

Тема ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет

Гос.рег. № 0120.0 602993

Науч.рук. академик РАН Зелёный Л.М.

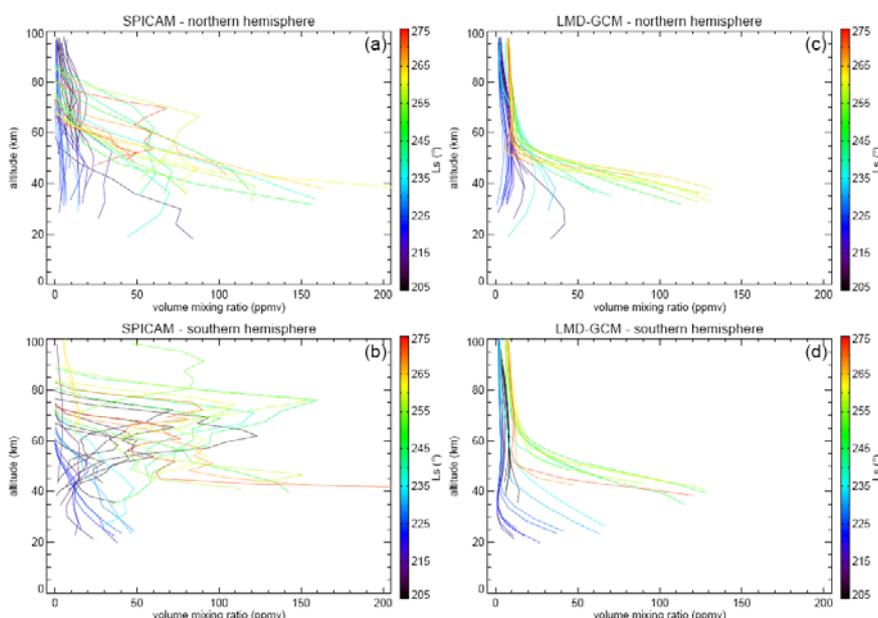
Зам. рук. темы д.ф.-м.н. Кораблёв О.И., д.ф.-м.н. Митрофанов И.Г., д.ф.-м.н. Захаров А.В.

1. МАРС

1.1 Вертикальное распределение водяного пара летом в южном полушарии на Марсе

Получено 120 вертикальных профилей распределения водяного пара летом для марсианского года 29. Профили показали сильные вариации, а также значительные расхождения с предсказаниями модели общей циркуляции Марса летом в южном полушарии (Forget et al., 2012) (рис.1). Несмотря на то, что модель общей циркуляции атмосферы Марса включает много доработок: улучшенная микрофизика облаков, динамика, радиационно активные облака, «пылевая модель» с межгодовыми вариациями пылевого цикла (MУ24-30) и хорошо воспроизводит существующие наблюдения «Марс-Реконесанс-Орбитер» и «Марс-Экспресс», она недооценивает содержание водяного пара на высотах более 50 км. Данные также указывают на существование слоя воды весной в южном полушарии, имеющего возможно динамическую природу. В то же время одновременные наблюдения вертикальных профилей аэрозоля ниже слоя водяного пара говорят о роли водяных облаков как важном компоненте взаимодействия водяной пар-пыль. Перенасыщение водяного пара южным летом найдено не было. Профили водяного пара более изменчивы, чем это было предсказано моделью. Подобные изменения не находят своего отражение в надирных наблюдениях, более чувствительных к нижним атмосферным слоям. Вертикальные профили водяного пара в период летнего солнцестояние в южном полушарии получены впервые.

Рисунок 1. Сравнение между всеми профилями H_2O полученными СПИКАМ (рисунок а и б) во время наблюдений летом в южном полушарии и предсказанными моделью общей циркуляции (рис. с и d). Северное полушарие показано в верхней части (рис. а и с), южной в нижней. Цвет указывает на ареоцентрическую долготу Солнца L_s (сезон).



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

Maltagliati L., F. Montmessin, O. Korablev, A. Fedorova, F. Forget, A. Maattanen, F. Lefevre, J.-L. Bertaux, Annual survey of water vapor vertical distribution and water-aerosols coupling in the Martian atmosphere observed by SPICAM/MEEx solar occultations, Submitted to Icarus, 2012.

L. Maltagliati, F. Montmessin, A. Fedorova, O. Korablev, F. Forget, A. Määttänen, F. Lefèvre, and J.-L. Bertaux, Evolution of water vapor vertical distribution during a Martian year with SPICAM/Mars Express solar occultations, EPSC Abstracts, Vol. 7 EPSC2012-550 2012, European Planetary Science Congress 2012.

1.2 Сезонные изменения вертикального распределения и оптических свойств аэрозоля в атмосфере Марса по данным солнечных затмений на КА Марс-Экспресс

Пылевой цикл является одним из наиболее важных в климатической системе Марса. Марсианская пыль, состоящая из минеральных частиц, поднимается с поверхности ветрами, а также локальными вихрями. Будучи радиационно активной, пыль участвует в нагреве и охлаждении различных атмосферных слоев, поглощая, рассеивая и переизлучая в тепловом ИК диапазоне солнечное излучение (Medvedev et al., 2011; Madeleine et al., 2011). Облака также являются важным элементом климата Марса в силу их влияния на перенос излучения и распределение водяного пара в атмосфере (Michelangeli et al., 1993; Montmessin et al., 2004). При конденсации водяного пара на субмикронных пылевых частицах происходит образование облаков из ледяных частиц, которые оседая, участвуют в процессе сублимации, тем самым перераспределяя водяной пар от верхних слоев к нижним, в частности недостаточный перенос водяного пара из северного в южное полушария в период летнего солнцестояния в северном полушарии на Марсе объясняется как раз образованием облачного пояса в низких северных широтах (Montmessin et al., 2004).

В работе представлены результаты многолетних наблюдений атмосферы Марса методом солнечного просвечивания в ближнем ИК диапазоне. Спектрометр СПИКАМ на борту КА Марс-Экспресс начал работу на орбите Марса в январе 2004 года. За четыре марсианских года наблюдений было выполнено около 800 солнечных затмений.

В эксперименте были получены профили экстинкции аэрозоля в диапазоне от 1 до 1.7 мкм на высотах от 0 до 90 км с вертикальным разрешением от 2 до 10 км в зависимости от расстояния до лимба. Рассмотрены также их сезонные и широтные вариации. Получен эффективный радиус частиц от 0.1 до 1.5 мкм, также получены широтные вариации.

Одновременное восстановление экстинкций аэрозоля на разных высотах в УФ и ИК диапазоне позволило впервые напрямую детектировать бимодальное распределение частиц марсианской пыли, получены характерные размеры двух мод 0.06-0.09 мкм и 0.7-1 мкм.

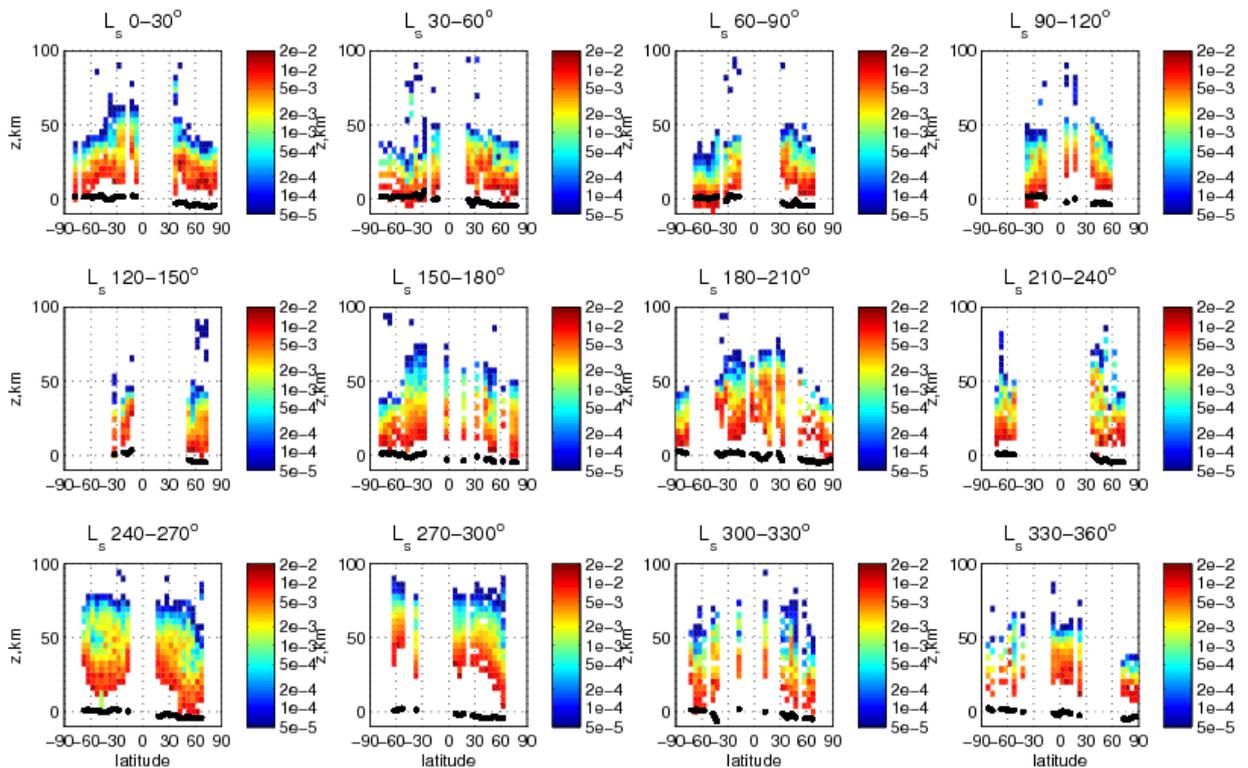


Рисунок 1. Сезонные и широтные вариации экстинкции аэрозоля в км^{-1} . Данные были усреднены за 4.5 марсианских года.

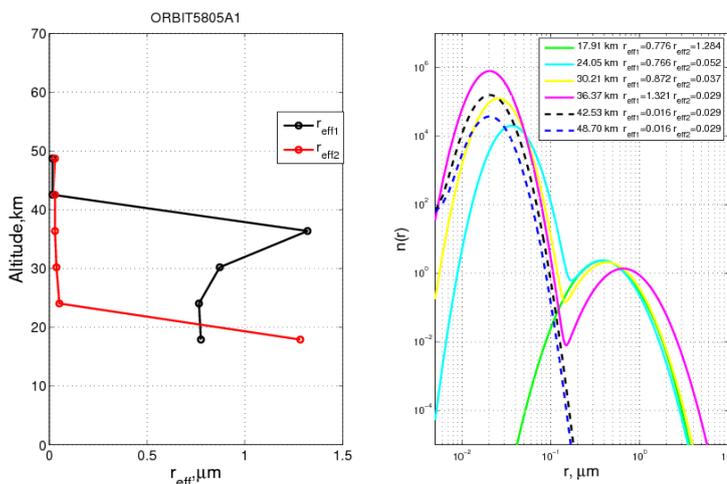


Рисунок 2. Результаты распределения частиц по размерам для орбиты 5805, $L_s=96$; широта 31S
к. ф.-м.н.Федорова А.А., fedorova@iki.rssi.ru

Федорова А. А., Монтмессан Ф., Кораблев О. И., Мальтаглиати Л., Мааттенен А., Трохимовский А., Родин А., Берто Ж. Л., Сезонные изменения вертикального распределения и оптических свойств аэрозоля в атмосфере марса по данным солнечных затмений на КА Марс-Экспресс, Десятая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов), Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2012 г.
Fedorova A., O. Korablev, A. Trokhimovsky, L. Maltagliati, S. Guslyakova, F. Montmessin, J.L. Bertaux, A. Reberac, STUDY OF MARTIAN ATMOSPHERE IN THE SPICAM IR EXPERIMENT

1.3 Роль водяного пара в распределении дневного свечения молекулярного кислорода в атмосфере Марса

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 молекулы кислорода в возбужденном состоянии $a^1\Delta_g$, которая с определенной вероятностью испускает фотон в колебательно-вращательной полосе 1.27 мкм. Поэтому наблюдения дневного свечения молекулярного кислорода в этой полосе используются в качестве косвенного метода наблюдения озона.

Была продолжена работа по восстановлению профилей свечения дневного кислорода по лучу зрения в атмосфере Марса по данным, полученным в эксперименте СПИКАМ. Проведено сравнение полученных профилей с теоретическими из общей модели циркуляции атмосферы Марса лаборатории LMD (Millour et al., 2008), изучено влияние разных эффектов модели (радиационно-активные облака, перенос пыли, перенасыщение водяного пара) на степень корреляции модели с наблюдениями. На рис. 1 и 2 приведены средние отношения полученных профилей свечения по лучу зрения, промоделированных и наблюдаемых. Сравнение с моделью выявило тренд в расхождении с данными наблюдений начиная с весеннего равноденствия и заканчивая осенним равноденствием в северном полушарии ($L_s=0-160$) (Рис 1). Причем модель недооценивала интенсивность свечения в период весеннего равноденствия и переоценивала в период осеннего. Было исследовано несколько факторов влияющих на содержание озона в модели, которые не повлияли на общее поведение тренда. Были проведены расчеты модели с перенасыщением водяного пара в период летнего солнцестояния на Марсе, полученные данные показали лучшее согласие с результатами дневных наблюдений свечения (Рис. 2). Наблюдения свечения кислорода указывают на важную роль водяного пара в сезонных и широтных вариациях озона.

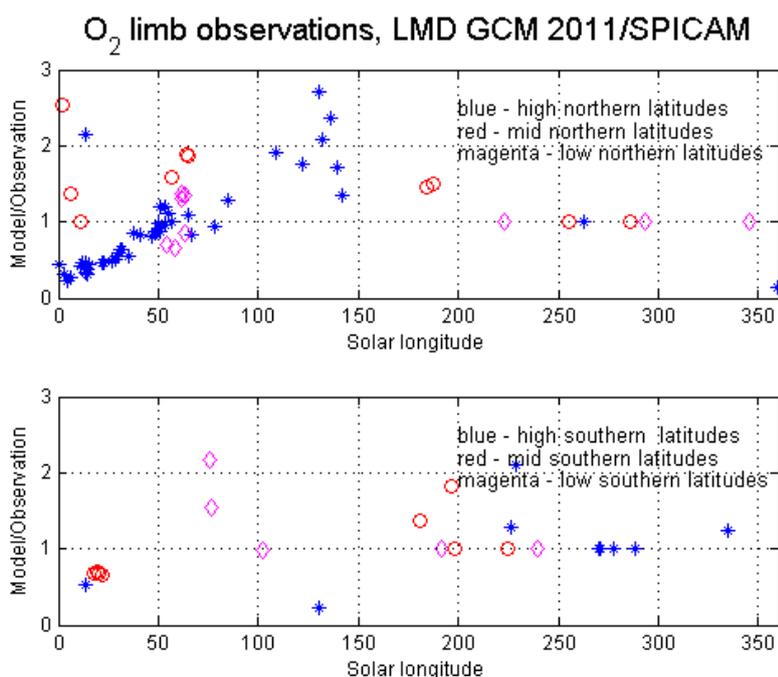


Рисунок 1. Среднее отношение промоделированного к наблюдаемому профилю свечения по лучу зрения в зависимости от сезона для двух полушарий (северное - сверху, южное - внизу). Голубым цветом обозначены высокие широты (60-90°), красным - средние (30-60°), бордовым - низкие (0-30°). Данные приведены для модели 2011 г., которая не учитывает перенасыщение водяного пара.

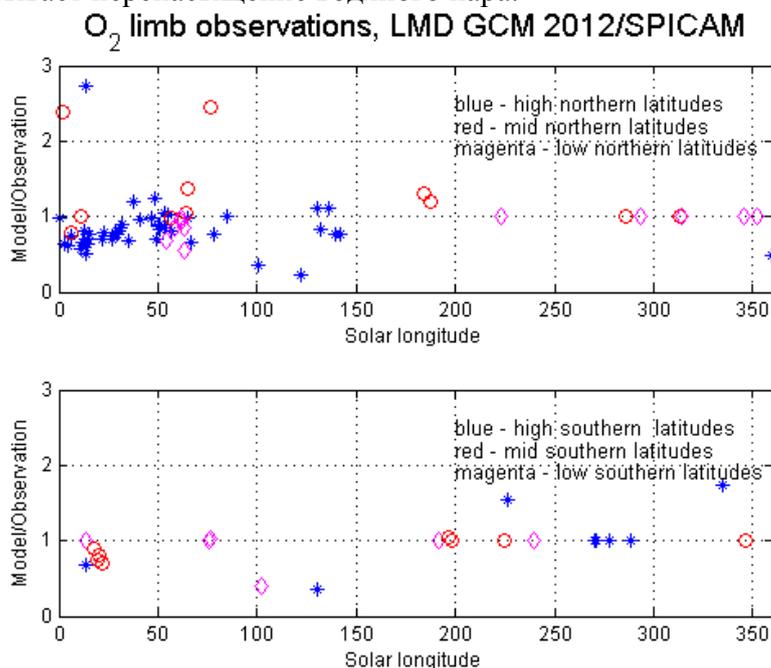


Рисунок 2. То же, что для рис. 1. Данные приведены для модели 2012 г., которая учитывает перенасыщение водяного пара.

Гуслякова С.А., guslyakova@iki.rssi.ru

Oxygen dayglow observations on Mars by SPICAM IR S. Guslyakova (1,2), A. Fedorova (1,2), O. Korablev (1,2), F. Lefevre (3), F. Montmessin (3), and J.-L. Bertaux (3) "European Geosciences Union General Assembly 2012" held 22 – 27 April 2012, in Vienna, Austria

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/V 2012 meeting, 1-5 July 2012, Poros, Greece.

1.4 Гравитационные волны в картах ночного свечения O₂ 1,27 мкм, обнаруженные ОМЕГА на борту Марс Экспресс: анализ данных и атмосферное моделирование

Волновые структуры на картах дневного свечения O₂ 1.27 мкм в южных высоких широтах (55°S - 75°S.) впервые обнаружены в районе терминатора в конце зимы и начале весны МУ28. Флуктуации интенсивности свечения составляют ~ 3%, что может быть обусловлено изменениями в скоростях реакций, связанных с вариациями плотности в 3 - 4%. Модельные расчеты, проведенные для условий наблюдения ОМЕГА, в рамках модифицированной модели общей циркуляции Spiga and Forget (2009) показывают связь формирования структур O₂ на дневной стороне планеты с распространением гравитационных волн. Эти волны вызывают вариации плотности около 3% и могут объяснить наблюдения. Источники гравитационных волн, помимо сильных температурных градиентов вблизи терминатора, могут быть связаны с наличием ускоряющихся потоков (джетов) или с топографическими деталями Марса. Триггером гравитационных волн могут служить также конвективные движения в области полярных облаков CO₂. Заметная на изображениях корреляция с деталями поверхности находит объяснение в модели: гравитационные волны исчезают при использовании в модели «гладкой» поверхности Марса. Основным источником образования наблюдаемых структур на картах ОМЕГА свечения молекулярного кислорода в высоких широтах

южного полушария являются обусловленные топографией гравитационные волны. Таким образом, метеорологическое моделирование показывает, что гравитационные волны могут вызывать вариации наблюдаемого ОМЕГА свечения O₂ в интервале 55-75S широт в конце зимы/ начале весны.

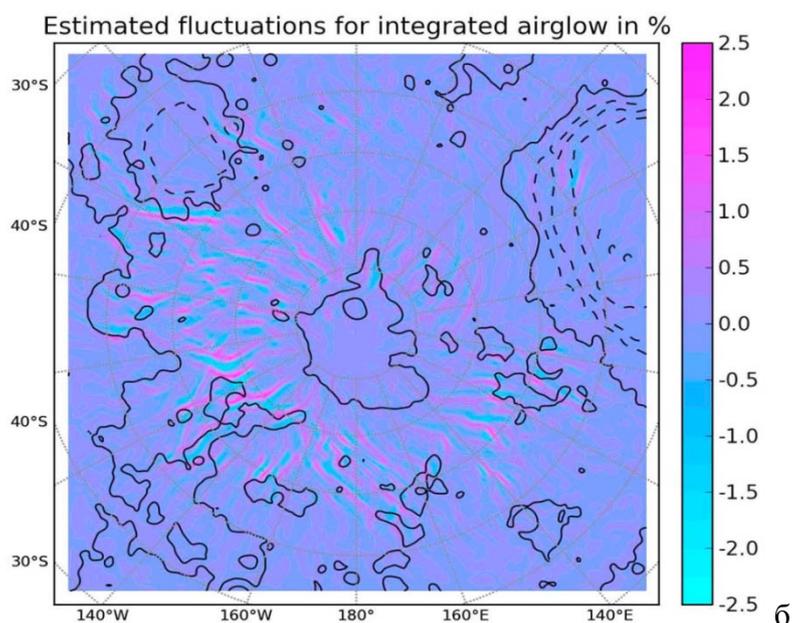
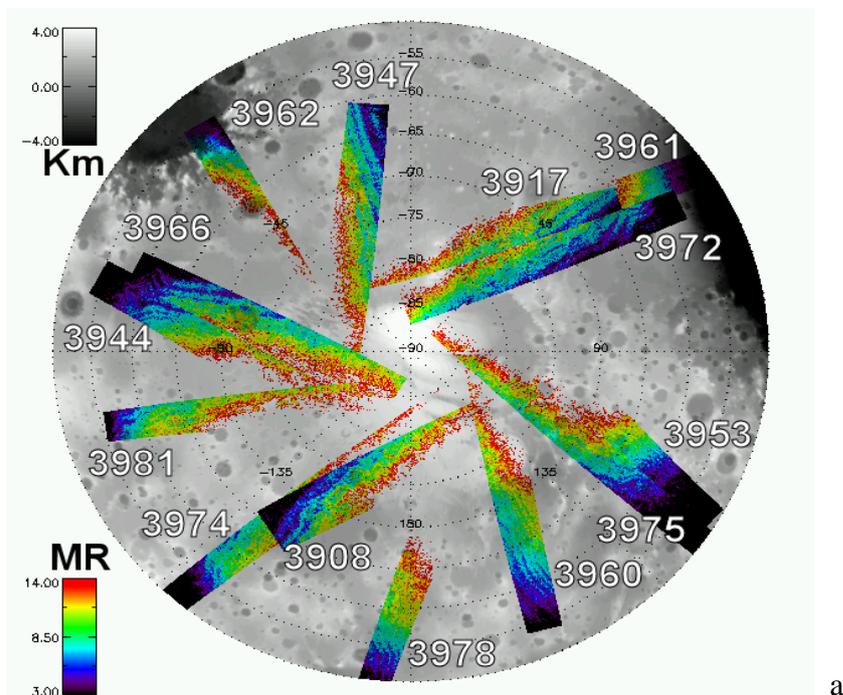


Рис. а) Изображения эмиссии O₂, полученные гиперспектрометром ОМЕГА, наложены на альтиметрию MOLA MGS; б) Амплитуда гравитационных волн. Наложено на топографию . Результат мезомасштабного моделирования GCM. Направление фронта волн близко к полученному спектрометром ОМЕГА

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

F. Altieri, A. Spiga, L. Zasova, G. Bellucci, J.-P. Bibring. Gravity waves mapped by the OMEGA/MEX instrument through O₂ dayglow at 1.27 μm: Data analysis and atmospheric modeling. J. Geophys. Res., V. 117, E00J08, doi:10.1029/2012JE004065, 2012

1.5 Моделирование переноса излучения в атмосфере Марса. Прибор OMEGA 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 или одна (для всех высот) или 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 $\gamma \equiv 0.5$, $\alpha \equiv 1.5$).

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.

Радиационный код SCATRD разрабатывается д.ф.-м.н. Васильевым А.В. (СПбГУ). В основе расчёта - метод статистического моделирования (Монте-Карло), позволяющий учесть многократное рассеяние излучения в сферической атмосфере. На базе версии 6 этого кода создана подпрограмма (на языке программирования Fortran) SCATRD_OFOS для анализа орбитальных спектрометрических измерений. Осуществлялась текущая работа по улучшению SCATRD_OFOS.

Различные усовершенствования процедуры SCATRD_OFOS, в частности, добавлена возможность проведения расчётов не только в шкале длин волн, но и в шкале волновых чисел (что удобно в фурье-спектрометрии).

Майоров Б.С., Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru

О.И. Кораблёв, Л.В. Засова, А.А. Фёдорова, Д.В. Титов, Н.И. Игнатъев, А.В. Родин, В.И. Шематович, Д.А. Беляев, И.В. Хатунцев, М.Н. Изаков, А.В. Шакун, А.В. Бурлаков, Б.С. Майоров "Российские исследования планетных атмосфер в 2007-2010 гг." // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2012, том 48, № 3, С.346-371.

2 ВЕНЕРА

2.1 Свечение O₂ (a¹Δ_g) 1.27 мкм и циркуляция в верхней мезосфере

Новый анализ надирных данных гиперспектрометра VIRTIS –M позволил построить детальные карты горизонтального распределения свечения O₂ на ночной стороне Венеры. Распределения свечения O₂ определяется циркуляцией в верхней мезосфере и нижней термосфере. Анализ отдельных орбит показывает высокую переменность. Наблюдаются:

- 1) распределения свечения, соответствующие типу циркуляции термосферы - потоку от подсолнечной (SS) точки к антисолнечной (AS), SS –AS, с нисходящим потоком и максимумом свечения в AS,

- 2) максимум свечения может быть смещен в сторону утреннего терминатора, что свидетельствует о вкладе зональной суперротации (RZS), типичной для мезосферы ниже 80 км,

- 3) максимум смещен к вечернему терминатору,
- 4) наблюдаются максимумы симметрично относительно полуночи.

В глобально усредненной карте в координатах местное время-широта максимум свечения наблюдается на вечерней стороне (22-23h), что не объясняется в рамках известных мод циркуляции для этих высот. Достоверность результата подтверждает факт изменения направления горизонтальной скорости ветра в этой области, знак горизонтальной дивергенции говорит о конвергенции потока. Область минимума свечения на утренней стороне (2-6 h) коррелирует с максимальной горизонтальной скоростью ветра и минимумом температуры на высоте свечения. Результаты получены впервые. Низкие интенсивности свечения на терминаторах и высоких широтах говорят о высоких горизонтальных скоростях и о потоке с дневной стороны и также как и обширная область более высокой интенсивности вокруг AS говорят о существовании SS-AS переноса, который, однако, не может объяснить детали глобально усредненной карты.

2.1.1 Свечение $O_2(a^1\Delta_g)$ 1.27 мкм и циркуляция в верхней мезосфере

Работа основана на надирных измерениях гиперспектрометра VIRTIS VEX (718 орбит, с экспозицией > 3 сек.) в период 2006 – 2009 гг. Получены и проанализированы карты ночного свечения $O_2(a^1\Delta_g)$ 1.27 мкм. Данные были тщательно переобработаны, учтены калибровочные проблемы, ранее неучтенные, при получении абсолютных интенсивностей свечения проанализировано влияние H_2O и возможной вариации оптической толщи облаков, учтена альтиметрия, которая влияет через температуру поверхности, и ее не учет может приводить к появлению артефактных деталей в изображениях. Распределение свечения на ночной стороне определяется характером циркуляции. Атомарный кислород, образовавшийся на дневной стороне, переносится потоком на ночную сторону, рекомбинирует в нисходящем потоке и высвечивает в полосе O_2 1.27 мкм. Максимумы свечения соответствуют областям конвергенции потока, и в свою очередь, их положение характеризует циркуляцию в верхней мезосфере. Основная мода циркуляции в термосфере, выше 100 км – SS-AS, в мезосфере – ниже 80-90 км – ретроградная зональная суперротация (RZS). Область высот 80-100 км – переходная зона. В этой области наблюдаются термические приливы, с амплитудой суточной и полусуточной волн превышающей 5 K (Zasova et al. 2007, PSS), обнаружены также гравитационные волны, которые проявляют себя в лимбовых профилях свечения O_2 (VIRTIS). Свечение кислорода происходит в слое от 85 до 110 км, со средней высотой максимума 97 ± 3 км, и полушириной слоя 8 ± 3 km. Поэтому изучение распределения свечения кислорода на ночной стороне важно для понимания характера циркуляции в переходной области.

2.1.2 Распределение свечения для индивидуальных измерений

Ниже (рис.1) приведены примеры карт свечения O_2 на отдельных орбитах. Свечение сильно переменное. Положение максимумов соответствует областям конвергенции потока, положение которых в свою очередь определяется преобладающим характером циркуляции.

В максимуме интенсивность свечения может превышать 6 MR. В настоящее время фотохимические модели не могут объяснить столь высокую интенсивность. Исходя из продукции атомов кислорода на дневной стороне модель (Krasnopolsky, 2010) допускает интенсивность свечения, не превышающую 1 MR.

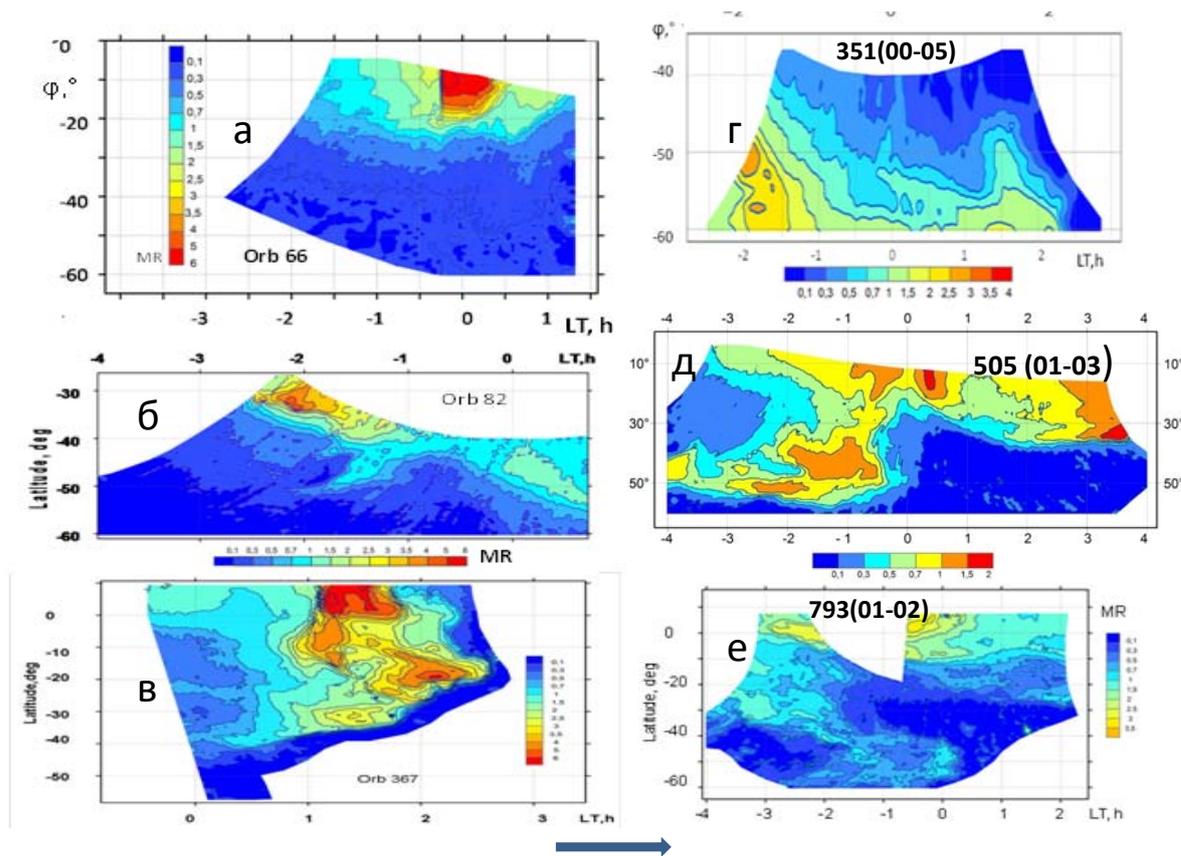


Рис.1. Карты полученные для некоторых индивидуальных орбит: (а) орб. 66, максимум эмиссии наблюдается в полночь и говорит о том, что циркуляция SS-AS, т.е. конвергенция потока наблюдается в полночь; (б) орбита 82, максимум эмиссии около 22 h (-2h), т.е. до полуночи; (в) орб. 367, максимум эмиссии между 1 и 2.5 h утром, в этом случае возможен вклад зонального ветра до 60 м/сек, который «сносит» область конвергенции на утреннюю сторону; г) орб.351, два максимума расположены симметрично в 2h до и после полуночи ; д) орб. 505, несколько максимумов - в антисолнечной точке, до и после полуночи; е) орб. 793, два куба данных стыкуются около 23(-1)h, непрерывный характер изображения показывает качество результата: несмотря на отсутствие данных в интервале от 22(-2) h до 23 (-1)h при $\phi < -20^\circ$, можно сказать, что максимум эмиссии в экваториальной области наблюдается в интервале местного времени от 21 (-3) h до полуночи.

Стрелка указывает направление зонального ветра

Таким образом, суперпозицией SS-AS и RZS можно объяснить смещение максимума свечения от полуночи на утреннюю сторону, смещение максимума от полуночи к вечерней стороне пока не находит объяснения, очевидно необходимо привлечение моделей общей циркуляции, которые для Венеры пока не достаточно разработаны.

2.1.3 Глобально усредненные карты ночного свечения молекулярного кислорода

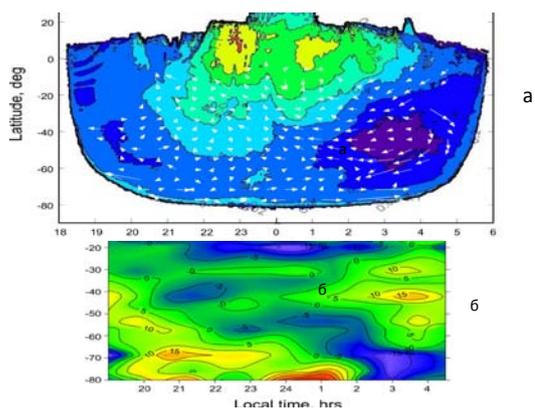


Рис. 2. (а) Карта свечения O_2 1.27мкм, усредненная по 718 орбитам. Среднее значение интенсивности 0.35 ± 0.3 MR (получено в результате более корректной обработки, по сравнению со значением 0.52 MR, Piccioni et al. 2009). Стрелками показано направление и скорость ветра (длина стрелки). Наблюдается антикорреляция интенсивности свечения и горизонтальной скорости ветра: минимальные значения скорости ветра соответствуют областям максимальной интенсивности свечения и наоборот

(б) Горизонтальная дивергенция скорости ветра в единицах 10^{-6} s^{-1} . Области максимального свечения (а) соответствуют отрицательной дивергенции (конвергенции потока) на рис.(б) и наоборот.

Сравнение с усредненным за тот же промежуток времени полем температуры на высоте ~ 95 км, (восстановленным Davide Grassi по полосе CO_2 4.3 мкм и изучаемым нами также для включения в VIRI) показывает:

- в областях, где наблюдается конвергенция потока температура достигает 190К, превышая приблизительно на 10 К температуру соседних областей
- глубокий минимум в среднем поле свечения (~ 0.3 MR) в пределах $\varphi = -20 - 70^\circ$ и $LT=2 - 6$ h соответствует температуре ~ 175 К, которая обличается более, чем на 5К от соседних областей.

2.1.4 Сравнение с Земной атмосферой

Лимбовые наблюдения VIRTIS содержат вертикальные профили свечения O_2 ($a^1\Delta_g$) имеющие два максимума. В атмосфере Земли ночное свечение молекулярного кислорода наблюдается также в верхней мезосфере вблизи уровня мезопаузы при близких температурах (но более низких давлениях). Венерианские и земные профили ночного свечения O_2 очень похожи (рис.3). Это еще один параметр, по которому две планеты близки друг к другу. Большая чем на порядок интенсивность венерианского свечения может быть связана с менее интенсивной циркуляцией на Земле, чем на Венере в верхней мезосфере.

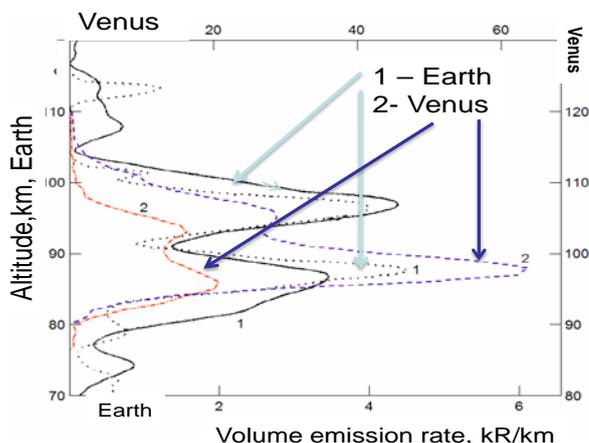


Рис. 3. Вертикальные профили ночного свечения молекулярного кислорода вблизи мезопаузы Земли и Венеры. Нижняя ось x и левая ось y относятся к Земле, соответственно верхняя ось y и правая ось x – к Венере. Характер земного профиля определяется активностью гравитационных волн. Моделирование венерианского профиля (Altieri, Shakun, Zasova et al., 3MS3- VN -10) показало, что наличие двух максимумов в профиле связано с действием гравитационных волн.

2.1.5 Моделирование вертикальных профилей свечения молекулярного кислорода (VIRTIS/VEX), возмущенных действием гравитационных волн

Для моделирования и изучения волн в вертикальных профилях кислорода в атмосфере Венеры применялась теория, которая используется также для изучения флуктуаций в свечения в земной атмосфере, вызванных распространением гравитационных волн.

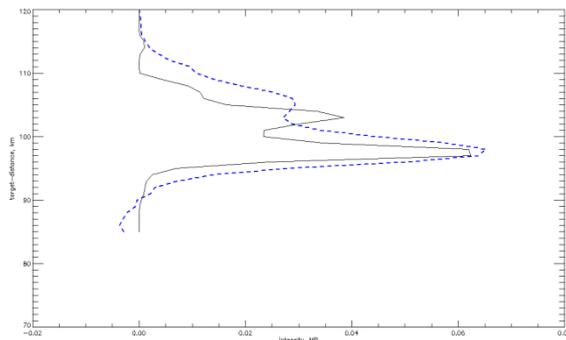


Рис.4. Измеренный VIRTIS/VEX вертикальный профиль O₂ (пунктир) и модельный (сплошная кривая), полученный для вертикальной длины волны GW = 7 км и с интенсивностью на 100 км = 20%.

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

Zasova L., Khatuntsev I., Shakun A., Piccioni G., Drossart P. Night airglows in Venus atmosphere and dynamics around 100 km from VIRTIS-M VEX data. Comparison with the Earth atmosphere. EGU General Assembly 2012, held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria., p.12865.

Zasova L., A.Shakun, I. Khatuntsev, N. Ignatiev, J. Brekhovskikh, G.Piccioni and P. Drossart. Maps of the O₂ nightglow on Venus and circulation at mesopause level. EPSC 2012, Madrid, abstract EPSC2012-690.

Zasova L., I. Khatuntsev, A.Shakun, J. Brekhovskikh, D. Gorinov, G.Piccioni and P. Drossart Oxygen nightglow emission as tracer of Venus' atmosphere circulation around mesopause. Third Moscow Solar System Symposium, 2012, abstract 3MS3-VN-093#S3-VN-09

Altieri F., A. Shakun, L. Zasova, A. Migliorini, G. Piccioni and G. Bellucci. Modelling of VIRTIS/VEX O₂($\alpha^1\Delta_g$) nightglow profiles affected by the gravity waves action. EPSC 2012, Madrid, abstract EPSC2012-690.

Zasova L. Reference atmospheres: VIRA II-Venus international reference atmosphere update. 39 General Assambly of COSPAR, 2012. Abstract C3.3-0001-12.

Limaye, S.; Svedhem, H.; Titov, D.; Markiewicz, W.; Wilson, C.; Zasova, L. Updating the Venus International Reference Atmosphere (VIRA). EGU General Assembly 2012, held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria., p.10023

2.2 Облака, водяной пар и УФ поглотитель по данным экспериментов VIRTIS и VMC на КА Venus Express в 2009-2011 гг

По данным 2009–2011 гг. эксперимента VIRTIS на КА Venus Express измерена высота верхней границы облаков и содержание водяного пара вблизи этого уровня. В отличие от измерений спектрометра VIRTIS-H 2007–2008 гг., сосредоточенных в северном полушарии Венеры, измерения 2009-2011 гг. равномерно покрывают оба полушария. Новые измерения в целом подтвердили выводы, сделанные ранее (Cottini, Ignatiev et al., 2012, Icarus 217, 561). Средняя высота верхней границы облаков, соответствующая

единичной оптической глубине на длине волны 2,5 мкм, в низких широтах в среднем равна 69 ± 1 км, и понижается к полюсу до 62–64 км. Среднее содержание водяного пара равно 3 ± 1 ppm в низких широтах, повышается в средних и достигает максимума 5–6 ppm на широтах $70\text{--}80^\circ$ в обоих полушариях и несколько понижается в полярных областях. Это распределение водяного пара объясняется, по всей вероятности, особенностями динамики атмосферы Венеры – переносом водяного пара в ячейке Хэдли и полярном вихре. Средняя высота верхней границы облаков и содержание H_2O вблизи этого уровня симметричны относительно экватора и не проявляют зависимости от местного времени. Отсутствует жесткая связь высоты облаков и содержания водяного пара с «неизвестным» ультрафиолетовым поглотителем, однако, темные УФ детали характерным размером несколько градусов широты (несколько сотен километров) нередко совпадают с повышениями верхней границы облаков, а светлые детали – с понижением, что может объясняться выносом УФ поглотителя из нижележащих слоев восходящими потоками.

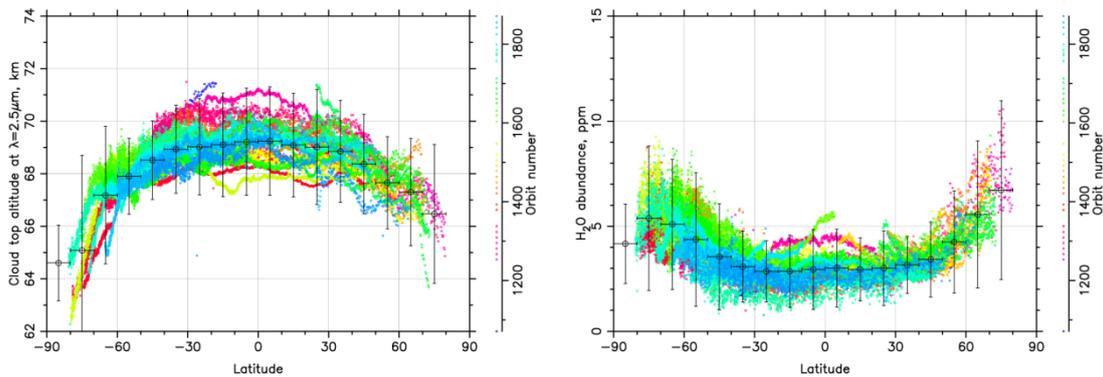


Рис. 1. Высота верхней границы облаков (слева) и содержание водяного пара (справа) вблизи этого уровня.

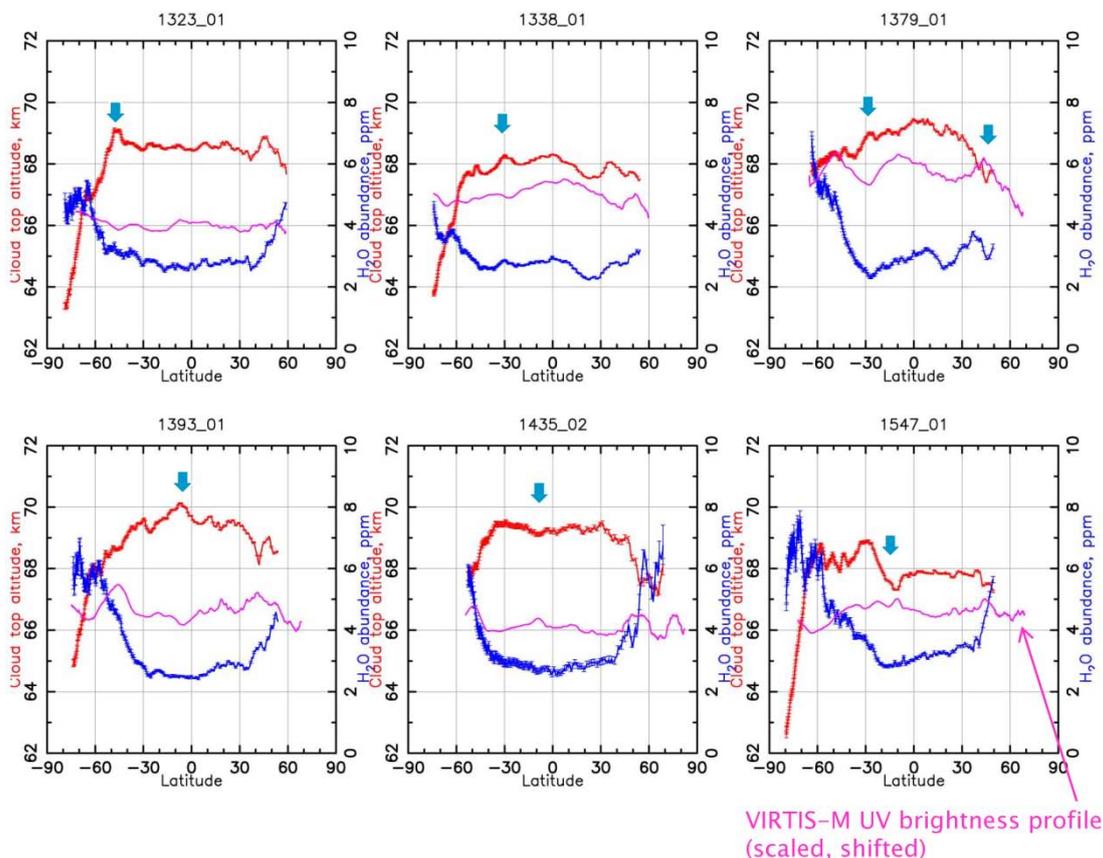


Рис. 2. Примеры измеренных на отдельных орбитах широтных профилей высоты верхней границы облаков, содержания водяного пара и вариаций УФ яркости. Стрелками отмечены примеры явной корреляции вариаций УФ яркости и высоты верхней границы облаков.

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

N. Ignatiev, L. Zasova. Clouds of Venus. Input to VIRI. 39th COSPAR Scientific Assembly, July 14-22, 2012, Mysore, India, C3.3-0003-12.

N. I. Ignatiev, G. Piccioni, P. Drossart, V. Cottini, W. J. Markiewicz. Water vapour, clouds, and the UV absorber near the cloud tops of Venus from VIRTIS and VMC / Venus Express data. European Planetary Science Congress 2012, 23 - 28 September 2012, Madrid, Spain, EPSC Abstracts, Vol. 7, EPSC2012-914.

V. Cottini, N. I. Ignatiev, G. Piccioni, P. Drossart, D. Grassi, W. J. Markiewicz (2012). Water vapor near the cloud tops of Venus from Venus Express/VIRTIS dayside data, Icarus 217, 561
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 (2012). Morphology of the cloud tops as observed by the Venus Express Monitoring Camera. Icarus 217, 682.

Y. J. Lee, D. V. Titov, S. Tellmann, A. Piccialli, N. Ignatiev, M. Pätzold, B. Häusler, G. Piccioni, P. Drossart (2012). Vertical structure of the Venus cloud top from the VeRa and VIRTIS observations onboard Venus Express. Icarus 217, 599.

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 (2012). Geologic interpretation of the near-infrared images of the surface taken by the Venus Monitoring Camera, Venus Express, Icarus 217, 434.

2.3 Динамика мезосферы Венеры на уровне верхней границы облаков

Продолжены исследования динамики мезосферы Венеры на уровне верхней границы облаков. В качестве исходным материалов использовались УФ изображения (365 нм), полученные Venus Monitoring Camera (VMC), установленной на борту космического аппарата Venus Express.

По смещению деталей облачного покрова, оцениваемому по паре УФ изображений, разнесенных по времени, измерены скорости перемещения воздушных масс. К концу 2012 года измерения охватили интервал 2276 орбит с временным покрытием около 10 венерианских лет. Измерения проводились в ручном и автоматическом режимах. Ручным методом обработаны данные 125 орбит, в автоматическом режиме - 555 орбит. Общее число измеренных векторов скорости движения облачных деталей составило 50000 для ручного метода и 381000 для автоматического.

В низких широтах средняя величина зональной компоненты скорости ветра на уровне верхней границы облаков в низких широтах в УФ спектральном диапазоне (68 ± 2 km) составляет 90 м/с, достигает максимума ~ 100 м/с на широтах $40-50^\circ$, далее по направлению к полюсу быстро падает с широтой. Средняя величина меридиональной компоненты медленно возрастает от 0 на экваторе до 10 м/с на широте 50° и далее снова уменьшается до 0 (Рис. 1). Погрешность отдельного измерения составляет 10–15 м/с.

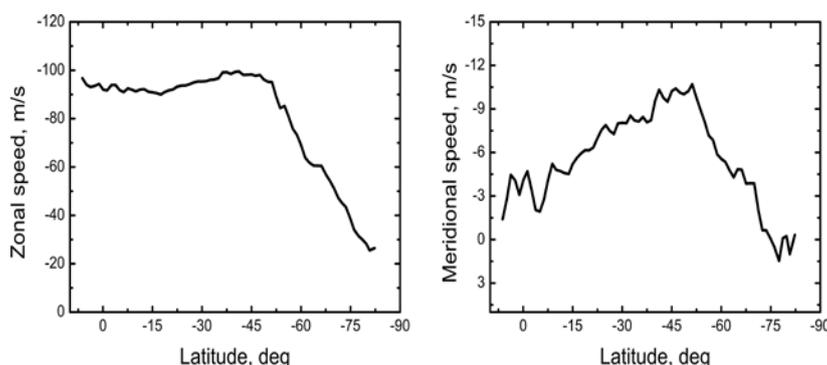


Рис. 1 Зональная (слева) и меридиональная (справа) компоненты скорости ветра, усредненные по всему периоду наблюдений VMS.

Средняя величина зональной компоненты скорости ветра в низких широтах в течение периода наблюдений составляет 85–100 км, что согласуется с предыдущими измерениями. Исследована изменчивость зональной компоненты скорости ветра в низких широтах. Обнаружен долговременный возрастающий тренд и кратковременные вариации (Рис. 2). Амплитуда кратковременных, с периодом близким к периоду суперротации, вариаций в экваториальной области может достигать 30 м/с. Поиск периодичности в зональной циркуляции методом, основанным на Фурье-анализе, показал, что скорость ветра в низких широтах испытывает квазипериодические колебания с периодами 4,1–5 дней и амплитудами ± 4 –17 м/с. Амплитуда колебаний падает с широтой, что характерно для планетарной волны Кельвина.

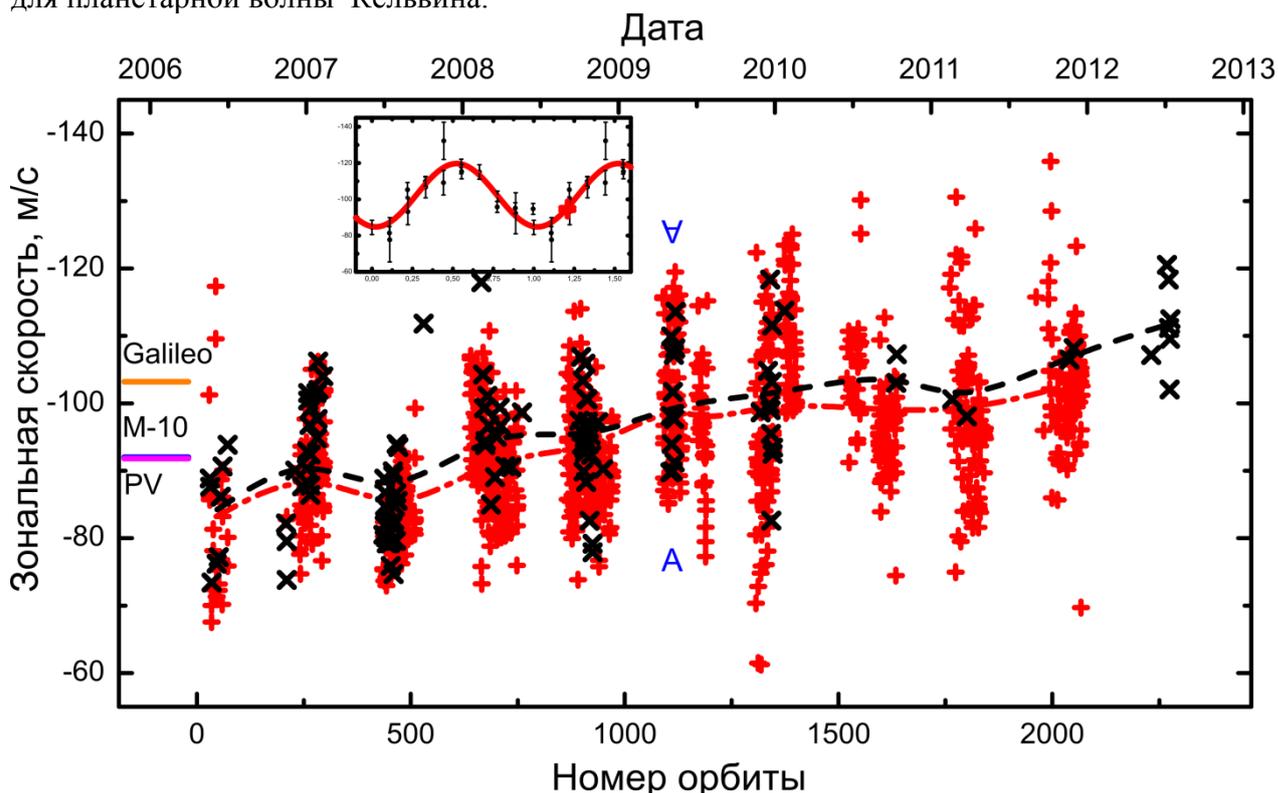


Рис. 2 Долговременный тренд в зональной компоненте скорости ветра. Представлен также пример осцилляции средней зональной скорости с периодом 4.5 суток для серии последовательных орбит (разрез A – V), для наглядности все измерения сведены в одно колебание. Черным цветом обозначены измерения, полученные вручную, красным – в автоматическом режиме. В левой части графика представлены средние уровни скоростей, полученных другими миссиями.

Поле скоростей характеризуется солнечно-связанной периодической структурой. В вариациях зональной скорости ветра присутствует выраженная полудневная компонента с минимумом вблизи подсолнечной точки (11-14 часов местного времени) и максимумами вблизи утреннего (8-9 ч) и вечернего (16-17 ч) терминаторов. Меридиональная компонента максимальна в послеполуденные часы (13-15 ч) на 50° ю.ш., а минимальна в низких широтах утром (8-11 ч).

к. ф.-м. н. Хатунцев И.В., nip@irn.iki.rssi.ru

Piccialli, A.; Tellmann, S.; Titov, D. V.; Limaye, S. S.; Khatuntsev, I. V.; Pätzold, M.; Häusler, B. Dynamical properties of the Venus mesosphere from the radio-occultation experiment VeRa onboard Venus Express // Icarus, Vol. 217, Issue 2, p. 669-681;

I.V. Khatuntsev, M. V. Patsaeva, D. V. Titov, A. V. Turin, S. S. Limaye, N. I. Ignatiev, W. J. Markiewicz, M. Almeida, Th. Roatsch, R. Moissl. Cloud level winds from the Venus Express Monitoring Camera imaging. Отправлено в Icarus;

Patsaeva, M.; Khatuntsev, I.; Ignatiev, N. Circulation of mesosphere of Venus according to wind tracking results obtained from VMC and VIRTIS onboard Venus Express // 39th COSPAR Scientific Assembly 2012, held 14-22 July in Mysore, India, #11244;

Patsaeva, M.; Khatuntsev, I.; Ignatiev, N. Winds at the cloud top level of Venus from UV images obtained with VMC onboard Venus Express // 39th COSPAR Scientific Assembly 2012, held 14-22 July in Mysore, India, #11482;

Khatuntsev, I.; Patsaeva, M.; Ignatiev, N.; Titov, D.; Markiewicz, W.; Periodicities of zonal wind speed at the cloud top level of Venus from UV images obtained by Venus Monitoring Camera onboard Venus Express // 39th COSPAR Scientific Assembly 2012, held 14-22 July in Mysore, India, #11586;

Khatuntsev, I.; Patsaeva, M.; Ignatiev, N.; Titov, D.; Markiewicz, W.; Temporal variations of zonal wind speed at Venus cloud tops from Venus Monitoring Camera UV images // European Planetary Science Congress 2012, held 23-28 Septembre in Madrid, Spain, EPSC Abstracts, Vol. 7 EPSC2012-18 2012;

Khatuntsev, I.V.; Patsaeva, M.V.; Titov, D.V.; Ignatiev, N.I.; Markiewicz, W.J.; Circulation of mesosphere of Venus at cloud top level according to results obtained from Venus Monitoring Camera (VMC) onboard Venus Express // The third Moscow Solar System Symposium (3M-S3), Moscow 2012;

Titov, D.V.; Ignatiev, N.I.; Khatuntsev, I.V.; Piccialli, A.; Lee, Y.J.; Limaye, S.S.; Markiewicz, W.J.; Piccioni, G.; Paetzold, M.; Svedhem, H.; Cloud morphology and dynamics of the Venus atmosphere from the Venus Express observations // The third Moscow Solar System Symposium (3M-S3), Moscow 2012.

2.4 Исследование распределения малых составляющих мезосферы Венеры

Венера обладает самой плотной атмосферой среди планет земной группы. Эта планета полностью покрыта слоем облаков из капель концентрированной серной кислоты (высоты 50-70 км над поверхностью). Атмосфера над облаками – область мезосферы (70-120 км) – содержит серо- и хлоро-содержащие газовые составляющие (SO, SO₂, HCl), которые, несмотря на их малую концентрацию (0,1-1 частиц на миллион), играют важную роль в фотохимических процессах, взаимодействуя, в частности, с парами H₂SO₄.

В 2012 году на основе данных спектрометров SPICAV и SOIR с борта орбитального аппарата «Венера Экспресс» были получены распределения содержания окисей серы (SO, SO₂) по высоте (70-110 км), географической широте и времени за 2006-2012 гг. Кроме того, по данным солнечного просвечивания SOIR были получены вертикальные профили содержания HCl для нескольких сеансов наблюдений.

2.4.1 Вертикальное распределение содержания SO и SO₂

По результатам солнечного просвечивания были восстановлены вертикальные профили содержания SO₂ и SO в диапазоне высот 70-110 км с наличием двух слоев поглощения SO₂ (70-80 км; 90-100 км) и одним слоем SO (90-100 км) (Рис. 1). В верхнем слое «X»-образная структура SO&SO₂ указывает на фотохимическую взаимосвязь между этими газами над облаками Венеры, что было подтверждено рассчитанной моделью ([C1], [C2], [K1], [K2]).

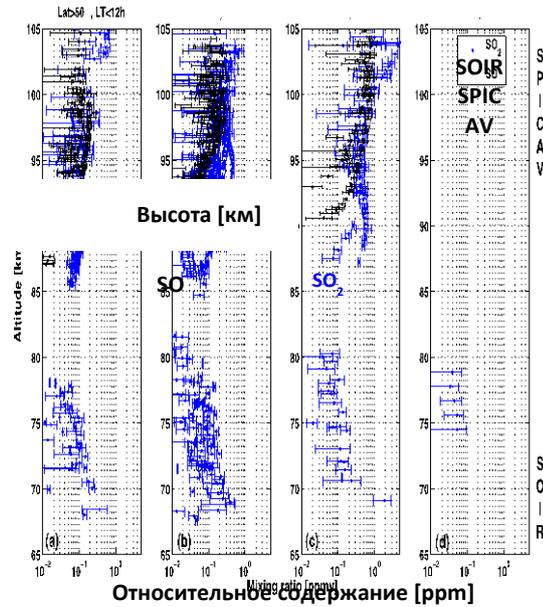


Рис. 1. Вертикальные профили относительного содержания SO и SO₂ над облаками Венеры.

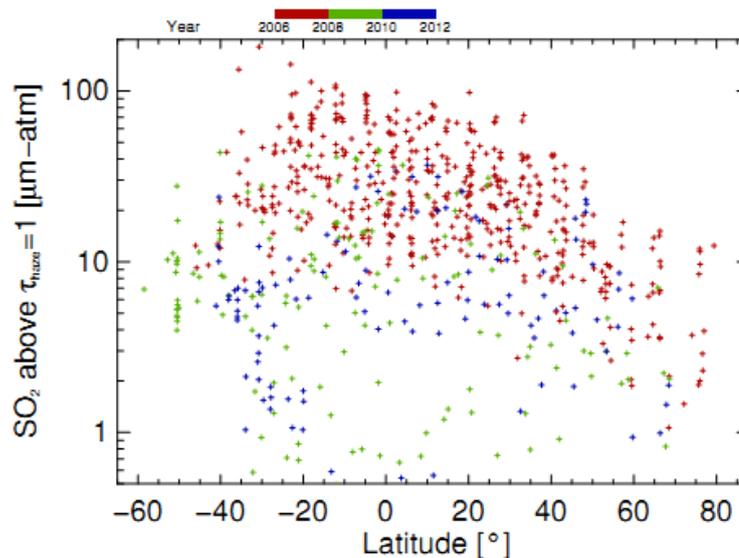


Рис. 2. Широтное распределение содержания SO₂ по уровню верхней границы облаков (1 мкм-атм = ~10 ppb).

2.4.2 Распределение содержания SO₂ по широте

По результатам измерений в надир прибора SPICAV были получены широтные вариации содержания SO₂ на уровне верхней границы облаков (~70 км) (Рис. 2). Обнаружено, что содержание газа уменьшается от экватора к полюсу на этом уровне высот, что коррелирует с аналогичной зависимостью высоты облаков ([C3], [K1], [K2]).

2.4.3 Распределение содержания SO₂ по времени с 2006 по 2012 гг.

Также были выявлены годовые вариации содержания двуокиси серы на уровне ~70 км в период с 2006 по 2012 гг. (Рис. 3). Полученный тренд оказался схож с результатами советских и американских миссий 1980-1990 годов, что косвенно может подтверждать наличие многолетних циклов на Венере с периодом 10-25 лет ([C3], [K1], [K2]). К тому же, единичные всплески содержания SO₂ могут быть связаны с последствиями извержения вулканов с поверхности Венеры, как это происходит в атмосфере Земли. Хотя прямых доказательств наличия вулканической активности на Венере не существует.

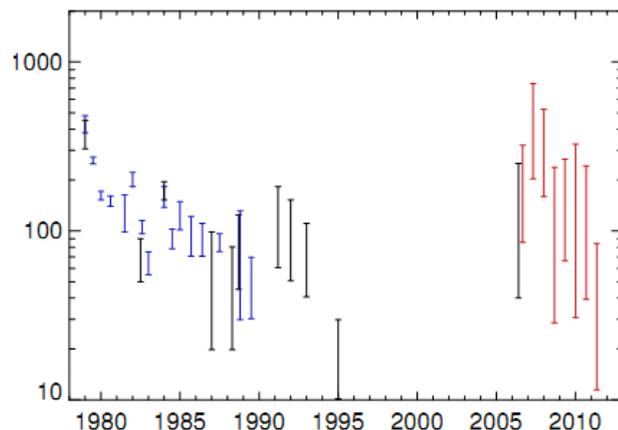


Рис. 3. Годовые вариации содержания SO₂ на уровне 70 км за все время исследования этого газа на Венере (2006-2012 гг. – результаты КА «Венера Экспресс»).

2.4.4 Вертикальное распределение содержания HCl

В конце 2012 года по данным солнечного просвечивания SOIR были получены вертикальные профили содержания HCl в мезосфере Венеры (Рис. 4). Пока обработано всего несколько сеансов просвечивания, профили совпали с результатами существующих моделей по этому газу и с недавно опубликованными микроволновыми наблюдениями с наземных телескопов (Sandor et al., 2012). Исследования в этом направлении будут продолжены в следующем году.

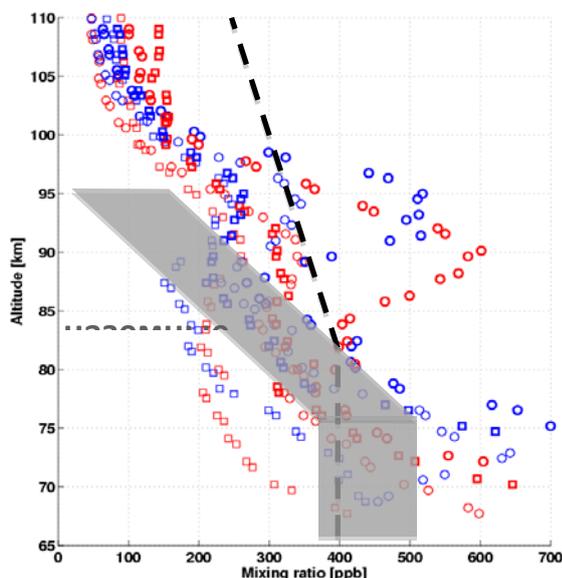


Рис. 4. Вертикальные профили относительного содержания HCl по данными просвечивания SOIR (синие и красные точки) в сравнении с результатами наземных наблюдений и моделей.

к. ф.-м. н.Беляев Д.А., dbelyaev@iki.rssi.ru

Belyaev D.A., Montmessin F., Bertaux J.-L., Mahieux A., Fedorova A.A., Korablev O.I., Marcq E., Yung Y.L., Zhang X. Vertical profiling of SO₂ and SO above Venus' clouds by SPICAV/SOIR solar occultations. // Icarus. 217 (2012) 740-751.

Zhang X., M.C. Liang, F.P. Mills, D. Belyaev, Y.L. Yung. Sulfur chemistry in the middle atmosphere of Venus. // Icarus. 217 (2012) 714-739.

Marcq E., Montmessin F., J.-L. Bertaux, Belyaev D. Variations of sulphur dioxide at the cloud top of Venus's dynamic atmosphere. // *Nature Geoscience* 2012 (в печати).

Belyaev et al., 2012. Sulfur oxides above Venus' clouds from SPICAV/SOIR VEX occultations. EGU, 2012.

Belyaev et al., 2012. Puzzles of SO₂ on Venus. COSPAR, 2012.

Marcq et al., 2012. Evidence of long-term variability at Venus clouds top. EPSC, 2012.

2.5 Продолжено рассмотрение возможностей жизни в условиях умеренно высоких температур

Как естественная лаборатория рассматривается планета Венера, где на основе панорам, полученных с аппаратов ВЕНЕРА (1975-82) обнаружены необычные объекты.

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

Ксанфомалити Л.В. Венера как естественная лаборатория для поиска жизни в условиях высоких температур: о событиях на планете 1 марта 1982 г. // *Астрон. вестн.* 2012 г. Т. 46. № 1. С. 44–57.

Ксанфомалити Л.В. Результаты новой обработки изображений, полученных с поверхности Венеры в 1975 г., в телевизионном эксперименте на аппарате ВЕНЕРА-9 // *Астрон. вестн.* 2012 г, Т. 46. № 5. С. 393–403.

Ксанфомалити Л.В. Возможное обнаружение жизни на планете Венера // *ДАН* 2012 б. Т. 446. № 1. С. 42–47.

Ксанфомалити Л.В. “Гесперы” – необычные объекты на поверхности планеты Венера, по данным миссий 1975–1982 гг. // *ДАН*, 2012 в, том 447, № 1, с. 28–32

L.V. Ksanfomality. On the possible signs of life on Venus // Conference «Extraterrestrial life – Beyond our expectations?» // Vienna, Austria, 2012 May.

3 МЕРКУРИЙ

Рассмотрены результаты наблюдений полярных районов планеты аппаратом МЕССЕНДЖЕР и проведено их сравнение с ранее опубликованными работами Ксанфомалити Л. В. Физические свойства поверхности Меркурия // *Астрономический вестник*. 2001, том 35, № 5, с. 371–386 и Harmon J.K., Slade M.A. Radar mapping of Mercury: Full-disk images and polar anomalies // *Science*. 1992. V. 258. P. 640-642. Объекты совпадают с затемненными кратерами. Выводы подтверждаются пресс-релизом http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2012/30nov_lakevida/.

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

Ксанфомалити Л. В. Физические свойства поверхности Меркурия // *Астрономический вестник*. 2001, том 35, № 5, с. 371–386

4 РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

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

4.1.1 Изучение особенностей формирования химического состава паровой фазы при высокотемпературном испарении силикатного вещества

Высокотемпературное испарение (4000 – 5000 К), реализуемое при ударном испарении, характеризуется выходом в парообразное состояние сложных молекулярных комплексов, так называемое - кластерное испарение. При кластерном испарении нередко наблюдается обогащение паровой фазы элементами традиционно считающимися труднолетучими. Именно поэтому данный тип испарения особенно важен при изучении ударно-испарительных явлений, так как в этом случае распределение элементов между паром и

ударным расплавом уже не определяется только индивидуальной летучестью простых веществ.

В плане исследования поведения кальциевых силикатов исследовалось испарение островных силикатов - ларнита $\text{Ca}_2[\text{SiO}_4]$ и мервинита $\text{Ca}_3\text{Mg}[\text{SiO}_4]_2$. Кальций при умеренных температурах ведет себя как труднолетучий элемент, а кремний как умереннолетучий. На рис. 1 показаны результаты анализа методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) по всему разрезу конденсатной плёнки, полученной при испарении ларнита.

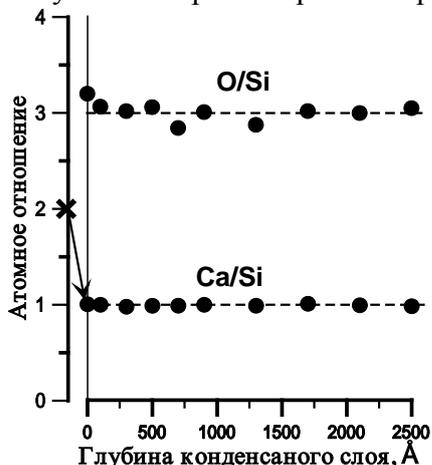


Рис. 1 Соотношение элементов в конденсате при испарении ларнита (Ca_2SiO_4). Исходное отношение $\text{Ca/Si}=2$ показано крестиком

Видно, что отношения Ca/Si и O/Si устойчиво соответствуют стехиометрии волластонита (CaSiO_3) по всему разрезу конденсатной пленки. По нашему мнению испарение происходило с образованием «волластонитового» кластера. Убедительным аргументом в пользу существования волластонитового кластера являются данные по энергиям связи островных $2p_{3/2}$ электронов Ca (347.03 – 347.06 эВ) и Si (102.29-102.36 эВ) в конденсате, которые точно соответствовали энергиям связи Ca и Si в волластонитовом стандарте [NIST Standart Database 29, Version 3.5], - 347.04 эВ и 102.36 эВ соответственно. Для сравнения, в исходном ларните эти связи имеют энергии: для Ca – 346.74 эВ и для Si – 102.19 эВ. Таким образом, происходит полная перестройка структуры полимеризации кремнекислородных тетраэдров из островной в цепочечную. Данное обстоятельство позволяет предполагать высокую устойчивость цепочечной полимеризации при высокотемпературном испарительном процессе.

На рис. 2 показаны результаты РФЭС анализа конденсата, полученного при испарении мервинитовой мишени. Здесь опять по всему разрезу конденсата наблюдается «пироксеновое» отношение $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Si} = 1$, и также очевидно, что аналитические данные нельзя интерпретировать в терминах индивидуальной летучести окислов CaO, MgO и SiO_2 , входящих в состав мервинита.



Рис. 2 Соотношение элементов в конденсате при испарении мервинита $\text{Ca}_3\text{Mg}[\text{SiO}_4]_2$. В конденсате отношение $\text{Ca}/\text{Mg} \approx 1.5$. Исходное отношение $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Si}=2$ показано крестиком.

Полученный результат однозначно свидетельствует об испарении кремния в кластерной связке с магнием и кальцием. Как и в эксперименте с ларнитом, конденсат в опыте с мервинитом имеет выраженную цепочечную полимеризацию. Можно говорить о переходе в процессе испарения островных силикатов к цепочечному («пироксеновому») типу связи в паре и, соответственно, о пироксеновом составе конденсата. При этом надо отметить, что отношение Ca/Mg в конденсате изменчиво и в среднем составляет ~ 1.5 , что может отражать параллельное испарение «волластонитового» (CaSiO_3) и «энстатитового» (MgSiO_3) кластеров.

4.1.2 Исследовалось содержание органических соединений в веществе метеоритов и в образцах, полученных в модельных ударно-испарительных экспериментах

Химический и фазовый состав углистых хондритов классов CM2 (Murchison) и CO3 (Каинсаз) были изучены с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Объектами исследования служили мелко истертые и гомогенизированные образцы вышеупомянутых метеоритов. Были проведены исследования непосредственно поверхностного слоя частиц, а также слоёв на глубине 6000 \AA при последовательном травлении нанесённых на твёрдую подложку порошков.

Данные, полученные с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, говорят о том, что вещество метеоритов Murchison и Каинсаз имеет очень сложный элементный и фазовый состав. В частности, с помощью РФЭС были обнаружены различные фазы, соответствующие оксидам железа, алюминия, титана, кобальта; силикатам, сульфидам, хлоридам, нитридам, фосфидам, карбидам, карбонатам, титанатам, фосфатам, нитратам, сульфатам, персульфатам, перхлоратам, тиоцианатам, хроматам, ферритам различных металлов, кремния и аммония, а также органические цианиды (нитрилы), аминосульфокислоты, альдегидные и кетогруппы, карбоксильные группы, аминогруппы, принадлежащие ароматическим аминам и т.д.

Исследование метеоритов методом РФЭС представляет большой интерес, поскольку на данный момент опубликованы весьма скудные результаты подобных экспериментов.

Тонкодисперсные образцы углистых хондритов класса CM2 (Murchison) и CO3 (Каинсаз) были исследованы на содержание летучих соединений. Было изучено преобразование летучих соединений метеоритов Murchison и Каинсаз в высокоскоростных ударных процессах в инертной атмосфере (атмосфере гелия).

В результате анализа тонкоизмельчённого вещества углистых хондритов Murchison и Каинсаз с помощью ПГХ-МС в режиме термодесорбции были идентифицированы более сотни различных летучих и органических соединений, включая CO_2 (основной компонент), алифатические углеводороды – насыщенные (алканы) и ненасыщенные (главным образом, алкены) нормального и разветвлённого строения от C_4 до $>\text{C}_{20}$, алициклические углеводороды и их гомологи, ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы, другие алкилбензолы, нафталин, алкилнафталины и т.д.), спирты, простые и сложные эфиры, альдегиды, кетоны, амины, нитрилы, гетероциклические соединения: тиофен и алкилтиофены, пиридин и т.д. Причем, при переходе от класса CM2 (Murchison) к классу CO3 (Каинсаз), абсолютные количества и ассортимент органических соединений заметно снижались.

В ходе высокотемпературных пиролитических экспериментов было отмечено выделение из вещества метеоритов бензола (основной компонент), ацетонитрила, нитрила олеиновой кислоты, толуола, метилениклопропана (или бутадиена-1,3) и небольшого количества алканов от C_{10} до C_{20} . Из чего можно сделать некоторые выводы о составе высокомолекулярных соединений углерода – керогенов, в частности, о том, что они

содержат ароматические структуры, соединённые алифатическими углеводородными мостиками и включают, в т.ч. азотсодержащие функциональные группы.

В результате экспериментов по моделированию ударных процессов в инертной атмосфере с использованием в качестве материала мишеней метеоритов Murchison и Каинсаз было отмечено преобразование состава летучих соединений. В собранных конденсатах были обнаружены трудноидентифицируемые соединения, содержащие группы $-(O)S(O)-$ или $-S(O)-$ (предположительно - летучие производные сульфокислот и сульфоксиды), ацетальдегид, фуран, эйкозантетраиновая кислота и т.д. По сравнению с исходным метеоритным веществом, выросла доля ароматических углеводородов и нитрилов. Таким образом, можно утверждать, что в ходе ударных процессов в инертной атмосфере происходит комплексное преобразование летучих и высокомолекулярных органических соединений и минеральной матрицы метеоритов с образованием новых кислородсодержащих летучих соединений (сульфоксидов, жирных кислот, альдегидов), увеличением выхода азотсодержащих соединений (нитрилов) и переходом насыщенных алифатических углеводородов в ненасыщенные и ароматические углеводороды. Источником кислорода и серы для окислительной функционализации могут являться петрогенные окислы и сульфиды минеральной части метеоритного вещества, которая подвергается термической диссоциации в ходе испарения при ударе.

В ходе работы была усовершенствована система выделения, концентрирования и анализа летучих веществ из минеральных матриц с применением пиролитической газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией.

При исследовании твёрдых конденсатов, получающихся при моделировании ударных процессов в восстановительной атмосфере, моделирующей атмосферу Титана, было обнаружено большое количество летучих органических соединений: алифатических (предельных и непредельных), алициклических (насыщенных и ненасыщенных, в т.ч. терпеноидов) и ароматических углеводородов, кислородсодержащих соединений (фурана и его производных, кетонов), азотсодержащих соединений (нитрилов). Данные конденсаты были использованы как модели метеоритного вещества для отработки методики анализа летучих соединений.

На следующем этапе экспериментов на содержание летучих веществ были исследованы тонкодисперсные образцы углистых хондритов классов CM2 (Murchison) и CO3 (Каинсаз). При этом было обнаружено несколько сотен органических соединений различных классов: алифатических (предельных и непредельных), алициклических (циклоалканов и терпеноидов) и ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов, нафталинов, их гомологов и т.д.), серосодержащих гетероциклических соединений ряда тиофена, спиртов, альдегидов, кетонов, карбоновых кислот, сложных эфиров и т.д. При переходе от класса CM2 углистых хондритов к классу CO3 количества выделяющихся органических соединений существенно снижаются. На рис. 1 приведена типичная пирограмма вещества метеорита Murchison при 460°C.

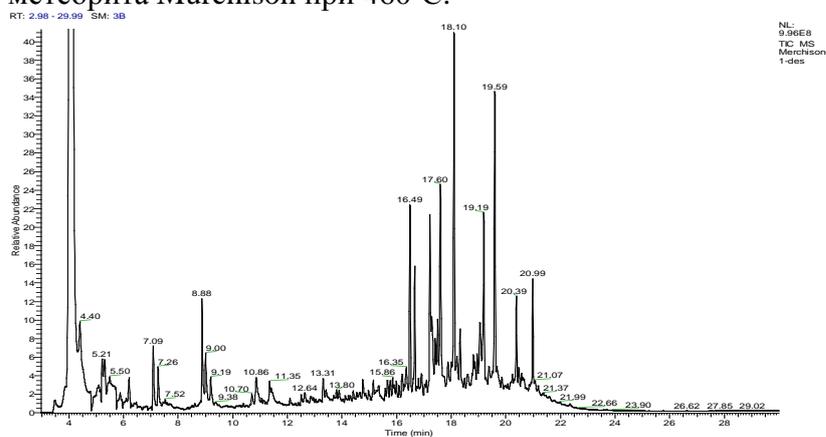


Рис. 1. Типичная пирограмма вещества метеорита Murchison при 460°C по полному ионному току. По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – ионный ток, отн. единицы.

Полученный аналитический опыт будет использоваться при подготовке экспериментов *in situ* в космических миссиях Луна-Глоб и Луна-Ресурс.

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

М. В. Герасимов, Ю. П. Диков, О. И. Яковлев (2012) Кластерный тип испарения силикатов: новые экспериментальные данные. Петрология, том 20, № 5, с. 439–448.
Gerasimov M.V., Dikov Yu.P., and Yakovlev O.I. (2012) The effect of volatilization of molecular clusters during impacts. In: 75th Annual Meeting of the Meteoritical Society, 12-17 August 2012, Cairns, Australia, abstracts, #5182.

5 ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

5.1 Рассмотрены физические свойства предполагаемых планетанов (океанических планет)

Показано, что характеристики объекта КЕПЛЕР-22, объекта GJ 1214b и ряда других экзопланет категорически не соответствуют планетанам. По многим критериям на роль планетана выходит экзопланета GL 581g. Статья: Ксанфомалити Л. В. Планетаны - океанические планеты. // Представлена в «Астрономический вестник» (2012).

5.1.1 Поиск планет, подобных Земле и планетанов

В литературе высказываются предположения, что некоторые экзопланеты (например, GJ 1214b, КЕПЛЕР -22b и др.) могут быть планетанами (планетами с глобальным глубоким океаном). Такие планеты вызывают интерес в отношении поиска жизни на других мирах. Задачей миссии КЕПЛЕР было «Найти встречаемость планет типа Земли...» (Endl, 2012). Первой обнаруженной планетой малой массы с транзитами была CoRoT-7b. Интересны свойства планеты КЕПЛЕР-11b (Lissauer et al., 2011; Schneider, 2011). Но в работе (Ксанфомалити, 2012) было показано, что так как вероятное значение равновесной температуры тела на орбите КЕПЛЕР-11b составляет 900 К для поиска аминокислотной формы жизни экзопланета интереса не представляет. Таков же вывод в отношении экзопланеты CoRoT-7b. В 2009 г. была обнаружена экзопланета КЕПЛЕР -22b (Bogucki, 2011; Endl, 2012), которая находится в «зоне обитаемости. Экзопланета имеет примерно ту же болометрическую температуру, что и Земля, 260 К. Предполагалось, что экзопланета КЕПЛЕР -22b может быть планетаном (планетой с глобальным глубоким океаном, составляющим до половины всей ее массы и с небольшим силикатным ядром). Но оценки массы экзопланеты КЕПЛЕР -22b ненадежны, от 124 до 38 масс Земли (M_3). Ускорение свободного падения у поверхности составит 7g. Такое ускорение выглядит неправдоподобно, даже у Юпитера оно 2.54g. Отнести КЕПЛЕР -22b к планетанам на основании имеющихся данных пока невозможно, как и судить о пригодности объекта для поиска жизни.

5.1.2 . Океаны и атмосферы планетанов

Исходя из массовых и термодинамических характеристик планеты, можно предсказать глубину океана, ограничиваемую его адиабатическим градиентом. Условия формирования таких тел рассматривались в работах (Leger et al., 2003; 2004, Selsis et al., 2007; Kuchner, 2003. Эндогенный тепловой поток определяет, вместе с другими характеристиками, глубину океана. Зависимость максимального перепада температуры ΔT от глубины ограничивается адиабатическим градиентом,
$$dT / dp = \alpha T / (\rho c_p),$$

Перепад температур может быть намного меньше адиабатического градиента, но не может его превышать. При $T_s \approx 7^\circ \text{C}$ глубина океана, ограниченная адиабатическим градиентом, составляет около 72 км, при температуре на дне около 35°C и давлении 1.1 ГПа (Leger et

al., 2004). С ростом T_s до 30°C глубина океана возрастает до 133 км, а при $T_s = 0^\circ\text{C}$ уменьшается до 60 км.

Атмосфера планетана, находящегося в «обитаемой зоне», должна состоять, в основном из водяного пара с высоким давлением. Аэрозольная среда, от которой исходит тепловое излучение планетана, это конденсационные облака водной природы. Конденсация происходит при температуре, близкой к 0°C .

5.1.3 Возможный планетан gl 581g

Необычная экзопланета GL 581g (Schneider, 2010), открытая в 2010 г. находится в «обитаемой зоне» звезды Gl 581 позднего класса, M3V. Масса звезды 0.31 солнечной, температура 3500 К. Возраст звезды 7-11 Глет. Система GL581 близкая, отстоит от нас на 6.2 пк. В ней обнаружено 5 экзопланет, с орбитальными периодами от 3.15 до 67 сут и массами от 1.9 до 7 масс Земли. Объект GL 581g – пятая планета, большая полуось ее орбиты 0.146 а.е., орбитальный период 36.6 сут. Транзиты не наблюдаются, параметр $M \sin i$ найден методом МЛС и лежит в пределах 3.1-4.3 земных масс. Радиус планеты составляет 1.2-1.5 земных, ускорение свободного падения у поверхности 1.1-1.7 g. Экзопланета GL 581g рассматривается в качестве возможного кандидата в планетаны (GL 581g – Wikipedia, the free encyclopedia). Несмотря на низкую орбиту, из-за низкой плотности радиации родительской звезды, GL 581g попадает в «комфортную зону обитания».

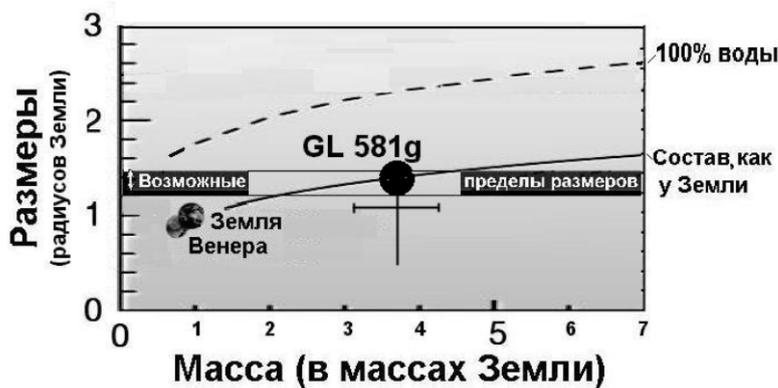


Рис. 1. Положение объекта GL 581g на диаграмме <Масса-Радиус> для моделей земного состава и 100% воды.

Характеристики GL 581g ближе всех оказываются к составу Земли, возможно, несколько обогащенному водой (рис.1). Вероятно

присутствие океанов земного типа или даже глобального океана. Постоянную излучения E_{581g} на орбите GL 581g можно грубо оценить через четвертую степень отношения температур излучения звезды и Солнца и обратный квадрат орбитальных расстояний:

$$E_{581g} = E_{sol} (T_{581} / T_{sol})^4 (a_E / a_{581g})^2 = 8.62 \text{ кВт/м}^2,$$

где T_{1214} , T_{sol} – соответственно болометрические (эффективные) температуры Солнца (5780 К) и GL 581 (3500 К), и a_E , a_{581g} – большие полуоси орбит Земли и GL 581g. Болометрическая температура T_b планеты составляет:

$$T_b = [E_{581g} (1 - A_b) / 4 a^2 \sigma]^{1/4},$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, A_b – сферическое альbedo. Предполагая существование на планете глобального океана, физические условия на планете, в зависимости от альbedo и определяемой им болометрической температуры, можно наглядно показать на диаграмме <Энтропия S – Энтальпия i> (рис. 2).

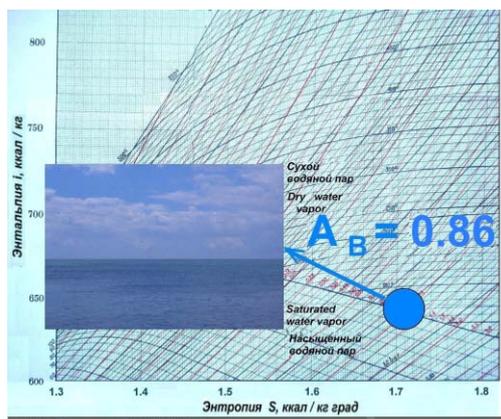


Рис. 2. Положение термодинамических параметров планетана GL 581g при болометрическом альбедо 0.86 и вероятный типичный вид его поверхности.

При высоком альбедо аэрозольная среда может быть сравнительно плотной, но достаточная освещенность под облаками, вероятно, сохраняется и радиация звезды проникает в нижние слои атмосферы и к поверхности. Для оценок принято, что парниковый эффект на GL 581g составляет 120° (в действительности, конечно, он зависит от свойств атмосферы). Если

принять болометрическое альбедо для GL 581g равным венерианскому ($A_b = 0.77$), температура (3) будет близкой к нормальной, 305 К. Температуре 270 К соответствует высокое альбедо 0.86, как у некоторых спутников Юпитера и Сатурна. Температура у поверхности океана при этом должна составлять 390 К, давление 0.2 МПа, а атмосфера не просто насыщена, а фактически будет состоять из водяного пара. Типичный вид поверхности такого планетана – это морской вид в открытом море, врезка на рис. 2. Существованию горячего океана ничего не противоречит, даже при самом низком альбедо.

Зависимость температуры T_b от альбедо A_b экзопланеты GL 581g показана следующим рядом:

A_b 0.050.10.20.30.40.50.60.70.80.9

T_b , К 436430418404388371351327295248.



Схема атмосферы подобного планетана показана на рис. 3. Плотный облачный слой способен почти полностью блокировать свет звезды, освещенность крайне низкая. Состав атмосферных компонентов у планетана GL 581g, кроме CO_2 , H_2O , CH_4 и NH_3 , предсказать трудно, при всех возможных альбедо.

Рис. 3. Схема строения атмосферы планетана GL 581g, соответствующая болометрическому альбедо 0.10 и горячему океану.

Таким образом, экзопланета GL 581g, находящаяся в «обитаемой зоне» звезды Gl 581, по многим критериям соответствует планетану. Присутствие биосферы земного типа не исключается. Система GL 581 представляет собой один из ближайших небесных объектов, удобных для исследования.

5.2 В ходе работы по экзопланетам удалось организовать проведение российских астрофизических наблюдений экзопланетных систем

Представлены результаты двухгодичного BVRI поляриметрического мониторинга объекта 51 Peg. : Антонюк К. А., Шаховской Д. Н., Ксанфомалити Л. В. Поляриметрия экзопланетной системы 51 Peg // Принята в печать в «Астрономический вестник». (2012). Астрономические наблюдения избранных экзопланетных систем Открытие в 2000 г. транзитов экзопланеты HD 209458b (Charbonneau, 2000) стимулировало активные поиски других аналогичных объектов. Учитывая произвольное положение плоскости их орбит, Шарбоне (Charbonneau, 2003) называл величину $1/1300$, как вероятность встретить среди звезд солнечного типа объект с транзитами. На октябрь 2012 г. известно 230 транзитных экзопланет, найденных «классическими» методами и почти 1000 кандидатов в экзопланеты, обнаруженных в проекте KEPLER. Рекордное 3%-ное ослабления света при

транзитах имеет система HD189733. В работе (Ксанфомалити, 2007а) был предложен метод поиска экзопланет с «почти» транзитными орбитами с помощью поляриметрии, поскольку заметную периодическую поляризацию может дать рассеяние света в атмосфере низкоорбитальной экзопланеты и ее кометообразном хвосте.

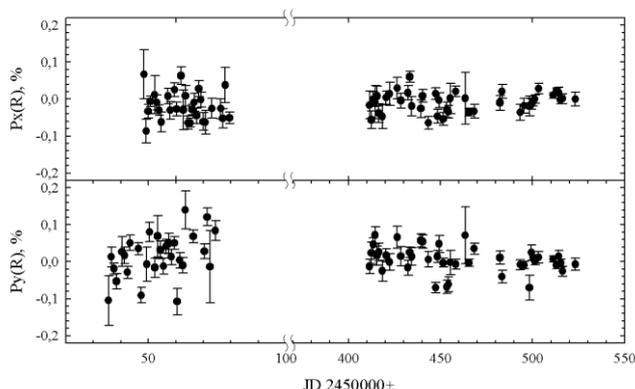


Рис. 4. Зависимость нормированных параметров Стокса P_x , P_y в полосе R от времени (по горизонтали - юлианские дни). Разрыв в наблюдениях соответствует уходу 51 Peg за Солнце.

Получены наблюдения за 72 ночи, в 2009 и 2010 гг. на 1.25м телескопе АЗТ-11 в КрАО с помощью UBVRi фотометра-поляриметра (Бердюгин и Шаховской, 1993). Результаты

наблюдений в полосе R приведены на рис. 4, данные для остальных полос качественно не отличаются. Представлена полоса R, где достигнута наилучшая точность. периодическая переменность поляризации не обнаружена, что указывает на отсутствие подобных эффектов. Таким образом, возможная фазовая периодичность изменения степени поляризации 51 Peg, обсуждавшаяся в работе (Ксанфомалити, 2007), новыми наблюдениями не подтверждается, а ее возникновение, вероятнее всего, было связано с ограниченным 4-мя сутками временем наблюдений и метеорологическими явлениями в период муссонов, что и допускалось в цитированной работе.

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

Ксанфомалити Л. В. Планетаны - океанические планеты. // Представлена в «Астрономический вестник» .(2012).

L.V. Ksanfomality. On the possible properties of the GJ 1214b atmosphere // 4th IAA Symposium on Searching for Life Signatures // San Marino, 2012 September 25-28. Report's book, p.37-38.

L.V. Ksanfomality. On the GJ 1214b atmosphere. The EGU General Assembly 2012, Session PS6 Vienna, Austria, 2012 April. Poster, Hall X/Y, board number XY524.

5.3 Разработка методов и средств наблюдения экзопланет

Работа проводилась по следующим направлениям:

- анализ существующих методов непосредственного наблюдения экзопланет,
- разработка методов звездной интерференционной коронографии,
- выбор целей астронаблюдений для космической обсерватории с телескопом метрового класса,
- разработка приборного состава комплекса научной аппаратуры космического телескопа,
- проведение лабораторных испытаний прототипов коронографа.

В 2010 году в ИКИ РАН началось развитие методов и средств регистрации непосредственного наблюдения экзопланет. Основным направлением стало развитие эксперимента по коронографическому изображению экзопланет с последующим спектральным и спектрополяриметрическим анализом. В качестве основы метода явилось принцип нуль-интерферометра общего пути. В рамках лабораторного эксперимента по изучению возможностей применимости коронографа в космическом эксперименте был создан образец прототипа прибора ахроматический интерференционный коронограф для будущих миссий Планетный Мониторинг и Звездный Патруль, который показал хорошую стабильность интерференционного изображения, локализацию темной полосы

интерференции, и другие характеристики, необходимые для применения нуль-интерферометра в космическом эксперименте. Было предложено несколько схем интерферо-коронографов с различными характеристиками для малого телескопа (менее 0.8 м.), для метрового класса телескопа (1..1,5 м) и для большого телескопа (более 3 м.) Были разработаны схемы комплекта научной аппаратуры для спектрального исследования экзопланет с орбиты МКС, включая разработку сверхлегкого зеркала космического телескопа, и предварительный проектный облик космической обсерватории автономного КА.

Для возможного спектрального и поляриметрического анализа экзопланет работы были направлены на создание звездного ахроматического коронографа для получения высокого коронографического контраста с целью наблюдений экзопланет, окрестностей звезды, околозвездных дисков и т. п. В частности, разработаны схемы механически стабильных интерферометров вращательного сдвига для улучшения интерференционного контраста, ограниченного недостаточной пространственной когерентностью физически протяженного источника – звезды. Теория и моделирование подтверждены лабораторными макетированием и экспериментом. Теоретическое ослабление осевого сигнала фоновой засветки улучшено с 10^{-4} до 10^{-10} при угловом размере протяженного источника $10^{-2} \lambda/D$, где λ - длина волны и D - диаметр апертуры телескопа, что создает оптимизм в изучении экзопланет земного типа с применением предложенных методов уже на первых телескопах космического базирования. Планируемые космические эксперименты: телескоп «Планетный мониторинг», телескоп «Звездный патруль».

Отв. исп.: д. т. н. Тавров А. В., tavrov@iki.rssi.ru

Соавторы: Виноградов И. И., Ксанфомалити Л. В., Кораблев О. И., Родин А. В., Трохимовский А. Ю., Иванов А. Ю., Гнедых В. И.

А. В. Тавров, Кораблев О. И., Родин А. В., Виноградов И. И., Трохимовский А. Ю., Иванов А. Ю., Ксанфомалити Л. В., Орлов Д. А. Звездный коронограф по принципу ахроматического нуль-интерферометра // Космические исследования, 2011, том 49, № 2, с. 105–116.

Тавров А. В. Применение оптической когерентности. Учебное пособие. Издательский дом МЭИ. 2012. – 36 с.

Frolov P., Rodin A., Korablev O., Akhmetov I., Tavrov A. Achromatic rotation-shearing nulling interferometry // Tech. Abstr. Conf. Optical design and fabrication // St. Petersburg, July 2..5, 2012. 281-282. http://odf2012.ru/file/stat/4/odf12_advance_program.pdf

Tavrov A., Nishikawa J., Takeda M., Interferometric Astro-Coronagraphy // Tech. Abstr. Conf. Optical design and fabrication // St. Petersburg, July 2..5, 2012. 313-314. http://odf2012.ru/file/stat/4/odf12_advance_program.pdf

Кораблёв О. И., Тавров А. В., Гнедых В. И., Видьмаченко А. П., Сосонкин М. Г., Синявский И. И. Эскизный проект КЭ «Планетный мониторинг». Тезисы. Конф. Евпатория. 2012 сент. 1..5. 1 с.

Nishikawa J., Yokochi K., Murakami N., Abe L., Kotani T., Tamura M., Kurokawa T., Tavrov A., Takeda M., Murakami H. A coronagraph system with unbalanced nulling interferometer: progress of dynamic range // Proc. SPIE 8442, Space Telescopes and Instrumentation 2012: Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 84425D (September 21, 2012); doi:10.1117/12.925792 Amsterdam, , Netherlands, July 01, 2012.

<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1362350>

6 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1 Исследованы возможности оценки оптической толщины марсианской атмосферы и альbedo поверхности с помощью метода теней по изображениям высокого разрешения, полученным с орбитальных аппаратов

а. Разработаны упрощенная и точная версии метода теней для изображения Марса, а также оценены их возможности и источники ошибок на примере анализа изображений кратера Victoria, полученных камерой HiRISE орбитальной миссии MRO (TRA_0873_1780 and PSP_001414_1780). Было установлено, что корректная оценка оптической толщины атмосферы с орбиты требует выбора участков со сходными свойствами поверхности. Кроме того, необходимо точное знание геометрии освещения/наблюдения и склонов, поскольку процедура требует коррекции за негоризонтальность поверхности. Сравнение с данными *Opportunity* показывает хорошее согласие: наши оценки оптической толщины для красного фильтра дали 0.50 и 0.575 против измеренных на поверхности значений 0.43-0.53 и 0.53-0.59, соответственно. Полученная оценка альbedo поверхности для двух исследованных пар затененных/освещенных участков - 0.20 и 0.17, соответственно.

б. Изображения облачного покрова Венеры, полученные с помощью камеры VMC аппарата *Venus-Express* на малых углах фазы, позволили впервые наблюдать явление полной глории на поверхности облаков Венеры. С помощью анализа фазовой функции яркости облаков на малых углах фазы получены оценки размеров частиц и их показателя преломления в верхнем облачном слое.

в. Начиная с апреля 2006 года, Venus Monitoring Camera (VMC) аппарата Venus Express ведет наблюдения верхнего облачного слоя Венеры в четырех спектральных каналах (от УФ до ближнего ИК). Особый интерес представляют измерения яркости на малых углах фазы, где можно наблюдать явление глории, типичное для среды, состоящей из сферических частиц. Наблюдения глории на Венере подтверждает, что основным компонентом облаков в верхнем слое являются сферические частицы (капли) с узким распределением по размерам. Угловые положения максимума и минимума яркости в глории в разных длинах волн дают однозначную оценку размеров капель, которая в данном случае хорошо согласуется с размером так называемой моды 2 (радиус около 1.0-1.2 мкм). Проанализированы фазовые профили яркости отдельных участков облаков, под разными углами фазы. Анализ показал, что повышение показателя преломления вследствие возможного понижения температуры недостаточно эффективно. Более вероятной причиной повышения показателя преломления может служить присутствие небольшой примеси с высоким показателем преломления в каплях серной кислоты. Такой примесью могут быть те же вещества, которые в настоящее время рассматриваются в качестве кандидатов на роль неизвестного "ультрафиолетового поглотителя", - хлорид железа или сера. Наши оценки на основе моделирования фазовой функции однократного рассеяния капель серной кислоты с примесью серы показали, что примеси 1-3% (по объему) достаточно для наблюдаемого эффекта.

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

E. V. Petrova, N. M. Hoekzema, W. J. Markiewicz, N. Thomas, O.J. Stenzel
Optical depth of the Martian atmosphere and surface albedo from high-resolution orbiter images // Planetary and Space Science, 2012, Volume 60, Issue 1, p. 287-296

W.J. Markiewicz, E. Petrova, O. Shalygina, M. Almeida, D.V. Titov, S.S. Limaye, and N. Ignatiev
Venus glory and the unknown UV absorber. // Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-3049, 2012 EGU General Assembly 2012

W.J. Markiewicz, E. Petrova, O. Shalygina, M. Almeida, D.V. Titov, S.S. Limaye, and N. Ignatiev
Venus glory and the unknown UV absorber. // 43rd Lunar and Planetary Science Conference (2012) Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1659, id.2043

6.2 Исследование турбулентности тропосферы Венеры по данным космических аппаратов, расчёт турбулентных параметров и их использованию при разработке численных моделей глобальной циркуляции атмосферы

В статье «О параметрах мелкомасштабной турбулентности в атмосфере Венеры и их использовании в моделях глобальной циркуляции», *Астрономический Вестник*, 2012, приведены высотные профили параметров турбулентности (коэффициентов турбулентной вязкости, температуропроводности и скорости диссипации турбулентной энергии), рассчитанные для средних по планете условий по экспериментальным данным о турбулентных пульсациях температуры и скорости ветра. Используются уточнённые

формулы, в которых учтено отличие свойств атмосферного газа Венеры от свойств идеального газа, и большое различие его теплоёмкости на разных высотах. Обычная формула для потенциальной температуры, хорошо работающая при описании атмосфер Земли и Марса, для атмосферы Венеры неприменима.

Высотный профиль параметра статической устойчивости $\Gamma(z)$, рассчитанный по уточнённой формуле, показывает, что в тропосфере Венеры, на всех высотах от 0 до 50 км, $\Gamma > 1$. Это значит, что отсутствуют нормальные конвективные зоны, но существует аномальная (сдвиговая) конвекция, при которой турбулентный поток тепла направлен от нижнего края облаков к поверхности планеты, то есть – из более холодных к более тёплым слоям (причина в том, что в неравновесных открытых системах тепловой поток пропорционален градиенту энтропии, а не температуры).

Показано, что широко распространённое мнение об отсутствии турбулентности в атмосфере Венеры основано на завышенных оценках динамического числа Ричардсона, полученных по сглаженным профилям скоростей ветра, тогда как, его реальные значения меньше единицы, благодаря большим вертикальным градиентам скорости ветра, создаваемыми волнами плавучести. Указано на необходимость и возможность использования параметров турбулентности, рассчитанных по экспериментальным данным, для усовершенствования моделей глобальной циркуляции атмосферы Венеры.

В статье «Крупномасштабная квазидвумерная турбулентность и обратный спектральный поток энергии в атмосфере Венеры», *Астрономический Вестник*, 2013, рассматривается турбулентность с вихрями, большими шкалы высот. Экспериментальные данные о крупномасштабной турбулентности в атмосферах Земли и Венеры, в том числе полученные на космическом аппарате Venus Express, сравниваются с выводами теории. Сделан вывод, что в атмосфере Венеры, как и в атмосфере Земли, существует спектральный поток энергии от меньших масштабов к большим, обратный потоку в трёхмерной турбулентности. Трёхмерная турбулентность ускоряет передачу вращательного момента от твёрдого тела планеты в атмосферу, а двумерная - создаёт обратный спектральный поток энергии, определяющий скорость суперротации. Без учёта этих факторов в численных моделях глобальной циркуляции атмосферы не удастся получить значения скорости суперротации, равные экспериментальным, на высотах, меньших 40 км, где находится основная часть импульса и энергии суперротации. Таким образом, квазидвумерная и трёхмерная турбулентность в атмосфере Венеры определяют структуру и динамику атмосферы.

Экспериментальные и модельные спектры энергии пульсаций в квазидвумерных течениях не только подобны, но и близки по величине, что подтверждает репрезентативность теории квазидвумерной турбулентности.

д. ф.-м. н. Изаков М.Н., izakov@iki.rssi.ru

Изаков М.Н., О параметрах мелкомасштабной турбулентности в атмосфере Венеры и их использовании в моделях глобальной циркуляции. Астрономический Вестник, 2012, т.46, №4, с. 297 - 310»

Изаков М.Н., крупномасштабная квазидвумерная турбулентность и обратный спектральный поток энергии в атмосфере Венеры, Астрономический Вестник, 2013, т. 47, в печати

6.3 Теоретические исследования нелинейных и турбулентных процессов в планетных атмосферах

Получена новая система уравнений движения планетной атмосферы, содержащей аэрозоли, в приближении мелкой воды над неоднородной границей из полных уравнений движения Эйлера сжимаемой жидкости в поле силы тяжести осреднением по глубине жидкости. В полученных уравнениях учитывается зависимость давления от плотности (статическая сжимаемость), звуковые волны отсутствуют. Полученные уравнения существенно отличаются от аналогичных для несжимаемых течений найденным

выражением для скорости распространения слабых возмущений. В классической теории мелкой воды физическими переменными являются высота свободной поверхности и усредненное по глубине поле горизонтальной скорости. В этой теории уравнение для высоты свободной поверхности играет роль закона сохранения массы, а сама высота свободной поверхности в силу постоянства плотности жидкости во всем объеме является массой столба жидкости. В нашем же случае сжимаемого газа в приближении мелкой воды массой столба газа является произведение высоты свободной поверхности на среднюю по глубине плотность. Полученные уравнения описывают движение атмосферы Марса, нагруженной пылевыми частицами.

Получены аналитические решения, которые позволяют однозначно определить высоту свободной поверхности через массу столба жидкости. Установлено, что обобщенные простые волны существуют только для класса задач с подстилающей поверхностью в виде наклонной плоскости. Для такого класса задач в явном виде найдены все непрерывные и разрывные решения. Показано, что характеристиками системы уравнений являются параболы, которые переходят в прямые в случае плоской подстилающей поверхности. Найдено аналитическое решение задачи распада произвольного разрыва (задача Римана) для уравнений сжимаемой мелкой воды над склоном.

Разработан метод описания переноса примесей в атмосферном пограничном слое Марса на сложной границе. Предлагаемый метод направлен на преодоление трудностей традиционных методов и фактически расширяет возможности прогнозирования переноса твердых частиц в случае неприменимости приближения пассивного скаляра или частичного изменения характера примесей в облаке. Модель позволяет также анализировать явления, вызванные сложной топологией течения на препятствиях и описывать процессы на границе облака твердых частиц и чистой атмосферы. В рамках нашей модели мы используем уравнения Нигматулина, описывающие двухфазную среду “газ-примесь” уравнениями идеального газа с пересчитанными уравнениями состояния. Эффективное уравнение состояния такой среды зависит от характеристического размера и концентрации сферических частиц и, в пределе отсутствия твердой фазы, переходит в обычные уравнения идеальной жидкости. Фактически, задача анализа переноса частиц в атмосфере сводится к решению уравнений идеального газа с переменным в пространстве и времени уравнением состояния. Для расчетов использовался метод Годунова для численного решения уравнений двухфазной атмосферы. Суть метода Годунова заключается в использовании точных обобщенных решений задачи распада произвольного разрыва при дискретизации законов сохранения массы, импульса и энергии в каждой ячейке области моделирования на каждом временном шаге. Эти решения включают локальные тангенциальные разрывы, которые не проявляются на масштабах внешнего течения, но, тем не менее, обеспечивают диссипацию кинетической энергии, как это необходимо для течений в пограничном слое. Структура используемой разностной схемы обеспечивает диффузию областей с высокой энтропией по всем пространственным координатам, воспроизводя качественно эффекты молекулярной вязкости. При этом влияние схемной вязкости проявляется наиболее весомо, когда пограничный слой нагружен твердыми частицами в областях значительного изменения рельефа поверхности. Именно в таких случаях влияние молекулярной вязкости также усиливается в реальной природе. Величина схемной вязкости зависит от градиентов подсеточных течений, имеет конечный предел при уменьшении пространства и может регулироваться выбором размера сетки.

д.ф.-м.н., зав. сектора Петросян А.С., apetrosoy@iki.rssi.ru

К.В. Карельский, А.С. Петросян, А.В. Черняк «Нелинейная динамика течений тяжелого газа сжимаемого газа в приближении мелкой воды» Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики, том 141, выпуск 6, стр. 1206-1221, 2012

К.В. Карельский, А.С. Петросян, И.В. Смирнов, Односкоростная трёхмерная модель переноса атмосферных примесей течением ветра в областях со сложной границей, in preparation

6.4 Численное моделирование климата Марса

6.4.1 Сезонные перестройки летней системы циркуляции атмосферы Марса под действием стационарных планетарных волн

На основе данных численного моделирования и наблюдений климатического цикла Марса обнаружены регулярные, сезонно детерминированные всплески амплитуды стационарных волн с зональными числами 2 и 3 в летнем полушарии, сопровождаемые перестройкой глобальной циркуляции атмосферы и значительным повышением интенсивности меридионального переноса. Это явление, связанное с пороговым характером вертикального распространения планетарных волн в зональном потоке, играет значительную роль в гидрологическом цикле планеты, а также в начальной стадии развития глобальных пылевых бурь.

При помощи модели общей циркуляции атмосферы Марса МАОАМ удалось выяснить природу резких всплесков волновой активности в атмосфере. Стационарные волны генерируются за счет взаимодействия атмосферных потоков с рельефом планеты и вариаций тепловой инерции поверхности. В пространственном спектре этих возмущений присутствуют различные масштабы, однако условия вертикального распространения стационарных волн позволяют развиваться лишь низшим зональным гармоникам и лишь в определенные сезоны, когда средний зональный поток имеет положительный знак (западный ветер) и его скорость не превышает порогового значения. Возбуждение третьей зональной гармоники возможно только при средней зональной скорости, не превышающей 3-5 м/с. Эти условия определяются сезоном и выполняются на Марсе в течение непродолжительного времени. Именно стационарная третья гармоника обеспечивает значительный рост меридионального переноса водяного пара в северном полушарии за счет волнового механизма. Аналогичный механизм, как мы полагаем, ответственен за развитие глобальных пылевых бурь в определенных временных окнах, в частности при $L_s = 225^\circ$.

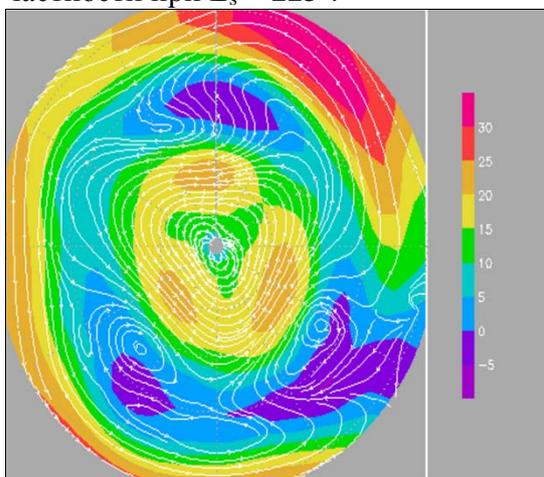
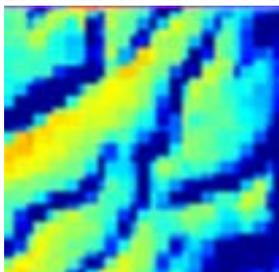


Рис. 1.1 Скорость зонального потока в атмосфере Марса, усредненная в интервале 0-5 км, при $L_s=140^\circ$. Линии тока указывают, что в области пониженной зональной скорости между полярным вихрем и среднеширотным джетом формируется тройка стационарных циклонов, обеспечивающая интенсивный меридиональный перенос водяного пара.

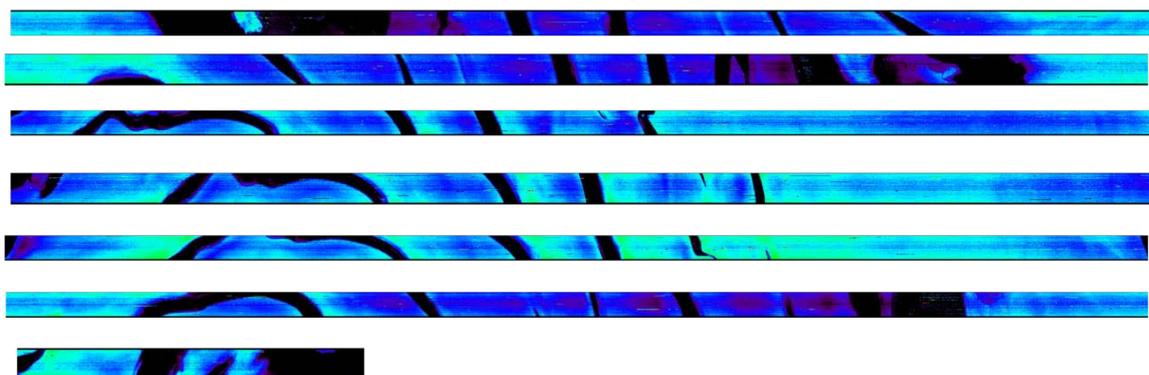
A.V.Rodin, A.S.Medvedev and N.A.Evdokimova. The role of vertically propagating stationary waves in the Martian atmospheric water cycle. EPSC Abstracts, Vol. 7 EPSC2012-829, 2012

6.4.2 Мезомасштабные и локальные системы ветров в районе постоянной Северной полярной шапки Марса

По данным изображающих спектрометров OMEGA (Mars Express) и CRISM (Mars Reconnaissance Orbiter) показано, что во внутренних областях спиральных террас Северной полярной шапки ледяная поверхность подвержены более сильной ветровой эрозии по сравнению с внешними областями, что приводит к ускоренному сезонному старению льда. Причиной может быть влияние кatabатических ветров, распространяющихся на несколько километров к югу от уступа вышестоящей террасы. На более крупном масштабе заметно влияние сезонно изменчивых стационарных циклонов. Эти выводы подтверждаются результатами мезомасштабного моделирования циркуляции атмосферы в районе полярной шапки и изображениями камеры HiRISE КА Mars Reconnaissance Orbiter.



(a)



(б)

Рис. 2.1 Спектральный индекс полосы поглощения водяного льда 1.25 мкм, чувствительный к размерам зерен и сезонному старению льда, в области Северной полярной шапки Марса: (а) по данным OMEGA; (б) по данным CRISM. Отчетливо видно повышенное значение индекса на внутренних границах спиральных террас.

д. ф.-м.н. А.В.Родин alexander.rodin@phystech.edu,

А.С.Медведев, Н.А.Евдокимова, Д.С.Шапошников

N.A.Evdokimova, A.V.Rodin, and T.Appere. Topographical control over seasonal sublimation of the Mars North polar cap. European Planetary Science Congress 2012; EPSC Abstracts Vol. 7 EPSC2012-836 2012

N.A.Evdokimova, A.V.Rodin, and T.Appere. Topographical control over seasonal sublimation of the Mars permanent North polar cap 37th COSPAR Scientific assembly, Mysore, India. TSF-R-011 B0.2-0041-12

6.5 Численное моделирование полярных вихрей в атмосферах Венеры и Титана

При помощи негидростатической модели общей циркуляции атмосферы Венеры в релаксационном приближении было впервые получено поле скоростей, содержащее все основные наблюдаемые элементы циркуляции, такие как зональная суперротация в нижней атмосфере и на уровне облачного слоя, солнечно-подсолнечная циркуляция в мезосфере и термосфере, и полярные вихри. Показано, что полярные вихри являются

результатом нелинейной стадии развития баротропной неустойчивости в приполярной области и по своей структуре аналогичны центральной части («глазу») тропических циклонов. В центре вихря формируется воронка диаметром 200-300 км с мощным нисходящим потоком, а на ее периферии возникает концентрическая «стенка», характеризующаяся восходящим потоком воздушной массы. Это подтверждает впервые высказанную С.Лимеем гипотезу о том, что система циркуляции атмосферы Венеры представляет собой вихрь глобального масштаба. Условия существования вихрей включают дополнительное выхолаживание атмосферы на высотах 45-65 км и нагрев выше 75 км.

Моделирование циркуляции атмосферы Титана проводилось для условий равноденствия и весны северного полушария. Во втором случае при помощи негидростатической модели впервые получен полярный вихрь, близкий к наблюдаемому. Сравнение моделей атмосфер Титана и Венеры говорит о глубоких аналогиях между атмосферами этих небесных тел, проявляющимися симметричный режим циркуляции.

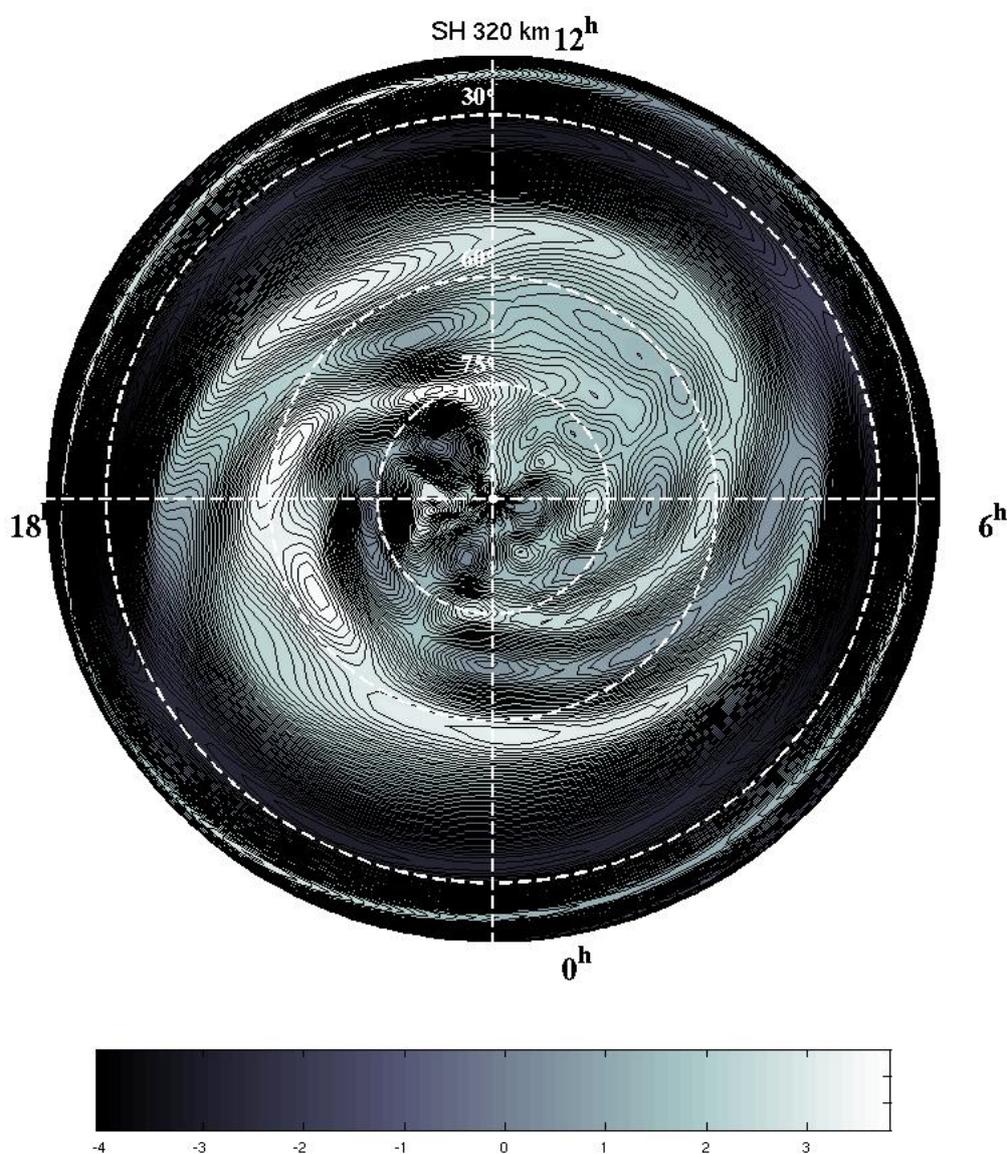


Рис. 3.1. Вертикальная компонента скорости воздушных потоков в Южном полушарии Титана в период после осеннего равноденствия. Широта подсолнечной точки 20oN.
д. ф.-м.н. А.В.Родин alexander.rodin@phystech.edu, И.В.Мингалев, К.Г.Орлов

И. В. Мингалева, А. В. Родин, К. Г. Орлов. Негидростатическая модель общей циркуляции атмосферы Венеры. Астрономический вестник, т.46, № 4, с. 282-296, 2012. Конференции: COSPAR, EPSC, 3MS3, Д33

6.6 Исследования формирования планетезималей

В 2012 г исследовалось также формирование планетезималей из разреженных препланетезималей. В частности, сравнивались моменты количества движения сталкивающихся разреженных препланетезималей с моментами количества движения, использовавшимися в [Nesvorny D., Youdin A.N., Richardson D.C., AJ, 2010, 140, 785-793] в качестве начальных данных при исследовании формирования двойных малых тел при сжатии разреженных препланетезималей. Показано, что моменты количества движения препланетезималей, необходимые для формирования двойных малых тел Солнечной системы (особенно в занептунной области), могли быть получены при взаимных столкновениях разреженных препланетезималей. По этой теме представлена статья в сборник [3] и сделан стендовый доклад [7] на международной конференции.

Ipatov, S.I., Angular momenta of collided rarefied preplanetesimals, the paper was submitted to Ипатов С. И., siipatov@hotmail.com

Proc. IAU Symp. No. 293 "Formation, detection, and characterization of extrasolar habitable planets", ed. by N. Haghighipour

Ipatov, S.I., Angular momenta of collided rarefied preplanetesimals, Abstracts of 28th IAU General Assembly (20-31 August 2012, Beijing, China), 2012, #5517, IAUS 293. p. 547-548. <http://faculty.cua.edu/ipatov/iau2012planetesimals.ppt>

Исследования малых тел Солнечной системы

Отв. д.ф.-м.н. Захаров А.В.

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 2012 году проводилось продолжение работ, начатых в 2011 г., по развитию методов и средств регистрации космической пыли.

Проведены расчеты и создан лабораторный пылеударный анализатор для измерения параметров пылевой плазмы. Выполнены лабораторные исследования на установке ускорителя пылевых частиц в НИИЯФ МГУ. Анализ физических условий вблизи поверхности Луны моделировался на плазменно-пылевых установках ОИВТ (по договору).

Лабораторные образцы пылеударного анализатора, участвующие в испытаниях, изготовлены с использованием различных принципиальных схем с разными отношениями «сигнал/шум» и коэффициентами усиления исходного сигнала от пьезокерамической пластины. Были подготовлены три лабораторных образца. Каждый из образцов содержит пьезокерамические пластины, и системы регистрации. Принципиальные отличия между моделями пылеударного анализатора заключаются в схемотехнике, и различными выходными и входными характеристиками.

Подготовлены основные элементы и начата сборка стенда в ИКИ для исследования динамики низкоскоростных заряженных частиц в условиях вакуума.

Приборы регистрации пыли и исследования физических условий у поверхности луны создаются для посадочных аппаратов проектов Луна-Глоб и Луна-Ресурс.

Продолжено рассмотрение распада ядер комет на примере комет Хартли-2 и Борелли. Руководитель Л.В. Ксанфомалити.

Космические аппараты стали эффективным средством прежде недоступных исследований кометных ядер и позволили наблюдать происходящее разрушение ядер комет. Возможность таких наблюдений казалась крайне маловероятной. Недавно удалось исследовать ядра комет Темпель 1, Борели, Вилд-2, Галлей, Итокава и Хартли-2. Разрушение ядер комет в определенных обстоятельствах приводит к процессам, в которых выделяется гигантская энергия. Так, энергия при столкновении с Юпитером крупнейшего фрагмента G разрушившегося ядра кометы Шумейкеров-Леви была оценена как $2.5 \cdot 10^{22}$ Дж (энергия взрыва одной мегатонной водородной бомбы составляет $4 \cdot 10^{15}$ Дж.).

Особый случай разрушения представляет ядро небольшой кометы Хартли-2 – редкий случай наблюдаемого разрушения небесного тела. Ядро кометы Хартли-2 имеет форму гантели с гладкой шейкой без следов метеоритных соударений, что указывает на ее «молодость». Поскольку ядро вращается, было высказано предположение, что гладкая шейка образовалась под действием центробежных сил, к возникновению которых приводит вращение ядра. Были проведены подробные расчеты, которые показали, что происходит медленное удлинение шейки гантели и начинается разделение частей ядра кометы, которое должно завершиться взаимным удалением фрагментов ядра. Разрушению препятствуют силы гравитации. Анализ динамической эволюции ядра кометы показывает, что в узкой части центробежные силы незначительно превосходят гравитационные и что ядро действительно находится в состоянии приближающегося разрыва. Критическим фактором оказывается средняя плотность тела. Масса ядра кометы Хартли-2 составляет $3 \cdot 10^{11}$ кг, а средняя плотность равна 320 км^{-3} . При угловой скорости центробежные силы составляют сумму $F_c = \Sigma MR\omega^2$, а силы, определяемые гравитацией, сумму $F_g = G \Sigma Mm / R^2$, где G – гравитационная постоянная. Таким образом, интересная особенность динамики ядер комет в том, что плотность входит в центробежные силы в первой степени, а в центростремительные – в квадрате.



В настоящее время части ядра кометы Хартли 2 удерживаются только небольшими силами связи частиц шейки. Без них фрагменты должны будут разделиться и разойтись. На удаление частей на расстояние S в гравитационном поле ядра будет израсходована основная часть энергии вращения ядра $E = I\omega^2/2$, которая определяется угловой скоростью вращения ω и моментом инерции ядра I , определяемым моментом его вращения. При отсутствии внешних возмущений обе части небесного тела разойдутся на расстояние S около 900 м.

Начато рассмотрение условия на комете Борелли, где имеется подобное образование, но разрушение не происходит благодаря более высокой средней плотности тела.

Ксанфомалити Л. В. Разрушение ядер комет. // УФН. 2012. Т. 182, с. 147-156.

Ксанфомалити Л. В. О динамической эволюции ядра кометы ХАРТЛИ-2 и астероида ИТОКАВА // *Астрономический вестник*. 2011, том 45, № 6, с. 518–528.

Исследования факельной плазмы ударной природы.

Руководитель: Г.Г.Манагадзе

Исследования физических свойств факельной плазмы ударной природы, и каким образом, условия, возникшие в плазменной среде, обеспечив синтез и нарушение симметрии энантиомеров, могли способствовать возникновению первичных форм живой материи.

В процессе подготовки программы исследования Луны, был отобран бортовой прибор ЛАЗМА, разработанный ранее для миссии Фобос-Грунт. Согласно план-графику работ, до изготовления лётных приборов было востребовано проведение объемных лабораторных калибровок инструмента в вакуумной камере с целью подтверждения заявленных аналитических характеристик и демонстрации готовности прибора для принятия окончательного решения его включения в состав бортовой научной аппаратуры.

Проведенные исследования подтвердили высокие аналитические характеристики и высокую надёжность прибора ЛАЗМА. Результаты этих работ представлены в отчёте, который официально был передан руководству. Однако, в ходе этих работ были открыты и исследованы новые возможности прибора, согласно которым, при несложной перестройки режима работы инструмента и изменения номинала одного напряжения, прибор может дополнительно к элементному и изотопному составу, сможет зарегистрировать и массовый состав молекулярных ионов в поверхностном слое мишени, включая и компоненты пыли. В преддверии освоения Луны, исследования пылевой компоненты является одной из актуальных задач будущего.

Одновременно с работами по лунной программе, проводились разработки прямых методов отождествления микроорганизмов внеземного происхождения и их фрагментов, с помощью оригинальных бортовых лазерных и пиролитических ВП масс-спектрометров. Были созданы прототипы бортовых систем для экстракции и обессоливания биомассы, при её обнаружении в реголите или ледовых отложениях космических объектов.

И в этом случае, в качестве базового прибора, как наиболее хорошо отработанного инструмента, был избран прибор ЛАЗМА. Его дальнейшая, более сложная модификация со специальной подготовкой пробы позволили получить первые результаты. Они показали, что созданный новый многоцелевой лазерный масс-спектрометр, дополнительно к указанным выше измерениям, может обеспечить измерения массового состава молекулярных ионов органических соединений пробы, в режимах МАЛДИ и квази-десорпции. А при ионизации летучих компонент возникающих при нагреве биомассы электронным ударом, и в качестве пиролитического масс-спектрометра для биополимеров.

Результаты этих исследований были доложены на Первой Всероссийской Конференции по Астробиологии в Пущино, в сентябре и на Третьем Московском Симпозиуме по Солнечной Системе в октябре 2012 года и вызвали интерес у специалистов. Можно надеяться, что результаты этих работ могут быть востребованы при реализации миссии ЭКЗОМАРС.

Продолжались экспериментальные исследования процессов синтеза органических молекул и механизмов нарушения зеркальной симметрии энантиомеров в локальных хиральных физических полях плазменного факела метеоритного удара в условиях лаборатории в прямых ударных опытах. Эти исследования в 2012 году преимущественно проводились на метательной установке ЦНИИМАН, где было достаточно хорошо

освоено групповое метание. Важная особенность этих опытов состояла в том, что ударники представляли собой алмазы, диаметром 2-3 мм. синтезированные из изотопа C-13 в ТИСНУМ. Это позволит при анализе продуктов синтеза, отстроится от органических загрязнителей биосферы Земли. Получены продукты синтеза, которые будут анализироваться в наступающем году.

Промежуточные результаты этой работы, представляющие самостоятельный интерес, оформлены в виде отчёта и находятся в ИКИ. Они демонстрируют признаки, указывающие на то, что в факельной плазме ударного воздействия, могут обеспечиваться возникновение условий для формирования простейших форм живой материи.

Исследование зависимости рассеяния света F-гиганта на затмевающем его газопылевом диске. Отв. исп. И.А. Маслов

Проведено исследование затменной системы эpsilon Возничего с использованием фотометрии в ближней инфракрасной области спектра. Совместно с ГАИШ МГУ проведены фотометрические измерения долгопериодической (период 27 лет) переменной звезды эpsilon Возничего в стандартных астрономических полосах JHKLM. В 2012 году наблюдалось окончание затменной фазы этой системы состоящей из F-гиганта (массой 2-3 солнечных массы) и пылевого диска (что достоверно подтверждено было только интерферометрическими наблюдениями во время последнего минимума блеска) вокруг объекта неизвестной природы (возможно, звезды В-типа с массой около 6 солнечных масс). Проведен анализ данных наблюдений за период охватывающий интервал между двумя минимумами блеска с 1982 по 2012 гг. Кривые блеска во время этих минимумов оказались похожи друг на друга. Было обнаружено изменение инфракрасных показателей цвета в зависимости от орбитальной фазы, которое можно объяснить фазовой зависимостью рассеяния света F-гиганта на затмевающем его газопылевом диске (Рис. 1). Кроме того, возможно обнаружен (впервые) вторичный минимум на фазе 0.605, именно в тот момент, когда его можно ожидать исходя из кривых лучевых скоростей (рис. 2).

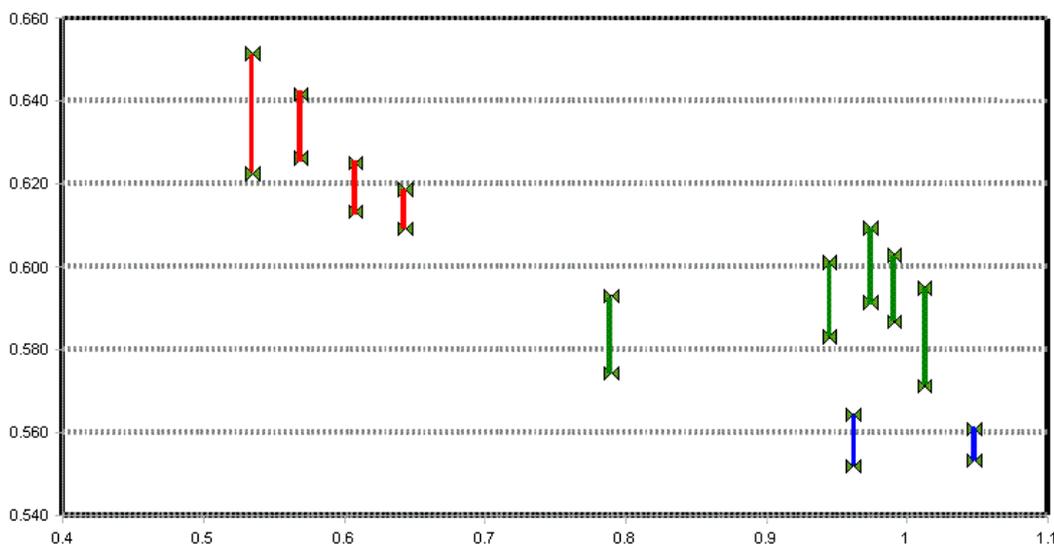


Рис. 1. Зависимость цвета J-M от фазы орбитального периода. Можно отметить более «красный» цвет в области фаз 0.5-0.6 и «посинение» непосредственно до и после затмения — в момент видимого касания затмевающим пылевым диском диска F-гиганта. Вертикальные линии соответствуют среднеквадратичному разбросу измерений.

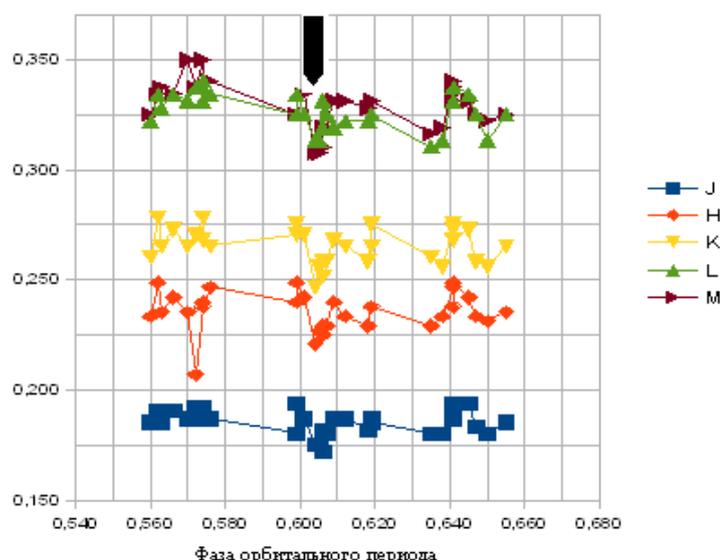


Рис. 2. Кривые блеска в инфракрасных полосах JHKLM вблизи ожидаемого (исходя из кривых лучевых скоростей) момента вторичного минимума. Ширина минимума на фазе орбитального периода 0.605 соответствует покрытию F-гигантом источника небольших размеров.

Поляризационные измерения фона сумеречного и ночного неба

Отв. исп. Руководитель О.С. Угольников

В 2012 году были продолжены широкоугольные поляризационные измерения фона сумеречного и ночного неба. Систематические наблюдения, проведенные в весенне-летний период, обосновали метод выделения однократного рассеяния в темный период сумерек. Данный метод был распространен от солнечного вертикала на большую часть неба, что позволило измерять компоненты матрицы рассеяния в широком диапазоне углов на разных высотах в мезосфере (высоты от 65 до 90 км).

Анализ проведенных наблюдений показал близость матриц рассеяния к релеевским (молекулярным), вклад аэрозольного рассеяния был малым. Это позволяет определить зависимость давления от высоты, а из нее – температуру различных слоев в мезосфере. Полученные значения оказались в хорошем согласии с данными спутниковых измерений излучения мезосферного гидроксила (NASA TIMED/SABER и EOS Aura/MLS), пример для высоты 70 км показан на рис. 3.

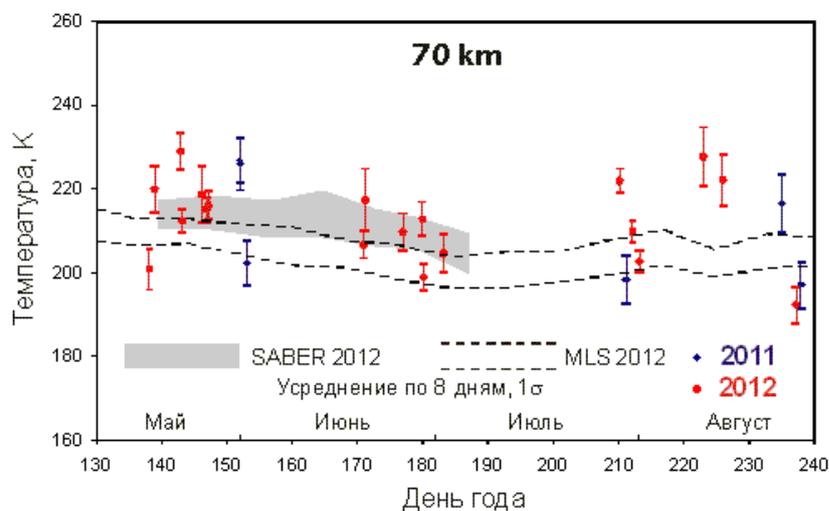


Рис. 3. Температура в мезосфере Земли на высоте 70 км полученная на основе поляризационных наблюдений фона сумеречного неба в сравнении со спутниковыми измерениями излучения мезосферного гидроксила.

Совместно с Коуровской обсерваторией Уральского Федерального университета были проведены исследования антарктической стратосферы на основе спектроскопии Луны во время полного лунного затмения 10 декабря 2011 года. На основе измерений оценено содержание озона, диоксида азота и водяного пара в нижней стратосфере (высота 10-12 км), причем оценка озонового поглощения превышает по точности существующие измерения для этого слоя.

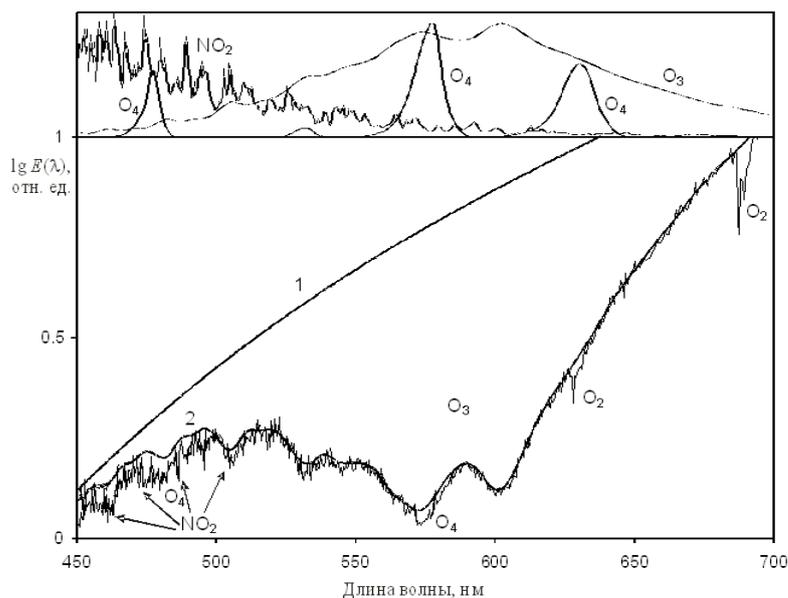


Рис. 4. Спектр прозрачности земной тени во время лунного затмения (0.1 от южной границы тени). Линия 1 – модель без селективного поглощения, 2 – с поглощением озона в полосах Шапю. На верхней панели – спектральные зависимости поглощения озона, тетраоксид азота и диоксида азота.

Исследования выброса вещества с комет

Руководитель С. И. Ипатова

Были продолжены исследования выброса вещества с комет, в частности, с кометы 9P/Tempel 1 после ее столкновения с ударным модулем КА Deep Impact. Основное внимание в исследованиях 2012 года было уделено оценкам глубины залегания полостей с газом и пылью в кометах. Расстояние от достолкновительной поверхности кометы 9P/Tempel 1 до верхней границы полости с пылью и газом под давлением, вскрытой при столкновении кометы с ударным модулем КА, оценивается порядка 5 метров. Выброс вещества из этой полости значительно увеличил выброс частиц микронного размера по сравнению с типичным выбросом вещества из ударного кратера. По этой теме опубликованы две статьи [1-2] и сделаны устный и два стендовых доклада [4-6] на международных конференциях.

В 2012 г исследовалось также формирование планетезималей из разреженных препланетезималей. В частности, сравнивались моменты количества движения сталкивающихся разреженных препланетезималей с моментами количества движения, использовавшимися в [Nesvorny D., Youdin A.N., Richardson D.C., AJ, 2010, 140, 785-793] в качестве начальных данных при исследовании формирования двойных малых тел при сжатии разреженных препланетезималей. Показано, что моменты количества движения препланетезималей, необходимые для формирования двойных малых тел Солнечной системы (особенно в занептунной области), могли быть получены при взаимных

столкновениях разреженных препланетезималей. По этой теме представлена статья в сборник [3] и сделан стендовый доклад [7] на международной конференции.

НИР по исследованию астероидов, сближающихся с Землей.

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

В 2012 году (январь – май 2012 г.) был выполнен НИР «АПОФИС» «Проработка проекта программы научных исследований и предварительного состава комплекса научной аппаратуры для миссии к астероиду Апофис» выполняется в рамках договора № 1431/(27-1001-2011)-1322/87-2012 от 10.01.2012 между ИКИ РАН и ЦНИИМаш.

В соответствии с ТЗ на НИР «Апофис» в ходе выполнения данной работы были доработаны предложения по составу научной аппаратуры, сформирован предпроектный облик платформы космического аппарата, его научной и служебной аппаратуры для исследования малого астероида. Разработаны предпроектные предложения по наземному сегменту миссии «Апофис». Подготовлены предложения по расширению технологических возможностей научной аппаратуры для проведения космических исследований и других применений.

Подготовка материалов для включения в ФКП нового проекта по исследованию спутников Марса. Отв. исп. д.ф.-м.н. Захаров А.В. отд.9

Проект по исследованию спутников Марса (рабочее название БУМЕРАНГ), предлагаемый для включения в ФКП 2015-2025 гг., является продолжением и дальнейшим развитием научного направления, принятым Российской академией наук по исследованию спутников Марса. Актуальность этого направления космических исследований была подтверждена в декабре 2011 года Президентом РАН академиком Ю.А. Осиповым.

Основной задачей проекта БУМЕРАНГ является исследование спутников Марса – Фобоса и Деймоса. Особое интерес к этим телам связан с тем, что они, наряду с обширным классом небесных тел – астероидами и кометами, являются типичными представителями малых тел Солнечной системы, несущими информацию о первородном веществе, из которого была сформирована Солнечная система. Исследование такого первородного вещества представляет собой одну из наиболее актуальных и важных задач современной фундаментальной науки. Кроме того, Фобос и Деймос, являясь спутниками Марса, несут загадку о происхождении системы Марса. Ответ на вопрос о происхождении Фобоса и Деймоса явилось бы ключом решению проблемы происхождения спутниковых систем у других планет Солнечной системы. И, наконец, в последние годы возросший интерес к исследованиям Фобоса и Деймоса связан с возможным использованием этих тел для предстоящих полетов автоматических и пилотируемых полетов на Марс.

Выполнение этих задач является ключевым для развития фундаментальной науки и решения технологических проблем при подготовке проекта по доставке образцов вещества с Марса и выполнения в перспективе пилотируемых полетов на Марс. Реализация проекта по доставке образцов вещества со спутников Марса, технические решения и основные приборы для которого уже разработаны, позволит получить чрезвычайно важную научную и технологическую информацию не только для нашей страны, но и всего мирового сообщества, тем самым вывести нашу страну в лидирующую группу космических держав.

Программа исследований спутников Марса в проекте БУМЕРАНГ подразумевает детальные исследования Фобоса и Деймоса при орбитальном движении космического аппарата, исследовании этих тел после посадки на поверхность и доставку образцов грунта на Землю для детальных лабораторных исследований .

Сценарий экспедиции и облик КА должен быть разработан в результате отдельного НИР. Как вариант (не проработанный) сценарий экспедиции подразумевает запуск двух идентичных космических аппаратов. Первый КА, используя разработанные в предыдущем проекте к Фобосу технические разработки и баллистическую схему, совершает посадку на

поверхность Фобоса производит забор образцов грунта Фобоса, которые доставляются на Землю возвращаемым аппаратом. Базовый аппарат остается на поверхности Фобоса с минимальным составом (3-5) научных приборов.

Второй КА, аналогичный первому выполняет аналогичную программу по Деймосу - сближению, посадке на его поверхность, забору образцов реголита Деймоса, старта и полета к Земле возвращаемого космического аппарата и последующие исследования этого малого тела комплексом научных приборов.

Во время орбитального движения вокруг Марса оба КА выполняют совместную программу по исследованию околомарсианского пространства (так, как это планировалось с китайским малым спутником Марса в проекте Фобос-Грунт).

Детальная проработка проекта должна быть выполнена в новом НИР.

Предлагаемый проект имеет следующие достоинства:

- а) Проект направлен на решение наиболее актуальных научных задач исследований Солнечной системы – (1) изучение спутников Марса и (2) исследование внеземного вещества малого тела Солнечной системы. При этом следует учесть, что, как показывают выполненные оценки 200 граммовый образец, доставленный с поверхности Фобоса, может содержать в среднем 0,1 мг материала с марсианской поверхности, покинувшего её не более 10 млн лет назад, и около 50 млн индивидуальных частиц грунта марсианского происхождения. Такой же образец может иметь до 50 мг материала с поверхности Марса, покинувшего её не ранее последних 3,5 млрд. лет.
- б) Проект продолжает начатую в нашей стране программу исследований спутников Марса, при этом подразумевается расширение научных задач, не усложняя технической реализации по отношению к проекту Фобос-Грунт.
- в) Проект подразумевает создание двух идентичных космических аппаратов что в значительной степени повышает вероятность реализации задач проекта и значительно обогащает поставленные задачи (как известно, ранее все планетные миссии выполнялись по двухпусковой схеме).
- г) Реализация проекта по доставке образцов грунта со спутников Марса – представителей класса малых тел Солнечной системы чрезвычайно важна как первый этап выполнения перспективной программы доставки образцов вещества с Марса.
- е) Учитывая имеющийся интерес Европейского космического агентства к исследованиям спутников Марса (в настоящее время в ЕКА рассматриваются, по крайней мере, два проекта к Фобосу), по нашему мнению проект предлагаемый БУМЕРАНГ мог бы быть естественным продолжением сотрудничества с ЕКА по программе ЭкзоМарс.

Публикации

S.I. Popel, G.G. Dol'nikov, A.P. Golub', Yu.N. Izvekova, S.I. Kopnin, A.V. Zakharov, and L.M. Zelenyi, "Plasma-Dust System in Near-Surface Layer of the Moon", 39th EPS Conference & 16th Int. Congress on Plasma Physics (Stockholm, Sweden, 2012), O3.306.

А.П. Голубь, Г.Г. Дольников, А.В. Захаров, Ю.Н. Извекова, С.И. Копнин, С.И. Попель, ЗАРЯДКА И ДИНАМИКА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ЭКЗОСФЕРЕ ЛУНЫ, Тезисы докладов XXXIX Международной (Звенигородской) конференция по физике плазмы и УТС. Г. Звенигород, 6 – 10 февраля 2012 г. - М.: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2012. - С. 203.

A.V. Zakharov¹, G.G. Dolnikov¹, N.D. Borisov², S.I. Popel³, Dust experiment on a Lunar lander, ESA Workshop: Dust and grains in low gravity and space environment 2-4.04.2012

A.V. Zakharov, G.G. Dolnikov, Особенности пылевой плазмы вблизи лунной поверхности, Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», 12-16.11.2012.

X, Li, W.B. Brinckerhoff, G.G. Managadze, D.E. Pugel, C.M. Corrigan, J.H. Doty. Laser ablation mass spectrometer (LAMS) as a standoff analyzer in space mission for airless bodies//International Journal of Mass Spectrometer, 2012.

P. Wurz, D. Abplanalp, M. Tilej, М. Яковлева, V.A. Fernandes, А. Чумиков, Г.Г. Манагадзе. Масс-спектрометрический анализ в науке о планетах: исследование поверхности и атмосферы планет//Астрономический Вестник, 2012.

Манагадзе Г.Г. Плазма метеоритного удара в предыстории жизни//Пленарный доклад на 1 Всероссийской конференции по Астробиологии. Город Пущино; с 17 по 19 сентября 2012 года.

Манагадзе Г.Г., Лучников К.А., Моисеенко Д.А., Воробьева Е. А., Кузнецов А.И., Чумиков А.Е., Зиганшин Р. Х., Вурц П.З, Саралидзе Г.З., Манагадзе Н.Г., Бондаренко А.Л. Возможное место локализации и методика обнаружения следов органических соединений в реголите Марса.//Доклад на 1 Всероссийской конференции по Астробиологии. Город Пущино; с 17 по 19 сентября 2012 года.

Моисеенко Д.А., Манагадзе Г.Г., Воробьева Е.А., Чумиков А.Е. Разработка масс-спектрометрического метода обнаружения внеземной биомассы по элементному составу пробы, извлеченной из ледовой матрицы.//Стеновый доклад на 1 Всероссийской конференции по Астробиологии. Город Пущино; с 17 по 19 сентября 2012 года.

Managadze G.G., Luchnikov K.A., Moiseenko D.A., Vorob'eva E. A., Kuznetsov A.I., Chumikov A.E., Ziganshin R. Kh., Wurz P., Saralidze G.Z., Managadze N.G., Bondarenko A.L. Possible location and a technique for finding traced of organic compounds in the martian regolith.// Report on the third Moscow Solar Sistem Symposium. Space Research Institute Moscow; 8-12 October 2012.

Moiseenko D.A., Managadze G.G., Vorob'eva E.A., Chumikov A.E., Managadze N.G., Pilat B.V. Mass-spectrometric technique for sign of life via elemental analysis of the composition of the supposed biomass extracted from an icy matrix// Poster on the third Moscow Solar Sistem Symposium. Space Research Institute Moscow; 8-12 October 2012.

Отчет научного руководителя д.ф.м.н. проф. Г.Г. Манагадзе по проекту «Нарушения зеркальной симметрии энантиомеров в процессе их синтеза в локальных хиральных физических полях плазменного факела метеоритного удара».

Отчет «Разработка масс-спектрометрического метода обнаружения внеземной биомассы по элементному составу пробы, извлеченной из ледовой матрицы».

Маслов И.А., Таранова О.Г., Татарников А.М., Шенаврин В.И. Исследование затменной системы ϵ Возничего в ближней инфракрасной области спектра // Сборник резюме докладов научной конференции «Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы», Москва, 28 мая — 1 июня 2012 г.

Угольников О.С., Маслов И.А., Короткий С.А. Спектральная и пространственная зависимость аэрозольного ослабления света в верхней тропосфере на основе фотометрии Луны в тени Земли // Космические исследования, Т.50, N5, Стр.366-372, 2012.

Угольников О.С. Атмосфера Земли: строение и оптика (обзорная лекция) // Труды 41-й Международной Студенческой научной конференции "Физика Космоса", Екатеринбург, 2012, стр.158-176.

Угольников О.С., Пунанова А.Ф., Крушинский В.В. Исследования составляющих южной полярной стратосферы на основе спектроскопии высокого разрешения поверхности Луны в тени Земли // Тезисы докладов 16 Международной школы-конференции молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы» (САТЭП-2012), Звенигород, 28 мая – 1 июня 2012 г.

O.Ugolnikov, I. Maslov, Aerosol Investigation in Martian Atmosphere Basing on the Wide-Angle Polarization Sky Background Measurements(the Astro-Dust project) // Abstracts of «The Third Moscow Solar System Symposium», Moscow, 8-12 October 2012.

Ipatov, S.I., Location of upper borders of cavities containing dust and gas under pressure in comets, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 2012, v. 423, pp. 3474-3477. <http://arxiv.org/abs/1205.6000>, <http://faculty.cua.edu/ipatov/mnras-cavities.pdf> (статья была представлена и опубликована в 2012 г).

Ipatov, S.I. Cavities as a source of outbursts from comets (chapter 3), In “*Comets: Characteristics, Composition and Orbits*”, ed. by Peter G. Melark, Nova Science Publishers, ISBN 978-1-61324-658-0, 2012, pp. 101-112, <http://faculty.cua.edu/ipatov/cavities.pdf> , <http://arxiv.org/abs/1103.0330> (статья была представлена в 2011 г, но опубликована в 2012 г).

Ipatov, S.I., Angular momenta of collided rarefied preplanetesimals, the paper was submitted to *Proc. IAU Symp. No. 293 “Formation, detection, and characterization of extrasolar habitable planets”*, ed. by N. Haghighipour (статья была послана редактору в конце октября, и пока еще не было рецензии на эту статью).

Ipatov, S.I., Location of the upper borders of the cavities excavated after the Deep Impact collision, *Abstracts of 43rd Lunar and Planetary Science Conference* (March 19-23, 2012, The Woodlands, Texas), 2012, # 1318, <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2012/pdf/1318.pdf> .

Ipatov, S.I. Cavities in Comet Tempel 1 excavated after the Deep Impact collision, *Abstracts of 39th Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR)* (Mysore, India, 14-22 July 2012), 2012, abstract ID is 12188, Paper number: B0.4-0046-12.

Ipatov, S.I., Location of the upper border of the main cavity excavated after the Deep Impact collision, *Abstracts of 28th IAU General Assembly* (20-31 August 2012, Beijing, China), 2012, #5494, JD5, pp. 868-869. Текст устного доклада находится на сайте <http://faculty.cua.edu/ipatov/iau2012cavities.ppt>

Ipatov, S.I., Angular momenta of collided rarefied preplanetesimals, *Abstracts of 28th IAU General Assembly* (20-31 August 2012, Beijing, China), 2012, #5517, IAUS 293. p. 547-548. Текст стендового доклада находится на сайте <http://faculty.cua.edu/ipatov/iau2012planetesimals.ppt>