

Тема ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет

Гос.рег. № 0120.0 602993

Науч.рук. академик РАН Зелёный Л.М.

Зам. рук. темы д.ф.-м.н. Кораблёв О.И., д.ф.-м.н. Митрофанов И.Г., д.ф.-м.н. Захаров А.В.

1 МАРС

1.1 Ночное свечение молекулярного кислорода в атмосфере Марса по данным эксперимента СПИКАМ на КА Марс-Экспресс

Ночное свечение молекулярного кислорода на Марсе было предсказано уже давно, но впервые оно было детектировано в 2010 году в эксперименте ОМЕГА на Марс-Экспресс на южной и северной полярных шапках полярной ночью (Bertaux et al., 2010). Оно является результатом рекомбинации атомов кислорода образованных на дневной стороне в результате диссоциации углекислого газа под действие солнечного излучения и дальнейшего транспорта их на ночную сторону в полярные области меридиональным переносом в ячейке Хедли, где они рекомбинируют на высотах 50-60 км. Таким образом, свечение может быть эффективным индикатором динамики атмосферы.

В работе представлены результаты наблюдения свечения кислорода на ночной стороне Марса, выполненные спектрометром СПИКАМ ИК на КА Марс-Экспресс в 2010, вскоре после открытия, сделанного спектрометром ОМЕГА. Было получено 7 профилей свечения на широтах 82-83 гр. южной полярной шапки для двух последовательностей наблюдений: Ls=111-120 и Ls=152-165 (рис.1). Высота максимума свечения варьировалась от 42 км на Ls=111-120 до 50 км на Ls=152-165. Вертикальная интенсивность свечения на этих широтах показала значительных рост от 0.24 MR на Ls=111-120 до 0.45 MR на Ls=152-165. Свечение позволило оценить плотность атомов кислорода на высотах от 50 до 70 км, которая варьировалась для проведенных наблюдений от $1 \cdot 10^{11}$ до $2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ (рис.2). Сравнение с моделью общей циркуляции Марса показало, что модельные значения свечения завышены в 2-3 раза в зависимости от используемых фотохимических коэффициентов. Для Ls=152-165 высоты максимума свечения варьируется от 40 до 52 км, что не воспроизводится моделью на данном этапе.

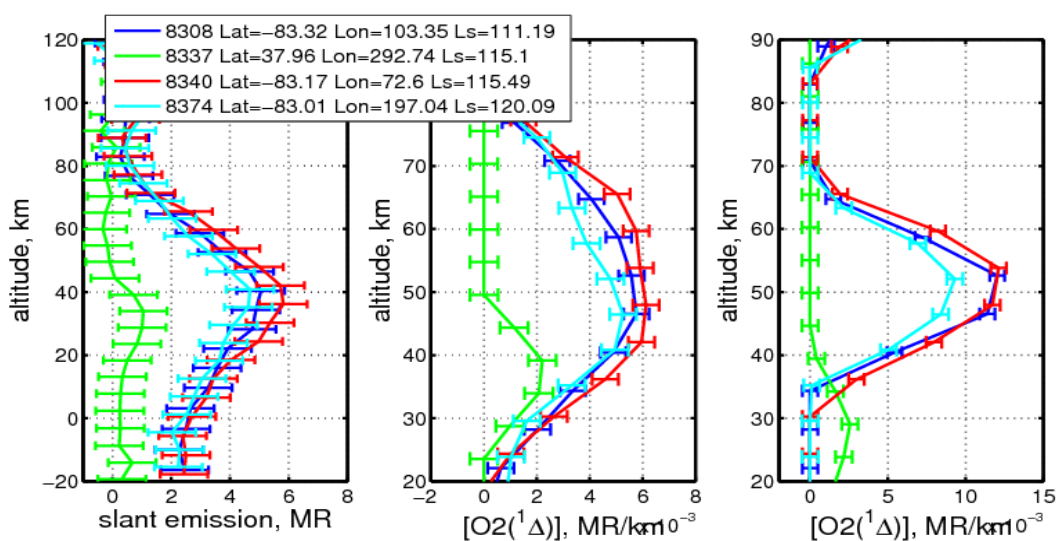


Рисунок 1. Слева: вертикальный профиль свечения на луче зрения, полученные на орбитах 8308, 8340, 8374 (Ls~115) на южной полярной шапке, широты 82-83. Для примера

приведен пример профиля восстановленного для орбиты 8337 на широте 38N, где свечение не наблюдалось. Середина: восстановленные вертикальные профили распределения возбужденного кислорода в MR/км для тех же орбит, справа: восстановленные вертикальные профили распределения возбужденного кислорода в MR/км для тех же орбит развернутые с учетом поля зрения прибора.

Пока наблюдения являются единичными, между тем, они уже позволили сделать оценки о сезонных вариациях свечения и провести сравнения с предсказаниями модели. Сравнение с моделью показало как много общего, так и существенную разницу. Это может быть вызвано ежедневными метеорологическими изменениями в верхней атмосфере Марса. В любом случае свечение является эффективным индикатором ниспадающего потока воздуха с высот, где происходит фотодиссоциация CO₂, т.е. выше 70 км. Временные и пространственные вариации свечения отражают плохо исследованный меридиональный транспорт в полярной атмосфере.

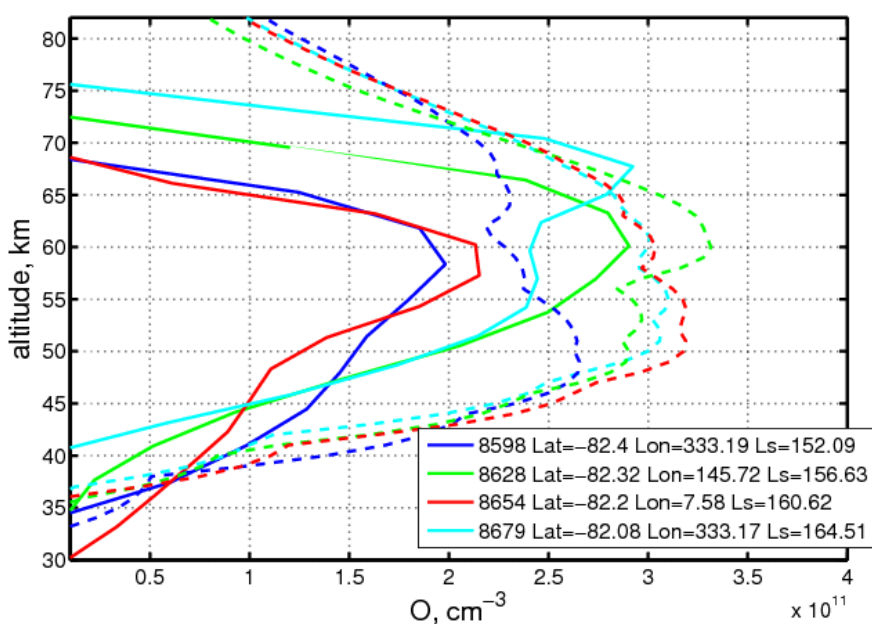


Рисунок 2. Профили кислорода, полученные для четырех орбит на Ls=160.

к. ф.-м. н. Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru, д. ф.-м. н. Кораблев О.И. korab@iki.rssi.ru,
Гуслякова С.А., semga8@mail.ru

A. Fedorova, S Guslyakova, F. Lefevre, J.-L. Bertaux, O. Korablev, F. Montmessin, A. Reberac, and B. Gondet, *The O2 nightglow in the Martian atmosphere by SPICAM onboard of Mars-Express*, submitted to *Icarus*, 2011.

A. Fedorova, S Guslyakova, F. Lefevre, J.-L. Bertaux, O. Korablev, F. Montmessin, A. Reberac, and B. Gondet, *The O2 nightglow in the Martian atmosphere by SPICAM onboard of Mars-Express*, EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-1854, 2011, EPSC-DPS Joint Meeting 2011.

Федорова А.А., Берто Ж.-Л., Лефевр Ф., Гуслякова С.А., Кораблев О.И., Монтмессан Ф., Реберак А., Гонде Б., Наблюдения ночного свечения молекулярного кислорода в атмосфере Марса, Девятая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2011 г., Сборник тезисов конференции.

Федорова А.А., Берто Ж.-Л., Гуслякова С.А., Лефевр Л., Кораблев О.И., Монтмессан Ф., Реберак А., Гонде Б., Наблюдения ночного свечения молекулярного кислорода в атмосфере Марса по данным СПИКАМ/КА Марс-Экспресс, сборник тезисов

1.2 Дневное свечение молекулярного кислорода в атмосфере Марса по данным эксперимента СПИКАМ на КА Марс-Экспресс

Озон является одним из наиболее химически активных компонентов в марсианской атмосфере. Изучение пространственных и временных вариаций озона и водяного пара необходимо для улучшения фотохимических моделей, призванных объяснить феномен стабильности углекислой атмосферы Марса.

В результате фотодиссоциации озона под действием ультрафиолетовых лучей происходит образование возбужденной молекулы кислорода, которая с определенной вероятностью испускает фотон в колебательно-вращательной полосе 1.27 микрон. Поэтому наблюдения дневного свечения кислорода используются в качестве косвенного метода наблюдения озона.

Инфракрасный канал прибора СПИКАМ на борту КА Марс-Экспресс позволяет проводить измерения в полосе 1.27 микрон как в надире, так и на лимбе. Спектральное разрешение прибора составляет 0.5-1.2 нм, а поле зрения равно 1 градусу. Лимбовые наблюдения позволяют изучить вертикальное распределение компонент атмосферы. После выявления проблем, связанных с наведением прибора и записью данных, были еще раз пересчитаны данные дневного свечения. Обработано 105 профилей, полученных в период с 2004 по 2010 г. Для максимально корректного сравнения результатов и модели построены графики свечения кислорода на луче зрения, полученные из наблюдений и модели. Проведен их сравнительный анализ.

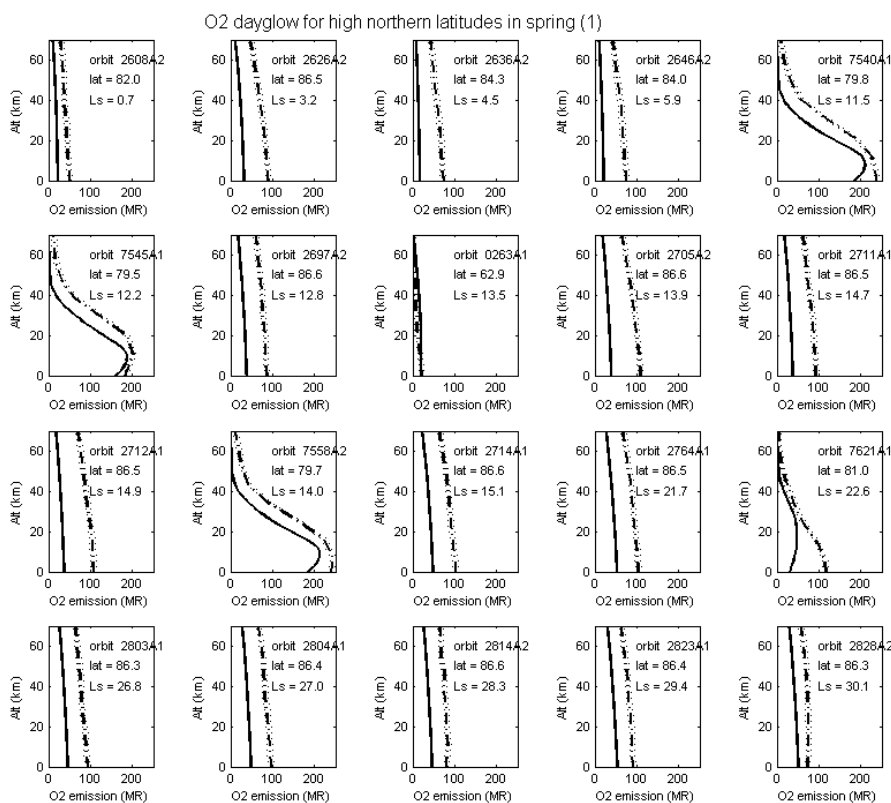


Рисунок 1 Сравнение модельных (сплошная линия) и наблюдаемых (тире) профилей свечения дневного кислорода по лучу зрения для высоких северных широт весной.

Гуслякова С.А., guslyakova@iki.rssi.ru, к.ф.-м.н. Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru, д.ф.-м. н. Кораблев О.И. korab@iki.rssi.ru

The O2 Dayglow Observations with the SPICAM IR Experiment on Mars-Express
[Guslyakova, S. A.](#); [Fedorova, A. A.](#); [Korablev, O. I.](#); [Bertaux, J. L.](#); [Montmessin, F.](#); [Lefevre, F.](#)
"The Fourth International Workshop on the Mars Atmosphere: Modelling and observation, held 8-11 February, 2011, in Paris, France.

The O2 Dayglow Observations with the SPICAM IR Experiment on Mars-Express
[Guslyakova, S. A.](#); [Fedorova, A. A.](#); [Korablev, O. I.](#); [Bertaux, J. L.](#); [Montmessin, F.](#); [Lefevre, F.](#)
SPICAM/SPICAV meeting, 18-22 September 2011, Poros, Greece.

1.3 Доказательства перенасыщения водяного пара в средней атмосфере Марса, полученные в эксперименте СПИКАМ на КА Марс-Экспресс.

Знание вертикального распределения водяного пара является важным фактором в изучении гидрологического цикла на Марсе. До настоящего времени недостаток наблюдательного материала позволял строить профили H_2O в основном в рамках климатических моделей. Тем не менее, одним из предположений моделей было, что в чрезвычайно разреженной атмосфере Марса вода не может существовать в сильно перенасыщенном состоянии. В работе приводятся результаты солнечных просвечиваний атмосферы Марса в эксперименте СПИКАМ (Spectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Mars) на борту КА Марс-Экспресс, который представил доказательства присутствия перенасыщения H_2O на высотах 30-40 км на большие значения, превышающее те, что уже были известны, например, в атмосфере Земли. Перенасыщение позволяет значительному количеству воды подняться выше гидропаузы (уровня насыщения), где идет активный перенос вещества, что имеет фундаментальное значение для понимания переноса и сезонного перераспределения H_2O между асимметричными северным и южным полушариями Марса (Maltagliati et al., 2011).

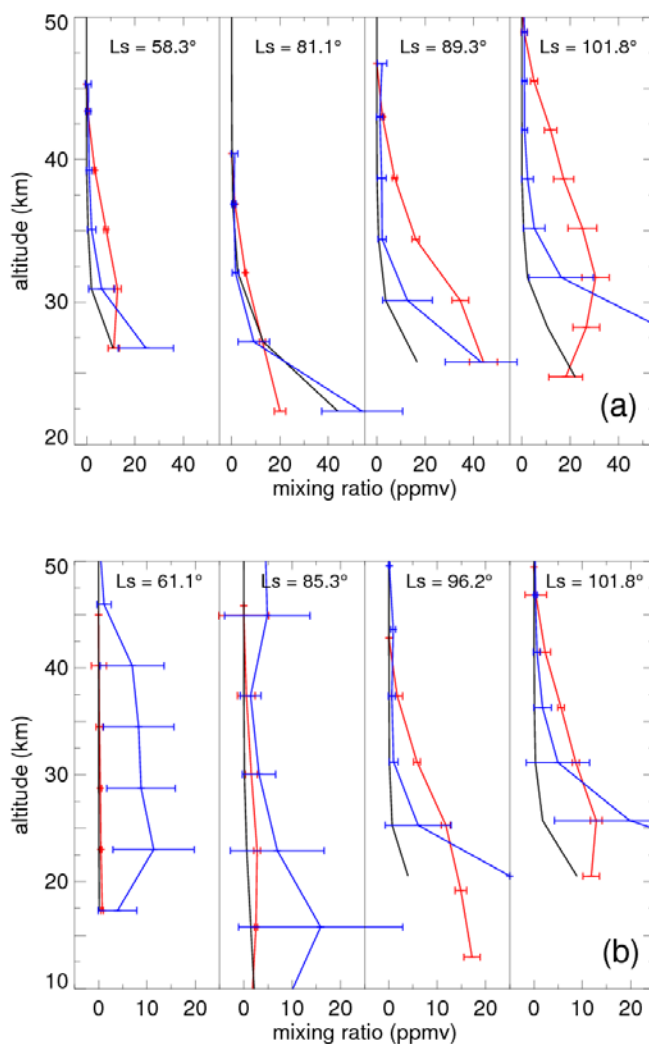


Рис 1. Вертикальные профили относительной концентрации водяного пара в северном (а) и южном (б) полушарии. Черная кривая: модельные профили LMD-GCM. Красная кривая: результаты СПИКАМ. Синяя кривая: относительная концентрация насыщенного состояния, следуя температурным профилям. Перенасыщение существует, где красный профиль показывает большие значения, чем синий.

к. ф.-м. н. Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru, д. ф.-м. н. Кораблев О.И., korab@iki.rssi.ru

L. Maltagliati, F. Montmessin, A. Fedorova, O. Korablev, F. Forget, and J.-L. Bertaux, Evidence of Water Vapour in Excess of Saturation in the Atmosphere of Mars / Science 30 September 2011, Vol . 333, #6051

L. Maltagliati, F. Montmessin, D. Titov, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, and J.-P. Bibring Observations of water vapor and supersaturation in the Mars atmosphere from the Mars Express mission, EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-1127, 2011, EPSC-DPS Joint Meeting 2011.

Maltagliati, L.; Fedorova, A.; Montmessin, F.; Bertaux, J.-L.; Reberac, A.; Korablev, O., Observations of Water Vapor Vertical Distribution by SPICAM/MEX and their Implications, The Fourth International Workshop on the Mars Atmosphere: Modelling and observation, held 8-11 February, 2011, in Paris, France. Published online at <http://www-mars.lmd.jussieu.fr/paris2011/program.html>, pp.195-198, 2011.

1.4 Сезонный цикл водяного пара на Марсе по полосе 1.38 мкм

Продолжена работа по восстановлению содержания водяного пара в атмосфере Марса по данным СПИКАМ ИК на КА Марс-Экспресс в полосе 1.38 мкм. 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. По сравнению с прошлыми результатами в исходные данные алгоритма восстановления внесены ряд значительных изменений. Используется новый солнечный спектр, полученный из данных прибора МАВД (орбитальный аппарат "Викинг"), неискаженный атмосферными поглощениями. Как выяснилось, этот экспериментально полученный спектр в полосе 1,38 имеет ряд особенностей, не отраженных в теоретическом спектре, использованном для восстановления ранее. В результате значения содержания водяного пара в атмосфере увеличиваются на 10% в полярных областях и до 20% в экваториальных широтах.

Впервые был проведен учет поглощения и рассеяния на аэрозоле в атмосфере Марса при восстановлении воды по полосе 1,38 мкм. В этой полосе влияние аэрозоля самое заметное по сравнению с восстановлением по другим полосам, благодаря характерному размеру частиц 1-3 мкм. В качестве сезонного распределения аэрозоля за те же годы были использованы данные прибора THEMIS (Smith et al., 2009), пересчитанные с помощью моделирования оптических свойств марсианского аэрозоля (пыли и водяных облаках) на диапазон длин волн ближней ИК области. Учета аэрозоля приводит к увеличению получаемых значений концентрации водяного пара в полярных областях на 10-15%, и к уменьшению в ряде областей в виду увеличения оптического пути лучей в атмосфере при малых значениях оптической толщины. Значения в 60 осажденных микрон для северного полюса, являющегося реперной точкой при сравнении результатов с другими экспериментами, хорошо совпадает с результатами прибора ОМЕГА (полоса восстановления водяного пара 2,56 мкм). В виду больших затрат машинного времени обработка данных СПИКАМ все еще ведется.

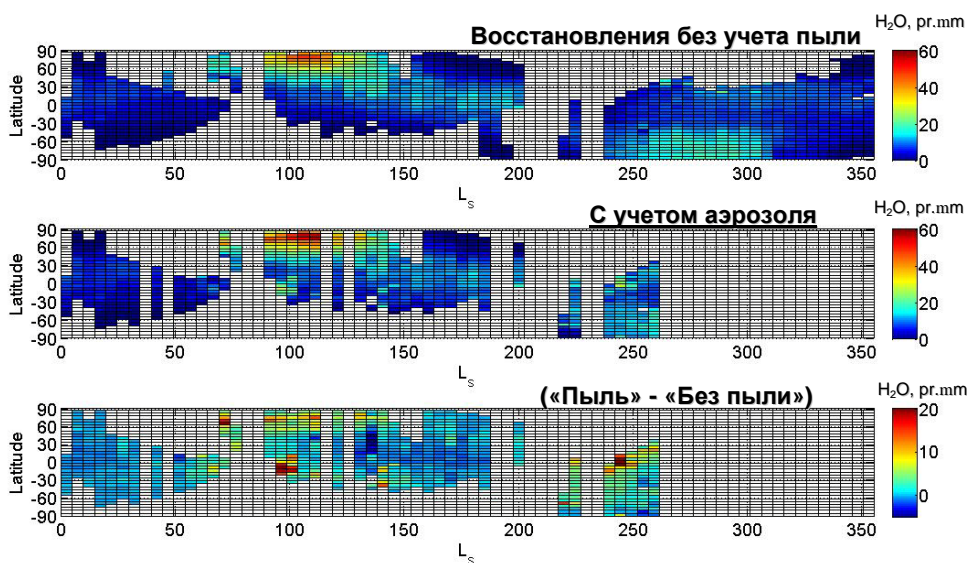


Рис. 1 Сезонное распределение водяного пара для МУ27 по данным СПИКАМ ИК. Содержание H_2O и значения разности даны в осажденных микронах.

Трохимовский А.Ю., trokh@iki.rssi.ru, к. ф.-м. н. Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru, д. ф.-м. н. Кораблев О.И., korab@iki.rssi.ru

A.Trokhimovskiy, A. Fedorova, O. Korablev, F. Montmessin, J.-L. Bertaux, M. Smith Water vapor cycle on Mars by SPICAM IR/MEX, SPICAM/V meeting, 19-21 September 2011, Poros, Greece.

1.5 Гравитационные волны в атмосфере Марса, наблюдаемые на картах дневного свечения молекулярного кислорода, полученных гиперспектретром ОМЕГА на Марс Экспресс

Гравитационные волны впервые обнаружены на изображениях эмиссии O₂ 1.27 мкм в южных полярных широтах в районе терминатора. Флуктуации интенсивности свечения составляют порядка 3%, что может быть обусловлено изменениями в скорости реакции, связанными с вариациями плотности 3- 4%. Модельные расчеты показывают существование гравитационных волн в районах, где волны обнаружены экспериментом ОМЕГА. Эти волны вызывают вариации плотности около 3% и могут объяснить наблюдения.

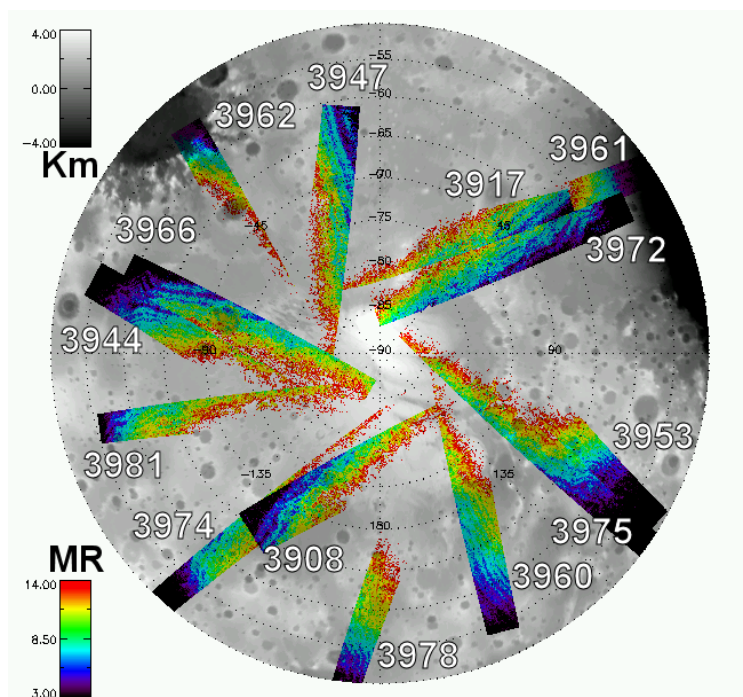


Рис. 1. Мозаика изображений эмиссии O₂, полученных гиперспектретром ОМЕГА, в высоких широтах Южного полушария. Изображения наложены на альтиметрию MOLA. .

д. ф.-м. н. Засова Л.В., Zasova@iki.rssi.ru

Francesca Altieri, Aymeric Spiga, Ludmila Zasova, Giancarlo Bellucci, Jean-Pierre Bibring. Gravity waves mapped by the OMEGA/MEX instrument through O₂ dayglow at 1.27 μm: data analysis and atmospheric modeling. J. Geophysical research, в печати.

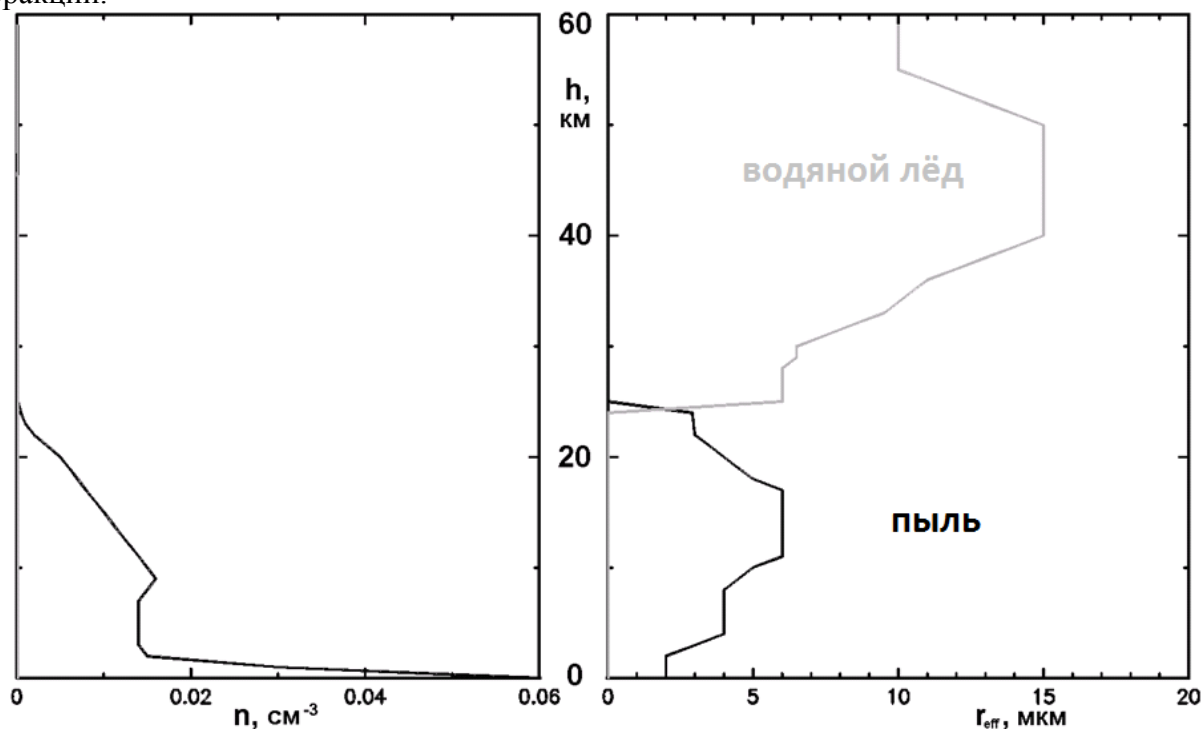
F. Altieri, A. Spiga, L. Zasova, G. Bellucci and J.-P. Bibring Martian O₂ dayglow at 1.27 μm and atmospheric waves. DPS_EPSC_2011, Нант, Франция, 2011

1.6 Вертикальные профили аэрозоля по лимбовым измерениям прибора ОМЕГА миссии Mars Express

Данные спектрометра OMEGA [Bibring и др., 2004] европейской миссии Mars-Express анализировались одновременно в 12-ти «аэрозольных каналах» (диапазон длин волн от 0.4 до 3.5 мкм). Моделирование переноса излучения в атмосфере Марса осуществлено на базе радиационного кода SCATRD ([Вестник СПбГУ, Васильев, 2006]; в основе расчёта - метод статистического моделирования (Монте-Карло), позволяющий учесть многократное рассеяние излучения в сферической атмосфере). Авторами разработан и применён алгоритм восстановления высотных профилей микрофизических параметров марсианского аэрозоля из орбитальных (лимбовых) спектральных измерений прибора OMEGA.

Предполагалось, что для всех высот химический состав аэрозольных веществ фиксирован; для каждой высоты доминирует одна из двух возможных аэрозольных фракций: водяной лёд ([Warren, 1984]) или пыль из популярной полуэмпирической модели MarsDust ([Ockert-Bell и др., 1997]). Также для всех высот использовалось одномодовое модифицированное гамма-распределение частиц по размерам (с $\gamma \equiv 0.5$, $\alpha \equiv 1.5$).

В результате для нескольких сеансов наблюдений спектрометра OMEGA (отвечающим различным марсианским сезонам, широтам и местным временам) были получены вертикальные профили концентрации и радиуса аэрозольных частиц соответствующих фракций.



Майоров Б.С., Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru, д. ф.-м. н. Засова Л.В., Zasova@iki.rssi.ru

Майоров Б. С., Засова Л. В., Васильев А. В., Vibling J.-P., Vincendon M. Восстановление характеристик марсианского аэрозоля для двух фракций по данным прибора OMEGA миссии Mars-express // VIII конференция молодых учёных, посвящённая Дню космонавтики и 50-летию полёта Юрия Гагарина "Фундаментальные и прикладные космические исследования" Программа. Тезисы докладов. Секция VI. Атмосфера, гидросфера и литосфера Земли и планет. 14-15 апреля 2011 г., г. Москва. Институт космических исследований Российской академии наук / Москва. ИКИ РАН. 2011. С.52.

Майоров Б.С., Васильев А.В., Засова Л. В., Фёдорова А. А., Vincendon M., Vibling J.-P. "Восстановление характеристик марсианского аэрозоля для двух фракций по данным прибора OMEGA миссии Mars-express" // Девятая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Программа. 14-18 ноября 2011 г., г. Москва. Институт космических исследований РАН / Москва. ИКИ РАН. 2011 г.

2 ВЕНЕРА

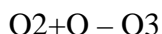
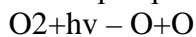
2.1 Исследования атмосферы Венеры в эксперименте СПИКАВ-СУАР

2.1.1. Открытие озона в термосфере Венеры по данным СПИКАВ УФ

Озон – одна из самых важных молекул, как с точки зрения фотохимии, так и жизни на Земле. Континуум поглощения озона находится в полосе Хартли 200-300 нм. На Земле 90% озона находится в так называемом озоновом слое между 15 и 50 км. Фактически озон

ответственен за существование стратосферы, в которой температура контролируется поглощением солнечного излучения в полосе Хартли.

Формирование озона контролируется следующими реакциями:



В 70-х годах озон был также открыт на Марсе, где его содержание в 300 раз меньше чем на Земле. Несмотря на это он является важной составляющей марсианской фотохимии, которая регулирует состав атмосферы Марсе.

На Венере мощный облачный слой не дает возможности досконально исследовать состав атмосферы ниже 60 км с орбиты. Озон был открыт по измерениям в полосе Хартли 260 нм УФ каналом спектрометра СПИКАВ методом звездных просвечиваний на ночной стороне планеты. Слой озона расположен на высотах ~100 км. Были восстановлены первые вертикальные профили озона с объемной концентрацией 10^7 - 10^8 молекул/см³. Открытие озона в атмосфере Венеры согласуется со значениями, предсказываемыми одномерными фотохимическими моделями, а также с недавним наблюдением свечения гидроксила OH, одним из источников которого может быть реакция $\text{O}_3 + \text{H} \rightarrow \text{O}_2 + \text{OH}^*$.

Пространственное распределение не выявило каких-либо значимых особенностей, кроме отсутствия озона в антисолнечной точке. Подобное поведение показал и гидроксил OH по данным прибора ВИРТИС на КА Венера-Экспресс, что говорит о преобладании химии, а не динамики в формировании распределения. Возможным объяснением отсутствия детектирования озона в антисолнечной точке, является присутствие в ниспадающей ветви солнечно-антисолнечной циркуляции в термосфере большого количества радикалов хлора, поскольку реакция $\text{O}_3 + \text{Cl} \rightarrow \text{O}_2 + \text{ClO}$ может быть доминирующей при разрушении озона. Это указывает на то, что ключевой процесс для химического равновесия земного озона в стратосфере, а именно катализированное хлором разрушение озона, работает и на Венере. Статья по материалам работы направлена в журнал Icarus в 2011 году.

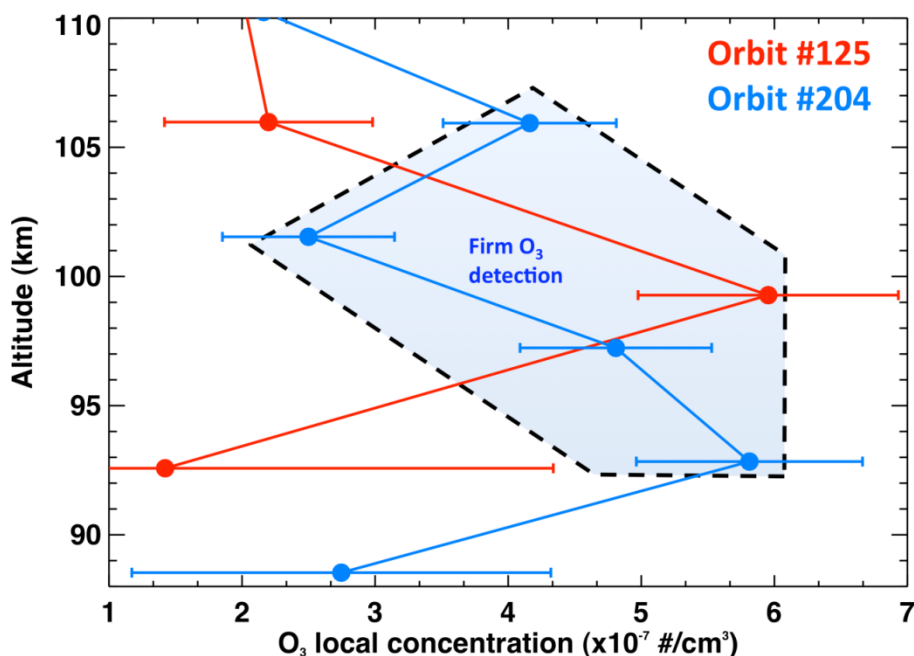


Рисунок 1. Профили озона для двух орбит. Профили были получены после вертикальной инверсии плотности озона на луче зрения. Единицы измерения – число молекул в см³. Значения, означающие точное детектирование полосы (уровень доверия >5σ), ограничены серой областью. Оба профиля указывают, что озон имеет пик концентрации на высотах между 90 и 100 км.

к. ф.-м. н.Беляев Д.А., dbelyaev@iki.rssi.ru, д. ф.-м. н. Кораблев О.И., korab@iki.rssi.ru, к. ф.-м. н.Федорова А.А., fedorova@irn.iki.rssi.ru

F. Montmessin, J.-L. Bertaux, F. Lefèvre, E. Marcq, D. Belyaev, J.-C. Gérard, O. Korablev, A. Fedorova, V. Sarago, A. C. Vandaele, Discovery of an ozone layer in the nightside of Venus, Icarus 216 (2011) 82–85.

2.1.2 Анализ окон прозрачности 1.1 и 1.18 мкм атмосферы Венеры на ночной стороне, наблюдаемых спектрометром СПИКАВ-ИК на борту КА «Венера-Экспресс»

Наблюдения окон прозрачности 1.1 и 1.8 мкм на ночной стороне Венеры в эксперименте СПИКАВ дает возможность охарактеризовать различные источники газового поглощения и определить содержание водяного пара в нижней атмосфере Венеры. Основную трудность при моделировании горячих слоев нижней атмосферы представляет правильное воспроизведение далеких крыльев полос CO_2 . Проведено сравнение различных моделей и показано что в ближнем ИК диапазоне коэффициенты поглощения интерференционной модели переоценивают поглощение CO_2 в длинноволновом крыле окна 1.18 мкм. Мы также получили эмпирический профиль, который хорошо аппроксимирует крылья CO_2 по данным СПИКАВ. Чтобы воспроизвести вариации излучения в этих окнах по данным прибора ВИРТИС на том же КА Венера-Экспресс, требовалось дополнительное континуальное поглощение около 10^{-9} Амагат⁻²см⁻¹. По данным СПИКАВ оно равно $0.7 \pm 0.2 \cdot 10^{-9}$ Амагат⁻²см⁻¹. Мы сравнили также различные спектроскопические базы данных для горячих полос CO_2 и H_2O и нашли, что в новейшей базе CDSO потеряны серии CO_2 $5\nu_1 + \nu_3$, которые дает значительный вклад в непрозрачность глубоких слоев атмосферы Венеры. Была составлена новая комбинированная база данных CO_2 полос, на основе HITRAN-2010, HITRAN-1995 и CDSO, которая хорошо аппроксимирует данные в исследуемом диапазоне спектра. В работе впервые было показано, что H_2O дает значительное поглощение в диапазоне 1140-1190 нм. На основе отобранных спектроскопических баз, получено относительное содержание водяного пара 30 ppm на высотах 5-25 км. Учитывая результаты наблюдений в окнах 1.74 и 2.3 мкм, этот результат подтверждает равномерное перемешивание водяного пара до 40 км, что согласуется с существующими химическими моделями атмосферы Венеры. По результатам работы подготовлена публикация.

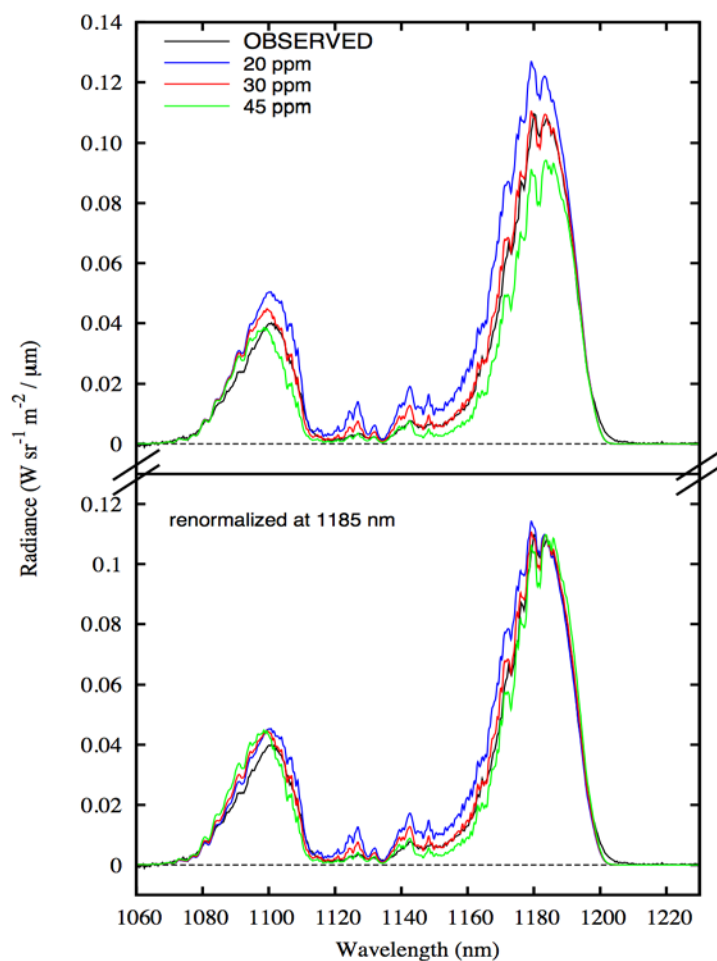


Рисунок 1. Сравнение спектра СПИКАВ с синтетическим спектром, рассчитанным для относительной концентрации H_2O 20, 30 и 45 ppm, используя оптимальные оценки $\text{H}_2\text{O}/\text{HDO}$ отношения и поглощения CO_2 . Отношение D/H в 127 превышает земное. Верхний график: полученные данные и модели в исходном виде; нижний график: спектры нормированы к наблюдаемому излучению на длине волны 1185 нм.

к. ф.-м. н. Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru, к. ф.-м. н. Родин А.В.
alexander.rodin@phystech.edu

Bezard B., Fedorova A., Bertaux J.-L., Rodin A., Korablev O. The 1.10- and 1.18- μm nightside windows of Venus observed by SPICAV-IR aboard Venus Express, Icarus 216, 173-183, 2011
B. Bézard, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A. Rodin, and O. Korablev, The 1.10- and 1.18-micron nightside windows of Venus observed by SPICAV-IR aboard Venus Express, EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-544, 2011, EPSC-DPS Joint Meeting 2011

2.2 Исследования верхней границы облаков Венеры

2.2.1 Водяной пар вблизи верхней границы облаков

По данным канала высокого разрешения VIRTIS-H эксперимента VIRTIS на КА Venus Express выполнены измерения содержания водяного пара вблизи верхней границы облаков с пространственным разрешением 10–100 км. Данные измерения являются наиболее качественными по точности и покрытию (в координатах широта — местное время) из большого количества измерений, выполненных различными методами к настоящему времени. Использовались полосы H_2O и CO_2 , расположенные на длине волны ~ 2.5 мкм. Эти измерения убедительно и однозначно подтвердили отсутствие

значительных вариаций содержания H_2O вблизи верхней границы облаков, обнаруженных ранее в некоторых экспериментах. В низких широтах ($\pm 40^\circ$) среднее содержание водяного пара равно 3 ± 1 ppm, соответствующая высота верхней границы облаков 69.5 ± 2 km. В средних широтах верхняя кромка облаков начинает снижаться, достигая минимума 64 km над полюсом, в то время как среднее содержание водяного пара достигает максимума 5 ppm с разбросом 1–15 ppm на широтах 70 – 80° . Показано также отсутствие заметной зависимости содержания H_2O от местного времени. Равновесная концентрация серной кислоты облачных капель, соответствующая измеренным содержаниям водяного пара составляет 75–83%. Сернокислотный аэрозоль находится в жидком переохлажденном состоянии. При этом количество воды в виде пара всегда превышает количество воды в аэрозоле, т.е. концентрация серной кислоты подстраивается под количества водяного пара, образующиеся на данном уровне вследствие каких либо (динамических, фотохимических) причин. Наблюдаемое пространственное распределение водяного пара вполне согласуется с предполагаемой динамикой атмосферы, а именно существованием ячейки Хэдли и полярной ячейки. Одновременные УФ изображения Венеры, полученные при помощи фотокамеры VMC, показали отсутствие предполагавшейся ранее возможной систематической связи между локальными (на масштабах в сотни км и менее) вариациями содержания УФ-поглопителя, водяного пара и высоты облаков.

2.2.2 Морфология верхней части облачного слоя (по данным эксперимента VMC)

В работе представлены результаты полетной калибровки фотокамеры VMC с акцентом на результаты УФ канала эксперимента, в котором, благодаря наличию УФ поглощения, изображение Венеры наиболее контрастно. В низких широтах преобладают относительно темные неоднородные облака, что свидетельствует об активной конвекции вблизи подсолнечной точки. На широте 50° облачные детали становятся вытянутыми вдоль параллели, что предполагает горизонтальные почти ламинарные течения. Выше 60° планета покрыта УФ светлой полярной «шапкой» без заметных деталей, которая иногда пересекается узкими (~ 300 км) спиральными «рукавами» полярного вихря. Эта характерная картина может изменяться в течение нескольких десятков часов, когда яркость дымки увеличивается до 30%, и она распространяется в низкие широты. Изображения с близкого расстояния показывают множество морфологических деталей, таких как конвективные ячейки, вытянутые полосы, похожие на кучевые облака, волновые пакеты. Часто наблюдаются различные мелкомасштабные волны. Наиболее часто волны наблюдаются на широтах 65 – 80° и, особенно, над районом Земли Иштар, что предполагает их орографическое происхождение. Кратко обсуждаются приложения наблюдений VMC для изучения неизвестного УФ поглотителя, микрофизических процессов, динамики и радиационного баланса в верхнем ярусе облаков.

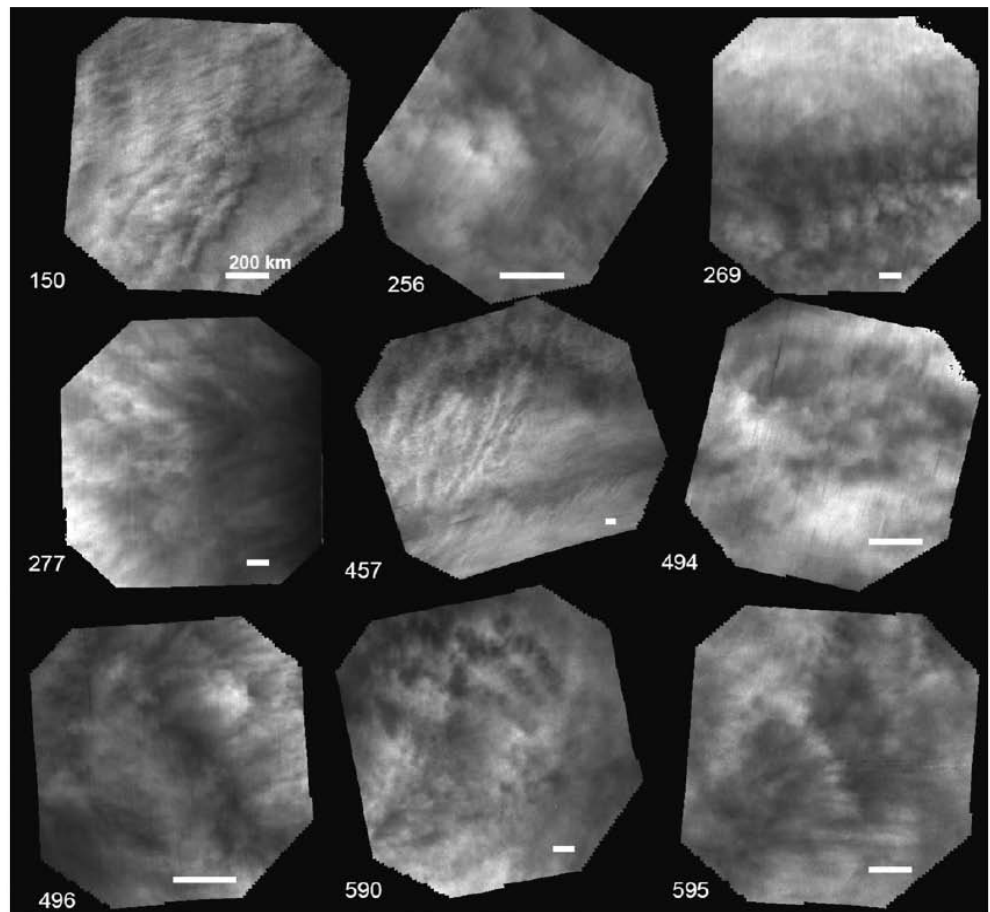


Fig. 10. UV images of the low latitudes taken from a distance of 3000–5000 km. The white bar in the lower right of each image shows the scale distance of 200 km. Numbers are given at the bottom left of each image.

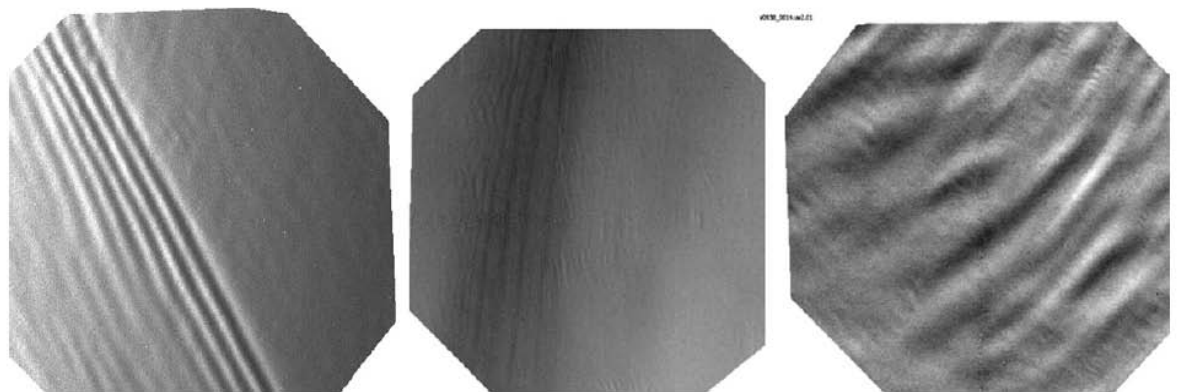


Fig. 11. VMC images of polar waves: left – long waves (NIR1 filter), middle – long waves producing short wave trains (UV), right – irregular waves (UV).

2.2.3 Структура верхних облаков: совместный анализ данных экспериментов VIRTIS и VeRa

Оценка вертикального профиля концентрации аэрозольных частиц (точнее, двух его параметров: высоты верхней границы и шкалы высоты) выполнена путем подгонки спектров излучения атмосферы в диапазоне 4–5 мкм, измеренных спектрометром VIRTIS, с использованием вертикальных профилей температуры, полученных в эксперименте по радиопросвечиванию атмосферы VeRa (нечувствительном к аэрозолю). Высота верхней границы облаков уменьшается от 67.2 ± 1.9 км в низких широтах до 62.8 ± 4.1 км на полюсе с соответствующим уменьшением шкалы высоты от 3.8 ± 1.6 км до 1.7 ± 2.4 км. Эти изменения коррелируют с полем температуры. В холодном вихре и высоких широтах

высота верхней границы облаков совпадает с резким минимумом в температурной инверсии, предполагая роль радиационного охлаждения в образовании этих структур. Спектральная зависимость высоты верхней границы облаков соответствует их сернокислотному составу и указывает на увеличение размеров частиц от экватора к полюсу.

к. ф.-м. н.ИгнатьевН.И., niignatiev@googlemail.com

V. Cottini, N.I. Ignatiev, G. Piccioni, P. Drossart, D. Grassi, W.J. Markiewicz (2011). Water vapor near the cloud tops of Venus from Venus Express/VIRTIS dayside data, Icarus, in press, doi:10.1016/j.icarus.2011.06.018.

D. V. Titov, W. J. Markiewicz, N. I. Ignatiev, Li Song, S. S. Limaye, A. Sanchez-Lavega, J. Hesemann, M. Almeida, Th. Roatsch, K.-D. Matz, F. Scholten, D. Crisp, L. W. Esposito, S. F. Hviid, R. Jaumann, H. U. Keller, R. Moissl (2011). Morphology of the cloud tops as observed by the Venus Express Monitoring Camera. Icarus, in press, doi:10.1016/j.icarus.2011.06.020.

Y.J. Lee, D.V. Titov, S. Tellmann, A. Piccialli, N. Ignatiev, M. Pätzold, B. Häusler, G. Piccioni, P. Drossart (2011). Vertical structure of the Venus cloud top from the VeRa and VIRTIS observations onboard Venus Express. Icarus, in press, doi:10.1016/j.icarus.2011.07.001.

A.T. Basilevsky, E.V. Shalygin, D.V. Titov, W.J. Markiewicz, F. Scholten, Th. Roatsch, M.A. Kreslavsky, L.V. Moroz, N. Ignatiev, B. Fiethe, B. Osterloh, H. Michalik, Geologic interpretation of the near-infrared images of the surface taken by the Venus Monitoring Camera, Venus Express, Icarus, in press, doi:10.1016/j.icarus.2011.11.003

2.3 Ветер на верхней границе облаков по УФ-изображениям камеры ВМС на ВенереЭкспресс

В 2011-м году были продолжены исследования параметров циркуляции верхнего облачного слоя атмосферы Венеры по данным ВМС (проект «Венера-Экспресс»).

Было разработано программное обеспечение для автоматизации оценки смещения деталей облачного покрова. Результаты, полученные в автоматическом и ручном режиме, демонстрируют хорошее совпадение. Пример измерений широтного профиля зонального ветра представлен на Рис.1.

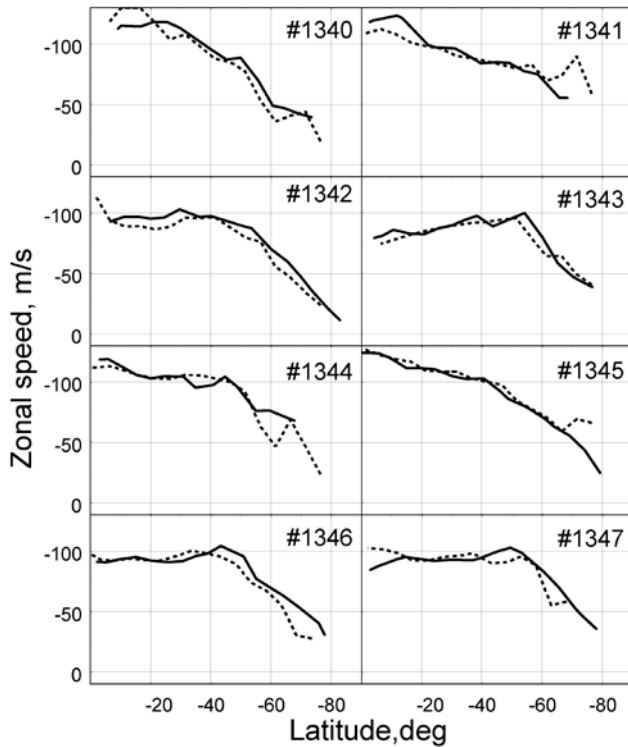


Рис. 1 Широтные профили зонального ветра, полученные ручным (сплошная линия) и автоматическим (пунктир) методами для орбит 1340-1347

Автоматическим методом обработано 430 орбит, покрытие по времени составляет 10 венерианских лет (2000 земных суток), получено ~300000 векторов смещения деталей облачного покрова.

При анализе БД были подтверждены обнаруженные ранее вековые вариации скорости зонального ветра в низких широтах. Аналогичные вековые вариации в скорости ветра на уровне верхней границы облаков были обнаружены по изображениям ОСРР на «Пионер-Венера» (Rossow et. al, 1990).

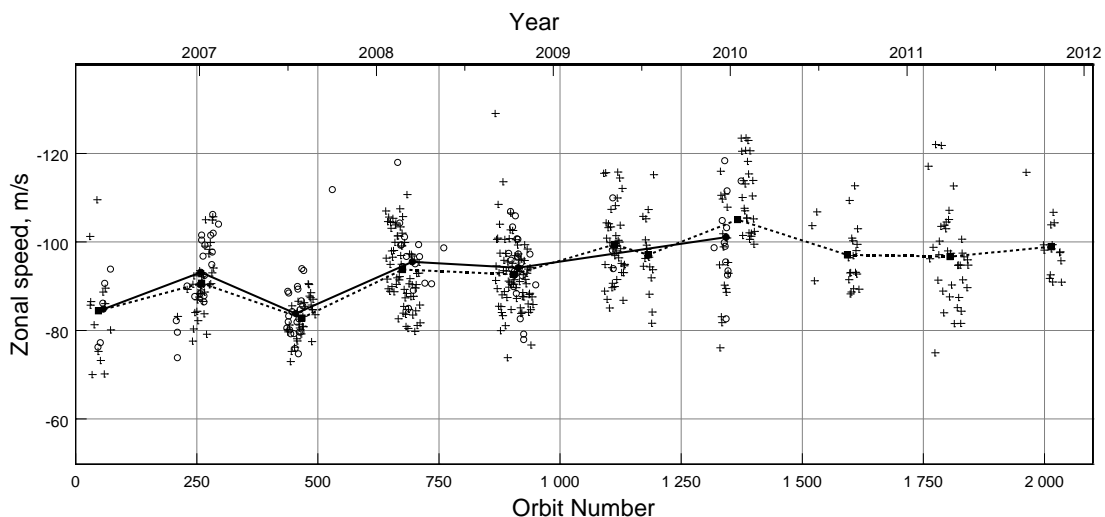


Рис. 2 Вековые вариации в зональной скорости ветра на уровне верхней границы облаков по данным VMC, установленной на борту «Венера-Экспресс». Диапазон наблюдений покрывает 10 венерианских лет. Сплошная линия – ручные измерения, пунктирная – автоматические.

В экваториальном поясе (0-35 градусов ю.ш.) обнаружены периодические осцилляции зональной компоненты скорости ветра. Наиболее значимыми являются две группы периодов: солнечно-связанные периоды - около 116 ± 8 сут - и периоды 4.83 ± 0.1 сут, связанные с суперротацией атмосферы Венеры. Обнаружено, что короткопериодические осцилляции зональной компоненты скорости ветра с периодами, близкими к периоду суперротации атмосферы, являются устойчивыми явлениями в атмосфере Венеры. Детальные исследования временных рядов на периодичность, проведенные по отдельным группам последовательных орбит, показывают, что частота осцилляций может сохранять стабильность на протяжении, по крайней мере, 66 сут (орбиты 640-711). При этом амплитуда осцилляций составляет величину 7.5 ± 1.1 м/с. Обнаруженные по группам последовательных орбит периоды приведены в Табл.1. Максимальная из обнаруженных амплитуда осцилляций составляет величину 17.4 ± 1.6 м/с.

На Рис.3 представлена фазовая диаграмма, содержащая два последовательных колебания с обнаруженным периодом для орбит 1329-1347. Максимальная амплитуда осцилляций наблюдается на широте 10 градусов.

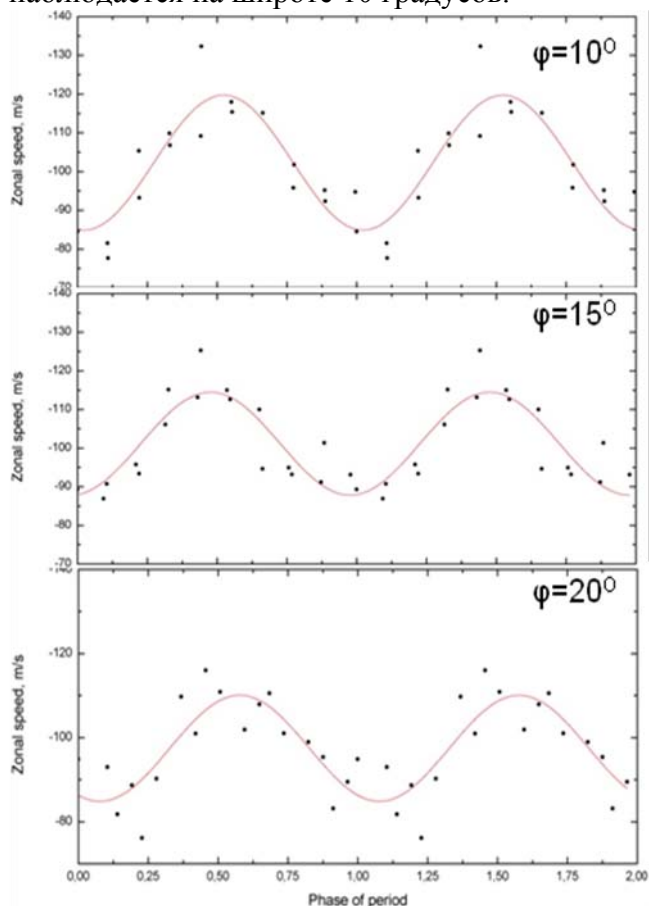


Рис. 3 Фазовые диаграммы, содержащие два последовательных колебания с обнаруженным периодом, для орбит 1329-1347 для широт 10, 15 и 20 градусов.

Обнаруженные короткопериодические осцилляции с периодами близкими к периоду суперротации атмосферы могут быть проявлением волновых процессов в средней атмосфере Венеры на уровне верхней кромки облаков. Наблюдаемое волновое число составляет 1.

Табл. 1 Периоды осцилляций зональной компоненты скорости ветра

Диапазон орбит	Кол-во орбит	Период, сут	Средняя скорость, м/с	Амплитуда осцилляций, м/с	Положение максимума Широта, град
0436-0471	36	4.10 ± 0.10	-86.63 ± 0.95	8.06 ± 1.30	30

0640-0711	63	4.83±0.05	-94.30±0.67	7.77±0.93	10
0866-0944	78	4.50±0.10	-91.51±0.66	6.00±0.94	30
1090-1133	36	4.85±0.05	-101.39±0.80	11.16±1.12	10
1329-1347	17	4.50±0.10	-102.28±1.14	17.44±1.6	10
1374-1400	20	4.63±0.10	-112.55±0.57	10.29±0.81	20
0241-2035	430	4.83±0.10	-96.10±0.10	4.28±0.13	10
Все					

к. ф.-м. н. Хатунцев И.В.

Khatuntsev I., Ignatiev N., Patsaeva M., Titov D., Markiewicz W.; Variability in the atmospheric winds on the cloud top level of Venus according to UV images obtained by VMC // EGU General Assembly 2011; Geophysical Research Abstracts, V13, EGU2011-987, 2011

Khatuntsev I., Patsaeva M., Titov D., Markiewicz W., Ignatiev N., Turin A.; Oscillations in the zonal wind speed at upper cloud level of Venus obtained from UV images made by VMC // Atmospheric Waves Workshop, Netherlands, ESTEC, Noordwijk, 9-10 November, 2011

2.4 Исследование динамики мезосферы Венеры

В статье излагаются результаты исследования параметров циркуляции мезосферы Венеры (60-100 км) по данным радио-затменного эксперимента VeRa на борту Venus Express. В ходе эксперимента VeRa для обоих полушарий Венеры были получены вертикальные профили плотности, температуры и давления на высотах от 40 и 90 км с вертикальным разрешением несколько сот метров. Зная вертикальные профили плотности и температуры, а также используя циклострофическое приближение уравнения Навье-Стокса, были получены поля скоростей зонального ветра. Главной особенностью полученных полей скорости ветра является среднеширотный джет с максимальной скоростью до 140±15 м/с, расположенный между 20 и 50 градусами южной широты на высоте 70 км. Величина циклострофического ветра достаточно хорошо согласуется со средним широтным профилем зонального ветра, измеренным по смещению деталей облачного покрова на УФ снимках, полученных Venus Monitoring Camera (VMC/VEEx). Наблюдаемая рассогласованность результатов в экваториальной и полярной областях может быть объяснена отсутствием на данных широтах циклострофического баланса. Полученные поля температур и скоростей позволили оценить параметры устойчивости атмосферы. На основе анализа измеренного поля температур и поля термического ветра была выполнена оценка числа Ричардсона Ri. Малые значения числа Ричардсона на высотах от 45 до 60 км на всех широтах характеризуют исследуемый слой нижнего и среднего яруса облаков как почти адиабатную атмосферу. Большие значения Ричардсона были обнаружены в области среднеширотного джета, что указывает на устойчивую атмосферу. Было проверено необходимое условие для возникновения баротропной неустойчивости и установлено, что в обращенной к полюсу стороне среднеширотного джета возможно возникновение волновой неустойчивости.

к. ф.-м. н. Хатунцев И.В.

A. Piccialli, S. Tellmann, D.V. Titov, S.S. Limaye, I.V. Khatuntsev, M. Pätzold, B. Häusler Dynamical properties of the Venus mesosphere from the radio-occultation experiment VeRa onboard Venus Express Icarus, 2011, в печати

2.5 Свечение молекулярного кислорода на Венере и Марсе по данным экспериментов VIRTIS/VEХ и OMEGA/MEX

Изучение планет земной группы имеет большое значение в рамках сравнительной планетологии. В работе суммированы результаты изучения ночного и дневного свечения молекулярного кислорода в атмосфере Венеры и Марса, полученных при помощи гиперспектрометров VIRTIS и OMRGA соответственно. Пространственное распределение

эмиссий $O_2(a^1\Delta_g - X^3\Sigma_g^-)$ характеризует особенности динамики атмосфер этих планет, а изучение вариаций в зависимости от сезона и местного времени характеризует особенности фотохимических процессов.

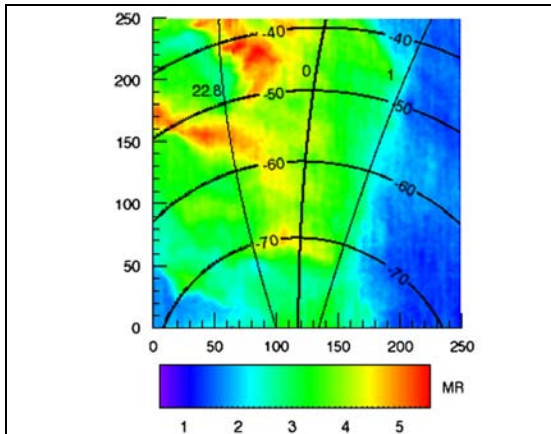


Fig. 2. Map of oxygen Venus nightglow distribution on a single image, acquired on May 6th, 2007, showing a wave-like structure on the top left.

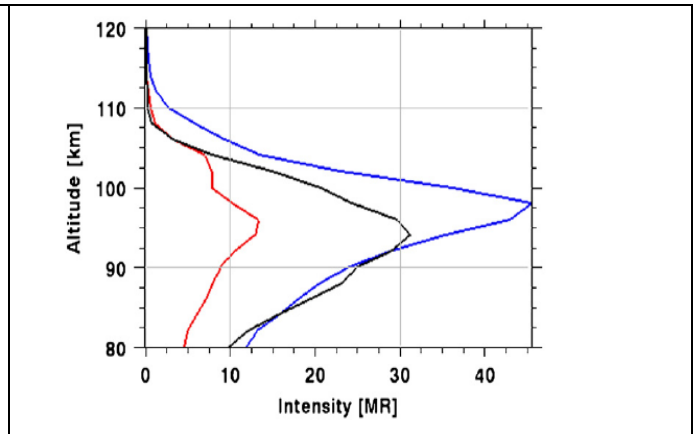


Fig. 3. Vertical profiles in limb view of the $O_2(0,0)$ on Venus night side, acquired by VIRTIS/Venus Express on limb mode. Each curve is obtained by averaging oxygen nightglow intensity from a single image into a latitude bin of $5-10^\circ$. The y-axis is tangent altitude. The black profile refers to the latitude range $30-35N$, for data acquired on 2007-03-04, while the red one to the latitude range $50-60N$, for data acquired on 2007-05-09, and the blue one to the latitude range $0-10N$, for data acquired on 2008-04-05. The altitude of the peak varies from day to day and with latitude (Piccioni et al., 2009). An example of double peaked profile is also shown.

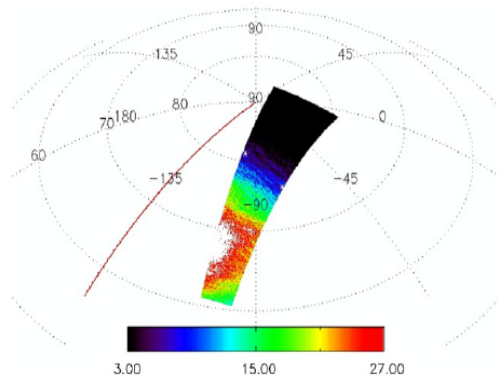


Fig. 5. Orthographic projection of the $(0,0)$ O_2 band emission map derived from orbit 68 ($L_s=342.54^\circ$). The red line indicates the meridian of the subsolar point ($LAT=-7^\circ S$). White asterisks indicate the crossing points of the terminator. Waves appear close and parallel to it.

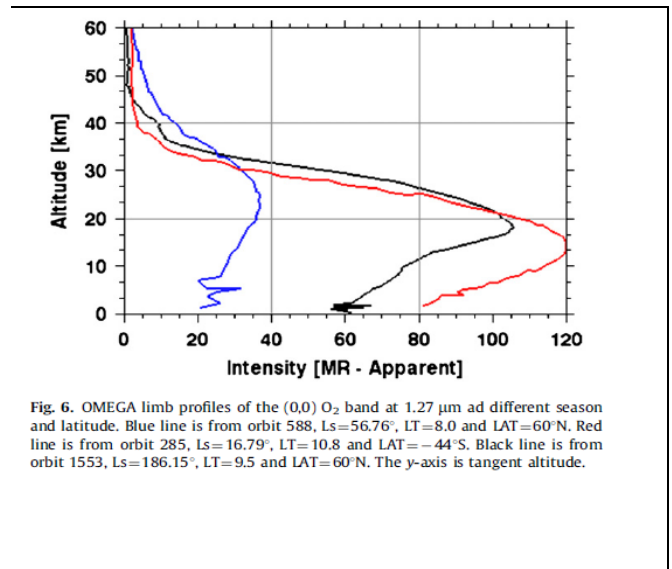


Fig. 6. OMEGA limb profiles of the $(0,0)$ O_2 band at $1.27 \mu m$ at different season and latitude. Blue line is from orbit 588, $L_s=56.76^\circ$, $LT=8.0$ and $LAT=60^\circ N$. Red line is from orbit 285, $L_s=16.79^\circ$, $LT=10.8$ and $LAT=-44^\circ S$. Black line is from orbit 1553, $L_s=186.15^\circ$, $LT=9.5$ and $LAT=60^\circ N$. The y-axis is tangent altitude.

Д. ф.-м. н. Засова Л.В., Zasova@iki.rssi.ru

Migliorini, A.; Altieri, F.; Zasova, L.; Piccioni, G.; Bellucci, G.; Cardesín Moinelo, A.; Drossart, P.; D'Aversa, E.; Carrozzo, F. G.; Gondet, B.; Bibring, J.-P. Oxygen airglow emission on Venus and Mars as seen by VIRTIS/VEX and OMEGA/MEX imaging spectrometers. *Planetary and Space Science*, Volume 59, Issue 10, p. 981-987, 2011.

Colin FrankWilson, Eric Chassefière, Emmanuel Hinglais, Kevin H. Baines, Tibor S. Balint, Jean-Jacques Berthelier, Jacques Blamont, Georges Durry, Csaba S. Ferencz, Robert E. Grimm, Takeshi Imamura, Jean-Luc Josset, François Leblanc, Sebastien Lebonnois, Johannes J. Leitner, Sanjay S. Limaye, Bernard Marty, Ernesto Palomba, Sergei V. Pogrebenko, Scot C. R. Rafkin, Dean L. Talboys, Rainer Wieler, Liudmila V. Zasova. *The 2010 European Venus Explorer (EVE) mission proposal. Exp Astron. DOI 10.1007/s10686-011-9259-9, 2011.*

3 МЕРКУРИЙ

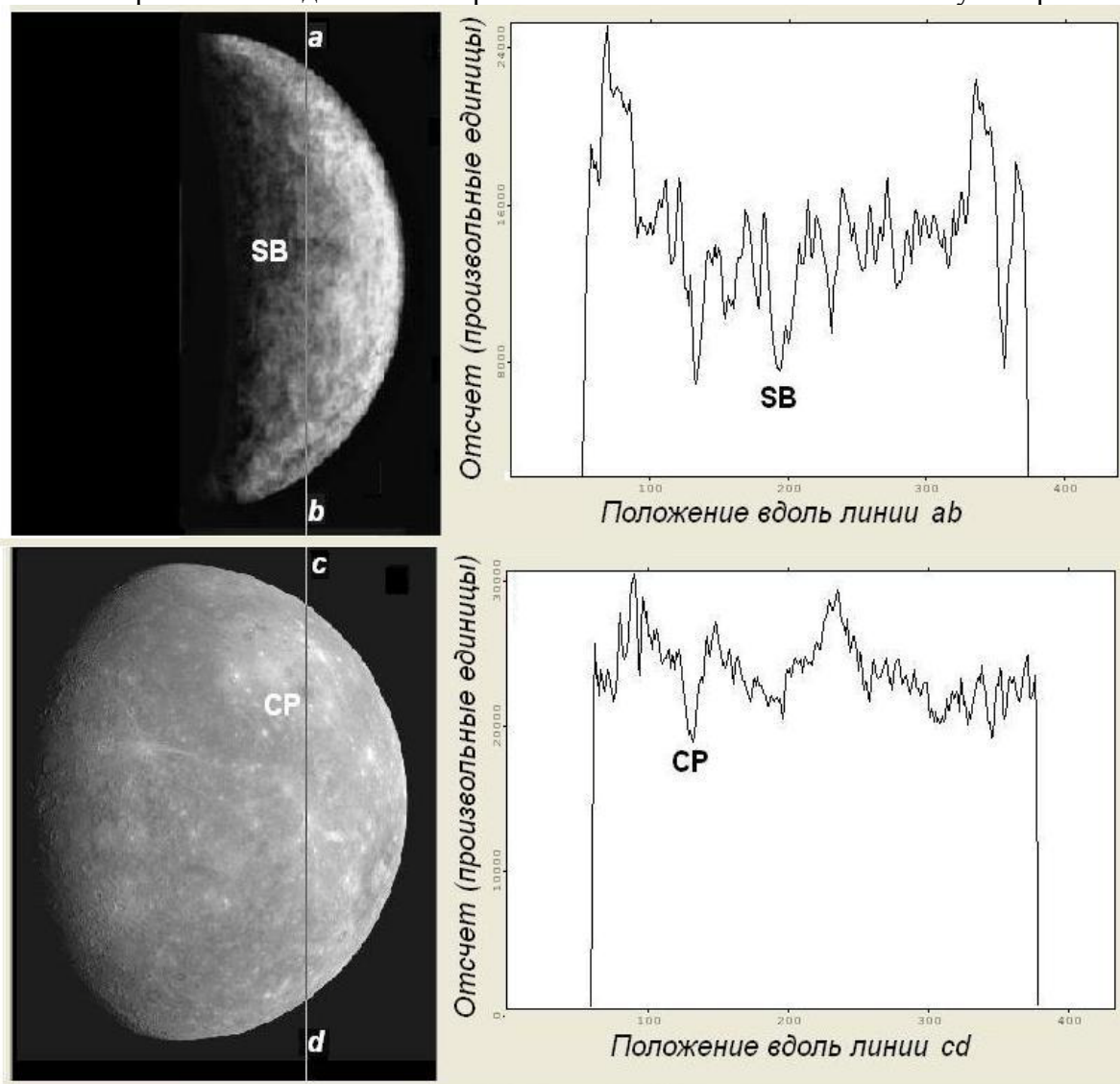
В наземных наблюдениях Меркурия весьма продуктивным оказался метод коротких экспозиций. Телескопические наблюдения с короткими экспозициями вместе с компьютерными кодами, позволяющими обработать массивы из многих тысяч исходных электронных снимков, позволяют довести разрешение снимков, полученных наземным инструментом, практически до дифракционного предела. Получаемые композитные снимки сравнимы с изображениями, получаемыми с космических аппаратов на подлете, с расстояний около 1 млн. км. В наиболее благоприятной для наблюдений элонгации угловой размер планеты не превосходит $7''$, а наибольшее угловое расстояние от Солнца 28° (обычно не более 22°). Поэтому продуктивные наблюдения возможны лишь в пределах сумерек. Получение разрешенных изображений планеты Меркурий с помощью средств наземных обсерваторий оставалось практически недостижимым в течение почти всего XX века. Несмотря на высокую яркость объекта, требуемая экспозиция для фотоэмульсий в типичном случае наблюдений с 1-м инструментом, $1 : 16-1 : 20$, оказывалась близкой к 1 с, изображение получалось размытым, а достижимое разрешение составляло лишь несколько точек на диаметр.

Ключевых идей для повышения качества изображений, получаемых в наземных наблюдениях, было две. Во-первых, это использование очень коротких, миллисекундных экспозиций. Метод коротких экспозиций заключается в том, чтобы использовать случайные мгновенные прояснения атмосферы, когда изображение четкое и не успевает размыться. Так как атмосферу можно представить как множество случайно образовавшихся слабо преломляющих линз неправильной формы, которые возникают и исчезают, искажая фронт проходящей световой волны, случайные мгновенные прояснения возникают только при спокойной атмосфере и, в большинстве случаев, в предрассветные часы. Характерное время, за которое мгновенные оптические свойства атмосферы изменяются, редко бывает меньше 12–20 мс.

Использование для обработки и получения разрешенных изображений специально разработанных и ранее опубликованных компьютерных кодов было второй и чрезвычайно плодотворной ключевой идеей работы.

Как известно, контрастность деталей Венеры в ближнем инфракрасном диапазоне малозаметна (Ксанфомалити, 1986), поэтому было проведено сопоставление контрастных деталей изображений, полученных в нашей работе с наблюдениями с помощью аппарата MESSENGER, на доступных изображениях. Их сравнение позволяет судить о роли шумов в формировании деталей снимков. В верхней части рисунка показано распределение яркости вдоль линии *ab*, проходящей через объект SB, обнаруженный в наших работах (бассейн Скинакас). Линия *ab* проходит параллельно полярной оси планеты. Контрастность крупных элементов достигает 30%. Нижняя панель представляет распределение яркости вдоль линии *cd* на снимке аппарата Messenger (2008 г.), также параллельной полярной оси планеты и проходящей через объект CP (равнина Жары). Четкость снимка искусственно ухудшена, а фаза соответствует низкой контрастности деталей, которая, тем не менее, достигает 8%–10%. Таким образом, можно утверждать,

что контрастность деталей обработанных снимков соответствует реальности.

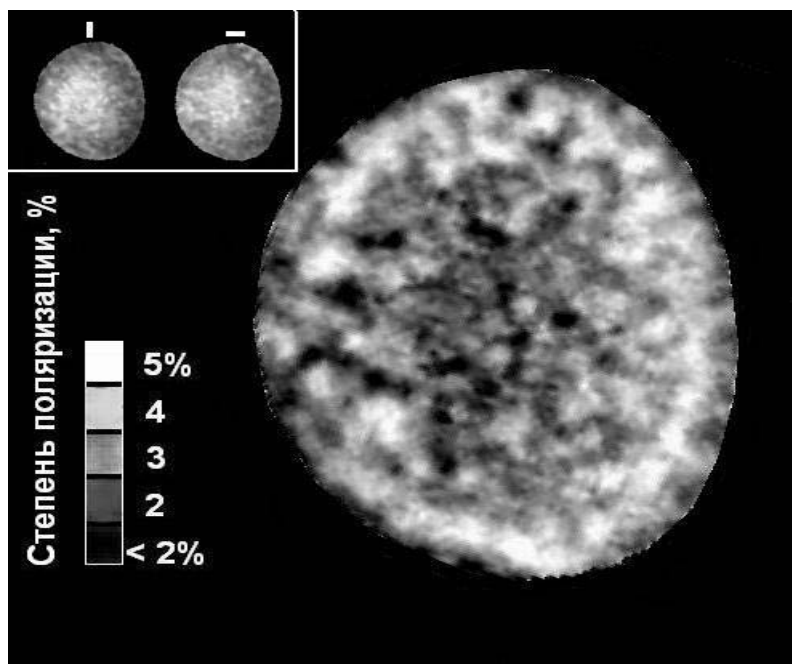


Л. Ксанфомалити Рис. 11 Меркурий

В задачи наблюдений входило также изучение распределения поляризации по диску планеты. Для этого в сходящемся пучке была установлена призма Волластона, что позволяло получить распределение поляризации света по диску планеты одновременно в двух положениях плоскости поляризации. Наблюдения при произвольном положении призмы никакой полезной информации не дают, поэтому перед началом работы она выставлялась в положение, при котором различие между осредненными интенсивностями двух изображений получалась максимальным. Призма с углом между обыкновенным и необыкновенным лучами 3.5° была спроектирована специально для работы с камерой STV. Расстояние между призмой и ПЗС матрицей составляло 15 мм. Фокусировка системы в целом выполнялась по звездам. Пример исходной пары изображений, пригодных для поляриметрической обработки, показан вверху на вставке. Различия в изображениях в поляризованном свете достаточно заметны. Положение плоскости поляризации на обоих снимках взаимно перпендикулярно. При обработке сравнивались изображения в поляризованном свете, в плоскости поляризации, соответствующей максимальной интенсивности, и в плоскости минимальной интенсивности, в каждом пикселе, bi_{max} и bi_{min} и вычислялась поляризация (Ксанфомалити, 2003):

$$pi = (bimax - bi min) / (bi max + bi min).$$

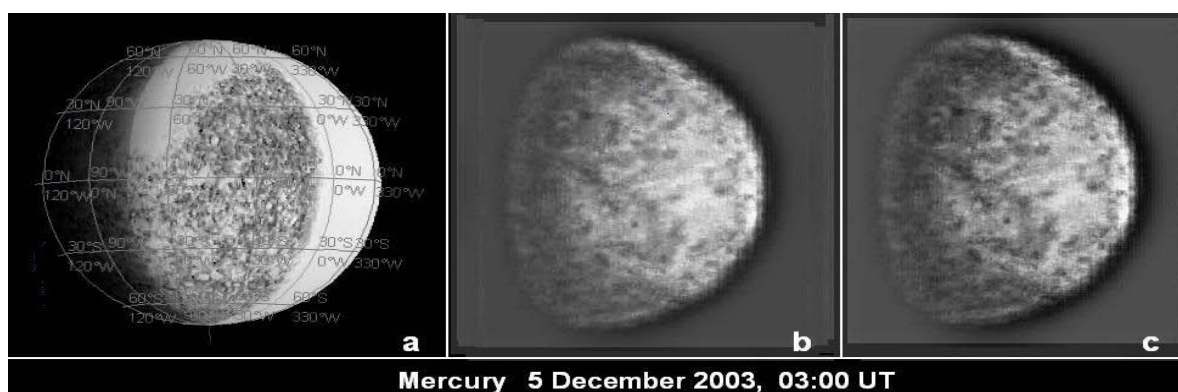
Построенное таким образом распределение степени поляризации (для данного полушария и в данной фазе планеты!) приведено на рисунке. Рассматривать следует центральную часть рисунка, так как увеличение параметра ri на периферии недостоверно. Максимальная поляризация достигает 4%–5% и более или менее характерна для такой же фазы Луны в материковых районах. Значительные различия



Л. Ксанфомалити Рис. 13 Меркурий

в поляризации представляются неожиданными, поскольку “моря” лунного типа на Меркурии отсутствуют, поэтому они свидетельствуют, главным образом, о локальных различиях в измельченности и других свойствах реголита. Следует напомнить, что интегральные измерения поляризации света, рассеянного поверхностью Меркурия, выполняли Dollfus и Auriere (1974). Разрешенные измерения удалось выполнить впервые.

Было интересно провести наблюдения некоторых конфигураций планеты, когда фаза менее выгодна для наблюдений. Положение Меркурия 4/5.12.2003 г., как он мог быть виден наблюдателю с Земли, представлено электронным глобусом, показанным на рисунке (а), с координатной сеткой. Метеоусловия были нестабильными и для наблюдений Меркурия малопригодными. Отснятая Mariner-10 территория проходит в виде рога к северу, оставляя неизвестными сектор долгот восточнее $5^{\circ}W$ и обширную территорию западнее линии $0-70^{\circ}W$ к северу от экватора, примерно до меридиана $90^{\circ}W$ (белые участки на рисунке). Как уже отмечалось, низкие пространственные частоты (крупные образования различающихся оттенков) глобусом не представлены. Сведения об этих районах по данным миссии Messenger здесь не показаны из-за эффектов фазы. При наблюдениях 4/5 декабря 2003 г.



Л. Ксанфомалити Рис. 14 Меркурий

Меркурий был в фазе 62° , центральный меридиан $45^{\circ}W$. Сектор наблюдаемых долгот охватывал $330^{\circ}W-0-75^{\circ}W$. Результаты обработки методом корреляционного совмещения более тысячи наиболее удачных исходных электронных снимков приведены на рисунках б и в, различающихся контрастностью деталей. Как оказалось, как раз на обширной

неизвестной территории слева, западнее линии 70°W , к северу от экватора находятся два больших темных бассейна. Бассейн с центром у 15°N , 60°W имеет размеры около 600 км и светлый вал неправильной формы. Почти к самому северному полюсу примыкает своим валом другой бассейн, размерами около 1000 км, с центром у 55°N , 60°W .

Не исключено его совпадение с кратером F2, найденным радиолокационными методами в работе Hagton и др., (1988; 2001). Вокруг него расположены другие, менее крупные кратеры. Их рельеф подчеркнут скользящим падением солнечных лучей. В южном полушарии можно видеть другой большой бассейн, который находится в южной приполярной зоне, в высоких южных широтах, с центром примерно у 55°S , 60°W .

Наиболее заметный кратер (несомненно, ударного происхождения) находится в южном полушарии, у 15°S , 45°W , между кратерами Ренуар и Тициан. Он имеет светлую центральную горку и обширный вал ударных выбросов, размерами более 500 км. От северо-восточной части вала и точки примерно у 50°W на экваторе в северо-восточном направлении отходит протяженная светлая полоса. По-видимому, это “луч” ударного кратера, находящегося на лимбе. Начало полосы с трудом прослеживается на снимках Mariner-10; дальше полоса уходит в сектор восточнее 5°W . Несколько темных образований размерами около 200 км хорошо видны на юго-восточном лимбе (положение “4 часа”). На снимках Mariner-10 кратер у 15°S , 45°W менее заметен, вероятно, из-за различий в фазе, как это иллюстрируют приведенные выше снимки. Структура кратера и его вала позволяют отнести его к молодым образованиям.

д.ф.-м.н. Ксанфомалити Л.В., ksanf@iki.rssi.ru

Ксанфомалити Л.В. Исследования неизвестного полушария Меркурия наземными астрономическими средствами // Астрономический вестник 2011, том 45, № 4, с. 291–314.

Ksanfomaly L. Study of Mercury by Ground-Based Astronomical Facilities. Стенодовый доклад на Планетной конференции в Нанте (EPSC-DPS Joint Meeting 2011 La Cité Internationale des Congrès Nantes Métropole 02 – 07 October 2011, Nantes, France)

4 РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

Исследование процессов формирования и начальной эволюции планетных атмосфер, работы по лабораторному моделированию этих процессов. Исследование физико-химических процессов в облаке пара, возникающем при высокоскоростных ударах крупных метеоритов, включая процессы образования конденсационных наночастиц, формирование химического состава конденсированной и газовой фазы и синтез органического вещества.

1. Выявлен новый механизм улетучивания элементов из силикатных расплавов при ударно-испарительных процессах. Показано, что при сверхвысоких температурах силикатных расплавов $\sim 5000\text{ K}$ улетучивание элементов происходит в форме сложных молекулярных комплексов (кластеров), характеризующихся высокой внутренней устойчивостью. В частности, были проведены работы по моделированию ударно-испарительных процессов на ряде кальциевых силикатов (ларнит, волластонит, мервинит, др.) и было подтверждено, что устойчивой формой улетучивания кальция является комплекс с характерным отношением элементов $\text{Ca}:\text{Si}=1:1$ («волластонитовый» кластер).

2. Обоснована концепция формирования первичной коры Земли, возникающей в результате интенсивной переработки планеты ударами планетезималей. Анализ, проведенный на основании полученных экспериментальных данных по модельному ударному испарению силикатов различных типов, показывает, что формируемая протокора обогащается летучими компонентами. Это приводит в итоге к значительному

уменьшению скоростей стока газов и воды, выделяемых в результате ударной дегазации, из атмосферы и гидросферы с последующей их стабилизацией. Силикатное вещество в формирующейся протокооре характеризуется повышением концентрации летучих и умеренно летучих элементов и преимущественно цепочной и каркасной полимеризацией кремнекислородных тетраэдров.

3. Программа Президиума РАН П-25/1 «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем». Подраздел "Абиогенный синтез органических соединений в результате ударных процессов на планетах и малых телах в Солнечной системе"

Было изучено образование органических соединений (ОС) при моделировании ударных процессов в восстановительной атмосфере, моделирующей состав атмосферы Титана. Моделирование ударного воздействия проводили путем испарения образца перидотита с помощью лазерного импульса мощностью $\sim 0,6$ кДж в газовой среде, состоящей из чистого метана и смесей метана с азотом в объемных соотношениях 1:1 и 1:9 при атмосферном давлении. Эксперименты проводили в герметичной камере с оптическим окном из кварцевого стекла.

В рамках данного исследования была разработана методика термодесорбционного и пиролитического извлечения микроколичеств органических веществ из твердых образцов в потоке газа-носителя, их газохроматографического разделения и масс-спектрометрической идентификации.

В ходе экспериментов наблюдалось образование ОС преимущественно ароматического ряда (основной продукт - нафталин) и неорганического вещества - углекислого газа в преобладающем количестве. Выход ОС был наибольшим в эксперименте с метановой атмосферой. По мере разбавления метана азотом, ассортимент и выход ОС существенно снижались. По-видимому, получающиеся ОС являются продуктами высокотемпературного пиролиза метана. В данных условиях мелко диспергированная в плазменном облаке перидотитовая подложка, скорее всего, не оказывала каталитического воздействия на реакцию пиролиза. Азотсодержащих соединений обнаружено не было.

При высокотемпературном пиролизе образцов конденсатов, которые уже подвергались предварительной термодесорбции, обнаружены очень небольшие количества бензола и толуола. По-видимому, в условиях эксперимента образуется очень немного керогенов, или в их составе преобладают очень сильно конденсированные ароматические структуры, практически не дающие летучих продуктов пиролиза.

к.ф.-м.н. Герасимов М.В., mgerasim@mx.iki.rssi.ru

Яковлев О.И., Герасимов М.В., Диков Ю.П. (2011) Условия образования плёночных конденсатов на поверхности частиц лунного реголита. Геохимия, № 10, с. 1025-1031.

О. И. Яковлев, М. В. Герасимов, Ю. П. Диков (2011) Оценка температурных условий образования HASP- и GASP-стеклол лунного реголита, Геохимия, № 3, с. 227-238.

Яковлев О.И., Герасимов М.В., Диков Ю.П. (2011) Типы процессов испарения минералов и горных пород. В сб.: 12-я Международная конференция «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле», 3 - 6 октября, Москва, с. 327-330.

M.V.Gerasimov and the GAP team (2011) Principals of volatile components measurements in the GAP experiment onboard the Phobos-Grunt mission and beyond. In: The Second Moscow Solar System Symposium, October 10-14, Space Research Institute of the RAS, Moscow, abstract 2MS3-PhS-01, (CD-ROM).

M. Cabane, C. Szopa, P. Coll, D. Coscia, J.P. Goutail, J.J. Correia, A. Galic, M.V. Gerasimov, I.I. Vinogradov, A.G. Sapgir, A.V. Kalyuzhnyi, A.V. Stepanov, A.Yu.Titov, Yu.V. Lebedev, M.M. Gerasimov, the GAP team (2011) The gas chromatograph of the Gas Analytical Package aboard the Phobos-Grunt mission: in situ analysis of the surface of Phobos. In: The Second Moscow

Solar System Symposium, October 10-14, Space Research Institute of the RAS, Moscow, abstract 2MS3-PhS-02, (CD-ROM).

G. Durry, J.S. Li, I. Vinogradov, A. Titov, L. Joly, J. Cousin, T. Decarpenterie, N. Amarouche, X. Liu, B. Parvitte, O. Korablev, M. Gerasimov, V. Zéninari (2011) Near Infrared Diode Laser Spectroscopy of C₂H₂, H₂O, CO₂ and Their Isotopologues and the Application to a Tunable Diode Laser Spectrometer (TDLAS) for the Martian Phobos-Grunt Space Mission. In: The Second Moscow Solar System Symposium, October 10-14, Space Research Institute of the RAS, Moscow, abstract 2MS3-PhS-03, (CD-ROM).

O. I. Yakovlev, M. V. Gerasimov, Yu. P. Dikov (2011) Genesis of Lunar Segregated and Grain Rims Condensates. In: Lunar and Planetary Science 42, Abstract #1664, Lunar and Planet. Inst., Houston, Texas, (CD-ROM).

C. Szopa, P. Coll, M. Cabane, D. Coscia, J.P. Goutail, J.J. Correia, A. Galic, M.V. Gerasimov, I.I. Vinogradov, A.G. Sapgir, A.V. Kalyuzhnyi, A.V. Stepanov, A.Yu. Titov, Yu.V. Lebedev, M.M. Gerasimov the GAP team (2011) Study of the chemical composition of the surface of Phobos with the gas chromatograph of the Gas Analytical Package aboard the Phobos-Grunt mission, In: EPSC-DPS Joint Meeting 2011, October 02 – 07, Nantes, EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-771, (CD-ROM).

M.V. Gerasimov, I.I. Vinogradov, A.G. Sapgir, A.V. Kalyuzhnyi, O.E. Kozlov, A.V. Stepanov, A.Y. Titov, D.S. Rodionov, Y.V. Lebedev, M.M. Gerasimov, M. Cabane, C. Szopa, D. Coscia, J.-P. Goutail, J.J. Correia, A. Galic, F. Goesmann, P. Wurz, D. Abplanalp, and M. Tulej (2011) Gas-Analytic Package for the Russian Luna-Globe and Lunar-Resource missions. In: EPSC-DPS Joint Meeting 2011, October 02 – 07, Nantes, EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-956, (CD-ROM).

Gerasimov M. (2011) The effect of impact-induced accretionary processing of the Earth. In: III International conference Biosphere Origin and Evolution, October 16 – 20, Rethymno, Crete, abstract OP-23, (CD-ROM).

5 ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

В 2011 г. в Крымской обсерватории (НИИ КрАО) проводились фотополяриметрические (UBVRI фотометр - поляриметр) и фотометрические наблюдения (ПЗС фотометр) на 1,25 м телескопе АЗТ-11. Систематически наблюдался объект HD189733 с целью поиска периодических изменений поляризации, коррелированных с периодом обращения экзопланет. Данные обрабатываются для подготовки публикации.

Положение гипотетической зоны обитаемости во внесолнечных планетных системах сравнивается, как правило, с её положением в Солнечной системе (интервал орбит от Венеры до Марса). Примерно 1/3 экзопланет обращается вокруг своих звезд на очень низких орбитах, что приводит к высокой температуре их поверхности (если таковая существует), до 1000 К. В тех случаях, когда удастся исследовать атмосферы таких "горячих юпитеров", они действительно оказываются весьма горячими, а их состав безкислородным (Ксанфомалити, 2004; Barman, 2007; Richardson et al., 2007). Для тел меньших масс предполагаются более низкие температуры (Klahr and Brandner, 2006; Udry et al., 2007; Charbonneau et al., 2009; Leger, 2009; Marcy, 2009; Mayor, 2009; Seager et al., 2009). По оценкам, температура на поверхности экзопланеты типа «суперЗемля», расположенной близко к звезде сравнительно невысокой светимости, может лежать в пределах 650-900 К. Можно высказать предположение, что не следует полностью исключать возможность существования жизни при относительно высоких температурах, несмотря на то, что экспериментальных данных такого рода пока нет. Подробные исследования объектов, удаленных на десятки парсеков, при современном уровне исследовательских средств невозможны. Тем не менее, природной лабораторией для исследований такого рода могла бы быть планета Венера с её плотной горячей (735 К) безокислительной CO₂ - атмосферой и высоким, 92 бар, давлением на поверхности.

д.ф.-м.н. Ксанфомалити Л.В., ksanf@iki.rssi.ru

L. Ksanfomality Поиск жизни в условиях высоких температур //Всероссийская конференция Астроказань 2011, сентябрь 2011
On events that took place March 1, 1982 on the planet Venus // BOE 3 conference, October 2011

6 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1 Исследование механизмов рассеяния света в зависимости от свойств среды

В 2011 г. были продолжены исследования механизмов рассеяния света на телах Солнечной системы, с помощью модельных расчетов рассеяния агрегатными частицами и теневым методом. В *Planetary and Space Science* в печати находится рукопись номер PSS1744: Елена Петрова, Нико Ноекзема; Войцех Маркевич; Николас Томас // Оптическая толщина атмосферы марса и альbedo поверхности по орбитальным изображениям с высоким разрешением.

В данной работе описывается и оценивается так называемый теневой метод. Этот метод может быть использован для оценки оптической толщины атмосферы Марса от различий в яркости между теневыми и освещенными Солнцем районами, наблюдаемыми с орбитального аппарата. Мы представляем разработанный и упрощенный варианты метода и анализируем возможности и источники ошибок. Показано, что для сравнения необходимо выбирать затененные и солнечные районы с аналогичными свойствами поверхности. Важно также точное знание и соблюдение геометрии. Кроме того, сложная версия теневого метода может быть чувствительна к (а), оптической модели аэрозолей, (б) предполагаемой функции двунаправленного отражения поверхности, а иногда и к (в) альbedo поверхности. Тем не менее, влияние альbedo поверхности и аэрозольной модели могут быть исключены (или хотя бы ослаблены) путем совместного рассмотрения двух пар освещенных солнцем / затененных областей, которые различаются геометрией, например, районы на склонах с различной ориентацией.

Чтобы получить надежные оценки, изображения должны иметь высокое пространственное разрешение (которое обеспечивает камера HiRISE на борту MRO). Мы протестировали теневой метод с помощью HiRISE- изображения кратера Виктория, которые было получено в то время, когда этот кратер был исследован ровером Opportunity. Хотя измерения ровера дают оптическую глубину примерно в от 0,43 до 0,53 при наблюдении Солнца, наши измерения с версией теневого метода дали оптическую глубину $0,45 \pm 0,025$ (по красное изображению HiRISE). Таким образом, согласие является достаточно хорошим. Получены оценки альbedo поверхности в диапазоне от 0,18 до 0,20. Теневой метод чувствителен к закону отражения поверхности и предполагается, что теневой метод может быть использован для оценки параметров шероховатости поверхности, если оптическая глубина точно известна, например, из измерений ровером.

к.ф.-м.н. Петрова Е.В., epetrova@iki.rssi.ru

Елена Петрова, Нико Ноекзема; Войцех Маркевич; Николас Томас // Оптическая толщина атмосферы Марса и альbedo поверхности по орбитальным изображениям с высоким разрешением, Planetary and Space Science , PSS1744. в печати

6.2 Численное моделирование планетных атмосфер

6.2.1. Микрофизика облаков в атмосфере Марса

Одномерная модель конденсационных облаков в атмосфере Марса, построенная на основе полуявной гибридной сеточно-моментной схемы в пространстве размеров частиц и диффузии дробного порядка в координатном пространстве применена к данным зондирования вертикальной структуры атмосферы Марса. Впервые построена численная схема для дробной диффузии на неравномерной пространственной сетке. При значениях порядка диффузии $\alpha=1.8-1.98$ эта модель лучше воспроизводит вертикальные профили

экстинкции и содержания водяного пара, чем в классическом приближении $\alpha=2$, что говорит о возможности более широкого применения компактных одномерных моделей вертикальной структуры планетных атмосфер наряду с трехмерными моделями общей циркуляции.

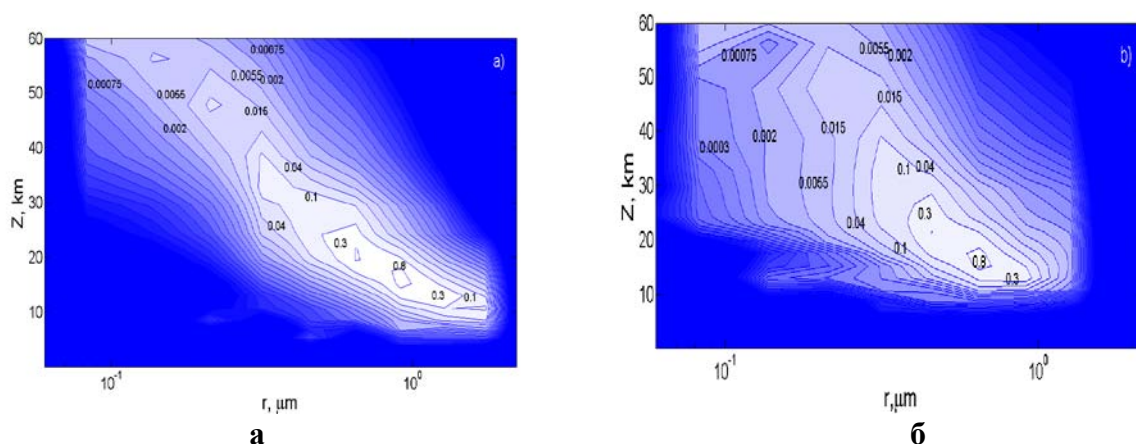


Рис. 2.1.1. Распределения ледяных частиц в атмосфере Марса в координатах «радиус-высота» по данным моделирования: (а) — классическая турбулентная диффузия, $\alpha=2$; (б) — дробная диффузия, $\alpha=1.9$

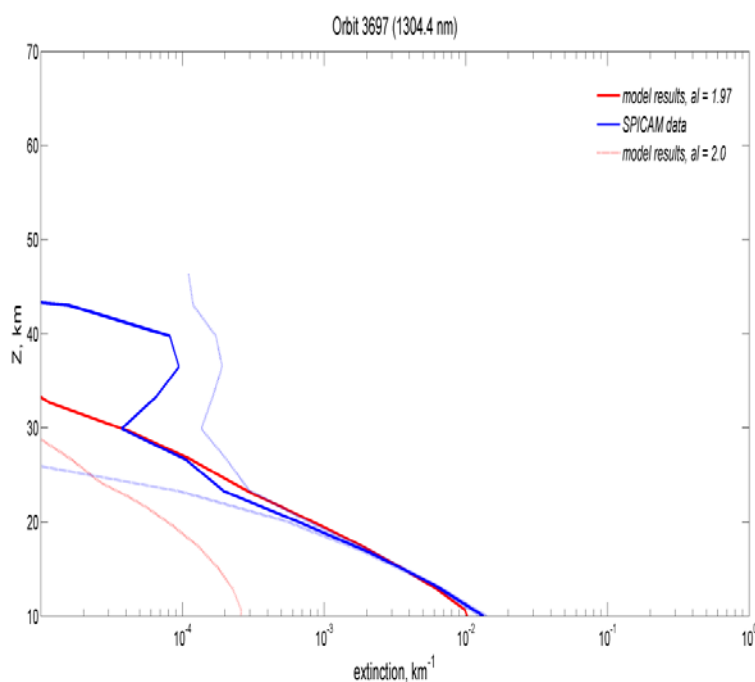


Рис. 2.1.2. Вертикальные профили экстинкции на 1.3 мкм в атмосфере Марса по результатам моделирования и по данным эксперимента СПИКАМ.

А.В.Бурлаков, burlakov.alex@gmail.com, к.ф.-м.н. Родин А.В., alexander.rodin@phystech.edu, к. ф.-м. н. Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru

Бурлаков А.В., А.В.Родин, Одномерная численная модель кинетики формирования облаков H_2O в атмосфере Марса. *Астрономический вестник* 2011, том 45, No 5, с. 1–14
 Burlakov, A.V., Rodin, A.V. *Comprehensive Size-Resolving Model of Water Ice Cloud in the Martian atmosphere. The Fourth International Workshop on the Mars Atmosphere: Modelling and observation, held 8-11 February, 2011, in Paris, France. Scientific Committee: F. Forget, M. Allen, M.C. Desjean, R. M. Haberle, J. W. Head, J.L. Hollingsworth, J.P. Huot, F. Lefevre,*

J.S. Levine, S.R. Lewis, M.A. Lopez-Valverde, F. Montmessin, S. Rafkin, P. L. Read, A. Spiga, O. Witasse, and M.J. Wolff. Published online at

<http://www-mars.lmd.jussieu.fr/paris2011/program.html>, pp.217-218

Бурлаков А.В., Родин А.В. Полная микрофизическая модель конденсационных облаков H₂O в атмосфере Марса. Труды Международного симпозиума “Атмосферная радиация и динамика” (МСАРД – 2011), 21 – 24 июня 2011 г., Санкт – Петербург, с. 202.

A.V.Rodin, A.V.Burlakov, N.A.Evdokimova, A.A.Fedorova and R.J.Wilson. GCM simulation of the Mars water cycle with detailed cloud microphysics EPSC-DPS Joint Meeting 2011. EPSC Abstracts Vol. 6, EPSC-DPS2011-1703, 2011.

6.2.2. Негидростатические модели общей циркуляции Титана и Венеры

Впервые разработана негидростатические модели атмосфер Венеры и Титана на основе полной системы уравнений газовой динамики. Моделирование проводилось на регулятной сетке в географических координатах с высоким пространственным разрешением (1.4° по широте и долготе, 200 м по высоте) в релаксационном приближении. Расчеты проводились на графических ускорителях с использованием технологии CUDA. Показано, что в зависимости от интенсивности притока энергии от внешних источника (форсинга) суперротация может протекать в двух различных режимах. В случае слабого форсинга суперротация концентрируется в экваториальной зоне (случай Титана), при более интенсивном нагреве суперротация распадается на два среднеширотных джета и имеет вид ячейки Хэдли с сильным зональным потоком в низких широтах (случай Венеры). При определенных режимах нагрева в атмосфере Венеры формируется две ячейки Хэдли, выше и ниже облачного слоя. Модель устойчиво воспроизводит полярные вихри, структура которых подобна структуре тропического циклона, которые характеризуются существенным, более чем на порядок, превышением значения вихря горизонтальной скорости. Вихри смещены относительно полюсов в направлении утреннего терминатора и прецессируют с периодом порядка венерианских суток, что, возможно, обеспечивает перенос момента импульса от полюсов в низкие широты для поддержания суперротации. Качественно распределение зональных и меридиональных скоростей соответствует наблюдениям, однако в модели достигается скорость суперротации лишь около 40 м/с. В верхних слоях атмосферы полярные вихри распадаются на симметричные волновые структуры с зональным волновым числом, изменяющимся от 2 до 4, что качественно также соответствует наблюдениям.

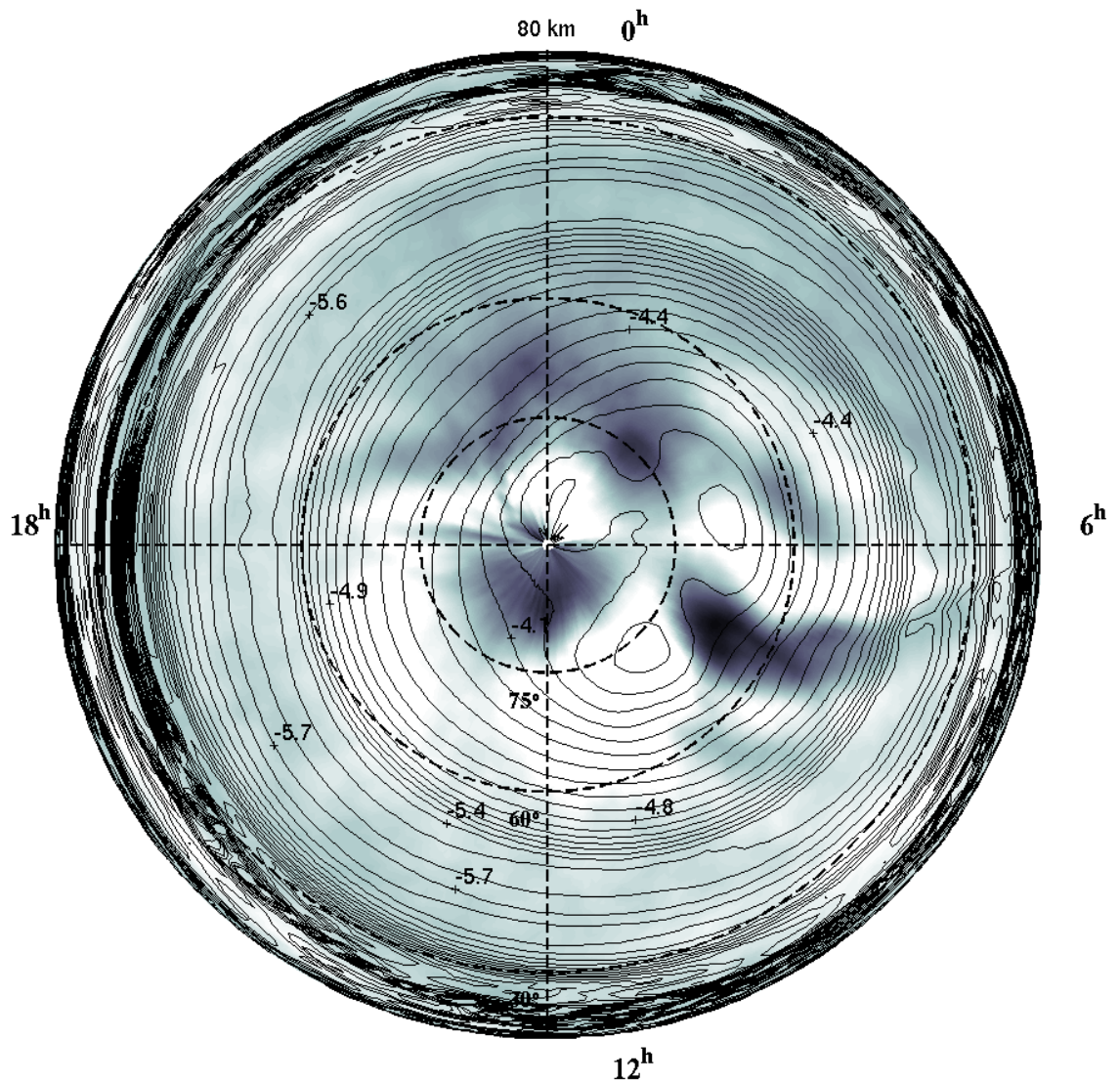


Рис. 2.2.1. Распределение логарифма вихря скорости в атмосфере Венеры на высоте 80 км в северном полушарии по результатам негидростатической модели общей циркуляции (контур). Темные области вблизи полюса соответствуют зонам сильных нисходящих потоков в ложбинах волны с зональным числом 3.

В случае слабого форсинга, как в атмосфере Титана, полярные вихри асимметричны и смещены относительно полюсов в противоположных направлениях (см. рис. 2.2.1). Моделирование переноса пассивной примеси указывает на формирование планетарной волны с зональным числом 2, что может объяснять наблюдения двух суточных температурных максимумов по данным эксперимента CIRS КА «Кассини».

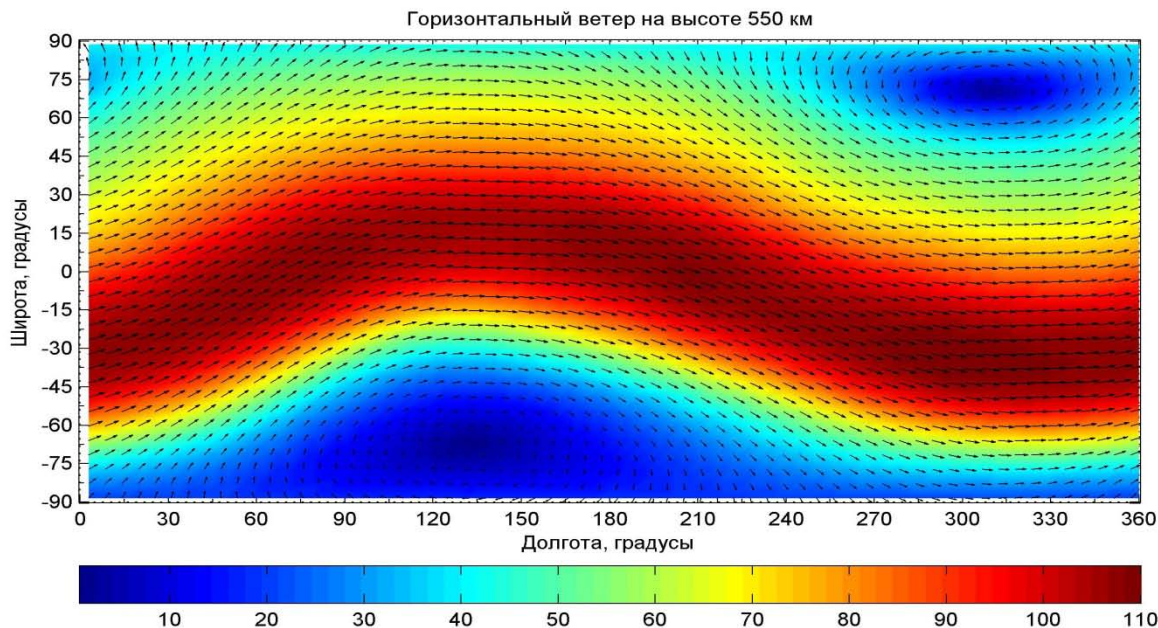


Рис. 2.2.2. Горизонтальная скорость ветра по результатам моделирования общей циркуляции атмосферы Титана. Суперротация сосредоточена в экваториальном джете, на периферии которого формируются приполюсные вихри.

Работы финансируются РФФИ, грант 10-02-01260а

к.ф.-м.н. Родин А.В., alexander.rodin@phystech.edu, И.В.Мингалева (ПГИ КНЦ РАН), К.Г.Орлов (ПГИ КНЦ РАН)

И.В. Мингалева А.В.Родин, К.Г.Орлов. Негидростатическая модель общей циркуляции атмосферы Венеры. Астрономический вестник, в печати.

A.V.Rodin, I.V.Mingalev, and K.G.Orlov. Modeling of the Venus atmosphere with the non-hydrostatic general circulation model. EPSC-DPS Joint Meeting 2011, EPSC Abstracts Vol. 6, EPSC-DPS2011-1676, 2011

A.V.Rodin, I.V.Mingalev, K.G.Orlov and Yu.V.Skorov. Simulation of the Titan atmosphere with the non-hydrostatic general circulation model. EPSC-DPS Joint Meeting 2011, EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-1692, 2011.

A.V.Rodin, I.V.Mingalev, and K.G.Orlov. Non-hydrostatic general circulation model of the Venus atmosphere. The second Moscow Solar System Symposium (2MS³), Space Research Institute, Moscow, Russia, 10-14 October 2011, 2MS³-PS-11.

<http://ms2011.cosmos.ru/content/book-abstracts-now-available-online>

A.V.Rodin, I.V.Mingalev, K.G.Orlov and A.V.Burlakov. Coupling aerosol microphysics and atmospheric dynamics in the 3D model of Titan atmosphere. The second Moscow Solar System Symposium (2MS³), Space Research Institute, Moscow, Russia, 10-14 October 2011, 2MS³-PS-08. <http://ms2011.cosmos.ru/content/book-abstracts-now-available-online>

7 Диагностика поверхностей объектов солнечной системы по изучению вторичных эффектов, возникающих под активным воздействием искусственного или природного происхождения

В рамках темы основные работы лаборатории 504 в истекшем году были направлены на разработку, изготовление, и проведение физической отработки бортовых приборов нового поколения - ЛАЗМА и МАНАГА-Ф. Прибор ЛАЗМА является первой версией оригинального и нового бортового инструмента созданного в ИКИ РАН и запатентованного в России. Он предназначен для измерения изотопного и элементного состава реголита Фобоса методом лазерной времяпролетной масс-спектрометрии. Прибор МАНАГА-Ф предназначен для измерения элементного и изотопного состава потоков вторичных ионов, генерируемых под воздействием Солнечного ветра. Приборы ЛАЗМА и МАНАГА-Ф прошли полный цикл испытаний, были поставлены на борт и запущены в рамках проекта Фобос-Грунт. По окончании научно-исследовательских работ были подготовлены и опубликованы статьи, представленные ниже.

Продолжались дальнейшие исследования по предложенной ранее новой концепции, согласно которой плазменный факел метеоритного удара мог играть определяющую роль в появлении на Земле первичных, простейших форм живой материи. Следует отметить, что в этом и истекшем годах предложенная концепция нашла международное признание. По результатам экспериментальных исследований Манагадзе Г.Г. была издана книга «Плазма метеоритного удара и добиологическая эволюция», а в этом году эта книга была издана в США на английском языке.

Следует отметить, что работы по изготовлению и испытанию лабораторного макета (ЛМ) и КИА «МАНАГА-И» (п. 15 Плана опытно-конструкторских работ ИКИ РАН на 2011 год), предназначенного для изучения химического состава ионных потоков вокруг МКС, на данный момент прекращены в связи с отсутствием электронного источника.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Манагадзе Г.Г.

G. Managadze. Plasma of Meteorite Impact and Prehistory of Life//NOVA Publishers, 2011.

G.G. Managadze, V.T. Cherepin, Y.G. Shkuratov, V.N. Kolesnik, A.E. Chumikov. Simulating OH/H₂O formation by solar wind at the lunar surface. Icarus 215, 449-451, 2011.

Г.Г. Манагадзе, Р.З. Сагдеев, А.Е. Чумиков, Д.А. Моисеенко, Н.Г. Манагадзе, А.Л.

Бондаренко, Р.Wurz, М. Tulej, М. Яковлева, Исследование основных геохимических характеристик реголита Фобоса с помощью лазерной времяпролетной масс-спектрометрии в эксперименте ЛАЗМА.// Фобос-Грунт, проект космической экспедиции, 2011, том 2, с. 287–298.

Г.Г. Манагадзе, Р.З. Сагдеев, А.Е. Чумиков, Д.А. Моисеенко, Г.З. Саралидзе, В.Т. Черепин, Определение усредненного по поверхности состава реголита Фобоса по измерениям потока вторичных ионов в эксперименте МАНАГА-Ф.// Фобос-Грунт, проект космической экспедиции, 2011, том 2, с. 299-309.

8 КОМЕТЫ

8.1 Динамической эволюции ядра кометы Хартли-2



Работа касается активного исследования ядер комет с помощью космических аппаратов. В ноябре 2010 г. аппарат Deep Impact (проект EPOXI, NASA) сблизился с ядром кометы 103P/Хартли-2 (103P/Hartley 2) и передал снимки этого небольшого небесного тела, имеющего форму гантели с гладкой шейкой (рисунок).

Поскольку вращение ядра приводит к возникновению центробежных сил, в статье высказано предположение, что шейка гантели возникла под их действием и что происходит медленное, но непрерывное удлинение шейки, которое должно завершиться разделением фрагментов ядра. Предлагаемая статья посвящена динамической эволюции ядра кометы Хартли 2. Расчет показывает, что в узкой части центробежные силы превосходят гравитационные и что ядро действительно находится в состоянии приближающегося разрыва и разделения его на 2 части. При отсутствии внешних возмущений обе части небесного тела разойдутся на расстояние менее 1 км. Ядро кометы Хартли 2 представляет пример наблюдаемого разрушения небесного тела.

Масса ядра кометы Хартли-2, согласно (Lisse и др., 2009), составляет $3 \cdot 10^{11}$ кг, что при найденном объеме 0.940^9 м^3 приводит к средней плотности ρ всего 0.32 тм^{-3} . Расчет показывает, что ядро Подобные динамические явления были известны; например, разрыв ядра кометы Шумейкеров-Леви 9 и столкновение его обломков с Юпитером в 1994 г., но непосредственные наблюдения процесса разрушения ядра в спокойных условиях удалось выполнить впервые. Предсказать, когда произойдет разрыв, трудно, поскольку механические свойства шейки ядра неизвестны. Но главное в том, что многочисленные выбросы (джеты) беспорядочно влияют на период, сокращая или удлиняя его.

Проведенные расчеты указывают на парадоксальный результат: если в шейке преобладают напряжения растяжения, то в сечении через общий центр масс – напряжения сжатия, причем в первом случае превышение напряжений растяжения составляет 11%, а во втором, сжатия, в – 2.4 раза. Вывод: правая часть шейки и меньший шаровой фрагмент 4 удерживаются только небольшими силами трения в шейке. Без них фрагмент 3 должен был бы отделиться и отойти на расстояние менее 1000 м.

«Шейка» отличается относительной «молодостью», поскольку на ней почти отсутствуют метеоритные кратеры. Невероятно, чтобы эта поверхность могла столь долго оставаться гладкой, без следов метеоритных соударений, которыми отличаются фрагменты 1, 2 и 4. Решение этого противоречия заключается именно в плотности материала. Дело в том, что усилия растяжения F_1 пропорциональны ρ (как $MR\omega^2$), а силы сжатия F_{1+} , определяемые гравитацией, пропорциональны ρ^2 , поскольку ρ в произведение (Mm / R^2) входит дважды. Поэтому гипотеза о плотности $\rho = 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ приводит к преобладанию сжатия, что

противоречит образованию шейки. Средняя плотность ядра кометы Хартли 2 действительно должна быть близка к $300\text{--}320 \text{ кг м}^{-3}$, а ядро кометы находится в стадии разрушения и, по-видимому, удерживается только силами трения в узкой части фрагмента³.

д.ф.-м.н. Ксанфомалити Л.В., ksanf@iki.rssi.ru

Л. В. Ксанфомалити О динамической эволюции ядра кометы Хартли 2 и астероида Итокава // Астрономический Вестник, 2011, том 45, № 6, с. 518–528
L. Ksanfomality The imminent destruction of the comet Hartley 2 nucleus // Всероссийская конференция Астроказань 2011 (сентябрь 2011)

9 Исследование многомасштабных нелинейных волновых процессов и турбулентности в атмосферах планет солнечной системы

Получены уравнения для изучения крупномасштабных процессов в приближении мелкой воды с учетом сжимаемости над произвольной поверхностью. Такое приближение является альтернативой классическим многослойным моделям мелкой воды для течений с неоднородной плотностью, поскольку учитывает эффекты стратификации и не требует разбиения течения на несколько однородных слоев при численном моделировании крупномасштабных процессов. Фактически сжимаемое приближение мелкой воды для изучения крупномасштабных неоднородных процессов играет такую же фундаментальную роль, как и аналогичное приближение в гидродинамике несжимаемой однородной жидкости. В работе исследована система уравнений движения сжимаемого газа в приближении мелкой воды в поле силы тяжести над ровной подстилающей поверхностью. Получены все автомодельные непрерывные центрированные решения и автомодельные разрывные решения. В явном виде решена задача распада произвольного разрыва для уравнений движения сжимаемого газа в приближении мелкой воды. Показано существование четырех различных конфигураций, реализующих решение задачи распада произвольного разрыва. Для каждой конфигурации найдены необходимые и достаточные условия для её реализации.

д.ф.-м.н. Петросян А.С., apetrosy@iki.rssi.ru

К. В. Карельский, А. С. Петросян, А. В. Черняк, Нелинейная динамика течений тяжелого сжимаемого газа в приближении мелкой воды. ЖЭТФ, 2011, принято в печать

Исследования малых тел Солнечной системы

Отв. исп. д.ф.-м.н. Захаров А.В.

Разработка научной программы исследований Фобоса

Отв. исп. д.ф.-м.н. Захаров А.В. отд.9

Разработана научная программа исследований, предусмотренная в рамках проекта «Фобос-Грунт». Программа исследований включает изучение Фобоса, Марса и околомарсианского пространства с использованием научной аппаратуры, установленной на космическом аппарате «Фобос-Грунт». Подробный отчет по проекту «Фобос-Грунт» находится в разделе III. Работы, выполняемые по проектам космических исследований.

Обоснование исследований околоземных астероидов, в частности Апофиса.

Отв. исп. д.ф.-м.н. Захаров А.В. отд.9

Была выполнена работа на стадии НИР по проработке научно-технических предложений по обеспечению миссии к потенциально опасному астероиду с целью изучения его физических свойств, а также обеспечения высокоточных измерений параметров орбиты.

Астероид Апофис сегодня известен как единственный объект, непосредственно представляющий проблему астероидной угрозы Земле и требующий, поэтому, особого внимания. Повышенное внимание определяется тем обстоятельством, что Земля и астероид Апофис, обнаруженный практически случайно в 2004 г., находятся на очень близких и почти пересекающихся орбитах.

В работе предложен и обосновывается сценарий миссии «Апофис». Исследуются вопросы небесной механики в приложении к полету космического аппарата к астероиду Апофис, сближения и посадки на него. Подробно рассматривается технология уточнения орбиты астероида Апофис по радиомаяку, выведенному на астероидоцентрическую орбиту. Анализируются разработки космического аппарата «Фобос-Грунт» применительно использования некоторых из этих разработок а экспедиции к астероиду Апофис и на его основе формируется облик КА миссии «Апофис» в целом. Для изучения физических свойств астероида Апофис предлагается предварительный список научных приборов, размещаемых на КА «Апофис» на базе комплекса научной аппаратуры проекта «Фобос-Грунт».

Проведенный к настоящему времени анализ динамики движения астероида Апофис и прогноз его полета в будущем показал, что, начиная с 2029г, имеется ненулевая вероятность его столкновения с Землей. Однако этот анализ основан на приближенном знании орбиты астероида и достоверность такого прогноза недостаточна. По этой причине анализ динамики движения астероида Апофис, проведенный к настоящему времени, не дает достаточно точных прогнозов реальной ситуации на текущее столетие, и нуждаются в радикальном улучшении на основе значительно более точных знаний параметров орбиты астероида. В свою очередь, такое уточнение возможно только за счет выхода за пределы обычных астрономических наблюдений астероида и организации дополнительных траекторных измерений, проводимых с помощью специальных радиотехнических средств, либо вблизи астероида, либо, доставленных на его поверхность. Этим обосновывается необходимость организации космической миссии посещения астероида Апофис для проведения точных траекторных измерений его орбиты. Дополнительной задачей миссии, наряду с доставкой средств траекторных измерений к астероиду, должно являться всестороннее комплексное изучение этого небесного тела. Целями такого изучения должны быть, в первую очередь, исследование астероида как объекта астероидной опасности, а также изучение малого небесного тела, как реликтового образования Солнечной системы.

Для решения поставленных задач, одним из результатов работы в 2011 г. является предложение по составу космического аппарата, посылаемого к астероиду Апофис: КА должен состоять из двух самостоятельных функциональных единиц. Эти единицы представляют собой (1) перелетно-посадочный модуль (ППМ) и (2) малый неориентированный искусственный спутник астероида (МНИСА), несущий радиомаяк. Их целевым назначением является раздельное решение задач исследования астероида и определения орбиты.

Во время перелета к Апофису космический аппарат миссии будет являться сборкой модуля ППМ и МНИСА. Долетев до астероида, КА должен выйти на полет по орбите вокруг Апофиса, как целое. Затем КА разделяется на две части (ППМ и МНИСА), остающиеся на своих отдельных самостоятельных астероидоцентрических орбитах.

После разделения ППМ будет выполнять комплексную программу изучения Апофиса самостоятельно. При этом исследования должны проводиться сначала методами дистанционного зондирования, бесконтактно, с орбиты искусственного спутника астероида, а затем, после посадки на поверхность астероида, методами прямых «контактных» измерений. Для ППМ время выполнения программы исследований Апофиса оценивается величиной порядка одного года.

В свою очередь МНИСА, после отделения от КА, должен обеспечивать проведение долгосрочной программы радиотехнических активных запросных траекторных измерений (не менее ~10 лет), поддерживая комплексную разработку методики высокоточного прогнозирования движения астероида. Эта методика должна быть основана на разработке уточняемой и адаптивной модели движения астероида. В свою очередь, ППМ, как самостоятельный КА, оснащенный полным составом навигационной аппаратуры, сможет подстраховывать траекторные измерения в течение всего срока своего активного существования.

Конструкторской базой проведения миссии «Апофис» в НИР предусматривается использование имеющегося технологического задела, созданного в НПО им. С.А. Лавочкина по программе «Фобос-Грунт». В частности, в качестве КА миссии Апофис, как основной базовой конструкции, предлагается использовать перелетный модуль (ПМ) проекта КА «Фобос-Грунт» с функциональным дополнением.

Предлагаемая комплексная миссия посещения малого астероида Апофис может служить началом появления унифицированного космического аппарата, предназначенного для исследования малых тел Солнечной системы. Не говоря уже о вкладе в решение проблемы астероидной опасности, миссия «Апофис» может прояснить вопросы генезиса Солнечной системы и реконструкции основных этапов ее происхождения и эволюции. Не исключено, что миссия «Апофис» может приблизить нас к решению загадки эволюции первичного органического вещества и зарождения жизни в космосе и на небесных телах.

Разработка методов и средств регистрации космической пыли.

Отв. исп. д.ф.-м.н. Захаров А.В. отд.9, Дольников Г.Г., отд.53

Работа проводилась по следующим направлениям:

- разработка методов регистрации пыли (ударный, эл.стат.),
- создание физической модели пылевой составляющей экзосферы Луны,
- разработка прибора для исследований пылевой компоненты экзосферы Луны,
- регистрация пыли в приповерхностной области Луны с помощью бортовых ТВ камер.

В 2011 году в ИКИ РАН началось развитие методов и средств регистрации космической пыли. Основным направлением стало развитие эксперимента по контактному методу взаимодействия пылевых частиц с детекторами. В качестве основы метода лежало измерение импульса частицы при ее соударении с пьезоэлементным сенсором. В рамках лунного эксперимента по регистрации пылевых частиц на Луне был создан лабораторный образец прибора ПмЛ для будущих миссий Луна-Глоб и Луна-Ресурс, который показал хорошую зависимость между скоростью, массой и зарядом пылевой частицы и реакцией на них пьезосенсора. Частички размером от 1 мкм до 20 мкм, летящие со скоростями около 40 м/с, надежно регистрировались экспериментальным образцом. Кроме прямых измерений пыли, была проделана работа по созданию макета электростатического датчика, который косвенными методами может регистрировать процессы переноса заряженных масс мелкой пылевой компоненты в пылевой плазме. В настоящее время такой детектор находится на стадии изготовления для тестирования его в имитационной камере лунной поверхности.

Для лучшего понимания плазменно-пылевых процессов, протекающих в приповерхностной экзосфере Луны, была создана предварительная физическая модель пылевой составляющей окружения лунной поверхности. В модели присутствуют пылевые частицы 3 видов: микрометеориты, вторичные частицы как результат взаимодействия микрометеоритов с поверхностью Луны и мелкая нано пыль, левитирующая за счет электростатических сил над лунной поверхностью в районе терминатора света и тени. В модели было учтено влияние ионных и электронных потоков, падающих на поверхность, воздействие солнечного ветра и магнитосферы Земли. Такая модель поможет лучше понять процессы, протекающие в лунном реголите и плазменно-пылевом окружении

Луны, а также создать имитационную камеру Лунной поверхности, разрабатываемую в рамках лунных проектов в ОИВТ РАН.

В качестве развития космического приборостроения создается новый научный прибор Пылевой анализатор ПмЛ для мониторинга пылевого окружения Луны на посадочных модулях космических станций Луна-Ресурс и Луна-Глоб. Прибор ПмЛ позволит получать данные о пылевой активности на поверхности Луны в течении длительного срока. Посадочные модули этих двух будущих миссий к Луне будут располагаться близко к лунным полюсам, т.е. в тех местах, где ранее такие исследования не проводились. При этом сам прибор ПмЛ – это новое слово в пылевом космическом приборостроении включает в себя пьезоэлектрические и электростатические датчики, рассчитанные как на высокоскоростную, так и низкоскоростную пылевую компоненту. Диапазон измерения физических параметров пылевых частиц также большой, по импульсу мы рассчитываем получить от 10^{-12} до 10^{-6} Н·с и выше, а по заряду – от 10^5 зарядов e .

В ИКИ РАН подготовлена методическая записка по предложению эксперимента на посадочных аппаратах Луна-Глоб и Луна-Ресурс «Регистрация пыли в приповерхностной области Луны с помощью бортовых ТВ камер». Наличие телевизионных камер на борту посадочных аппаратов Луна-Глоб и Луна-Ресурс потенциально дают дополнительную возможность для изучения пылевой экзосферы, что значительно расширит возможности пылевого эксперимента на борту посадочных аппаратов Луна-Глоб и Луна-Ресурс. Для реализации такого дополнения, при создании телевизионных камер потребуются минимальные конструктивные дополнения, связанные с обеспечением необходимых условий съемки и дополнительных циклограмм работы камер. При этом мы получаем еще один инструмент наблюдения за пылевой экзосферой Луны.

Исследование кометной пыли.

Отв. исп. Маслов И.А.

На телескопе Цейс-1000 (п. Симеиз, Украина) проведены поляриметрические наблюдения комет C/29P и C/2009 P1 в узких полосах 662 нм (молекула NH₂) и 683 нм (пылевой континуум), а так же в широкой полосе красной области спектра, для исследования дифференциальных изменений поляризации в коме этих комет. По предварительной оценке (без исключения звезд со снимков), поляризация вблизи ядра кометы C/2009 P1 в широкой спектральной полосе 22 сентября 2011 г. при фазовом угле 30 градусов составляла около 2% с плоскостью поляризации направленной на Солнце.

Создание базы данных изображений планет и малых телах Солнечной системы, полученных с отечественных КА.

Отв. исп. Санько Н.Ф. отд.53

Проводилась работа по сбору информации и данных, полученных российскими научными спутниками Земли и космическими аппаратами к Луне, Марсу, Венере. Эта работа ведется для создания в последствии сайта, на котором будет представлена основная информация о спутнике/космическом аппарате, его орбите, составе научной аппаратуры, времени реализации, и основных научных результатах

Работы по исследованиям малых тел Солнечной системы, выполненные в Институте, не вошедшие в план НИР 2011 г..

Исполнитель. Л. В. Ксанфомалити

О ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЯДРА КОМЕТЫ ХАРТЛИ-2 И АСТЕРОИДА ИТОКАВА

Проведен анализ результатов, полученных космическим аппаратом Deep Impact (проект EROXI, NASA). В ноябре 2010 г. аппарат сблизился с ядром кометы 103P/Хартли-2 (103P/Hartley 2) и передал снимки этого небольшого небесного тела, имеющего форму

гантели с гладкой шейкой. Поскольку вращение ядра приводит к возникновению центробежных сил, в статье высказано предположение, что шейка гантели возникла под их действием и что происходит медленное, но непрерывное удлинение шейки, которое должно завершиться разделением фрагментов ядра. Предлагаемая статья посвящена динамической эволюции ядра кометы Хартли 2. Расчет показывает, что в узкой части центробежные силы превосходят гравитационные и что ядро действительно находится в состоянии приближающегося разрыва и разделения его на 2 части. При отсутствии внешних возмущений обе части небесного тела разойдутся на расстояние менее 1 км. Ядро кометы Хартли 2 представляет пример наблюдаемого разрушения небесного тела. Рассмотрены условия на астероиде Итокава, где имеется подобное образование, но разрушение не происходит. Работа опубликована в журнале «Астрономический Вестник» 2011, том 45, вып. 6, стр. 518–528.