO_2 , а где существуют облака из CO_2 , и объяснить наблюдаемую антикорреляцию льдов H_2O и CO_2 . Максимум содержания озона обнаружен в северной полярной области на широте 65° .



Верхний рисунок — распределение эмиссии кислорода 1,27 мкм в северной полярной области в конце полярной зимы; 2-й сверху — распределение водяных облаков, полярный вихрь; 3-й сверху — распределение льда CO_2 на поверхности и в атмосфере; нижний — распределение видимого содержания озона

1.12. Детектор нейтронов высоких энергий ХЕНД для КА НАСА «2001 Марс Одиссей»

В настоящее время прибор ХЕНД более 7 лет продолжает успешно работать на околомарсианской орбите, все узлы функционируют штатно без замечаний. На основе обработки пространственных вариаций потока нейтронов были обнаружены огромные районы вечной мерзлоты в северном и южном полушариях Марса с содержанием водяного льда до 50 %. Граница этих районов в направлении к экватору проходит в районе от 40 до 60° северной и южной широты (рис 2). Также на основе обработки данных нейтронных измерений были обнаружены значительные сезонные вариации нейтронного потока. Их анализ позволил экспериментально измерить сезонный профиль массы слоя твердой углекислоты, осаждающейся осенью и зимой на поверхность планеты из ее атмосферы. Данные эксперимента ХЕНД позволили существенно уточнить представления о природной среде современного Марса, уточнить модель марсианской атмосферы и проверить гипотезу о глобальных климатических изменениях на Марсе в современную эпоху. Продолжение эксперимента ХЕНД в 2009–2012 гг. позволит получить данные для нейтронного потока от Марса для полного 11-летнего цикла солнечной активности, что является важным условием для обеспечения безопасности будущих пилотируемых экспедиций на Марс.



Карта нейтронного излучения Марса по данным российского прибора ХЕНД на борту аппарата НАСА «Марс Одиссей»

2. ВЕНЕРА

2.1. Исследование атмосферы и облачного слоя Венеры на спутнике «Венера Экспресс»

В 2007 г. продолжались интенсивные исследования Венеры КА «Венера Экспресс». В октябре был успешно завершён первый этап миссии длиной в 2 Венераианских дня и начался следующий этап (продленная миссия). Работа по данному проекту включала в себя планирование и

координацию наблюдений, а также анализ данных экспериментов Venus Monitoring Camera (VMC) и картирующего спектрометра VIRTIS. Основными результатами этих экспериментов являются:

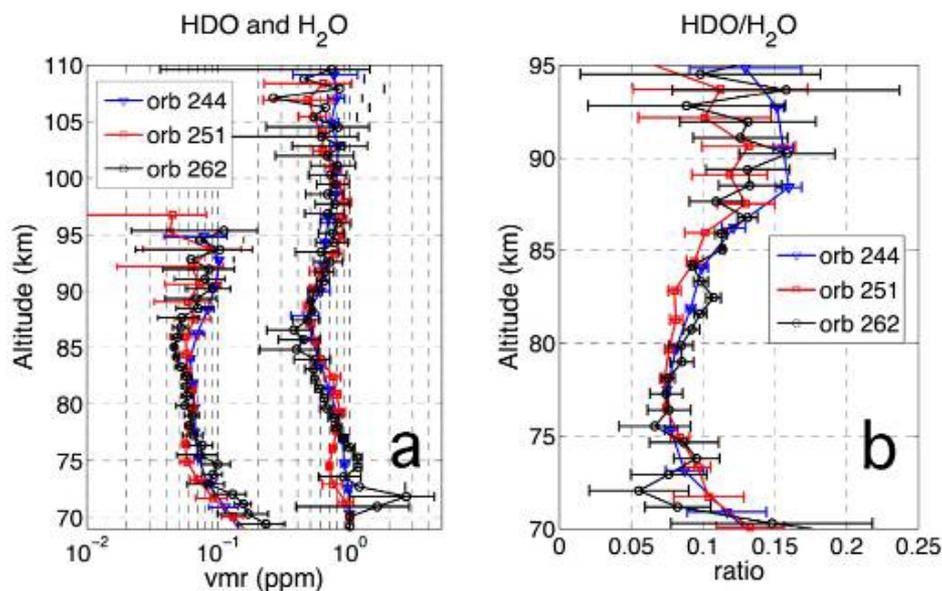
- 1) наблюдения крупномасштабной структуры облачного слоя в широком спектральном диапазоне от УФ до теплового ИК;
- 2) наблюдения мелкомасштабных структур (конвективных ячеек, волн) у верхней границы облаков;
- 3) картирование высоты облачного слоя;
- 4) определение поля скоростей ветра у верхней границы облаков по движению УФ деталей;
- 5) расчеты скоростей термического ветра в мезосфере.

Программа наблюдений на КА «Венера Экспресс» включает мониторинг планеты из апоцентра и на восходящей ветви орбиты, а также надирные, лимбовые и затменные наблюдения солнца, звезд и Земли. Такая насыщенная программа требует координации планирования между семью экспериментами, которая воплощена в разработанный документ «План научных наблюдений». Кроме этого, особое место в этой работе отводилось наблюдениям VMC, для которой разрабатывалась стратегия наблюдений.

2.2. Исследование мезосферы Венеры в эксперименте СПИКАВ/СУАР. Определение малых составляющих

Венера окутана плотным слоем облаков, состоящим из частиц серной кислоты (H_2SO_4), расположенных на высотах от 40 до 60 км. Эксперимент СПИКАВ/СУАР, работающий в режиме солнечных просвечиваний, проводит вертикальное зондирование области атмосферы, называемой мезосферой, расположенной над верхней границей облаков на высотах от 60 до 100 км. Мезосфера расположена между двумя областями общей циркуляции атмосферы: 4-дневной суперротацией, видимой на верхней границе облаков и солнечной-антисолнечной циркуляцией в термосфере ($z > 100$ км), с восходящим потоком на солнечной стороне и транспортом к ночной стороне. В области 60–140 км атмосферный транспорт, химия, температура, аэрозоли, все это играет роль в концентрации водородосодержащих молекул на высотах, где они разрушаются под действием УФ-излучения и освобождают атомы водорода интенсивно диссипирующие из верхней атмосферы. В эксперименте СПИКАВ впервые удалось обнаружить протяженный слой теплого воздуха (90–120 км) на ночной стороне, который был интерпретирован как результат адиабатического нагревания воздуха в нисходящем потоке, который должен компенсироваться восходящим потоком на дневной стороне, переносящим малые гидрогенизированные компоненты наверх. В эксперименте также измерены концентрации HCl, H_2O , HDO в мезосфере. По измерениям СПИКАВ/СУАР HCl оказался менее обилен с фактором ~ 4 , чем было получено 40 лет назад. Изотопное соотношение HDO/ H_2O оказалось приблизительно в 2,5 раза выше, чем то же отношение в нижней атмосфере. Кроме того, найдено уменьшение

концентрации H_2O на высотах около 80–90 км. Эти новые результаты должны послужить основой для динамических и химических моделей и для оценки современной скорости диссипации воды на Венере.



Вертикальные профили HDO, H_2O и изотопного отношения

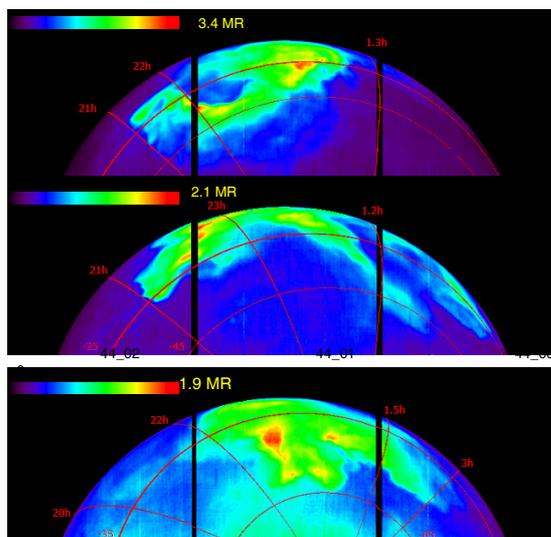
2.3. Свечение молекулярного кислорода в ближнем ИК-спектре на ночной стороне Венеры

Свечение молекулярного кислорода на длине волны 1,27 мкм на ночной стороне Венеры возникает в результате рекомбинации атомов кислорода, которые образуются на дневной стороне при фотолизе CO_2 и CO. Атомы кислорода заносятся на ночную сторону глобальной циркуляцией в верхней мезосфере и термосфере Венеры, основной характеристикой которой является движение газа, поднимающегося в подсолнечной точке, через терминаторы на ночную сторону и опускающегося в антисолнечной точке (SS-AS циркуляция). Наблюдение движения кислородных облаков позволяет изучать циркуляцию на высоте около 100 км, которая до сих пор слабо изучена.

1. Эмиссия O_2 1,27 мкм в атмосфере Венеры наблюдается и с Земли (с 1975 г.). Надирные наблюдения с орбиты КА «Венера Экспресс» имеют высокое пространственное разрешение для всего Южного полушария от экватора до полюса. Полученные последовательно несколько изображений одной и той же области позволяют изучать динамику кислородных облаков. Вертикальные профили свечения получают впервые из лимбовых наблюдений.

Свечение кислорода в высокой степени переменное. Ниже — два примера надирных изображений южного полушария. Интенсивность дана в мегареляях, исключены тепловое излучение нижней атмосферы (прошедшее в окнах между полосами CO_2 и рассеянное облаками), на которое накладывается свечение O_2 , и отражение эмиссии кислорода от облачного

слоя. На лимбе — область, близкая к экватору. Не изображена эмиссия кислорода, наблюдаемая вдоль всего лимба, так как она сильно отличается по интенсивности.

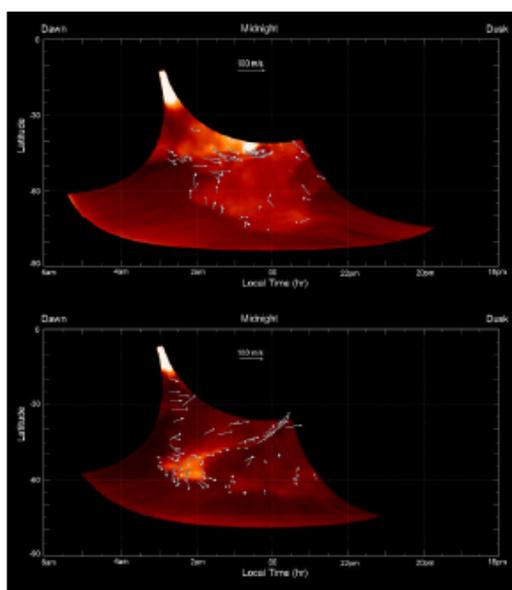


Свечение O_2 на диске Венеры

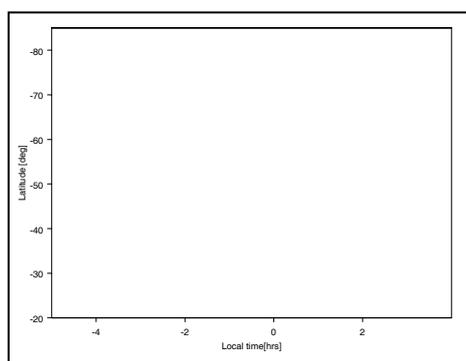
Максимальная интенсивность свечения наблюдается вблизи полуночи. Это подтверждает, что основной поток циркуляции SS – AS. Нисходящий поток вблизи полуночи приводит к увеличению плотности и повышению температуры.

2. Циркуляция атмосферы на высоте около 100 км по надирным изображениям.

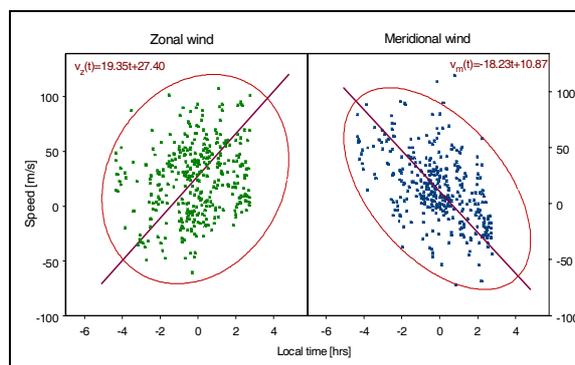
Сравнивая изображения, полученные с интервалом в 1 ч, по смещению кислородных деталей вычисляется скорость ветра. На изображении для двух орбит стрелками показаны направления движения кислородных облаков.



Ниже 90 км основной компонент циркуляции — это зональная суперротация. Выше 90 км циркуляция носит характер движения от подсолнечной точки к антисолнечной, и скорость меняет знак около полуночи. На дневной стороне вблизи полудня атомы кислорода, образовавшиеся на высоте около 90 км, поднимаются вверх, переносятся на ночную сторону на высоту около 120 км и опускаются около полуночи. Такая симметрия может быть нарушена действием волн различной природы. Получена зональная компонента скорости в пределах от -50 до $+60$ м/с. Меридиональная компонента, оцененная по движению O_2 , изменяется в пределах $-30 \dots +30$ м/с (ошибка скорости ± 10 м/с). Наиболее яркое свечение O_2 имеет место на широтах, где наблюдаются сходящиеся меридиональные потоки, увеличивающие концентрацию атомарного кислорода.

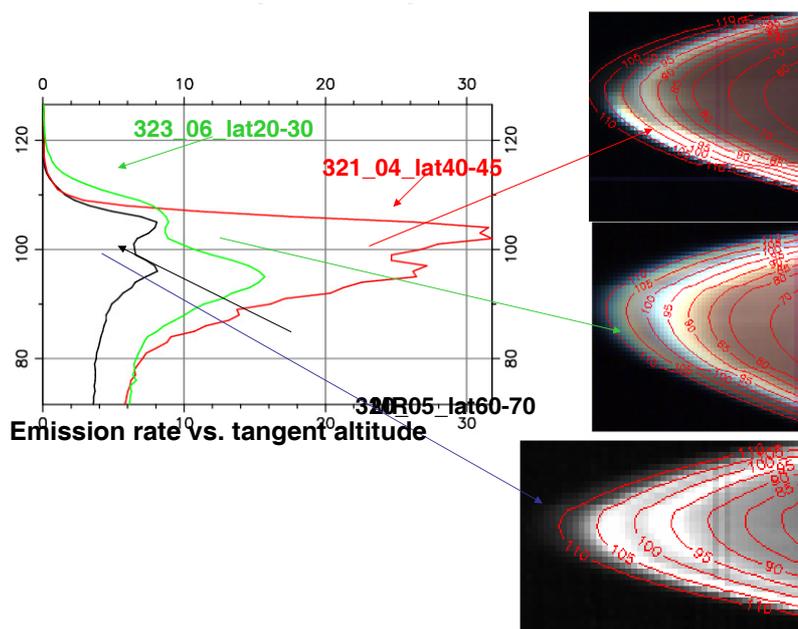


Видимые движения кислородных деталей в зависимости от местного времени и широты. Скорости получены по 16 орбитам

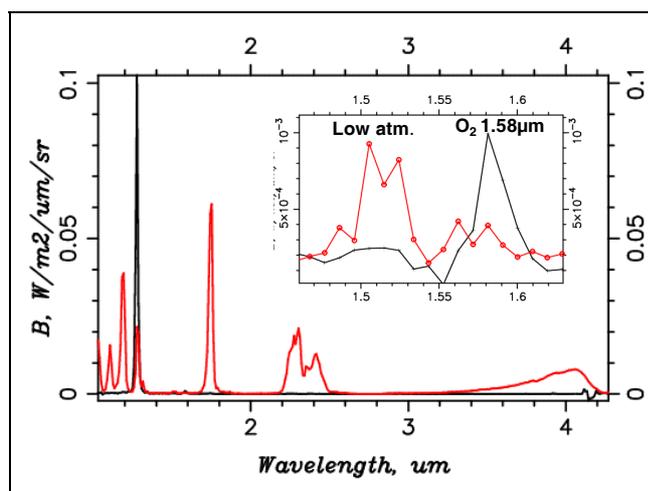


Зональные и меридиональные скорости кислородных облаков в высокой степени переменны. Но в среднем основной зональный поток меняет знак скорости вблизи полуночи

3. *Обнаружено два пика эмиссии кислорода:* при этом сохраняется основной пик на высоте 97 ± 1 км и появляется второй на 104–110 км. Вероятно, они объясняются действием волновых процессов.



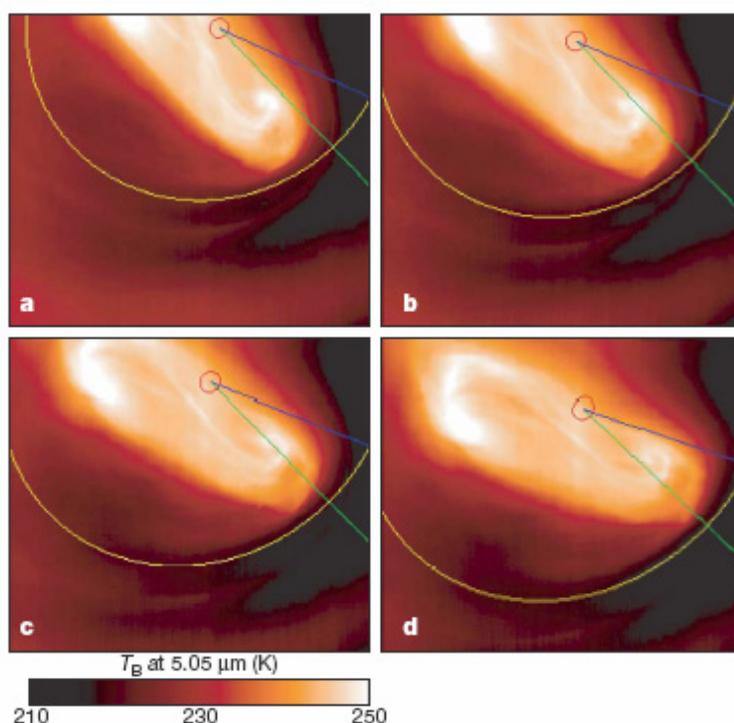
4. Впервые наблюдалась эмиссия O_2 1,58 мкм в спектре другой планеты



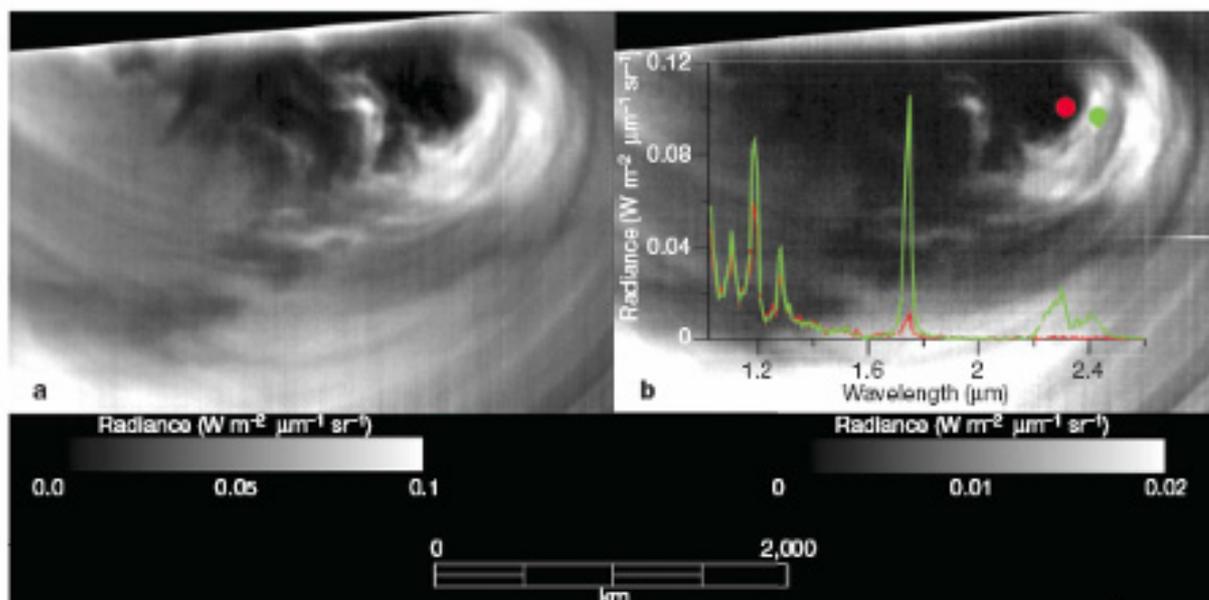
Черный спектр — лимбовый — только нетепловые эмиссии O_2 , красный — только тепловое излучение нижней атмосферы, рассеянной облаками, и тепловое излучение облаков около 4 мкм

Впервые в спектре другой планеты наблюдалась эмиссия O_2 1,58 мкм, с интенсивностью 1,2 % от 1,27 мкм и совпадающим вертикальным профилем. Обе эмиссии являются результатом одного и того же процесса: ~98,8 % всех молекул в состоянии $a^1\Delta_g$ дают эмиссию 1,27 мкм и 1,2 % 1,58 мкм.

2.4. Получена детальная структура южного полярного диполя



Орбита 38. Вращение диполя ($\lambda = 5$ мкм). Кругок — южный полюс



Изображения в окнах 1,74 (слева) и 2,35 мкм, излучение нижней атмосферы, рассеянное облачным слоем. Оно практически отсутствует для $\varphi > 80^\circ \text{ S}$

Получена детальная структура южного полярного диполя (прежде исследовался только северный диполь на КА «Пионер Венера» и «Венера-15»). Он имеет два центра вращения в направлении против часовой стрелки (как и поток зональной циркуляции). Период вращения на первых орбитах $2,48 \pm 0,5$ сут. Полярный диполь, как и в северном полушарии, окружен полярным воротником.

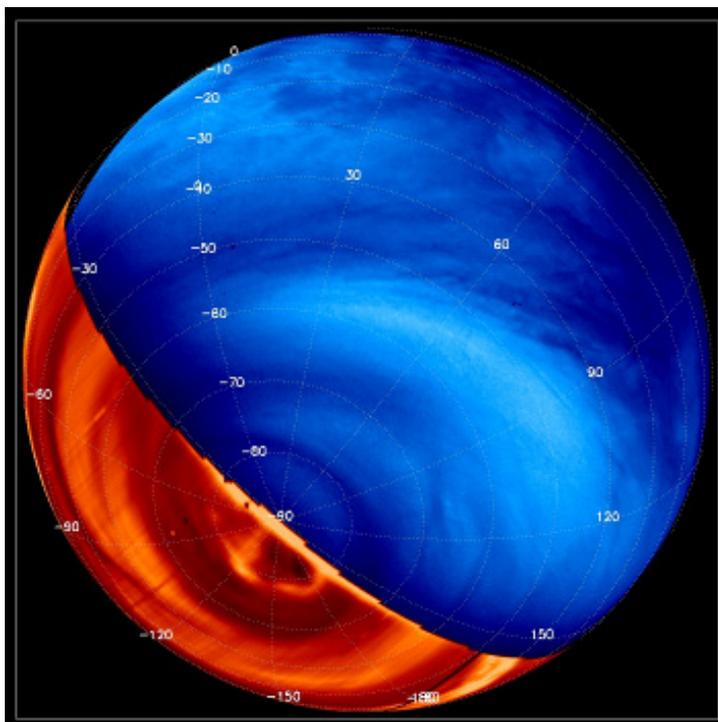
В начале наблюдений состояние атмосферы напоминало наблюдавшееся КА «Венера-15» (1983) в северном полушарии: на широтах выше 80° практически вся область покрыта плотным облачным слоем с верхней границей на 60–62 км (м. б. выше на величину около 2 км в Южном диполе). Красный спектр на рисунке практически не содержит теплового излучения в окнах 1,74 и 2,3 мкм. Облачный слой в южной полярной области, как и в северной (показано КА «Венера-15») состоит из серной кислоты.

2.5. Морфология и альтиметрия облачного слоя

«Венера Экспресс» систематически получает изображения Венеры в широком диапазоне длин волн. Рисунок показывает вид планеты с расстояния около 30 000 км, синтезированный из УФ-снимка VMC и инфракрасного VIRTIS.

Морфология верхней границы облаков (~70 км) переходит от хаотической с преобладанием конвективных ячеек в низких широтах ($<40^\circ$) к более регулярной полосчатой, свидетельствующей о квази-ламинарном течении в средних широтах. В полярных широтах облачные структуры свидетельствуют о наличии глобального вихря с размером в несколько тысяч километров. Внешний вид диска Венеры в УФ-диапазоне демонстрирует

сильную изменчивость на шкале времени около суток, что указывает на быстрые динамические и микрофизические процессы у верхней границы облаков.



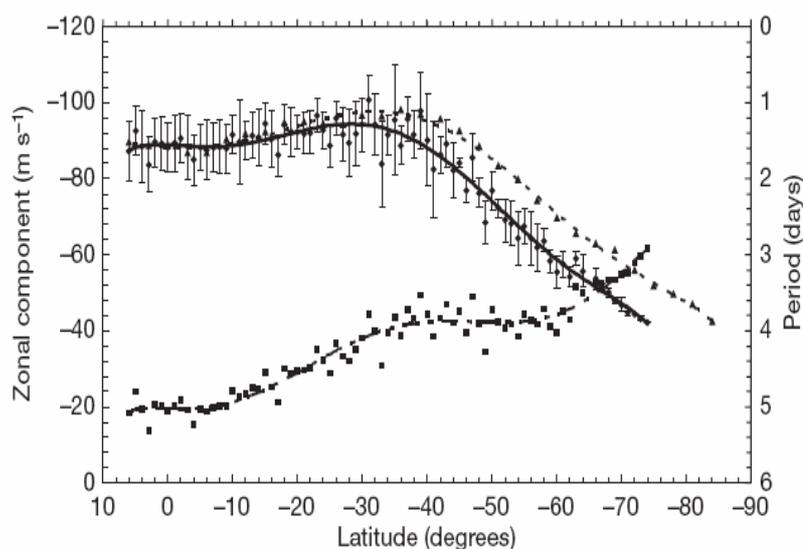
Изображение Венеры в искусственных цветах, синтезированное из УФ снимка VMC (голубая часть, 0,365 мкм, дневная сторона) и VIRTIS (красная часть, окно прозрачности атмосферы на 1,7 мкм, ночная сторона)

Наблюдения в ближнем ИК-диапазоне на ночной стороне несут информацию о структуре и динамике в глубине основного облачного слоя (~50 км). Как и в УФ-диапазоне здесь наблюдается глобальный околуполярный вихрь, что свидетельствует о существовании этой структуры на всем протяжении облачного слоя. Этот вихрь на несколько градусов широты смещен по отношению к полюсу, он вращается вокруг оси планеты с периодом около 2,5 сут. Как у верхней границы, так и в глубине облаков наблюдались периодические структуры, указывающие на волновую активность.

Наблюдения VIRTIS в полосах поглощения CO_2 в ближнем ИК диапазоне, проведенные совместно с VMC, позволили определить высоту верхней границы облачного слоя. Она меняется от ~70 км в низких и средних широтах до ~64 км в полярных областях.

2.6. Динамика атмосферы Венеры

Последовательность снимков VMC позволяет определить направление и скорости ветра у верхней границы облаков по слежению за перемещением УФ-деталей на снимках. На рисунке 2 показаны предварительные результаты измерений зонального ветра по снимкам VMC.



Средняя зональная компонента скорости ветра у верхней границы облаков (~70 км) (сплошная кривая) и период движения контрастных деталей (пунктир)

Скорость зонального ветра практически постоянна и равна 90 ± 10 м/с в низких широтах и быстро падает в средних и высоких широтах. Меридиональная компонента ветра находится в пределах 10–20 м/с. Наблюдения свидетельствуют также о зависимости зональной скорости ветра от времени суток. Сравнение зональных скоростей ветра, измеренных по слежению за УФ-детальями на снимках VMC, с термическим ветром, рассчитанным по полю температуры, восстановленному по данным VIRTIS в предположении циклострофического баланса, в целом дает хорошее согласие. Отличия, наблюдаемые в средних и низких широтах, могут свидетельствовать о нарушении этого баланса.

3. МЕРКУРИЙ

3.1. Наблюдения планеты Меркурий и их интерпретация

Астрономические наблюдения. В элонгациях мая 2007 и ноября 2007 г. в обсерватории САО РАН (положение обсерватории $41^\circ 26' 29''\text{E}$, $43^\circ 39' 11''\text{N}$) проводились новые наблюдения Меркурия в положении планеты, позволяющем документировать районы, не охваченные съемкой МАРИНЕРА-10 в 1974–1975 гг. ПЗС-камера STV была установлена на телескопе Цейс-1000 (рис. 1, 2). В осенней элонгации предполагалось использовать более совершенную камеру САО. В отличие от наблюдений прошлых лет, использовалась непрерывная последовательность видеок кадров с аналог-цифровым преобразованием в реальном времени и записью на жесткий диск компьютера. Такой метод значительно увеличивает продуктивность наблюдений. К сожалению, в обеих элонгациях (май и ноябрь) сколько-нибудь удачные наблюдения провести не удалось из-за крайне неблагоприятных метеорологических условий.

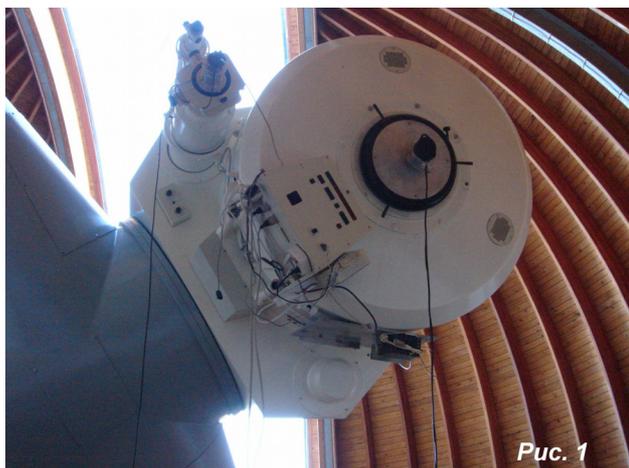


Рис. 1



Рис. 2

К экспериментальным работам можно также отнести освоение новых программ обработки ранее накопленного наблюдательного материала: программы ASTROSTACK 3 и программы RegiStax 2. Предполагается, что переход от 8-разрядного bmp-формата к 16-разрядным raw, fits и другим форматам повысит разрешение и четкость мелких деталей изображений. Эта работа пока не завершена.

Ударные кратеры в секторе 210–285°W. В статье *Ksanfomality L., Sprague A. New images of Mercury's surface from 210° to 290°W longitudes with implications for Mercury's global asymmetry (ICARUS'2007. 188. P. 271–287)* приводятся новые результаты обработки массива изображений Меркурия,

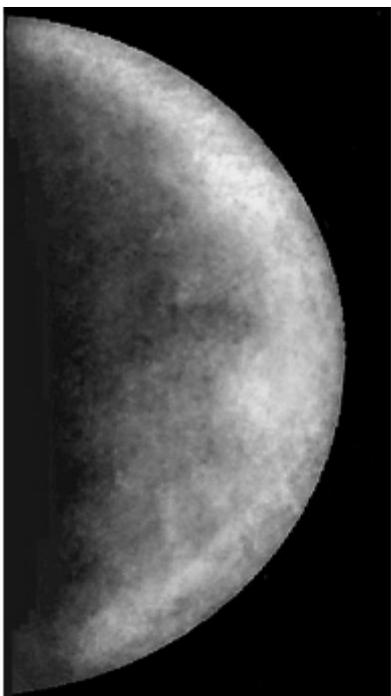


Рис. 3. 210-285°W.

полученного в весенней вечерней элонгации 2002 г. Новый шаг в повышении разрешения (рис. 3) позволил перейти к районированию наиболее крупных ударных кратеров на поверхности Меркурия. Некоторые из них похожи на кольцевые структуры, но не имеют лучей. Вместе с тем, кратеры с протяженными лучами видны во многих районах планеты (например, у 8°S, 265°W). Большой кратер с системой лучей находится у 10°S, 247°W, где он окаймляет с запада вторую наиболее яркую в данной фазе область этого полушария Меркурия (статья *Ксанфомалити Л.В. Разрешенные изображения неизвестного сектора поверхности планеты Меркурий // ПАЖ. 2005. Т. 31. № 11. С. 860–880.*). Светлые участки образуют здесь дугу или, возможно, кольцевое образование диаметром 600–700 км. При выборочном увеличении контраста становятся заметны многочисленные ударные

кратеры. Таков кратер с диаметром 140 км и кольцом выбросов диаметром 450–500 км вокруг него, с центром у 21°S, 248°W. Возможно, примыкающие к валу снаружи участки — это выбросы из кратера. Подобные кратеры встречаются практически во всех районах сегмента 210–290°W. На рис. 4

показаны пять крупных ударных кратеров (выбранных на исходном рис. 3), несомненно, ударного происхождения, размерами от 400 до 800 км, которые во время наблюдений находились на терминаторе и поэтому наиболее контрастны. Стрелки соединяют исходное положение районов с их увеличенными 2:1 контрастированными изображениями. Сторона квадратов на рис. 4, где показаны кратеры, составляет 900 км. Все кратеры имеют широкие террасы выбросов. Статистически ударные кратеры Меркурия в 1,5 раза меньше лунных, что объясняется вдвое большим ускорением свободного падения. Во всех вариантах синтезированных изображений у северного рога, у самого полюса, присутствует крупный ударный кратер (см. рисунки, опубликованные в статье в ПАЖ) с обширным венцом выбросов диаметром около 6° (280 км). Его центральная темная часть имеет диаметр около 2° (90 км). Венец кратера заметно светлее окружающих деталей и выделяется на их фоне. На $2-3^\circ$ ближе к полюсу, на его северной стороне находится несколько меньший кратер, примерно 60 км. Координаты крупного кратера по широте 85°N . В момент наблюдений северный полюс находился несколько градусов ближе к наблюдателю, чем лимб, поэтому зона полюса была видна. Из-за близости к полюсу и некоторой размытости лимба, долготы кратеров в зоне полюса Меркурия определяется с вероятной ошибкой не лучше 5° . Но положение кратеров удалось сопоставить с независимыми данными, так как для района северного полюса имеется подробная радиолокационная карта, с группой крупных ударных кратеров, с разрешением до 1,5 км (*Harmon et al., 2001*). По-видимому, именно эти кратеры видны на синтезированных изображениях. Их сравнение с радиолокационной картой (*Harmon et al., 2001*) показывает, что размеры и положение кратера у 85°N практически полностью совпадают с кратером К радиолокационной карты (центр $85,5^\circ\text{N}$, 292°W , диаметр около 80 км). Интересно, что венец выбросов на радиолокационной карте виден только с северной стороны кратера К, как темный пояс, без деталей, в то время, как в оптическом диапазоне терраса выбросов охватывает кратер со всех сторон, причем она видна как светлое образование. Высокую яркость выбросов из кратера К можно сопоставить с особенностями кратеров, показанных на радиолокационной схеме. Согласно (*Harmon et al., 2001*) кратеры у полюса необычны по своей природе. На их дне под слоем реголита находятся, по-видимому, большие массы льда. Дно полярных кратеров всегда остается в тени своих валов и имеет температуру, достаточно низкую для того, чтобы лед сохранился за космогоническое время. Согласно другой гипотезе, на дне кратеров находятся отложения серы (*Sprague et al., 1995*), которая в дециметровом диапазоне имеет сходные со льдом характеристики рассеяния. В нашем случае важно другое — не исключено, что высокое альbedo выбросов связано именно с природой кратеров.

Таким образом, имеющиеся экспериментальные данные действительно показывают, что кратеры на Меркурии морфологически заметно отличаются от лунных. Для второго на рис. 4 кратера, на Луне можно найти только один

аналог — кратер Варгентин, на западном лимбе Луны. Многие специалисты считают его поднятием, заполненным лавой.

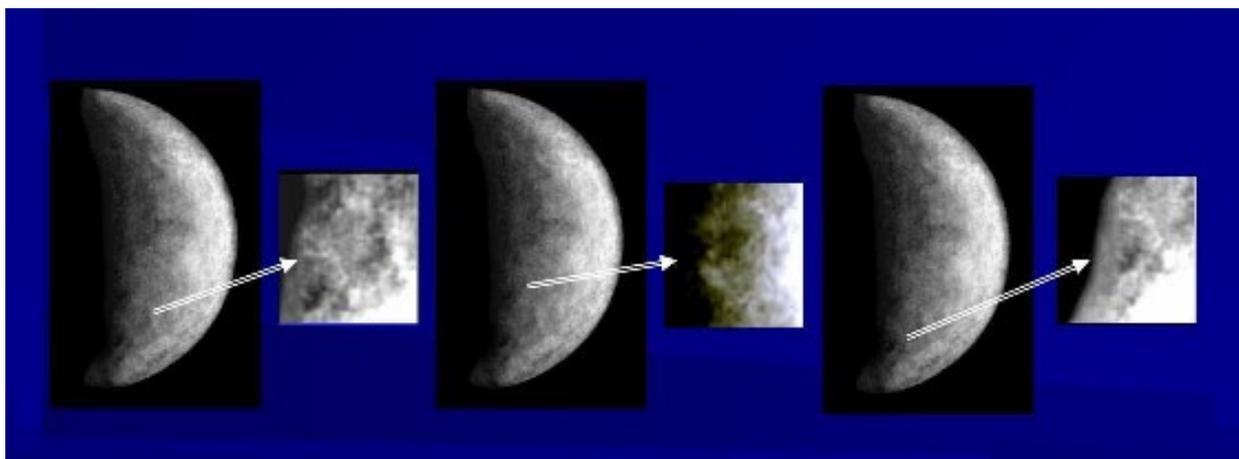
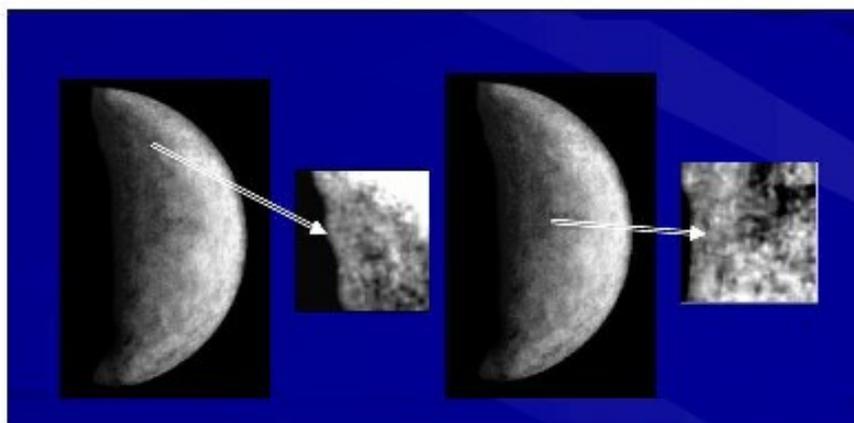
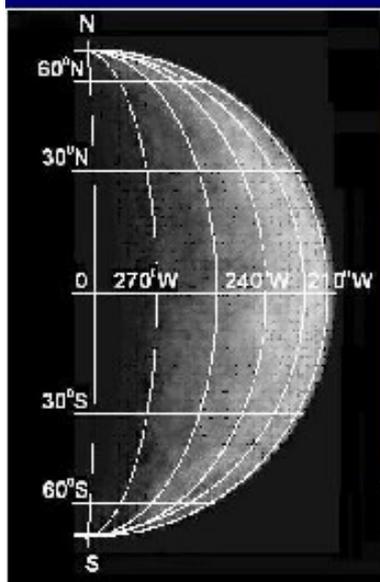


Рис. 4. Крупные ударные кратеры на Меркурии



Обработка данных 2006 г. Как уже указывалось в опубликованных работах, утренние экспозиции намного улучшают разрешение астрономических изображений. (*Ксанфомалити*, ПАЖ, 2005). Уместно напомнить, что хотя идея повышения разрешения астрономических изображений существовала давно, но только с появлением ПЗС-матриц с высоким квантовым выходом стало возможным получение разрешенных изображений Меркурия, путем обработки электронных снимков, сделанных методом коротких экспозиций. Непревзойденным результатом остается изображение сектора долгот Меркурия $270\text{--}330^\circ\text{W}$, рис. 5, уже приводившийся в отчете 2006 г. Пока удалось выполнить только предварительную обработку полученных данных. Результат представлен на рис. 6.

Новые изображения поверхности планеты, рис. 5 и 6, покрывают значительную часть поверхности Меркурия, остававшейся не заснятой камерой МАРИНЕР-10. Подтверждается, что протяженные детали рельефа, по-видимому, асимметрично распределены по поверхности Меркурия.

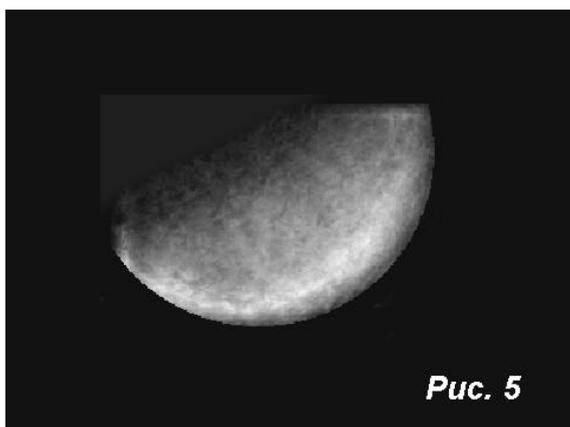


Рис. 5

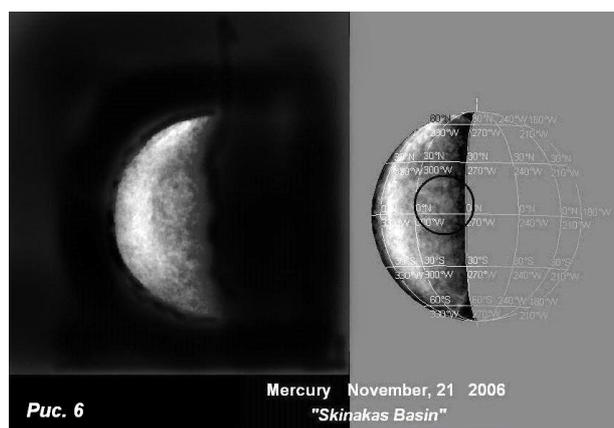


Рис. 6

3.2. Теоретические и экспериментальные исследования Меркурия

На основе метода радиолокации, предложенного И.В. Холиным (1988, 1992, 1999), радиолокацией на интерферометре Голдстоун – Грин Бэнк и др. (США) измерялись составляющие мгновенного спин-вектора планеты, наклонение и амплитуда 88-дневных либраций Меркурия, а также проверялось его соответствие состоянию Кассини (*Margot et al.*, 2007). Существенных отклонений от состояния Кассини не обнаружено, а полученные значения для наклонения и амплитуды составляют $2'1 \pm 0'1$ и $35''8 \pm 2''$ соответственно (вместо прежних $60'' \pm 6''$), на основании чего сделан вывод о либрации оболочки отдельно от ядра, т.е. наличии в последнем жидкой фазы (*Margot et al.*, 2007). И.В. Холин считает, что публикация *Margot et al.* (2007) не свободна от существенных недостатков, среди которых в первую очередь следует указать искаженное историческое описание, ряд несоответствий с известными работами (*Green 1968; George 1976; Holin 1988; 1992; 2004*) и отсутствие должного обсуждения с соавторами. Достигнутые точности пока заметно ниже теоретического предела, установленного Холиным (1992). Желательно, чтобы результаты работы были тщательно выверены. Работа *Margot et al.* (2007) является первым практическим использованием метода Холина (1992), который, как уже отмечалось (Холин, 1998), может способствовать заметному прогрессу в исследовании Солнечной системы. Рассмотрены возможности, связанные со строительством нового радара в Евразии, где благодаря множеству уже имеющихся радиотелескопов (особенно в Европе) точности значительно возрастают (*Hoolst van et al.*, 2007). Одно из предлагаемых возможных мест для размещения подобного мощнейшего радиолокационного комплекса — Северный Кавказ.

2.2.1.2. Работы, выполняемые по проектам космических исследований

Детектор нейтронов высоких энергий ХЕНД для КА НАСА «2001 Марс Одиссей»

Детектор быстрых нейтронов ХЕНД (High Energy Neutron Detector) является российским экспериментом в составе гамма спектрометрического комплекса GRS космического аппарата НАСА «Марс Одиссей» (рис. 1).

Научная цель эксперимента ХЕНД — исследование нейтронного излучения Марса для поиска воды и для измерения элементного состава химических элементов в веществе Марса (на основе совместной обработки с данными измерений гамма-лучей прибором GRS). Также на основе данных нейтронных измерений должна быть построена карта нейтронной компоненты радиационного фона Марса условиях спокойного и активного Солнца. Прибор ХЕНД был создан в Институте космических исследований РАН по заказу Федерального космического агентства (руководитель эксперимента д-р. физ.-мат. наук И.Г. Митрофанов).



Рис. 1. Космический аппарат НАСА «Марс Одиссей» с российским прибором ХЕНД на борту

Бортовой телескоп нейтронов БТН-М1 на Российском сегменте МКС

После успешного начала космического эксперимента ХЕНД на борту аппарата НАСА «Марс Одиссей» было принято решение об использовании запасного летного прибора этого проекта для проведения первого этапа эксперимента «БТН-Нейтрон» на борту Российского Сегмента Международной Космической Станции. На основе использования этого прибора была создана аппаратура БТН-М1 для регистрации потока нейтронов в околоземном космическом пространстве. Эти нейтроны возникают под воздействием космических лучей в верхних слоях земной атмосферы и в веществе космической станции. Аппаратура БТН-М1 также позволит зарегистрировать прямое нейтронное излучение от мощных солнечных протонных событий, которые сопровождаются ускорением тяжелых ядер в активных областях на Солнце.

Аппаратура БТН-М1 была создана в Институте космических исследований РАН по заказу Ракетно-космической корпорации «Энергия» (руководитель эксперимента д-р. физ.-мат. наук И.Г. Митрофанов). В октябре 2006 г. эта аппаратура была доставлена на РС МКС на ТК «Прогресс М-358». Космонавт М.В. Тюрин (экспедиция МКС-14) произвел установку и подключение блока БТН-МЭ к бортовым системам РС МКС в ноябре 2006 г. Была также произведена подготовка блока БТН-МД к выносу в открытый космос. Он был установлен на штатное место на внешней поверхности МКС во время двух выходов в открытый космос космонавта России М. Тюрина и астронавта США М. Лопес-Алегррия 23 ноября 2006 г. и 22 февраля 2007 г. (рис. 3). 26 февраля 2007 г. аппаратура БТН-М1 была включена в режим научных измерений.

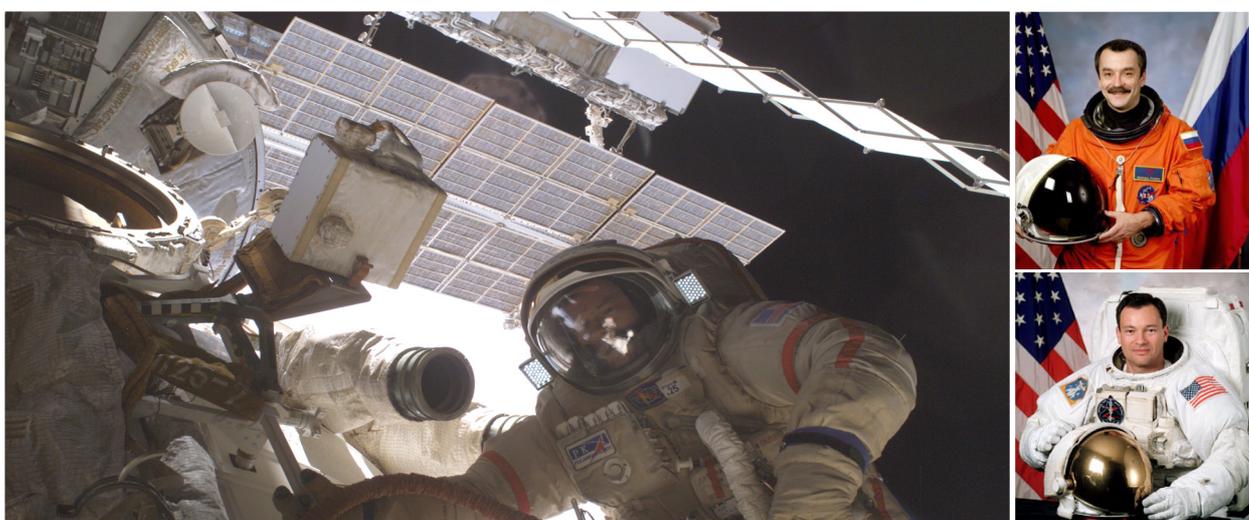


Рис. 3. Космонавт России М.Тюрин и астронавт США М. Лопес-Алегррия выполнили установку аппаратуры БТН-М1 на борту МКС

За весь период работы в феврале 2007 г. аппаратура БТН-М1 функционирует штатно без замечаний, все параметры находятся в допустимых пределах. Создана межпланетная система мониторинга фоновой радиационной обстановки синхронно на околомарсианской («Марс Одиссей») и околоземной орбитах (МКС), которая позволит предсказать радиационные условия на всей трассе межпланетного перелета Земля – Марс – Земля. На основе данных измерений аппаратурой БТН-М1 была построена карта скорости нарастания радиационной дозы от потока нейтронов в разных точках полета МКС (рис. 4). Особенностью этой карты является район заметного повышения скорости нарастания дозы в области Южно-Атлантической магнитной аномалии. В период проведения измерений в 2007–2008 гг. эта особенность радиационного фона в околоземном космическом пространстве была наиболее яркой, так как этот период пришелся на минимум солнечной активности.

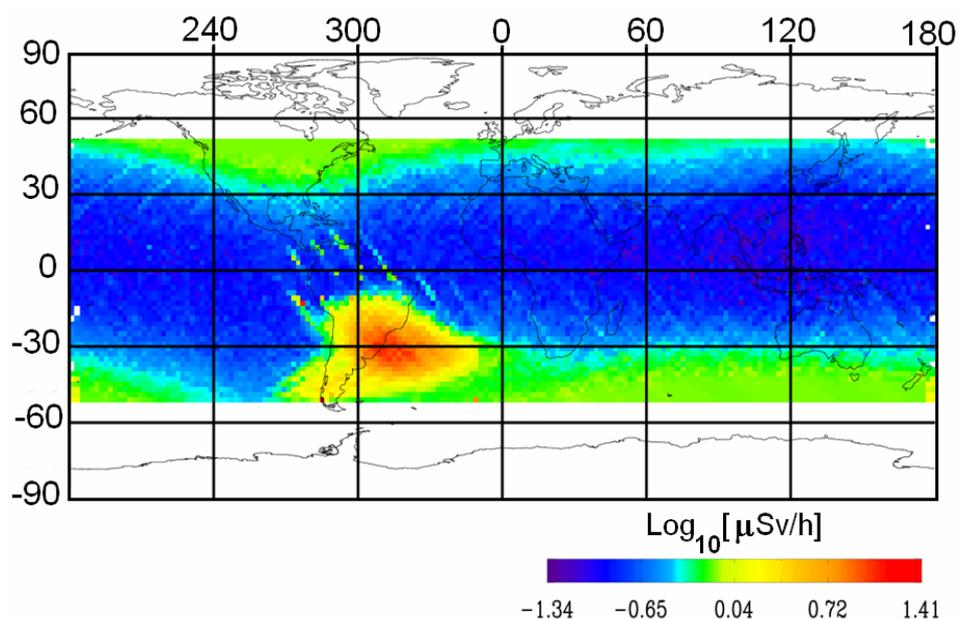


Рис. 4. Карта темпа нарастания радиационной дозы от потока нейтронов в околоземном космическом пространстве по данным измерений аппаратурой БТН-М1 на борту МКС в 2007 г.

Эксперименты на борту космического аппарата ЕКА «Марс Экспресс»

Россия, в рамках Федеральной космической программы, поставила важные элементы трех научных приборов спутника «Марс-Экспресс», работающего на орбите Марса с 25 декабря 2003 г. В ИКИ РАН изготовлены входная оптика и сканер картирующего спектрометра ОМЕГА, детекторы и калибровочное оборудование для Фурье-спектрометра ПФС и инфракрасный канал универсального спектрометра СПИКАМ. Управление приборами с российским участием финансируется Роскосмосом. Все три прибора с российским участием работают номинально; с их помощью получен ряд приоритетных научных результатов. За 2007–2008 гг. российскими участниками проекта опубликовано более 10 статей в рецензируемых научных журналах. Работа КА «Марс-Экспресс» запланирована до мая 2009 г.

Эксперименты на борту космического аппарата ЕКА «Венера Экспресс»

Россия, в рамках Федеральной космической программы, поставила элементы двух приборов КА «Венера Экспресс», работающего на орбите вокруг планеты с апреля 2006 г. В ИКИ РАН изготовлены детекторы и калибровочное оборудование для Фурье-спектрометра ПФС и инфракрасный канал универсального спектрометра СПИКАВ. Приборы являются аналогами приборов ПФС и СПИКАМ на КА «Марс Экспресс», адаптированными для исследования Венеры. В дополнение к совместному прибору СПИКАВ (Россия, Франция, Бельгия) по предложению российских ученых установлен и успешно построен в кооперации с Бельгией и Францией новый прибор

SOIR — эшелле-спектрометр высокого разрешения. Прибор SPICAV-SOIR работает номинально, наблюдения Венеры прибором ПФС не проводятся из-за неисправности сканера. Часть научных задач прибора ПФС выполняется картирующим спектрометром ВИРТИС. 29 ноября 2007 г. вышел специальный выпуск журнала Nature с результатами номинальной миссии. Российскими участниками проекта опубликовано 9 статей в рецензируемых научных журналах, из них 5 — в Nature.

Эксперимент Мёссбауэровский спектрометр на борту марсоходов НАСА «Спирит» и «Оппортьюнити»

Миниатюризированный Мёссбауэровский спектрометр (MIMOS) был предложен в начале 1990-х гг. российскими учеными из ИКИ для российской миссии «Марс-96». Прибор был разработан в университетах г. Дармштадта и г. Майнца, Германия, в сотрудничестве с Институтом космических исследований Российской академии наук.

Мёссбауэровская спектроскопия является мощным средством для исследования минералогии железосодержащих материалов. В частности, она представляет количественную информацию о распределении железа по степеням окисления и о его относительном содержании в железосодержащих фазах. Два Мёссбауэровских спектрометра входят в состав научной аппаратуры двух марсоходов НАСА (Spirit и Opportunity), совершивших посадку на поверхности Марса в январе 2004 г. Первоначальная запланированная продолжительность миссии составляла 3 мес, однако оба марсохода и оба Мёссбауэровских спектрометра успешно работают на поверхности Марса уже более четырех лет (более чем 1500 марсианских дней) и продолжают давать ценную научную информацию.

На равнинном участке кратера Гусева (марсоход Spirit) с помощью Мёссбауэровского спектрометра было обнаружено высокое содержание оливина, что свидетельствует о физическом, а не химическом механизме выветривания на текущий момент. Дальнейшие исследования продолжились в стратиграфически более старых Колумбийских холмах. Там в камнях были идентифицированы гематит и гетит, наличие которых свидетельствует о том, что в прошлом вода играла важную роль в образовании и изменении камней и почв в Колумбийских холмах.

Мёссбауэровский спектрометр на втором марсоходе (Opportunity, Полуденная равнина) идентифицировал в обнаженной породе минерал ярозит (сульфат железа). Также был обнаружен источник гематита, обнаруженного с орбиты — это небольшие сферические конкреции (диаметром несколько миллиметров). Данные Мёссбауэровского спектрометра сыграли решающую роль в идентификации камня *Bounce rock* — он оказался схожим с базальтовыми шерготтитами (группа метеоритов, находимых на Земле, и имеющих, предположительно, марсианское происхождение). Также были идентифицированы железный (*Heat Shield Rock*) и каменный (*Barbeton*) метеориты.

Наблюдения на международной обсерватории гамма-лучей ЕКА ИНТЕГРАЛ

Международная обсерватория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ была выведена на высокоапогейную орбиту в 2002 г. российской ракетой-носителем «Протон». В обмен на запуск космического аппарата российские ученые получили право на ~25 % научных данных миссии, доступность которых обеспечивает Российский центр научных данных (РЦНД) проекта ИНТЕГРАЛ, организованный в Институте Космических Исследований. С момента создания РЦНД его сотрудники ведут активную работу по адаптации существующего и разработке нового математического обеспечения миссии, занимаются распространением информации о предстоящем проекте среди российской научной общественности.

В течение пяти лет работы на орбите космическая обсерватория ИНТЕГРАЛ накопила огромный массив наблюдательных данных, что позволило приступить к решению задач, требующих больших экспозиций. На первый план выходят задачи, связанные с массивированной обработкой всех доступных данных обсерватории, такие, как проведение глубоких обзоров всего неба, поиск популяций слабых источников Галактической и внегалактической природы, детальное исследование излучения в ядерных линиях и т. д. Постепенное заполнение архива РЦНД наблюдательными данными обсерватории и резкий рост их массивированной обработки потребовали существенного увеличения вычислительных мощностей.

Благодаря финансовой поддержке, полученной от Российского Фонда Фундаментальных Исследований, а также средствам Института космических исследований, было приобретено новое оборудование для хранения и обработки данных обсерватории ИНТЕГРАЛ. В специальном помещении операционного центра Института Космических Исследований был установлен современный информационный комплекс, состоящий из оборудования корпорации Sun Microsystems <<http://ru.sun.com/>>. Хранение данных с высокой степенью надежности и доступности будет проводиться на сервере SunFire X4500 <http://ru.sun.com/products/servers/entry/fireX4500/index.html> с объемом дискового пространства более 20 Тбайт, что, в совокупности с уже имеющимся оборудованием, позволило довести общий объем архива почти до 30 Тбайт. Помимо функций хранения данных новый сервер обладает также высокими вычислительными характеристиками, благодаря двум встроенным двоядерным процессорам AMD Opteron. Дополнительные вычислительные мощности информационного комплекса обеспечивается сервером SunFire X2200 <http://ru.sun.com/products/servers/entry/fireX2200/index.html> на базе двух двоядерных процессоров AMD Opteron.

2.2.2. ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА РАН

2.2.2.1. Информационная система оперативных данных НЦ ОМЗ (обработка данных прибора MODIS космического аппарата TERRA)

Рассматриваются основные элементы информационной системы космических данных ДЗЗ, разрабатываемой и создаваемой в НЦ ОМЗ при участии ФИРЭ РАН. Рассмотрена работа подсистем хранения информации и доступа к данным на примере информации прибора MODIS космического аппарата TERRA.

Введение

Большие объемы информации, получаемые в настоящее время с помощью средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, диктуют необходимость создания адекватных информационных систем для обработки, каталогизации и архивации поступающей информации и результатов обработки экспериментальных данных. Данные, накапливаемые в информационной системе, могут использоваться для решения как оперативных, так и фундаментальных научных и прикладных народнохозяйственных задач [1–3].

Одними из основных элементов информационной системы (ИС) данных ДЗЗ являются подсистемы хранения информации и доступа к данным. Эти подсистемы должны обеспечивать необходимый уровень надежности хранения данных и эффективность доступа пользователей к соответствующим данным. Как правило, информационные системы ориентируются на конечного пользователя. Поэтому информационная система должна обладать простым, удобным, легко осваиваемым интерфейсом, который обеспечивает пользователю выполнение всех необходимых для его работы функций, и в то же время, исключает возможность выполнения пользователем каких-либо несанкционированных действий.

Информация, получаемая с космических средств ДЗЗ, накапливается и хранится в центрах обработки и хранения космической информации, в том числе и в специализированных (тематических) центрах обработки и хранения космической информации. В настоящее время существуют отечественные специализированные центры: <http://smis.iki.rssi.ru/archive/> — ИКИ РАН; <http://ire.rssi.ru/cpssi> — ЦОХКИ ИРЭ РАН, г. Фрязино; http://sputnik.infospace.ru/catalog_rus.html — НИЦ «Планета»; <http://ckm.iszf.irk.ru/satdata> — региональный центр ИСЗФ РАН г. Иркутск и др., информация в которых имеет, как правило, тематическую направленность.

Неотъемлемым элементом центров обработки и хранения космической информации является информационная система, включающая современные компьютерные и программные средства для надежного длительного

хранения данных, а также соответствующие графические интерфейсы, позволяющие осуществить запрос и получение необходимой информации [2, 4].

Одним из центров обработки и хранения космической информации является центр приема, обработки, хранения и распределения данных в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) Центра космических наблюдений Роскосмоса. Создаваемая в НЦ ОМЗ информационная система направлена на обеспечение решения ряда общесистемных задач, относящихся к компетенции Федерального центра ДЗЗ, и, в частности, ведение Государственного фонда (архива) данных ДЗЗ и предоставление потребителям возможности поиска и получения необходимой информации [5].

В настоящем сообщении основное внимание уделено описанию работы информационной системы НЦ ОМЗ по обработке, каталогизации и архивации в оперативном режиме данных прибора MODIS, установленного на американском космическом аппарате TERRA. Космический аппарат TERRA — это полярно-орбитальный спутник с периодом обращения около 100 мин, который был запущен 18 декабря 1999 г. Прибор MODIS — сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения, имеющий 36 спектральных каналов в диапазоне длин волн от 0,4 до 14,4 мкм (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

Краткое описание информационной системы НЦ ОМЗ

Информационная система НЦ ОМЗ включает в себя следующие функциональные подсистемы:

- прием спутниковых данных, их архивирование в оперативном архиве;
- обработку данных до уровня 1Б¹ (восстановленные данные приборов с радиометрической коррекцией и географической привязкой, полным разрешением, наличием меток времени и аннотацией, вспомогательной информацией);
- каталогизацию информации в разработанной для этих целей Базе данных (БД);
- создание долговременного архива на магнитных лентах типа DLT;
- создание системы обмена данными через Интернет.

Инфраструктура ИС состоит из совокупности каталогов архивов космической информации и программно-аппаратных средств обмена каталожной и сопутствующей информацией. Инфраструктура ИС позволяет

¹ Для определения уровня представления данных использована система обозначений, предложенная в рамках программы создания Информационной системы данных по наблюдениям Земли (EOSDIS) и поддержанная рекомендациями Комитета по спутникам для наблюдения Земли (CEOS) (<http://wgiss.ceos.org/ceos.htm>).

в рамках единой системы проводить общий и детальный поиск данных, а также оформлять заказы на их получение.

В настоящее время в НЦ ОМЗ имеются архив и электронный каталог данных, полученных и получаемых с отечественных и зарубежных космических систем ДЗЗ. Имеется возможность удаленного доступа к каталогу по каналам связи и через Интернет. Завершается создание комплекса программно-аппаратных средств инфраструктуры по поддержке архива долговременного хранения данных и электронного каталога.

Информация с космического аппарата «TERRA» принимается в НЦ ОМЗ в режиме непосредственной передачи и архивируется в оперативном архиве. Экспериментальные данные представляют собой файлы в формате *.pds (product data set). Для обработки этих данных используется программный пакет IMAPP (International MODIS/AIRS Processing Package), разработанный в Висконсинском университете при поддержке NASA и представляющий собой вариант программного обеспечения, применяемого для обработки данных прибора MODIS. Он осуществляет преобразование данных из файлов формата уровня 0 (исходные данные) в стандартизованные в рамках программы EOS (Earth Observation System) продукты уровней 1A и 1B. Это преобразование включает в себя операции по переформатированию данных, их географической привязке и калибровке.

Программные компоненты информационной системы НЦ ОМЗ

Для управления Базой данных информационной системы НЦ ОМЗ используется СУБД Oracle.

В разработанной БД выделены два раздела. Первый раздел используется для хранения описаний наборов данных (коллекций) космических наблюдений, второй раздел - для хранения детальных описаний отдельных единиц хранения данных (гранул).

Для обработки, каталогизации и архивации данных в оперативном и автоматизированном режиме было разработано специальное программное обеспечение (ПО), включающее в себя:

1. ПО обмена данными:
 - ftpx — пакетная перекачка данных с сервера оперативного архива в буфера системы обработки данных и их подготовки к архивированию;
 - ftpput — пакетная перекачка данных из системы обработки данных на сервер оперативного архива.
2. ПО регистрации спутниковых данных, поступающих в систему обработки.
3. ПО каталогизации спутниковых данных, поступающих в долговременный архив.
4. ПО подготовки архивных копий наборов данных и переноса их на магнитные носители (типа DLT).

Программное обеспечение 2–4, а также программное обеспечение IMAPP объединены одной управляющей программой MODIS_OMZ.pl.

Программные средства, обеспечивающие функционирование системы запроса данных (СЗД), установлены на Web сервере НЦ ОМЗ (http://sun.ntsomz.ru/data_new) и являются неотъемлемой составной частью информационной системы НЦ ОМЗ (<http://www.ntsomz.ru>).

Система запроса данных в информационной системе НЦ ОМЗ

Приоритетным требованием пользователей к информационным системам является снижение временных затрат на поиск и получение целевой информации (данных). Необходимым условием выполнения этого требования применительно к системе космических данных является организация поиска данных одновременно по всем коллекциям данных, включенным в систему. Для этого в системе запроса данных созданы специальные пользовательские интерфейсы (шлюзы доступа) к описаниям хранимых в архивах системы данных. Преимуществом этих интерфейсов является то, что они позволяют организовать процесс поиска, ознакомления с описаниями и графическими примитивами данных, а также оформление заказа на передачу данных в рамках единого графического интерфейса. Существенным преимуществом СЗД в целом является то, что пользователь через системный интерфейс получает актуальную информацию о хранимых в архиве данных. В обеспечение этого пользовательские интерфейсы СЗД организуют доступ непосредственно к каталогам архива космических данных, содержание которых синхронизовано с составом описываемых архивов. Кроме того, система поиска информации в СЗД организована таким образом, что еще на этапе формирования запроса исключена возможность создания противоречивого запроса.

Для детального поиска необходимо задать следующие атрибуты:

- **Географический район** — координаты границ участка, описываемые прямоугольником с заданными западной и восточной долготами ($\pm 180^\circ$) и северной и южной широтами ($\pm 90^\circ$), в котором проводились измерения.

- **Интервал времени** — начальные и конечные дата и время, определяющие интервал проведения измерений.

- **Проект** — имя проекта (научной программы или миссии), в рамках которой проведены измерения, результаты которых размещены в грануле (значения атрибута выбираются пользователем с помощью pop-up меню из предлагаемого системой ограниченного списка).

- **Прибор** — имя прибора (научного инструмента), данные измерений которого помещены в гранулу (значения атрибута выбираются пользователем с помощью pop-up меню из предлагаемого системой ограниченного списка).

В результате поиска пользователь, в первую очередь, получает список наборов данных (коллекций), гранулы которых удовлетворяют заданным критериям поиска.

Каждая из гранул полученного при детальном поиске списка снабжена, так называемым, просмотрным изображением (browse images (NASA), или

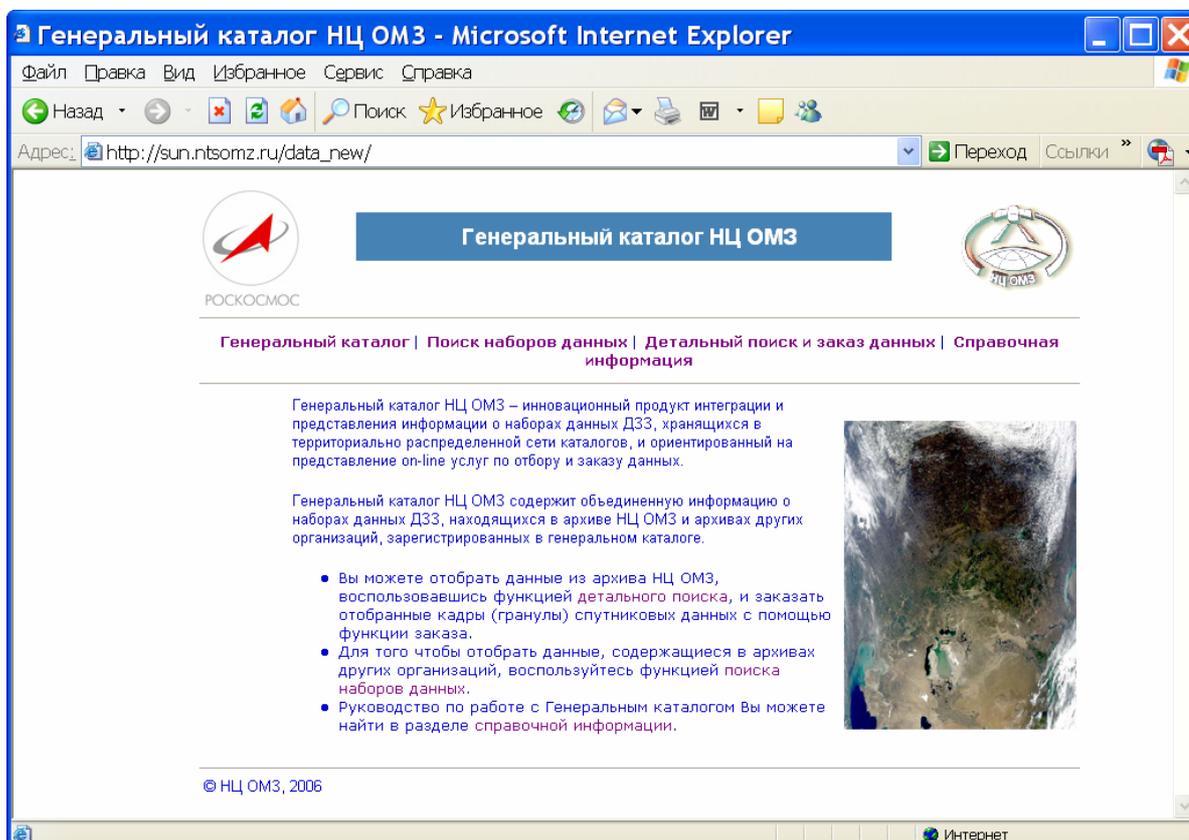
quicklook (ESA)). Оно предназначено, прежде всего, для визуальной оценки качества архивной информации как по условиям наблюдений (например, освещенности и наличию облачности), так и по наличию дефектов и искажений, возникающих при приеме и обработке данных. Интерфейс пользователя СЗД обеспечивает возможность просмотра этих изображений и дополнительной селекции списка гранул по результатам визуальной оценки их качества.

Наряду с поиском и предварительной визуальной оценкой качества данных, интерфейсы СЗД позволяют оформить заказ на выбранные данные, размещенные в архиве информационной системы, непосредственно после завершения поиска в рамках одной и той же сессии работы с интерфейсом СЗД.

Оформление заказа включает в себя две процедуры:

- 1) выбор формы передачи данных,
- 2) регистрацию контактной информации о заказчике.

При выборе формы передачи данных пользователь должен иметь возможность выбрать тип носителя, на котором передаются данные, а также указать предпочтительный формат, используемый при записи данных на выбранные носители. Оформленный заказ пересылается в архив данных. Одновременно пользователю по электронной почте пересылается запрос на подтверждение заказа. Как правило, заказ начинает исполняться архивом только после получения подтверждения непосредственно от заказчика данных.



Система поиска и запроса данных разработана с использованием свободно распространяемых программ и библиотек для операционной среды Solaris. Основу системы поиска и запроса данных составляет web-сервер Apache с модулем PHP. Модуль PHP позволяет гибко формировать формы запросов, формы представления результатов и содержит встроенные средства доступа к базе данных Oracle. Кроме того, он позволяет использовать графическую библиотеку для динамической генерации изображений, нанесения на них заданных контуров (многоугольник, эллипс и др.) и текстовой информации. Указанные программы и библиотеки существуют и для других платформ, таких как Windows и Linux. При необходимости разработанные программы могут быть перенесены на другие платформы с минимальными затратами, связанными, в основном, с конфигурированием соответствующих программ.

Общий вид страницы доступа к интерфейсу представлен на рисунке.

2.2.3. ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО РАН

Марс Глобал Сервейор и Марс Одиссей: Проекты США

2.1. *Продолжен анализ данных нейтронной съемки российским прибором ХЭНД с борта космического аппарата «Марс Одиссей» и данных теплового картирования Марса термо-эмиссионным спектрометром ТЕС с борта космического аппарата «Марс-Глобал-Сервейор».* Проведено изучение сезонных изменений параметра тепловой инерции марсианского грунта статистическим методом и методом картирования этого параметра для разных сезонов. Параллельно мы выясняли тенденции долговременных вариаций содержания воды в верхнем слое марсианского реголита и картировали нормализованные значения потоков нейтронов высоких уровней энергии (зондирование на глубину 20–30 см), полученные за два полных марсианских года (четыре земных года). Разработан метод определения и картирования величины зимнего увеличения льда воды в поверхностном слое Марса на средних и высоких широтах планеты по данным сезонных вариаций параметра тепловой инерции. Показано, что пространственные вариации параметра тепловой инерции вызваны в основном вариациями коэффициента теплопроводности, а они определяются изменениями доли льда воды в поверхностном слое грунта эквивалентном суточному термическому скин-слою (3–10 см). Были закартированы величины зимнего прироста льда в грунте для трех секторов планеты (70° по долготе) в пределах широтного пояса $\pm 50^\circ$, где нет зимних покровов снега CO₂. Установлено, что прирост льда в поверхностном грунте планеты на широтах 40–50° обоих полушарий составляет 4–10 % по объему, а на более низких широтах — менее 2 % (рис. 5). Результаты работы представлены на 7-й Международной конференции по исследованию Марса в июле 2007 г. в г. Пасадина, Калифорния, США, на 46-м Международном микросимпозиуме по планетологии в октябре 2007 г. в ГЕОХИ РАН, г. Москва и на Международной конференции «Европейская марсианская наука и исследование: „Марс-Экспресс“ и „Экзомарс“ в ноябре 2007 г. в г. Нордвик, Нидерланды.

Работа выполнена совместно с ИКИ РАН и Университетом штата Аризона, США.

Марс Экспресс: Проект ЕКА

2.2. *Завершен фотогеологический и топографический анализ района Долины Реулл на Марсе с помощью изображений, полученных камерой высокого разрешения HRSC на борту КА «Марс Экспресс» и лазерного высотомера MOLA борту КА «Марс Глобал Сервейор».* Результаты изучения этого региона показывают, что флювиальная система Реулл состоит из

четырёх частей с разной геологической историей. Нижний Реулл (в совокупности с долиной Тевиот) — наиболее древняя флювиальная система, сформировавшаяся из неизвестного пока источника и служившая приемником водных потоков, которые образовали другие, гипсометрически более высокие части Реулла. Верхний Реулл зародился в пределах лавового плато Гесперия из источника, погребенного под покровами лав. Водные потоки, образовавшие верхний Реулл, скапливались в южной части Гесперийского плато и образовали там огромное озеро (бассейн Морфея, третья часть флювиальной системы), прорывы которого привели к формированию среднего Реулла (рис. 6). Результаты работы опубликованы в журнале *Journal Geophysical Research*.

Работа выполнена совместно с сотрудниками Университета г. Оулу, Финляндия.

2.3 Выполнен фотогеологический анализ регионов крупнейших вулканов Марса Патера Альба и Гора Олимп с целью расшифровки их геологической истории и выявления связи вулканической и водной активности в этих регионах.

Проведен фотогеологический анализ строения поверхности одного из крупнейших вулканов Марса, патеры Альба ($D = 1100$ км). Установлено, что вулкан имеет длительную историю развития, связанную, в основном, с излияниями жидких, по-видимому, базальтовых лав. Северный склон патеры изрезан узкими руслами, свидетельствующими о водной эрозии в позднегесперийское — раннеамазонийское время. В предлагаемой нами модели эволюции этого вулкана формирование русел связывается с осаждением льда из атмосферы, формированием ледника на северном склоне вулкана и таянием его подошвы, вызванным, вероятно, повышенным потоком тепла в этой вулканической области. Анализ данных нейтронного спектрометра ХЭНД показывает, что в приповерхностном слое в районе патеры Альба отсутствуют скопления водородсодержащих фаз (вода, лед, водосодержащие минералы). Это означает, что эти фазы, если и присутствуют, то погребены глубже, чем глубина опробования нейтронным спектрометром (первые метры).

Проведен фотогеологический анализ строения восточного фланга еще одного крупного вулкана Марса, Горы Олимп ($D = 600$ км). У подножия склона вулкана выявлен комплекс флювиальных русел типа долин катастрофического прорыва подземных вод на поверхность (рис. 7). Русла нарушены деформациями сжатия и пересечены цепочками мелких вулканических куполов. По количеству ударных кратеров на единице площади поверхности днищ этих русел удалось оценить их возраст. Он казался очень молодым: 30–40 млн лет. Таким образом, на восточном фланге вулкана выявлен комплекс очень молодых процессов с участием жидкой воды, вулканических извержений и тектонических деформаций, что предполагает гидротермальную активность на глубине. Последнее

представляет особый интерес для поиска районов, в которых на глубине могут быть условия для существования примитивных форм жизни.

Работа выполнена совместно со Свободным университетом г. Берлин, Германия, Университетом г. Оулу, Финляндия и Университетом Брауна, г. Провиденнс, США.

2.2.4. НИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

2.2.4.1. Проект «ГЛОНАСС»

В 2007 г. было осуществлено 2 успешных запуска ИСЗ серии ГЛОНАСС с 6 комплектами Аппаратурой Контроля Внешней Среды, разработанной и созданной в НИИЯФ МГУ. Была получена ценная экспериментальная космофизическая информация.

Результаты измерений аппаратурой НИИЯФ на спутнике (ИСЗ) ГЛОНАСС, запущенном на круговую орбиту на высоте 20 000 км с наклоном $\sim 65^\circ$ и геостационарном ИСЗ «Экспресс-А3» позволили получить уникальную информацию по динамике радиационного пояса и границ проникновения солнечных протонов во время сильной магнитной бури 14 декабря 2006 г.

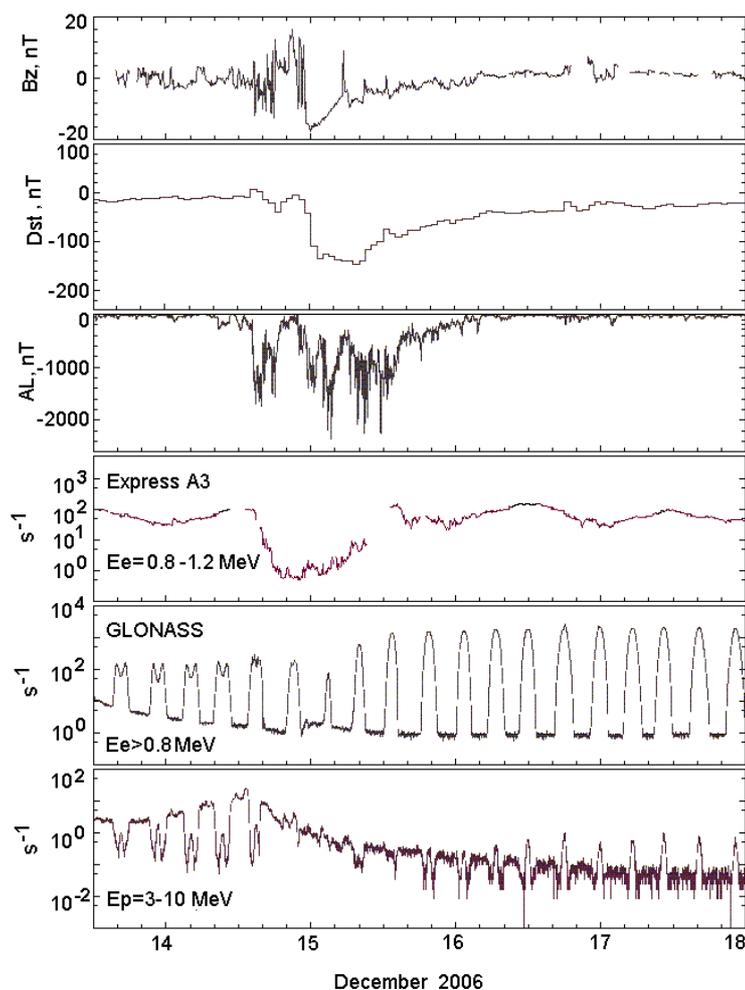


Рис. 8. Временной ход потоков электронов с $E_e = 0,8-1,2$ МэВ («Экспресс-А3»), электронов с $E_e > 0,8$ МэВ и протонов с $E_p = 3-10$ МэВ (ГЛОНАСС) в период 13–17 декабря 2006 г. Верхняя часть рисунка: B_z -компонента межпланетного магнитного поля (ММП), Dst -вариация, AL -индекс

Серия мощных солнечных вспышек в декабре 2006 г. вызвала сильные возмущения в межпланетной среде и в геомагнитном поле. 14 декабря развилась сильная магнитная буря ($Dst = -146$ нТл).

Потоки электронов (см. рис. 8) на периферии радиационного пояса ($E_e = 0,8-1,2$ МэВ, измеренные на ИСЗ «Экспресс-А3») упали во время главной фазы бури на ~ 2 порядка от предбуревой величины. После бури на этой орбите они лишь восстановились до предбуревых уровня. Напротив, на ИСЗ ГЛОНАСС, орбита которого достигает оболочки $L \sim 4$, потоки электронов с $E_e > 0,8$ МэВ возросли после бури на порядок величины от предбуревых уровня. Перед бурей максимум (L_{max}) пояса электронов с $E_e > 0,8$ МэВ находился на $L = 4,6$. В результате бури максимум пояса сместился в область $L < 4$ ($L = 4$ — минимальное значение L , достигаемое орбитой ГЛОНАСС).

Потоки протонов (см. рис. 9) радиационного пояса с $E_p = 3-10$ МэВ уменьшились во время главной фазы бури и затем почти достигли предбуревых уровня к концу фазы восстановления.

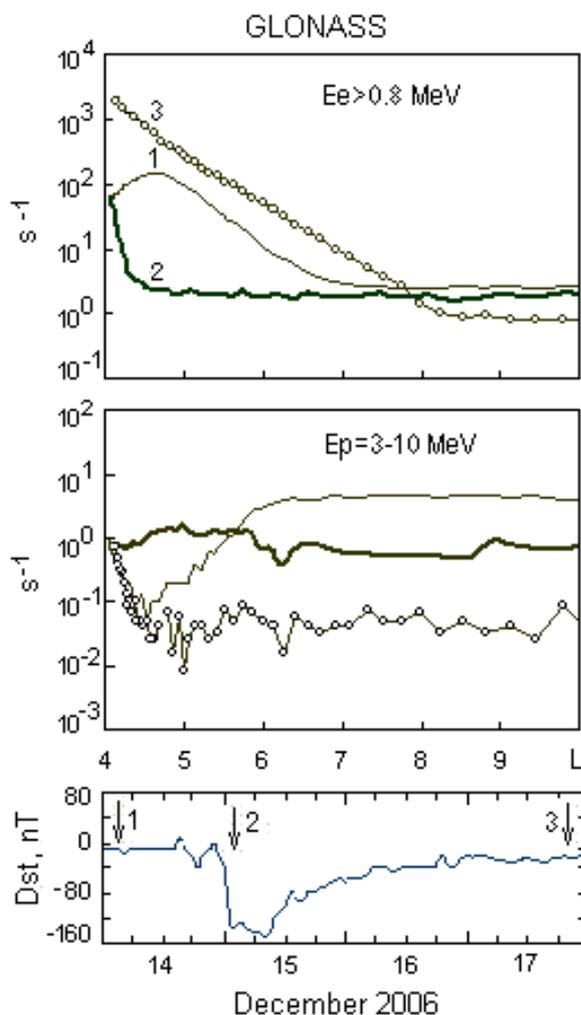


Рис. 9. Пространственное распределение потоков электронов с $E_e > 0,8$ МэВ и протонов с $E_p = 3-10$ МэВ перед бурей (кривая 1), во время главной фазы бури (кривая 2) и после бури (кривая 3)

Во время главной фазы бури солнечные протоны с $E_p = 3\text{--}10$ МэВ, граница проникновения которых в ночной магнитосфере перед бурей находилась на $L \sim 6,2$, заполнили всю орбиту ГЛОНАСС, вплоть до минимального $L \sim 4$. Впервые исследованы вариации вблизи экваториальной плоскости границ проникновения солнечных протонов в магнитосферу во время специфической суббури, развившейся в момент внезапного начала бури.

2.2.5. МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИНСТИТУТ КОСМОФИЗИКИ

2.2.5.1. Международный российско-итальянский проект «РИМ-ПАМЕЛА» с участием шведских и немецких ученых — исследование потоков античастиц в галактических космических лучах

15 июня 2006 г. с космодрома Байконур был осуществлен запуск космического аппарата «Ресурс ДК1» № 1, предназначенного для проведения фотографирования поверхности Земли с высоким пространственным разрешением (рис. 1). Спутник выведен на эллиптическую орбиту с высотой перигея 350 км и апогея 600 км соответственно. Наклонение плоскости орбиты составляет $70,4^\circ$. Планируемое время полета три года. На этом же космическом аппарате установлен в качестве дополнительной научной нагрузки прецизионный магнитный спектрометр «ПАМЕЛА», предназначенный для регистрации потоков галактических космических античастиц (антипротонов, позитронов, антиядер), электронов и изотопов легких ядер в широком энергетическом интервале от 100 МэВ/нуклон до 200...300 ГэВ/нуклон (в случае полного спектра всех частиц до 1000 ГэВ/нуклон).

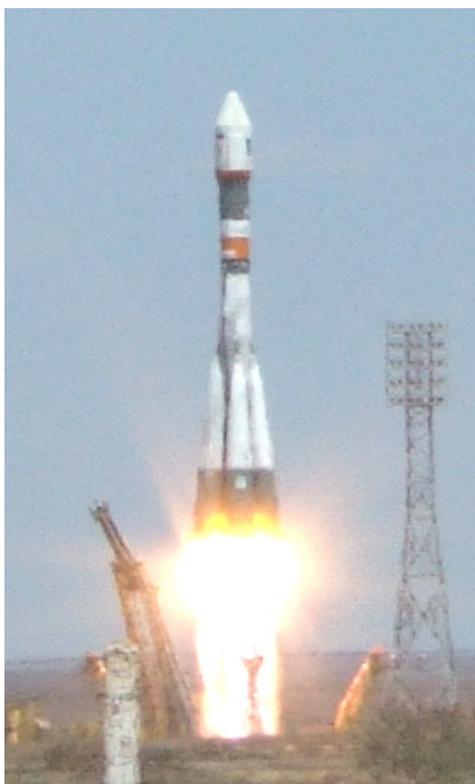


Рис. 1. Запуск космического аппарата «Ресурс ДК1» № 1

Поскольку оптическая система ИСЗ основную часть времени направлена в подспутниковую точку (в надир), а ось магнитного спектрометра, размещенного в герметическом контейнере, направлена в

местный зенит (рис. 2), появляется возможность осуществлять практически непрерывную регистрацию потоков первичных космических лучей. Особенно важен тот факт, что измерения проводятся за пределами атмосферы, в которой, как известно, возникают вторичные частицы, имитирующие потоки первичного галактического излучения.



Рис. 2. Схема размещения НА «ПАМЕЛА» на КА «Ресурс ДК1» №1



Рис. 3. Коллаборация «РИМ-ПАМЕЛА»

Информация об интенсивностях и энергетических спектрах регистрируемых частиц необходима для решения многих проблем, таких как:

- причина наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной
- природа темной материи, физические условия генерации и распространения космических лучей в Галактике
- особенности солнечной модуляции первичного космического излучения разного знака заряда
- генерация изотопов легких ядер в солнечных вспышках
- проблемы физики околоземного пространства и, прежде всего, влияния солнечной активности на радиационный пояс Земли.

Для реализации программы измерений итальянскими, российскими, шведскими и немецкими учеными (рис. 3) был разработан и создан магнитный спектрометр ПАМЕЛА.

Физическая схема прибора включает (рис. 4): магнитную схему, позволяющую измерять знак заряда и импульс частицы; систему времени пролета, позволяющую определять скорость и направление прилета частицы; калориметр, позволяющий измерять выделенную частицей энергию (измерять энергию частицы); ливневой детектор, позволяющий измерять энергию частиц, покидающих калориметр; нейтронный детектор, позволяющий выделять электроны и позитроны; систему антисовпадений, позволяющую исключать частицы, пришедшие вне апертуры спектрометра; электронную систему управления телескопом и собственную память на 4 Гб.

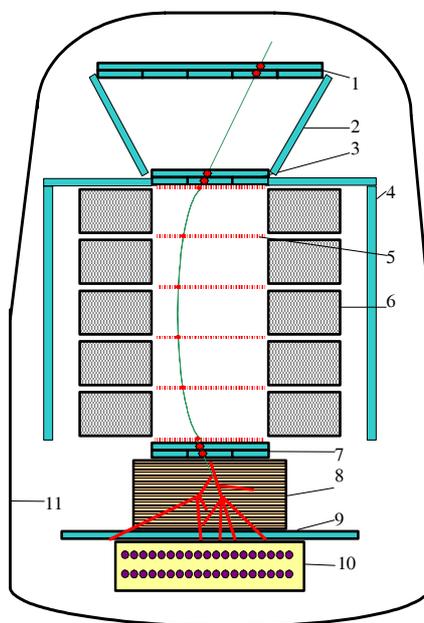


Рис. 4. Магнитный спектрометр «ПАМЕЛА»: 1, 3, 7 — сцинтилляционная времяпролетная система; 2, 4 — сцинтилляционная охранная система; 5 — полупроводниковая стриповая координатная система (6 двойных слоев); 6 — магнитная система (5 секций); 8 — полупроводниковый стриповый позиционно-чувствительный калориметр; 9 — сцинтилляционный ливневой детектор; 10 — нейтронный детектор; 11 — гермоконтейнер

Конструктивно магнитная система состоит из шести двойных кремниевых стриповых детекторов (трекер), помещенных в поле пятисекционного постоянного магнита.

Используемая стриповая система позволяет измерять смещение частицы при прохождении в магнитном поле до нескольких микрон ($\sim 3,5$ мкм). Величина постоянного магнитного поля в центре магнитной системы, где расположены детекторы, составляет $\sim 0,48$ Тл; внутренние размеры магнитного поля составляют $160 \times 140 \times 450$ мм. При таких параметрах магнитной системы можно измерять импульс частицы до 700 МэВ/с. Точность измерения импульса в диапазоне $0,1 \dots 300$ ГэВ составляет около 5% .

Времяпролетная система состоит из трех двухслойных сцинтилляционных счетчиков (С1, С2, С3), каждый из которых состоит из отдельных полос, просматриваемых с концов фотоумножителями. Времяпролетная система имеет временное разрешение $0,4 \cdot 10^{-9}$ с, что обеспечивает надежное измерение скорости и направления движения частицы.

Калориметр состоит из 22 вольфрамовых пластин, толщиной $0,74$ радиационной длины, каждая из которых помещена между двумя кремниевыми направленными перпендикулярно друг другу стриповыми детекторами с шириной стрипа $2,2$ мм. Подобный позиционно-чувствительный калориметр позволяет регистрировать пространственное развитие ливня, возникающего при взаимодействии проходящих частиц с веществом калориметра, измерять энергию частиц в ливне, отличать ливни, вызываемые электронами и позитронами от ливней, создаваемых протонами и ядрами.

Ливневой сцинтилляционный детектор (С4) расположен непосредственно под калориметром. Размеры С4 перекрывают размеры нижней плоскости калориметра. Поэтому имеется возможность регистрировать частицы, выходящие из нижней части калориметра, и измерять уносимую ими часть энергии. Кроме того, С4 может быть включен в состав триггера, что позволяет регистрировать события с большим выделением энергии в калориметре.

Нейтронный детектор состоит из двух слоев газовых нейтронных счетчиков, заполненных изотопами ${}^3_2\text{He}$ и трех слоев полиэтиленового замедлителя. Взаимодействие электронов и позитронов в калориметре отличаются как формой ливня, так и большим числом нейтронов, возникающих в адронном ливне. Затем нейтроны замедляются в полиэтилене до тепловой энергии и регистрируются гелиевыми счетчиками. Это еще один способ выделения потоков электронов и позитронов на фоне протонов.

Наконец, система сцинтилляционных счетчиков, окружающих времяпролетную систему, регистрирует прохождение через детекторы боковых частиц во время появления триггерного сигнала. Эта информация будет использована в дальнейшем при анализе зарегистрированного события.

Практически все детекторы прибора позволяют измерять энергию, теряемую частицей при прохождении через детекторы. Знание энергетических потерь дает дополнительную информацию об энергии и величине электрического заряда частицы.

Электронные системы магнитного спектрометра «ПАМЕЛА» отвечают техническим и физическим требованиям, предъявляемым к научной аппаратуре, устанавливаемой на ИЗС.

Принцип работы магнитного спектрометра следующий: при прохождении космической частицы через прибор, т.е. через счетчики С1, С2 и С3, вырабатывается триггерный сигнал, по которому осуществляется считывание информации со всех детекторов спектрометра: со стрипов трекера, со стрипов калориметра, с ливневого счетчика С4, с нейтронного детектора, со счетчиков антисовпадений. Затем эта информация записывается в собственную память спектрометра. На время считывания информации и записи ее в память прибора триггерная система блокируется. Средний объем записываемой информации в отдельном регистрируемом событии составляет $\sim 5 \cdot 10^3$ байт, а мертвое время составляет от 2 до 10 мс. Используя при обработке на Земле полученную информацию с различных детекторных систем, определяются характеристики зарегистрированной частицы: знак и величина заряда, масса, скорость, импульс, энергия.

В процессе разработки и создания аппаратуры были созданы габаритно-массовый, тепловой, технологический и летный экземпляр аппаратуры. Был проведен полный цикл автономных и комплексных испытаний в составе космического аппарата, включая также автономные испытания систем прибора на пучках ускорителей. Основные физико-технические характеристики прибора приведены ниже.

Геометрический фактор	21 см ² ср
Энергетический диапазон:	
протоны, антипротоны	0,08–200 ГэВ
электроны, позитроны	0,05–300 ГэВ
ядра, антиядра	0,1–200 ГэВ/нукл
Габариты	90×90×120 см
Масса	470 кг
Энергопотребление	355 Вт

Отметим, что научная аппаратура, подобная магнитному спектрометру «ПАМЕЛА» по возможности регистрации различного типа частиц со столь высоким энергетическим разрешением в диапазоне энергий более трех декад, на космическом аппарате используется впервые (рис. 5).

За первые 6 мес, прошедших с момента запуска космического аппарата «Ресурс ДК1» определился следующий порядок проведения измерений потоков космических лучей с помощью магнитного спектрометра:

- измерения проводятся непрерывно;
- раз в три часа осуществляется передача накопленной информации из памяти спектрометра в бортовую память;

- три-четыре раза в сутки информация с КА «Ресурс ДК1» сбрасывается на наземный пункт приема информации Научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) в Отрадном (г. Москва) (рис. 6);
- в НЦ ОМЗ информация с НА «ПАМЕЛА» выделяется из общего потока и передается в Наземный Комплекс «ПАМЕЛА», расположенный в НЦ ОМЗ (рис. 7);
- в течение 30–40 мин после очередного сеанса связи с ИСЗ, в НК «ПАМЕЛА» проводится экспресс-анализ поступившей информации, по результатам которого принимается решение о продолжении измерений, или о необходимости передачи на ИСЗ команд об изменении режима работы спектрометра;
- параллельно проведению экспресс-анализа «сырая» информация передается в МИФИ (Главная организация с российской стороны), где формируется банк «сырой» информации;
- из МИФИ научная информация по мировой научной сети GRID передается в Российские институты ФИАН и ФТИ (участники проекта) и центр научной информации INFN (CNAF, г. Болонья), где обеспечен свободный доступ к этой информации для всех иностранных участников коллаборации «ПАМЕЛА»;
- каждый день работы спектрометра ПАМЕЛА приносит около 14,6 ГБ «сырой» информации. Полный объем «сырой» информации на 1 мая 2008г. составляет ~9 Тб;
- физическая обработка и анализ полученных результатов осуществляется совместно всеми членами коллаборации ПАМЕЛА.



Рис. 5. Фотография летной модели НА «ПАМЕЛА»

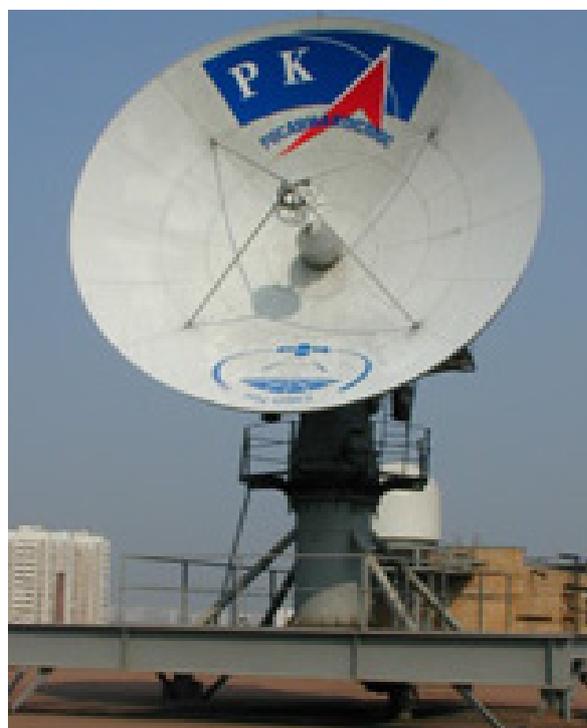


Рис. 6. Приемная антенна НЦ ОМЗ

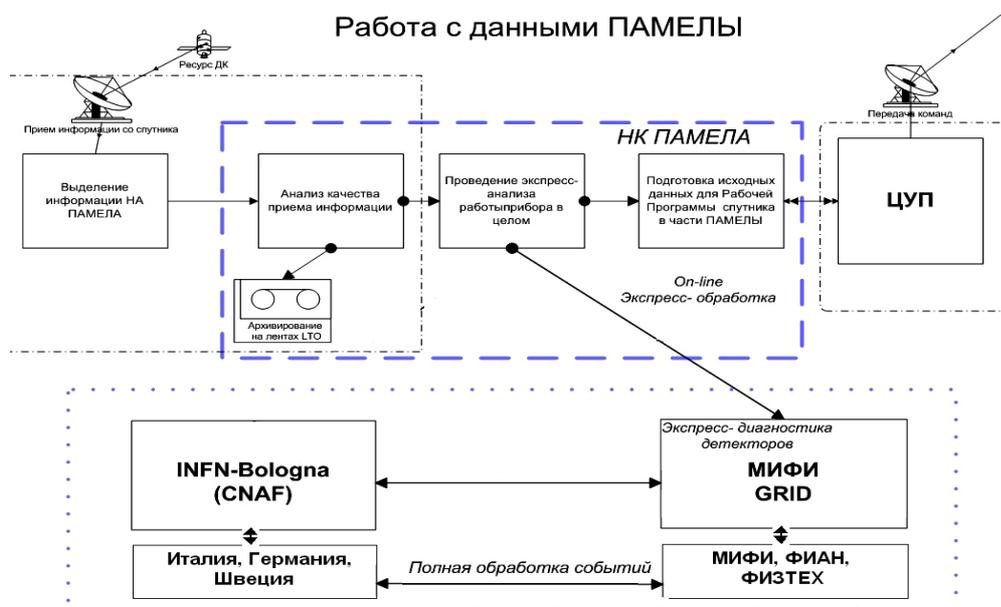


Рис. 7. Схема распространения информации между участниками коллаборации «РИМ-ПАМЕЛА»

Физические условия проведения измерений можно продемонстрировать следующими рисунками. На рис. 8 приведен темп появления триггерных сигналов (темп счета прибора). Видно, в частности, что при прохождении района Бразильской магнитной аномалии темп счета достигает максимально возможной величины ~ 100 Гц. Однако и в этом случае имеется возможность исследовать не только частицы, захваченные в радиационном поясе, но и галактические частицы.

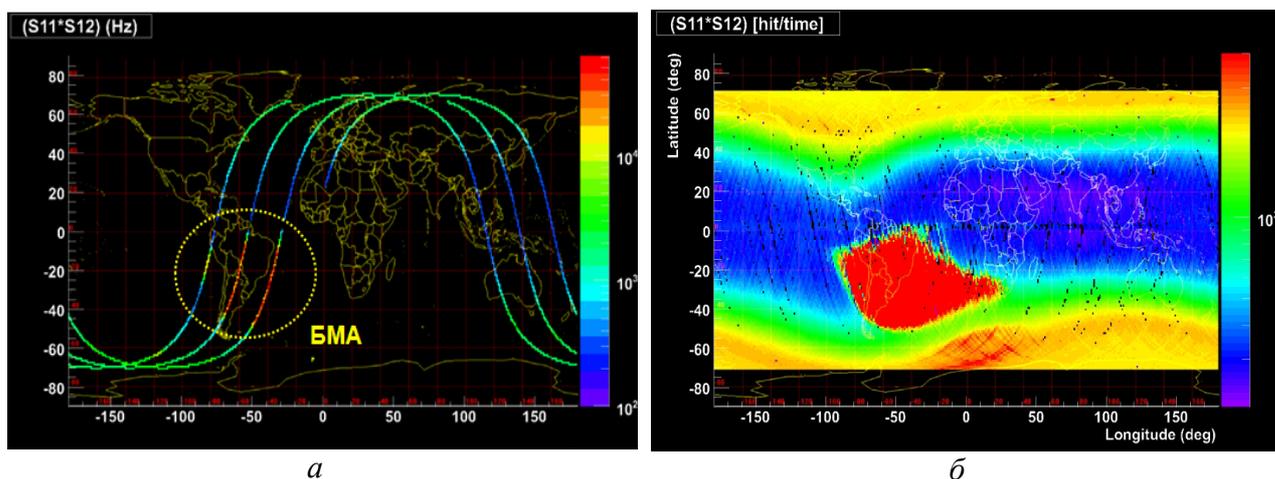


Рис. 8. *a* — темп счета прибора вдоль орбиты КА;
б — общая радиационная обстановка на высоте КА

Поскольку орбита спутника имеет большое наклонение, то появляется возможность измерения на высоких географических широтах потоков галактических космических частиц с минимальной энергией, достаточной для прохождения частицей трех счетчиков С1, С2 и С3, сигналы с которых

формируют триггер. Число зарегистрированных частиц с максимальной энергией определяется светосилой прибора и временем наблюдения. Реально информация по античастицам на сегодняшний день имеется в диапазоне 100 МэВ до 100 ГэВ и по обычным частицам - электронам, протонам и изотопам легких ядер с энергиями 100 МэВ до 350 ГэВ.

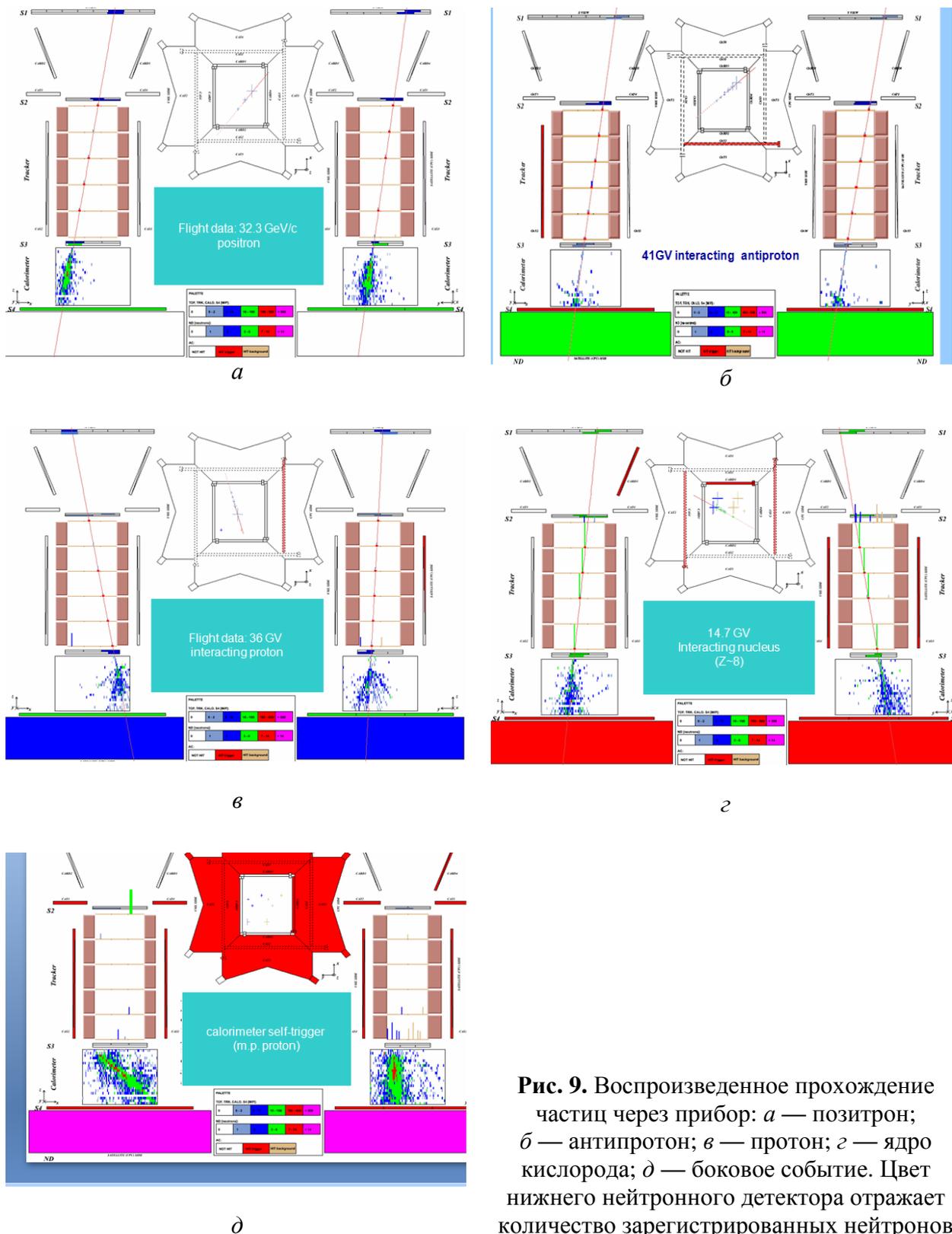


Рис. 9. Воспроизведенное прохождение частиц через прибор: *a* — позитрон; *б* — антипротон; *в* — протон; *г* — ядро кислорода; *д* — боковое событие. Цвет нижнего нейтронного детектора отражает количество зарегистрированных нейтронов

На рис. 9 представлены воспроизведенные картины прохождения различных частиц через прибор — позитрона, антипротона, протона и ядра кислорода.

Показан также пример регистрации события, возникшего вне апертуры прибора. Такие относительно редкие события, но с большим выделением энергии в калориметре, также регистрируются прибором.

Реальные возможности разделения частиц по зарядам продемонстрированы на рис. 10а, б, на которых представлены зависимость энергетических потерь частиц при прохождении трека от их жесткости. Достаточно надежно выделяются антипротоны, изотопы легких ядер.

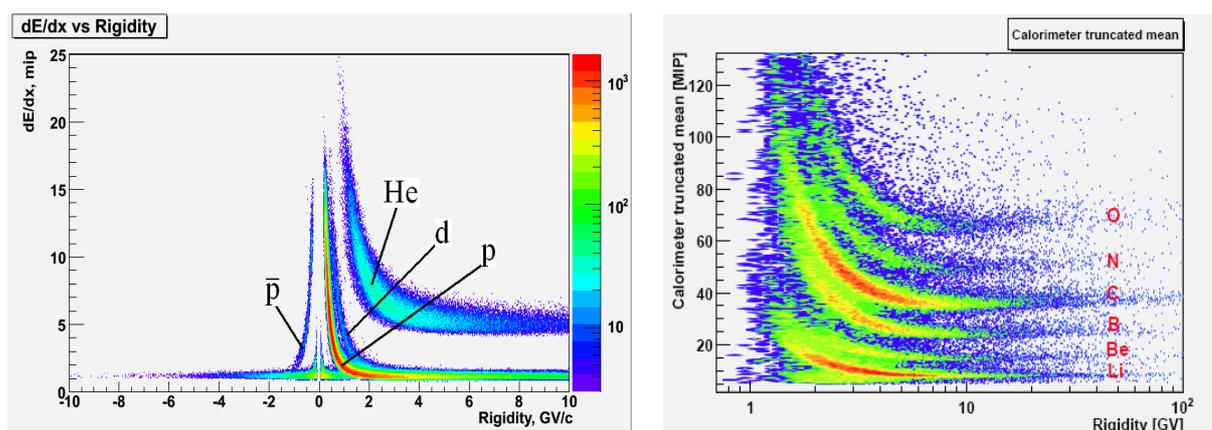


Рис. 10. Диаграммы: зависимость энергетических потерь частиц при прохождении трека от их импульса (жесткости)

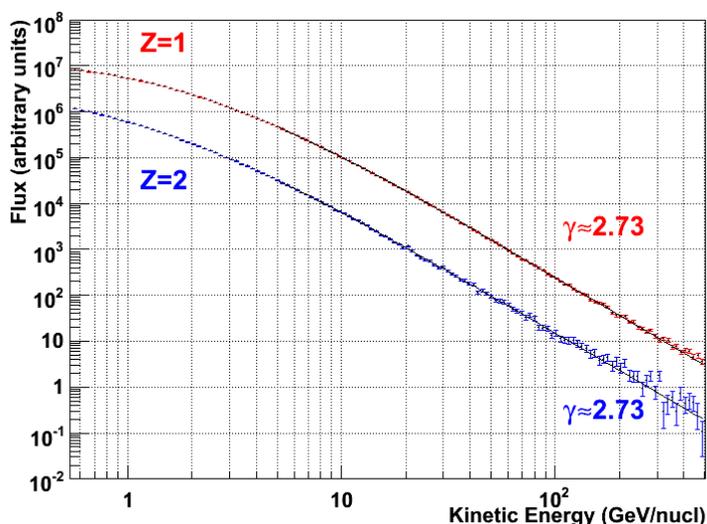


Рис. 11. Энергетические спектры частиц протона ($Z = 1$) и ядер гелия ($Z = 2$)

Ниже приводятся некоторые предварительные физические результаты измерений.

Прежде всего: измерение энергетических спектров протонов и ядер гелия. На рис. 11 представлены энергетические спектры этих частиц. Спектры построены по нескольким миллионам протонов и ядер гелия и дают

наиболее точные на сегодняшний день значения показателей энергетических спектров с точностью до статистических ошибок эти спектры подобны и $\gamma = 2,73 \pm 0,01$ для протонов и ядер гелия. Эти данные будут использованы для уточнения механизмов ускорения и распространения частиц в Галактике. В частности, эти результаты позволяют более надежно рассчитать потоки вторичных антипротонов, на фоне которых приходится регистрировать антипротоны от аннигиляции частиц темной материи.

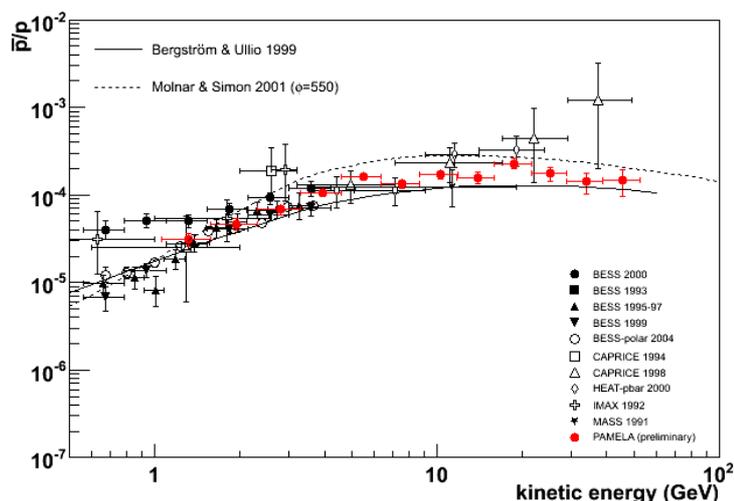


Рис. 12. Отношение потоков антипротонов к протонам в зависимости от энергии

На рис. 12 представлено отношения потоков антипротонов к протонам в зависимости от энергии частиц. Именно при изучении этого отношения при высоких энергиях может быть обнаружен вклад антипротонов от аннигиляции частиц темной материи. Экспериментальные данные, полученные в эксперименте «ПАМЕЛА», статистически наиболее обеспечены и получены при энергиях, не достижимых в других экспериментальных работах. При этом, они согласуются с расчетными значениями, соответствующими вторичной природе потоков антипротонов. И тем не менее, уже эти результаты крайне важны для построения теоретических моделей, объясняющих происхождение и свойства частиц темной материи.

Отметим, что отношение потоков позитронов и электронов высокой энергии, также является чувствительным элементом для изучения аннигиляции частиц темной материи. В настоящее время проводится детальный анализ этого отношения по экспериментальным данным магнитного спектрометра «ПАМЕЛА». В ближайшее время результаты по отношению $e^+/e^+ + e^-$ для разных энергий вплоть до 100 ГэВ будут направлены в научную печать.

В конце 2006 г. в эксперименте «ПАМЕЛА» было зарегистрировано несколько солнечных вспышек. Прецизионные измерения потоков заряженных частиц солнечного происхождения позволили получить энергетические спектры – электронов, протонов, ядер гелия (рис. 13).

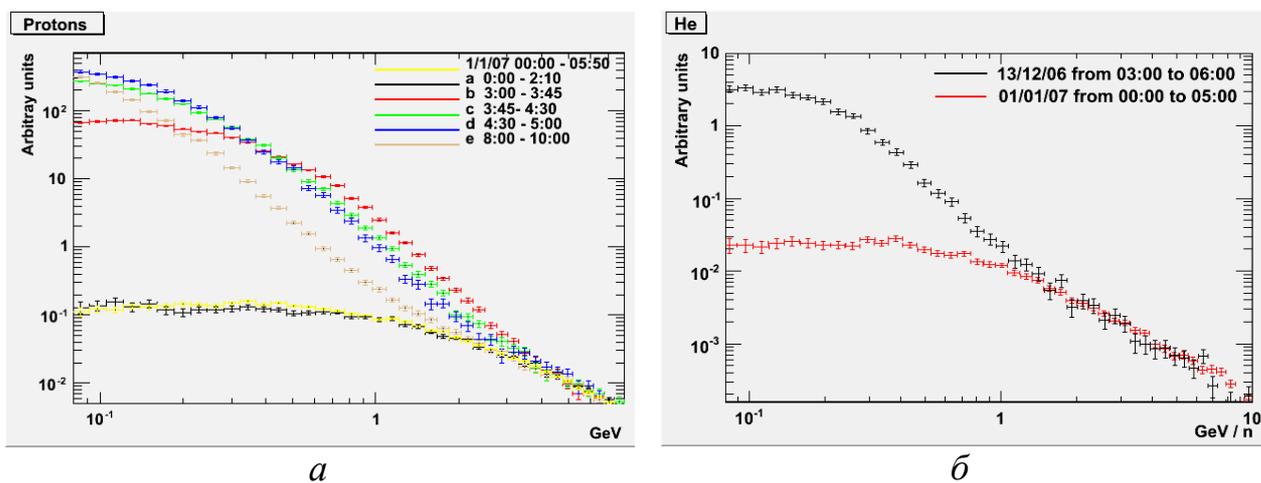


Рис. 13. Распределение потоков солнечных космических лучей по энергии:
a — протоны; *б* — гелий

Полет ИСЗ «Ресурс ДК» №1 будет продолжен по крайней мере до конца 2009 г. Соответственно будут продолжены и измерения на уникальном приборе ПАМЕЛА.

2.2.6. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ А.Ф. ИОФФЕ РАН

2.2.6.1. Исследования космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров в экспериментах КОНУС-ВИНД и КОНУС-А

Природа космических гамма-всплесков и механизм генерации гигантских потоков электромагнитного излучения в их источниках продолжают оставаться одними из самых актуальных задач фундаментальных космических исследований. В российско-американском эксперименте КОНУС-ВИНД, который успешно проводится на американском космическом аппарате «Винд» с помощью российской научной аппаратуры КОНУС с ноября 1994 г., получен целый ряд новых данных о природе космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров.

Эксперимент КОНУС-ВИНД благодаря высокой чувствительности, исключительно благоприятному месту наблюдений в межпланетном пространстве и оптимальной программе наблюдений является уникальным источником информации о временных и спектральных характеристиках гамма-всплесков в интервале энергий от 20 кэВ до 10 МэВ. Эти данные составляют неотъемлемую часть современных всеволновых исследований источников гамма-всплесков на космических аппаратах и сети наземных оптических и радиотелескопов и широко востребованы. Эксперимент КОНУС-А с детекторами с большой чувствительной поверхностью на околоземном космическом аппарате «Космос-2421» эффективно дополнял эксперимент КОНУС-ВИНД в период 2006–2008 гг.

1. Методика исследований

Российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД по исследованию космических гамма-всплесков успешно проводится на американском космическом аппарате «Винд» с ноября 1994 г. с помощью научной аппаратуры КОНУС Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН. Аппаратура находится в исключительно благоприятных условия для наблюдения гамма-всплесков. Орбита космического аппарата расположена вне магнитосферы Земли, обеспечивая тем самым стабильный радиационный фон, отсутствие помех от радиационных поясов и затенения Землей и возможность непрерывных наблюдений.

Два детектора аппаратуры, представляющие собой высокочувствительные гамма-спектрометры, постоянно осматривают всю небесную сферу обеспечивая возможность регистрировать гамма-всплески, приходящие с любых направлений. Эксперимент КОНУС-ВИНД является в настоящее время уникальным источником данных о временных и спектральных характеристиках излучения всплесков в широкой области энергий от 20 кэВ до 10 МэВ.

На российском космическом аппарате Космос-2421, функционировавшем на околоземной орбите с июня 2006 г. по февраль

2008 г. в качестве дополнительной полезной нагрузки был установлен комплекс научной аппаратуры КОНУС-А для исследований космических гамма-всплесков. В задачи эксперимента КОНУС-А входило всестороннее изучение характеристик космических гамма-всплесков в синхронных наблюдениях с российско-американским экспериментом КОНУС-ВИНД. Одновременные наблюдения гамма-всплесков спектрометрическими детекторами, находящимися в разных точках космического пространства и имеющими согласованные режимы измерений, существенно увеличивают надежность и достоверность регистрации тонких деталей во временных историях и энергетических спектрах всплесков. В состав комплекса научной аппаратуры КОНУС-А входило три спектрометрических детектора гамма-всплесков с большой чувствительной поверхностью и с рекордной по детальности и информативности регистрацией временных историй и энергетических спектров гамма-всплесков в широкой области энергий рентгеновского и гамма-излучения от 10 кэВ до 10 МэВ.

Эксперименты КОНУС-ВИНД и КОНУС-А являются важнейшим источником наиболее полных данных о временных, спектральных и энергетических характеристиках космических гамма-всплесков. Эти данные широко востребованы во всеволновых исследованиях источников всплесков, которые проводятся на многих космических аппаратах и наземных радио- и оптических телескопах благодаря оперативной и точной локализации источников гамма-всплесков миссией НАСА СВИФТ. Детекторы гамма-всплесков осуществляют также высокочувствительный обзор небесной сферы с целью поиска необычных транзиентных явлений в космическом рентгеновском и гамма-излучении.

2. Эксперименты КОНУС-ВИНД и КОНУС-А как существенная составная часть всеволновых исследований космических гамма-всплесков

Благодаря широкому энергетическому диапазону, оптимальной программе регистрации основных параметров гамма-всплесков и возможности обзора всей небесной сферы в условиях межпланетного пространства эксперимент КОНУС-ВИНД стал неотъемлемой составной частью всеволновых исследований космических гамма-всплесков, которые проводятся на широкой сети наземных и космических телескопов по данным оперативной и точной локализации источников всплесков телескопом СВИФТ-ВАТ миссии НАСА СВИФТ. Хотя детекторы аппаратуры КОНУС-А имеют чувствительную поверхность большого размера и заметно большую информативность, их возможности ограничены низкой околоземной орбитой. Тем не менее, для ряда гамма-всплесков их данные оказываются ключевыми в части характеристик гамма-излучения событий.

GRB061121. Для этого яркого гамма-всплеска были выполнены детальные исследования спектральной эволюции как «быстрой» компоненты всплеска, так и его послесвечения благодаря тому, что телескоп БАТ-СВИФТ зарегистрировал «предвестник» всплеска и к моменту основной фазы

события рентгеновский и оптический телескопы миссии СВИФТ уже были наведены на источник всплеска. Были подробно исследованы параметры излучения источника от 1 эВ до 1 МэВ. На основании совместных наблюдений аппаратуры СВИФТ и КОНУС-ВИНД была получена оценка изотропного потока энергии от источника $2,8 \cdot 10^{53}$ эрг в диапазоне энергий 1 кэВ – 10 МэВ в системе покоя источника всплеска. На рис. 1 приведены результаты синхронных наблюдений кривой яркости источника по данным приборов СВИФТ и КОНУС-ВИНД, включая данные в режиме ФОН аппаратуры КОНУС-ВИНД, которые дали независимое подтверждение регистрации предшественника гамма-всплеска. На рис. 2а, б сравниваются данные о временных профилях этого всплеска, полученные в экспериментах и КОНУС-А и КОНУС-ВИНД. По спектральным данным эксперимента КОНУС-ВИНД были определены пиковая энергия и форма энергетического спектра для различных фаз всплеска.

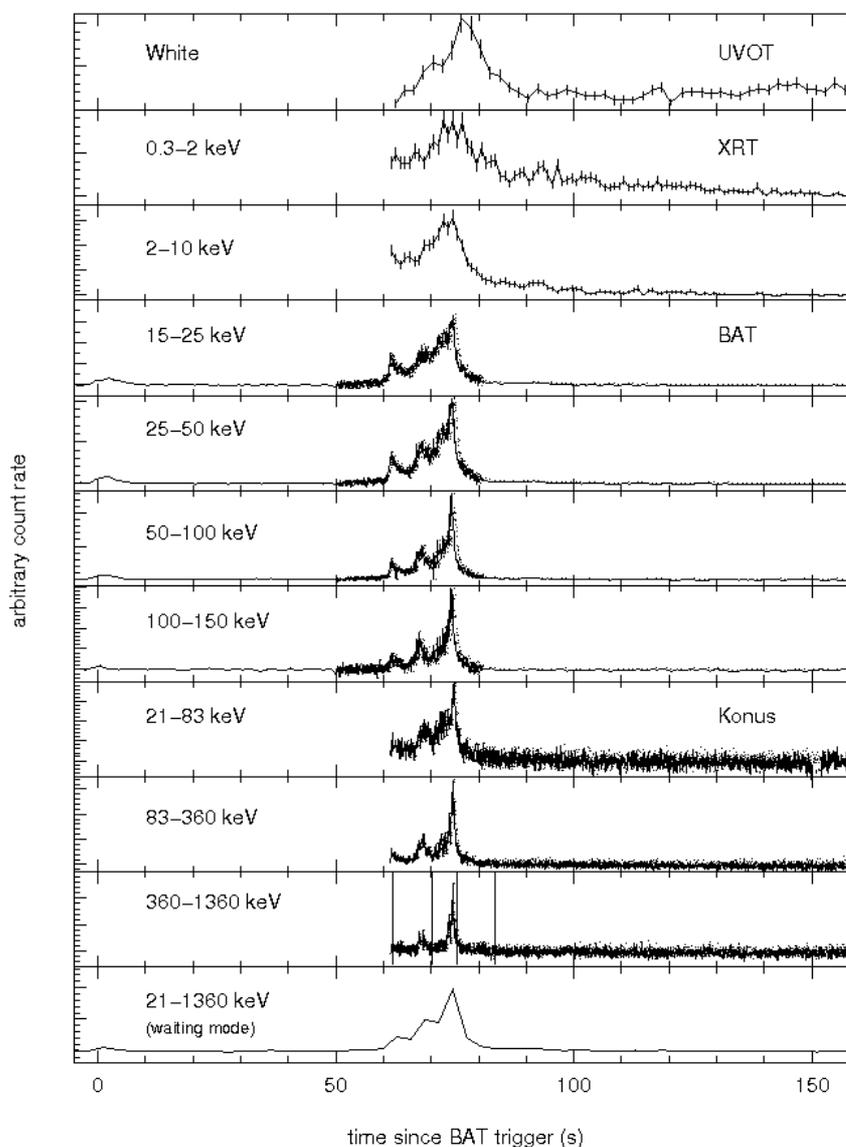


Рис. 1. Кривые яркости гамма-всплеска GRB061121 по данным синхронных наблюдений приборами UVOT, XRT и BAT миссии СВИФТ и аппаратурой КОНУС-ВИНД

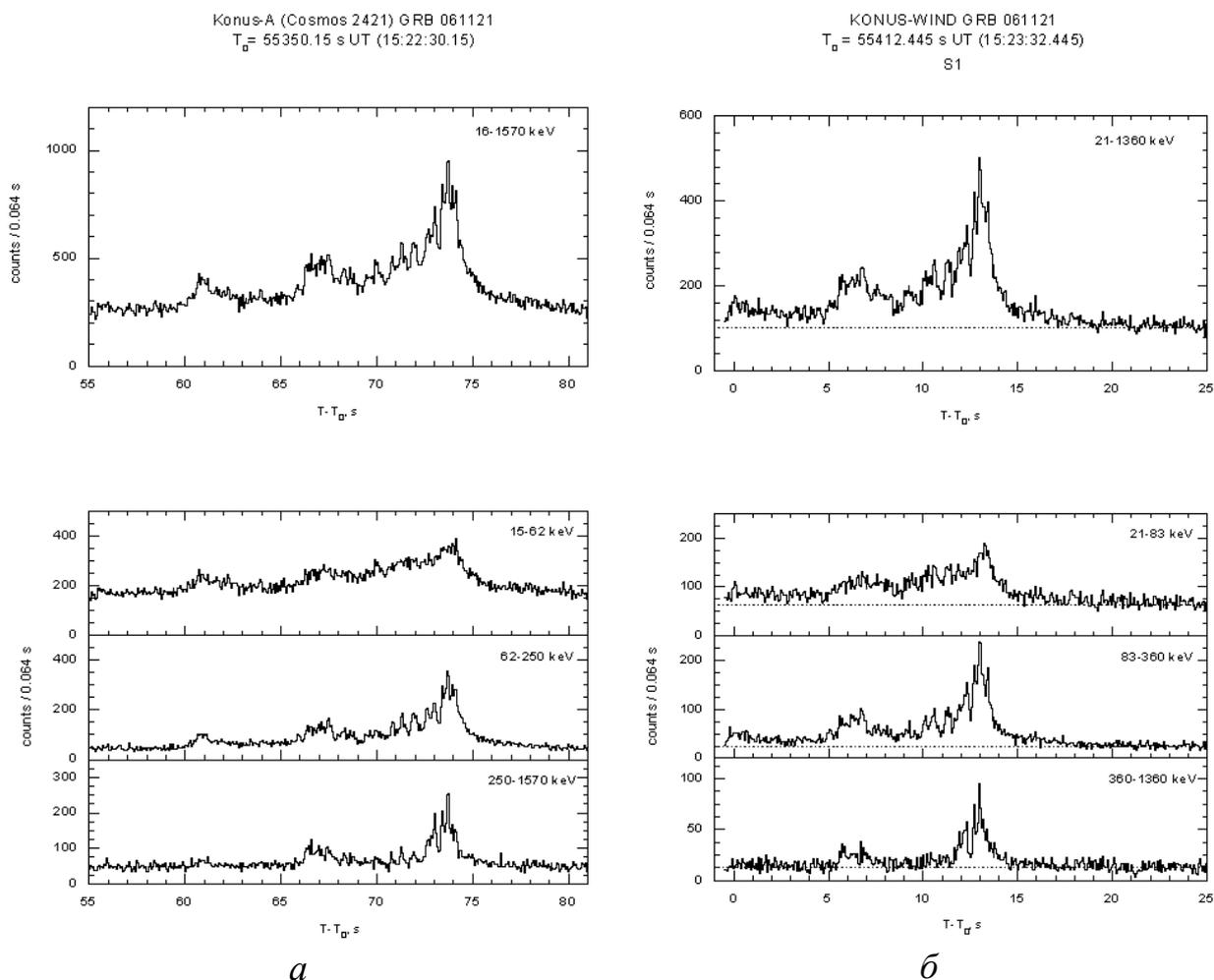


Рис. 2. *a* — кривые яркости гамма-всплеска GRB061121 по данным эксперимента КОНУС-А; *б* — КРИВЫЕ яркости гамма-всплеска GRB061121 по данным эксперимента КОНУС-ВИНД

GRB050713A. Совместные наблюдения миссии СВИФТ, аппаратуры КОНУС-ВИНД, рентгеновского телескопа ХММ-Ньютон и наземного телескопа MAGIC, регистрирующего вспышки черенковского излучения в атмосфере от гамма-лучей сверхвысоких энергий, позволили построить картину излучения этого всплеска в широкой области энергий от 0,002 кэВ до 500 ГэВ. На рис. 3 приведены временные профили события по данным КОНУС-ВИНД и БАТ-СВИФТ, а на рис. 4 результаты совместного фитирования энергетических спектров излучения этого гамма-всплеска.

GRB051127 и GRB060429. Синхронные наблюдения этих двух коротких гамма-всплесков были выполнены приборами КОНУС-ВИНД и Suzaku-WAM. Совместный спектральный анализ позволил исследовать спектральные свойства всплесков в широком энергетическом интервале и с высокой точностью. Было найдено, что оба всплеска имели высокую максимальную энергию E_p около 1 МэВ и их спектры описывались степенным законом, что является типичным для длинных всплесков. На рис. 5 и 6 приведены кривые яркости для обоих событий и результаты совместного фитирования.

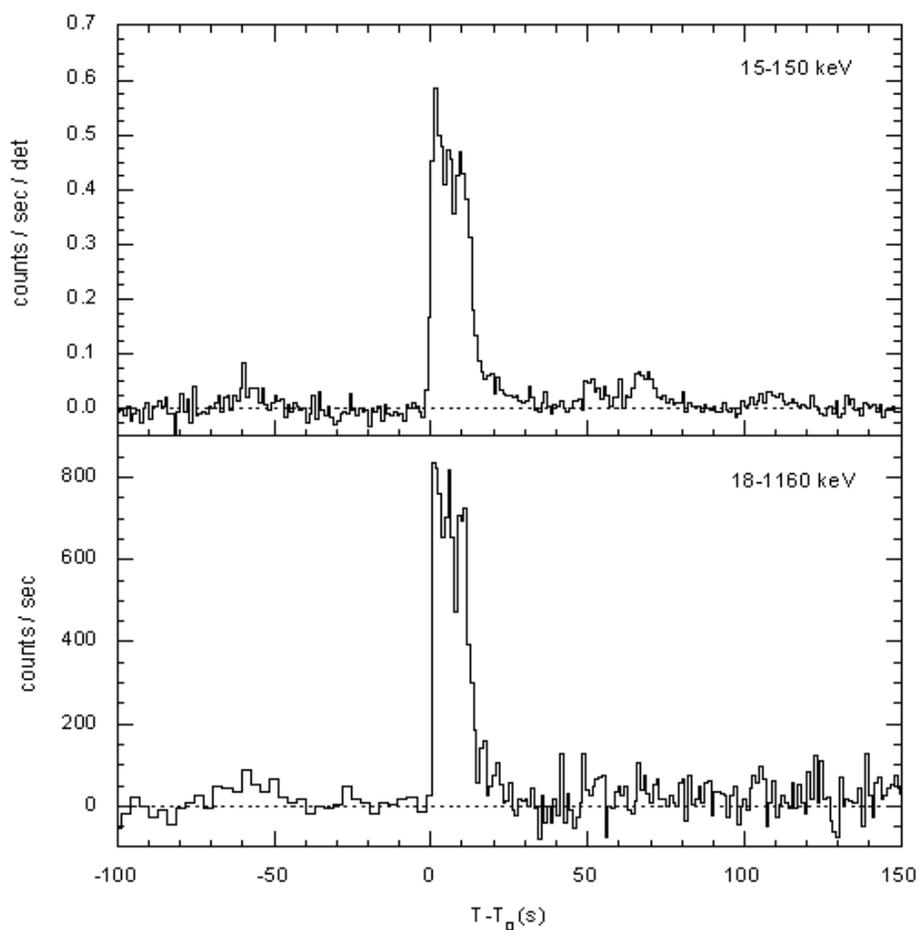


Рис. 3. Кривые яркости гамма-всплеска GRB050713A по данным телескопа ВАТ-СВИФТ (вверху) и КОНУС-ВИНД (внизу)

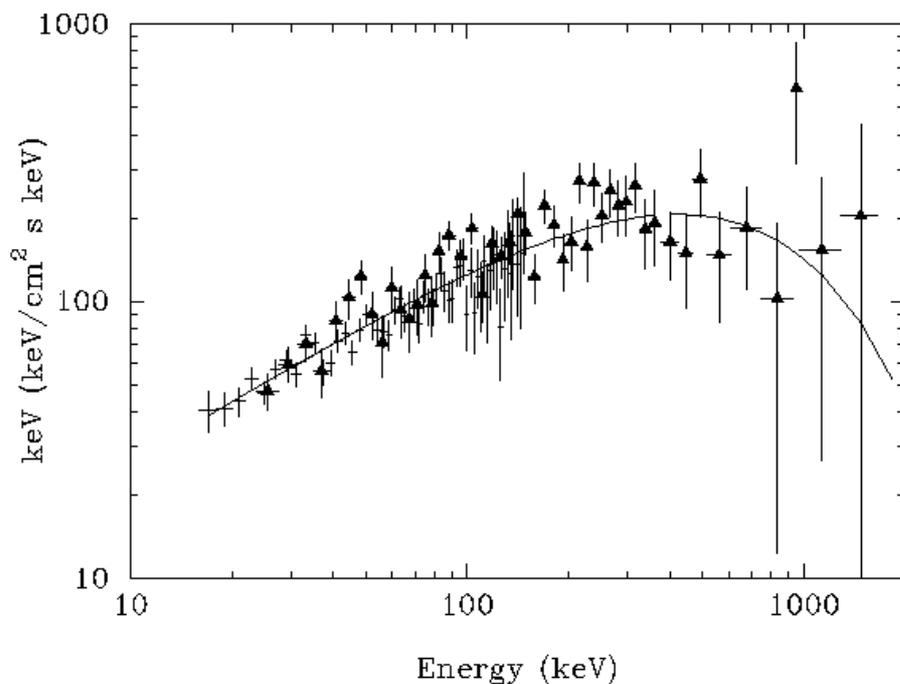


Рис. 4. Данные совместного спектрального анализа излучения GRB050713A по данным телескопа ВАТ-СВИФТ (крестики) и КОНУС-ВИНД (треугольники)

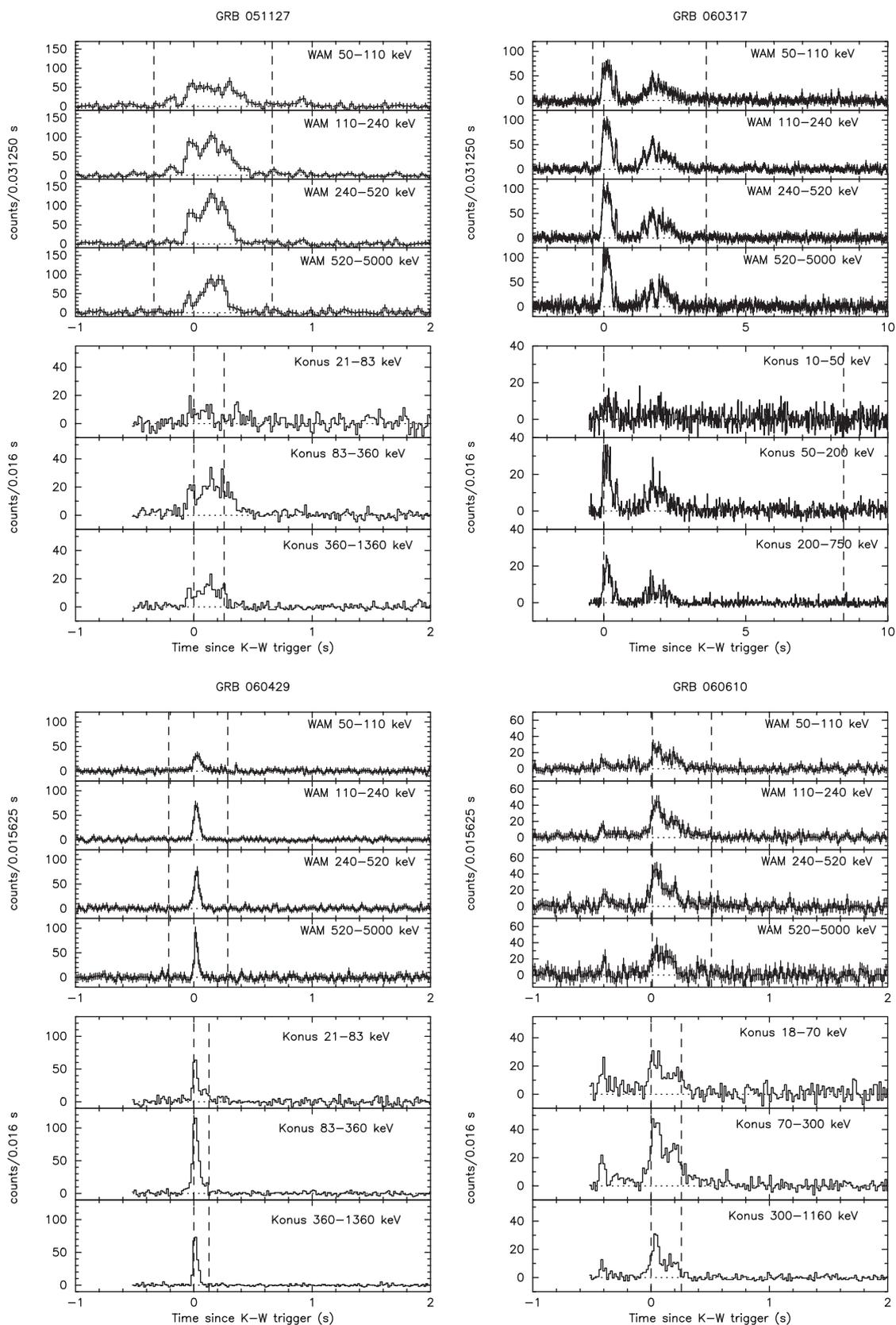


Рис. 5. Кривые яркости двух коротких всплесков GRB051127 и GRB060429 по наблюдениям в экспериментах КОНУС-ВИНД и Suzaku-WAM

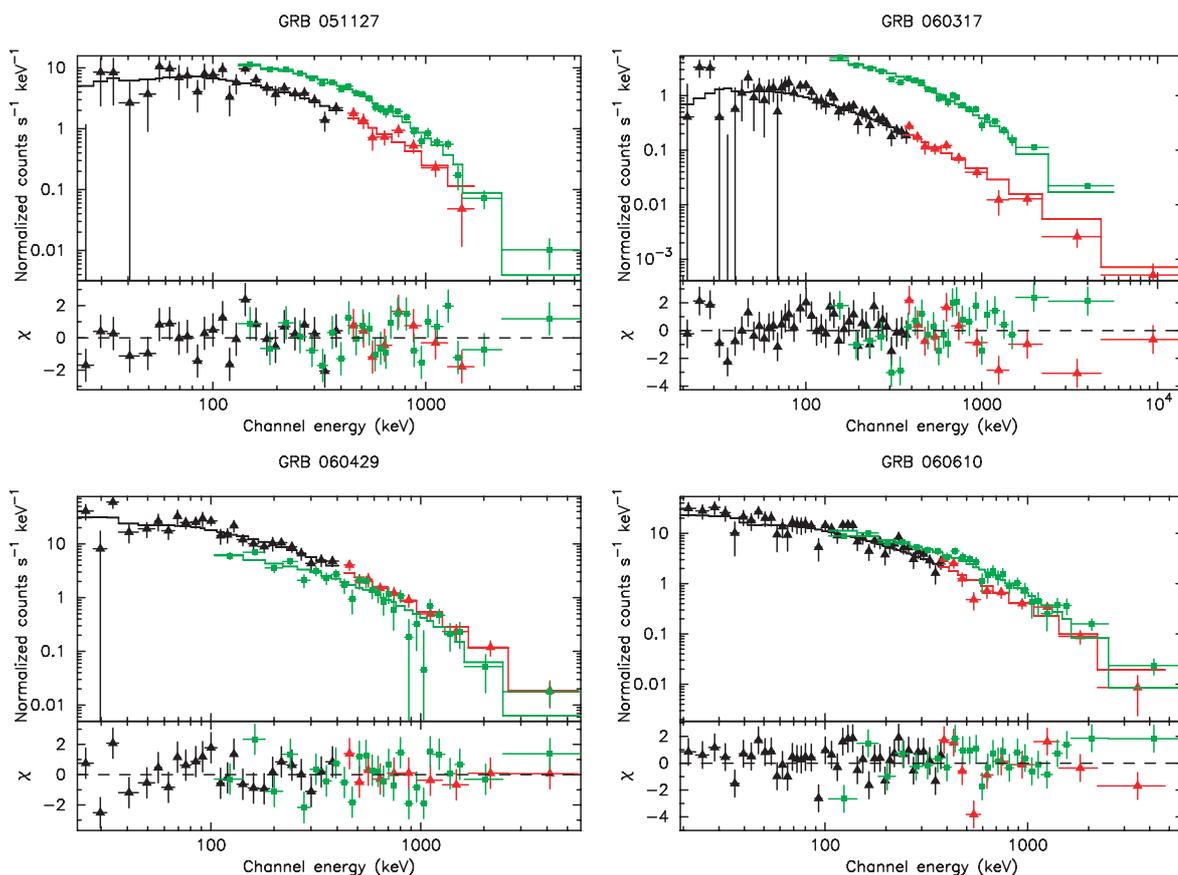


Рис. 6. Совместный спектральный анализ двух коротких всплесков GRB051127 и GRB060429 по наблюдениям в экспериментах КОНУС-ВИНД и Suzaku-WAM

3. Исследования мягких гамма-репитеров

В 2007 г. было получено еще одно убедительное свидетельство того, что часть наблюдаемых коротких всплесков с жестким энергетическим спектром могут представлять собой гигантские всплески от гамма-репитеров в близлежащих галактиках. Первое такое свидетельство было получено для GRB051103 как гигантского всплеска в близкой группе взаимодействующих галактик M81. 1 февраля 2007 г. аппаратурой КОНУС-ВИНД был зарегистрирован исключительно интенсивный короткий всплеск с жестким энергетическим спектром (рис. 7). Источник всплеска был локализован триангуляционным методом по данным КОНУС-ВИНД, ИНТЕГРАЛ (SPI-ACS) и детектора нейтронов и гамма-лучей миссии НАСА МЕССЕНДЖЕР. Центр бокса локализации располагался на расстоянии 1 угл.град от центра близкой галактики Туманность Андромеды (M31) (рис. 8). В предположении, что источник всплеска находится в галактике M31 на расстоянии 0,78 Мpc, измеренные поток и максимальная светимость составили величины $1,5 \times 10^{45}$ эрг и $1,2 \times 10^{47}$ эрг·с⁻¹. Эти данные находятся в хорошем согласии с аналогичными характеристиками наблюдавшихся гигантских всплесков от других гамма-репитеров.

Новое проявление активности гамма-репитера SGR1806-20 было исследовано в июле-августе 2006 г. в синхронных наблюдениях детекторами

КОНУС-ВИНД и КОНУС-А. Всего было зарегистрировано и детально исследовано 20 повторных всплесков. Преимуществом находящегося в межпланетном пространстве прибора КОНУС-ВИНД являлась возможность непрерывного наблюдения источника. Три спектрометрических детектора аппаратуры КОНУС-А обладают существенно большей чувствительной поверхностью и обеспечивают рекордную по детальности и информативности регистрацию временных и спектральных характеристик всплесков. Наиболее интересным по своей структуре оказалось событие 6 августа 2006 г. Оно представляет собой своего рода кластер из 6-ти отдельных повторных всплесков, в последнем из которых проявляется периодическая структура, подобная наблюдавшейся в хвосте гигантского всплеска этого гамма-репитера 27 декабря 2004 г. Аналог события 6 августа ранее был зарегистрирован аппаратурой КОНУС-ВИНД 3 декабря 2005 г. Временные профили этих событий приведены на рис. 9. Еще одно проявление активности гамма-репитера SGR1806-20 исследовалось в синхронных наблюдениях приборов КОНУС-ВИНД, КОНУС-А, ВАТ-СВИФТ, Super-AGILE, IBIS и SPI-ACS (ИНТЕГРАЛ) и Suzaku-WAM в сентябре 2007 г. Интенсивный всплеск от этого репитера был зафиксирован аппаратурой КОНУС-ВИНД 7 сентября 2007 г. (рис. 10). Всего с 14 по 23 сентября 2007 г. было зарегистрировано 18 повторных всплесков. Полученные данные важны для построения моделей этого класса редко проявляющих свою активность релятивистских космических объектов.

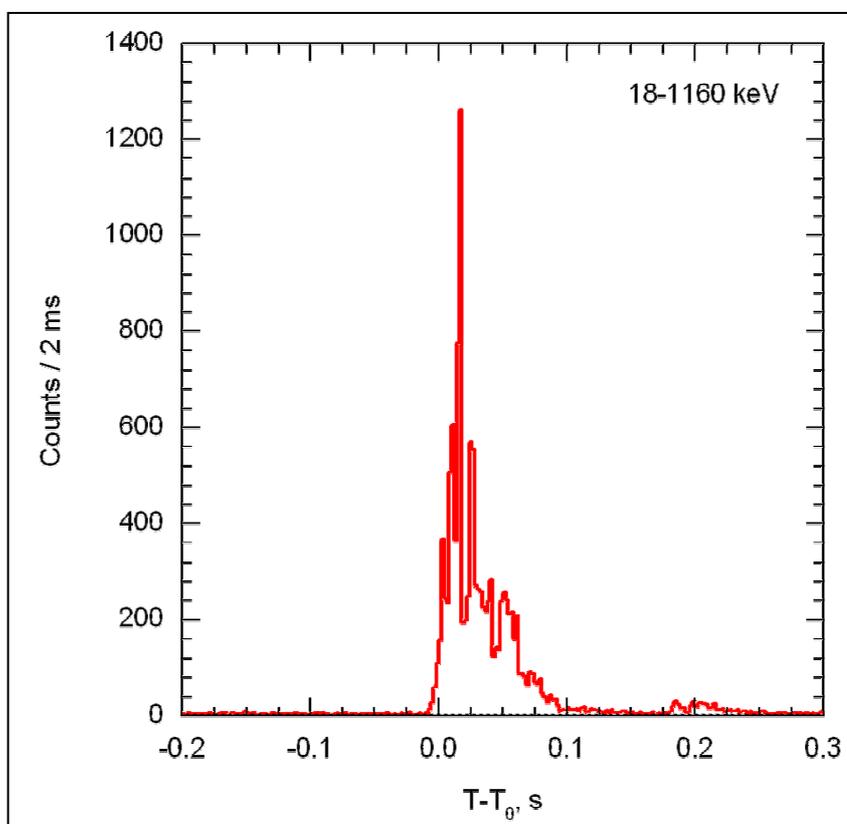


Рис. 7. Кривая яркости гамма-всплеска GRB070201 в энергетическом интервале 17–1130 кэВ

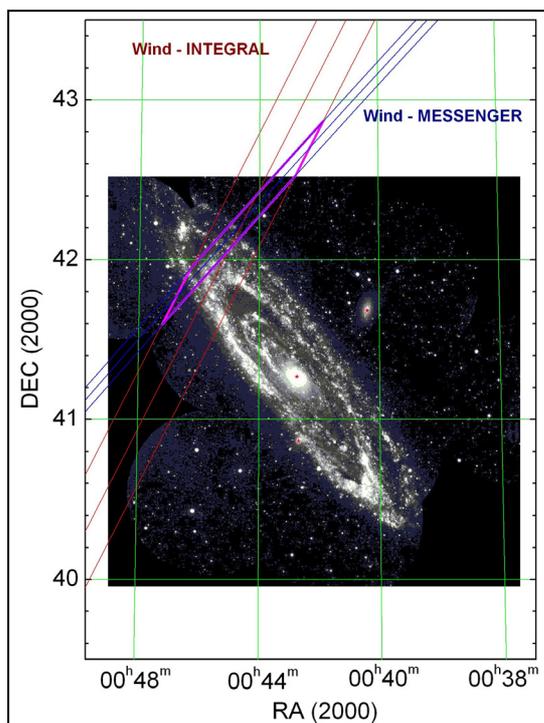


Рис. 8. Изображение в ультрафиолете галактики М31 и область локализации гамма-репитера

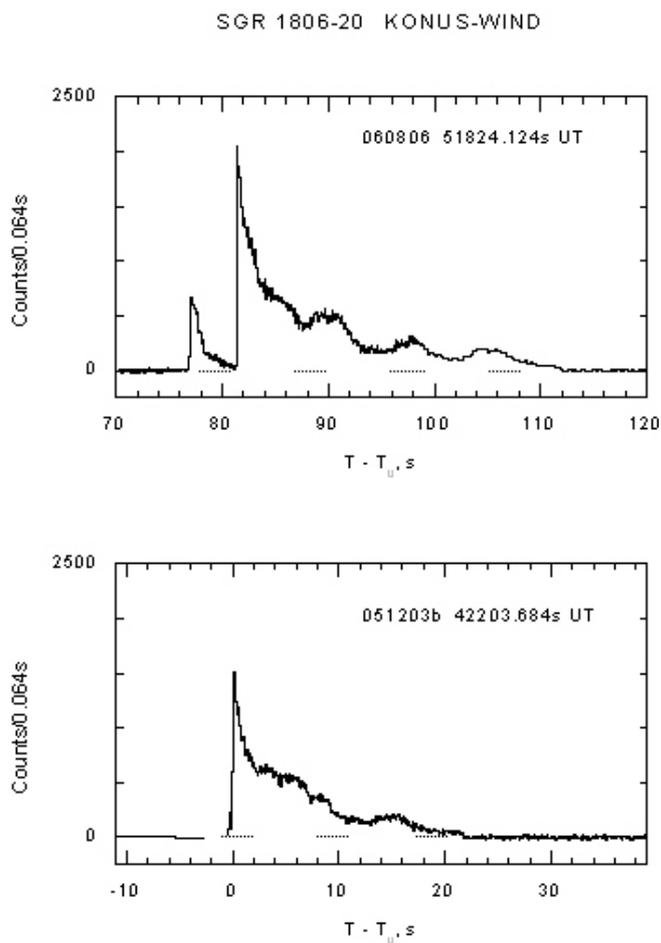


Рис. 9. Кривые яркости мягких повторных всплесков от SGR1806-20 6 августа 2006 г. (вверху) и 3 декабря 2005 г. (внизу)

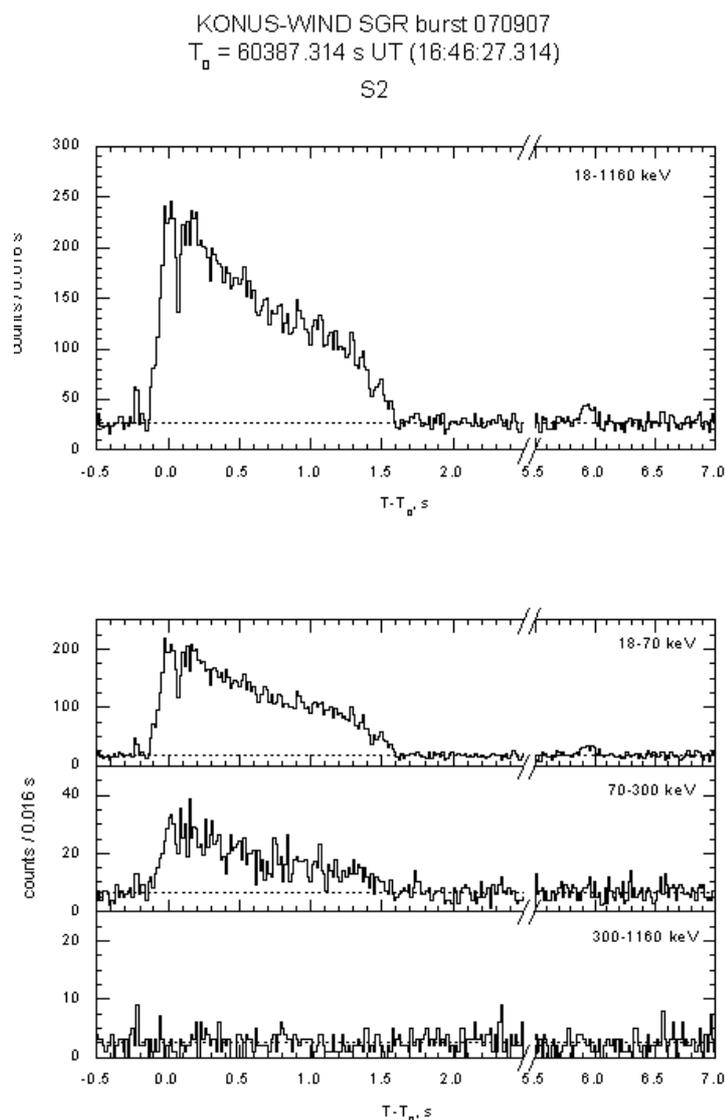


Рис. 10. Кривая яркости повторного гамма-всплеска от SGR1806-20 7 сентября 2007 г.

4. Наблюдения необычных транзиентных явлений в космическом рентгеновском и гамма-излучении

Высококочувствительные гамма-спектрометры, проводящие длительный непрерывный мониторинг космических гамма-всплесков, позволяют также исследовать необычные транзиентные явления в космическом рентгеновском и гамма-излучении, которые оказываются вне поля зрения узконаправленных телескопов. Одним из примеров эффективности таких наблюдений явились исследования необычной вспышечной активности известного рентгеновского источника Лебедь X-1 в диапазоне энергий 20–200 кэВ с помощью аппаратуры КОНУС-ВИНД и приборов сети IPN (Interplanetary Network) в 1996–2002 гг. Новая интенсивная вспышка источника Лебедь X-1 была зарегистрирована 7–8 августа 2007 г. детекторами аппаратуры КОНУС-ВИНД и Suzaku-WAM. Она явилась наиболее мощным всплеском от этого источника с интегральным потоком $8,0 \times 10^{-4}$ эрг·см $^{-2}$. Временной профиль этого события по данным эксперимента КОНУС-ВИНД показан на рис. 11.

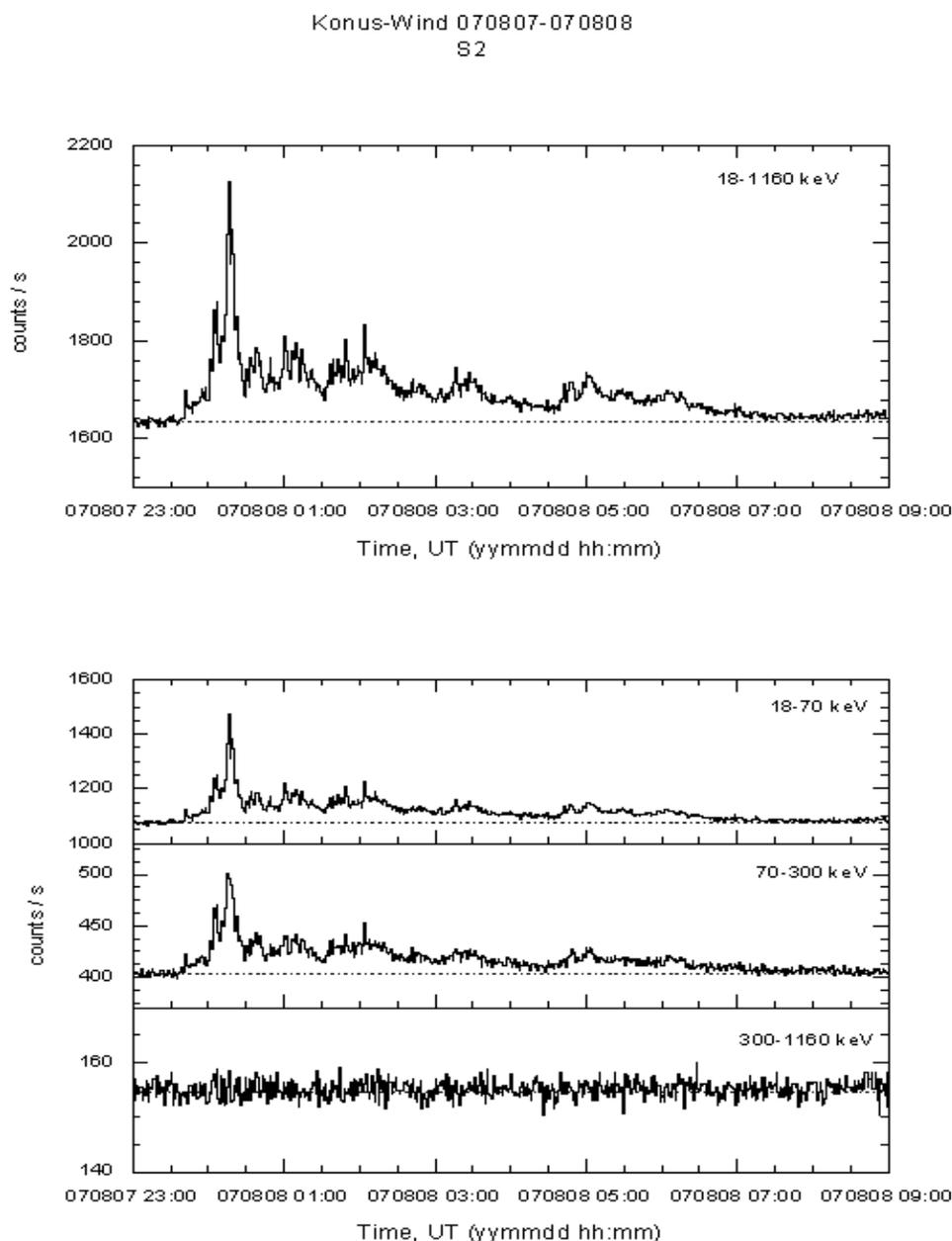


Рис. 11. Вспышка гамма-излучения от источника Лебедь X-1, зарегистрированная в эксперименте КОНУС-ВИНД 28 сентября 2006 г.

Подобная, но с более мягким спектром, так называемая супер-вспышка, была зафиксирована аппаратурой КОНУС-ВИНД и телескопами БАТ и ХРТ миссии СВИФТ от звезды EV Lac 25 апреля 2008 г. Вспышечная активность в области жесткого рентгеновского излучения от этого звездного объекта регистрировалась и ранее, но новая вспышка существенно превосходит предыдущие по интенсивности. Новые данные позволят исследовать энергетический спектр вспышки от звездного объекта EV Lac в широком интервале энергий от 0,8 до 70 кэВ. На рис. 12 показан временной профиль этой супер-вспышки по данным экспериментов ВАТ-СВИФТ и КОНУС-ВИНД. Рисунок наглядно демонстрирует преимущества детекторов аппаратуры КОНУС-ВИНД, которые постоянно осматривают всю небесную сферу в условиях межпланетного пространства.

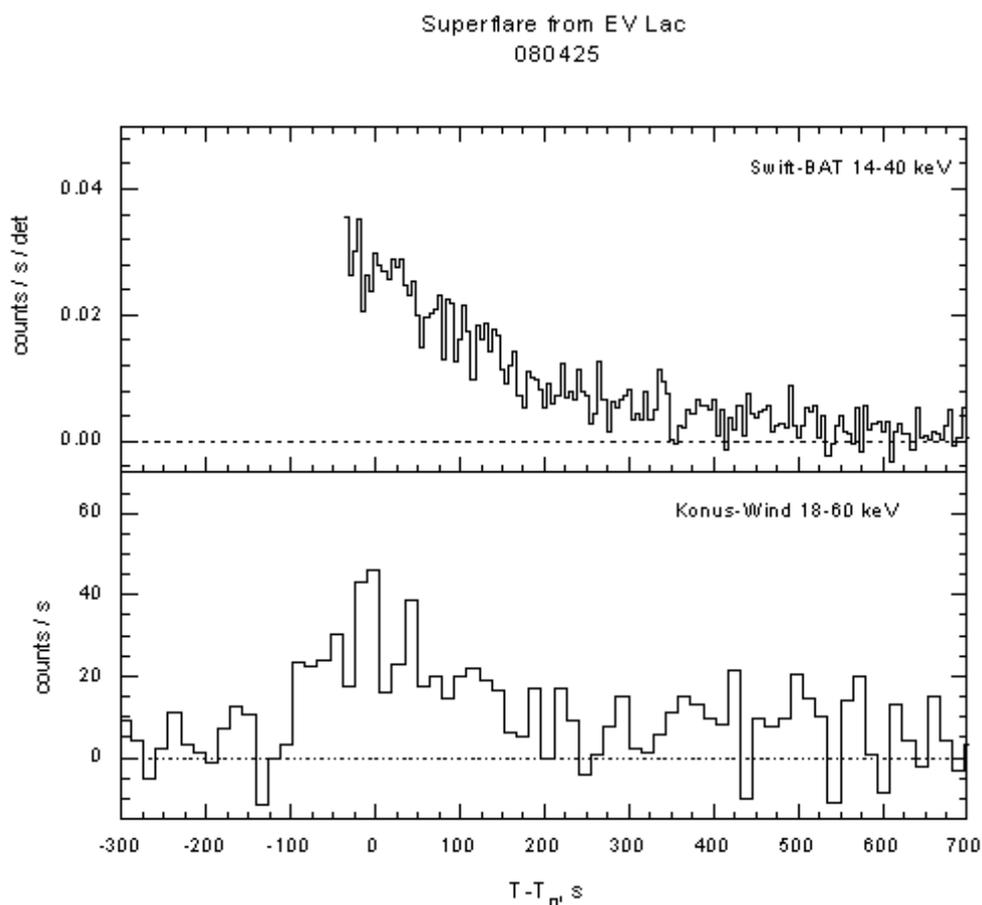


Рис. 12. Временной профиль супер-вспышки от звезды EV Lac 25 апреля 2008 г.

5. Заключение

В эксперименте КОНУС-ВИНД и синхронном с ним эксперименте КОНУС-А получены новые приоритетных данные о природе космических гамма-всплесков и особого редкого класса повторяющихся мягких по спектру всплесков от гамма-репитеров. Получены убедительные свидетельства того, часть наблюдаемых коротких всплесков с жестким энергетическим спектром могут представлять собой гигантские всплески от гамма-репитеров в близлежащих галактиках. Благодаря высокой чувствительности детекторов аппаратуры КОНУС-ВИНД в широкой области энергии гамма-квантов и оптимальным возможностям наблюдений в межпланетном пространстве данные эксперимента широко востребованы в современных всеволновых исследованиях источников космических гамма-всплесков.