

## 1 МАРС

### 1.1 Наблюдения дневного свечения кислорода в атмосфере Марса по данным эксперимента СПИКАМ на КА Марс-Экспресс

Озон одна из самых химически активных составляющих атмосферы Марса. Изучение ее временных и пространственных вариаций вместе с распределением водяного пара необходимо для уточнения фотохимических моделей, которые должны объяснить стабильность атмосферы Марса, где преобладает углекислый газ. Солнечное излучение в ультрафиолетовой области приводит к фотодиссоциации углекислого газа на СО и О. Последующая их рекомбинация происходит в результате долгой, сложной реакции тройного столкновения. В свою очередь, рекомбинация  $O_2$  из атома кислорода происходит довольно быстро. Таким образом, содержание СО и  $O_2$  в марсианской атмосфере должно быть стабильно высоким. Измерения же указывают на довольно низкое содержание этих малых составляющих. Причина, скорее всего, в значительной роли водяного пара стабильности углекислой атмосферы Марса. Впервые, это было указано еще в 1972 году. Стабильность атмосферы ассоциируется с химическими реакциями, включающими нечетные водородные радикалы (Н, ОН,  $HO_2$ ), поскольку гидроксил ОН может реагировать с СО и восстанавливать содержание  $CO_2$  значительно эффективнее, благодаря более высокой скорости реакции. К сожалению, распределение этих радикалов сложно наблюдать напрямую. Одним из возможных путей косвенного наблюдения  $HO_x$  радикалов является наблюдение озона в атмосфере Марса, поскольку он эффективно разрушается ими и может быть индикатором их присутствия.

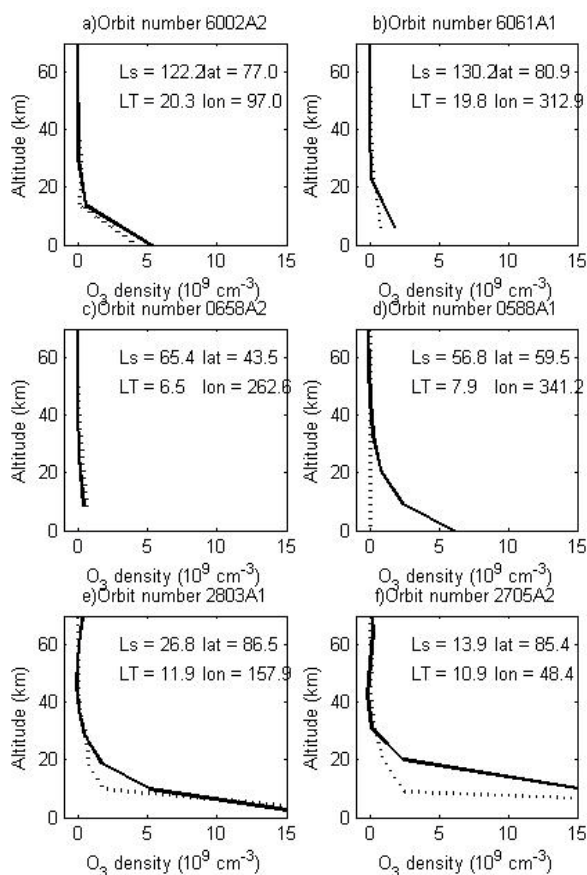


Рисунок 1 Сравнение наблюдаемых (сплошная линия) и модельных (тире) профилей озона для высоких северных широт летом (a,b), для средних широт и весной (c,d), для высоких северных широт весной (e,f).

Эксперимент СПИКАМ на борту КА Марс-Экспресс проводит зондирование марсианской атмосферы в ультрафиолетовом и ближнем ИК-диапазоне. Инфракрасный спектрометр работает в диапазоне 1-1.7 мкм с разрешением  $3.5 \text{ см}^{-1}$  в режиме надирных и лимбовых наблюдений, а также солнечных и звездных затмений. В ближнем ИК-диапазоне измерения озона проводятся по дневному свечению кислорода в полосе 1.27 мкм, которое является продуктом фотодиссоциации озона. СПИКАМ выполняет измерения свечения с разрешающей силой  $\sim 2200$  в этой области спектра.

Лимбовые наблюдения интересны тем, что позволяют получать вертикальные распределения атмосферных компонент. Было выполнено восстановление вертикального распределения озона по дневному свечению молекулярного кислорода в полосе 1.27 мкм, и проведено их сравнение с распределением озона, предсказанным последними фотохимическими моделями (рис 2). Всего было обработано 105 профилей полученных в период с 2004 по 2010 год. Для восстановления озона из профилей свечения  $\text{O}_2$  на луче зрения, был разработан алгоритм, базирующийся на методе регуляризации Тихонова и учитывающий широкое поле зрения СПИКАМ ИК.

Также был продолжен анализ надирных наблюдений свечения молекулярного кислорода, полученных за три с половиной марсианских года. Из сравнения с теоретическим распределением этого свечения, было получено более точное значение для скорости реакции столкновительной дезактивации возбужденных молекул кислорода углекислым газом.

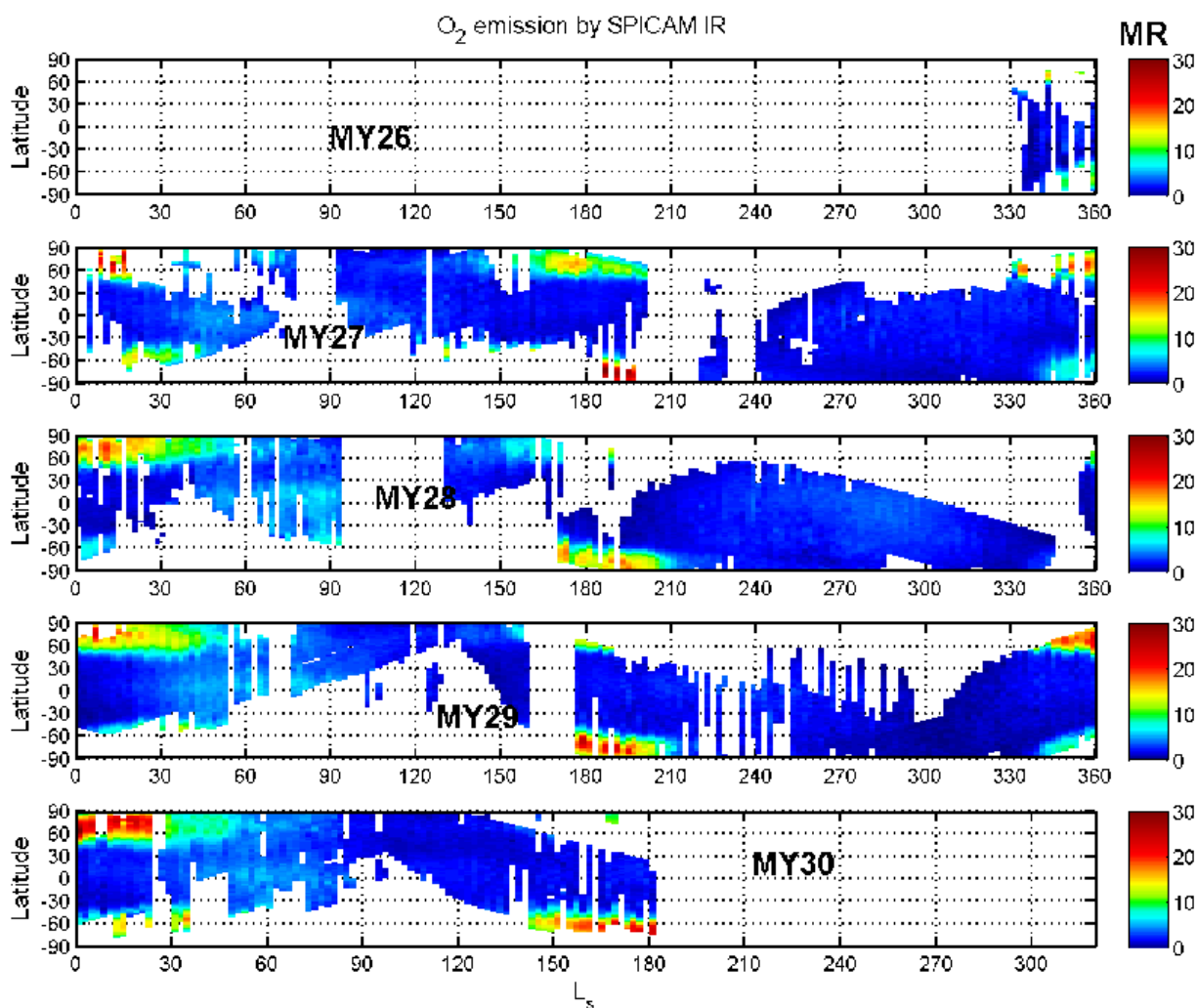


Рис 2. Сезонное распределение свечения  $\text{O}_2$  по данным СПИКАМ, наблюдения проводились с  $L_s$   $330^\circ$  MY26 (Январь 2004) по  $L_s$   $120^\circ$  MY30 (Ноябрь 2010).

Гусякова С.А., [semga8@mail.ru](mailto:semga8@mail.ru), к.ф.-м.н. Федорова А.А., [fedorova@iki.rssi.ru](mailto:fedorova@iki.rssi.ru), д. ф.-м. н. Кораблев О.И. [korab@iki.rssi.ru](mailto:korab@iki.rssi.ru)

–Гусякова С.А., Фёдорова А.А., Кораблев О.И., Берто Ж.-Л., Монтмессан Ф. Наблюдения дневного свечения кислорода в атмосфере Марса по данным эксперимента СПИКАМ на КА Марс-Экспресс, Восьмая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН, 15 – 19 ноября 2010 г.

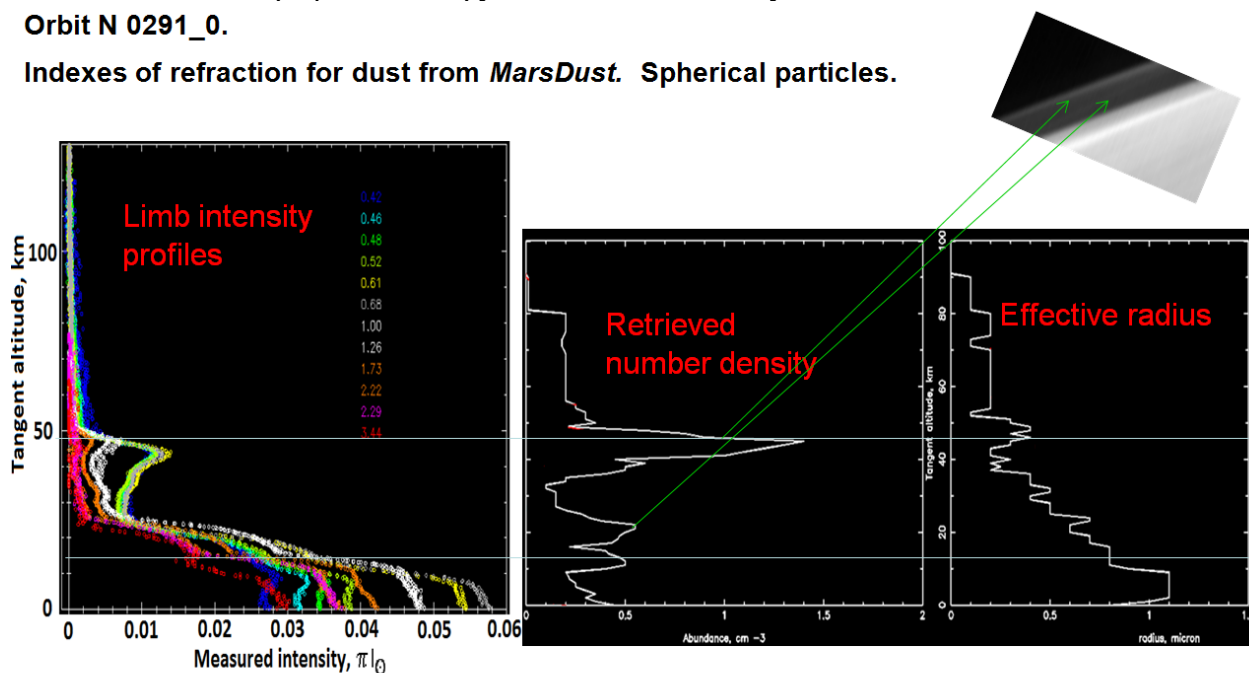
## 1.2 Прибор «ОМЕГА» миссии «Марс-Экспресс»

Продолжена работа по восстановлению вертикальных профилей аэрозольных свойств в атмосфере Марса по лимбовым данным спектрометра «ОМЕГА» Европейской миссии «Mars-express». На изображениях лимба, получаемых спектрометром ОМЕГА, видны слои аэрозоля. С использованием программы SCART, адаптированной автором для Марсианской атмосферы (программа учитывает многократное рассеяние в приближении сферической атмосферы) показано, что можно восстановить вертикальные профили численной концентрации  $n(h)$  – в данном случае водяного льда и эффективного радиуса частиц  $R_{eff}(h)$ . Используется спектральный диапазон 0.4 – 3.3 мкм.

Пример восстановленных вертикальных аэрозольных профилей приведен на рисунке 1. В восстановленных профилях обнаружены слои на высоту 40-45 км и 15-25 км.

Orbit N 0291\_0.

Indexes of refraction for dust from *MarsDust*. Spherical particles.



Layer of particles at altitude of 45 km with peak number density  $1.5 \text{ cm}^{-3}$  and  $r_{eff} = 0.5 \text{ }\mu\text{m}$ .

Майоров Б.С., [Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru](mailto:Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru)

–Сделан доклад: Майоров Б. С., Засова Л. В., Васильев А. В., Bibring J.-P. Влияние несферичности формы частиц и других модельных параметров на восстанавливаемые характеристики марсианского аэрозоля (по данным прибора ОМЕГА миссии Mars-express) // VII конференция молодых учёных, посвящённая Дню космонавтики "Фундаментальные и прикладные космические исследования" Программа. Тезисы докладов. Секция VI. Атмосфера, гидросфера и литосфера Земли и планет. 12-13 апреля 2010 г., г. Москва. Институт космических исследований Российской академии наук / Москва. ИКИ РАН. 2010. С.36-37.

–Mayorov B.S., Zasova L.V., Vasilyev A.V., Bibring J.-P. Retrieval of vertical profiles of the Martian aerosol parameters from the OMEGA Mars Express limb data // OMEGA workshop. Moscow, IKI RAN. October, 2010.

–Майоров Б.С., Васильев А.В., Vibring J.-P. "Влияние априорной модели на характеристики марсианского аэрозоля, восстанавливаемого из данных спектрометра OMEGA миссии MARS-EXPRESS" // Восьмая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Сборник тезисов конференции. 15-19 ноября 2010 г., г. Москва. Институт космических исследований РАН / Москва. ИКИ РАН. 2010 г.

### 1.3. Карты распределения свечения O<sub>2</sub> по данным OMEGA Марс Экспресс

Получены 2D карты распределения свечения O<sub>2</sub> на дневной стороне Марса по надирным измерениям картирующего спектрометра OMEGA на Марс Экспресс. Сильная эмиссия является результатом фотолиза озона, в результате которого 90% молекул O<sub>3</sub> дают O<sub>2</sub> в состоянии a<sup>1</sup>Δg и эмиссию на 1.27 мкм. Изображения имеют пространственное разрешение от 2 до 5 км, предел обнаружения - меньше 4 MR. Особый интерес представляет картирование в полярных районах, в зимний и весенний период, когда наблюдается максимальное свечение O<sub>2</sub>. (до 31 MR). Получены сезонные, суточные и горизонтальные распределения свечения. Области излучения на высоких широтах являются протяженными по широте и долготе с ярко выраженным максимумом свечения : протяженность по долготе определяется освещенностью от Солнца , следовательно местным временем, так что интенсивность эмиссии максимальна вблизи полудня и падает к терминаторам, протяженность области по широте определяется вариациями содержания H<sub>2</sub>O и освещенности (рост интенсивности свечения с широтой из-за роста содержания O<sub>3</sub>, которое антикоррелирует с H<sub>2</sub>O, компенсируется далее уменьшением освещенности и, следовательно, фотолиза O<sub>3</sub>). Полученная систематически более низкая интенсивность свечения в северной полярной области, чем в южной, связана с более высокой интенсивностью переноса в ячейке Хэдли северной зимой (перигелий), поставляющей большие количества H<sub>2</sub>O, чем южной (афелий). Волновые структуры, пересекающие терминатор, в распределении эмиссии наблюдались впервые в эксперименте OMEGA: в северной полярной области (Zasova et al., 2006a) MY26 и в южной полярной области MY28 ( настоящая работа). Таким образом, изучение эмиссии O<sub>2</sub> является важным источником для понимания динамики марсианской атмосферы в высоких широтах.

Д. ф.-м. н. Засова Л.В., [zasova@irn.iki.rssi.ru](mailto:zasova@irn.iki.rssi.ru), 3333466

### 1.4 Сезонный ход гидратации марсианского грунта в глобальном масштабе по данным гиперспектрометра OMEGA КА «Марс-Экспресс»

Для работы с распределениями гидратированных минералов на поверхности Марса вводились синтетические величины – спектральные индексы, которые имеют смысл относительной глубины полосы поглощения химически связанной воды 1.93 мкм, характерной для таких минералов. Получены глобальные карты индекса связанной воды для шести последовательных сезонов:  $L_S \sim 0^\circ-90^\circ$  (MY 26),  $L_S \sim 90^\circ-180^\circ$  (MY 26),  $L_S \sim 180^\circ-270^\circ$  (MY 26),  $L_S \sim 270^\circ-360^\circ$  (MY 26),  $L_S \sim 0^\circ-90^\circ$  (MY 27),  $L_S \sim 90^\circ-180^\circ$  (MY 27), где прослеживается определенная зависимость величины спектрального индекса от широты (рис. 1).

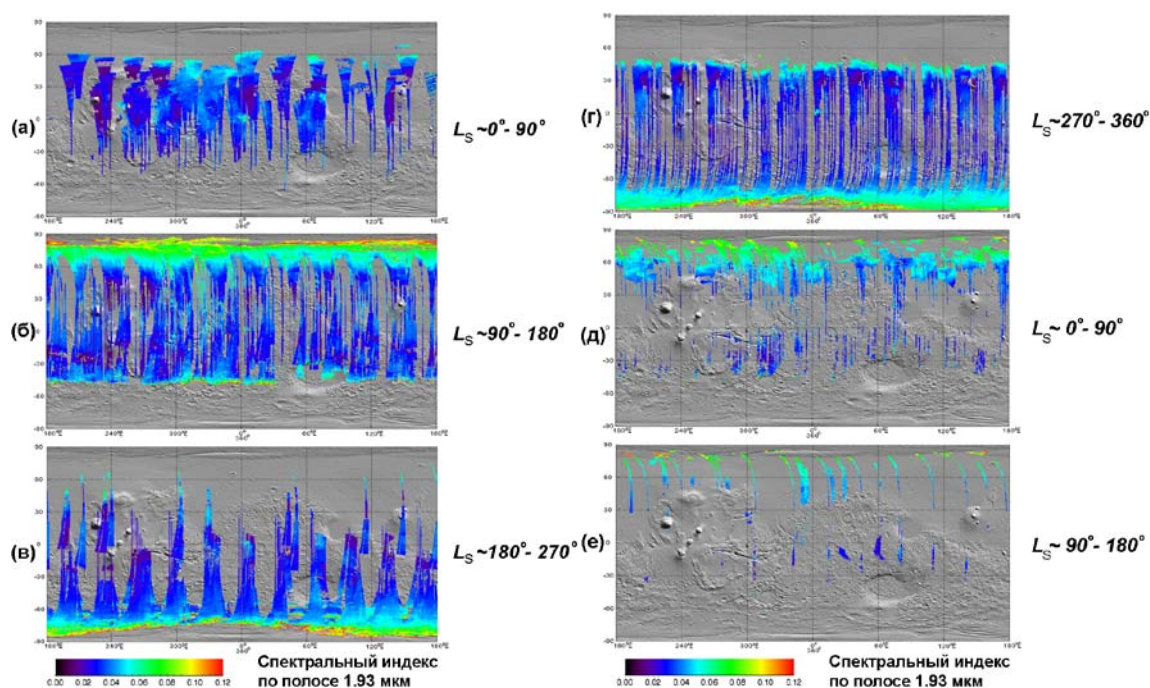


Рис. 1. Глобальные карты пространственных вариаций индекса связанной воды (по полосе 1.93 мкм), составленные для шести «времен года»

Наибольшие значения индекса относятся к высоким широтам ( $\varphi > 60^\circ$ ), в направлении к экватору величина индекса уменьшается. Более того, значимые величины спектрального индекса относятся лишь к относительно узкой полосе вблизи сезонной полярной шапки.

Для надежного определения абсолютного содержания воды в грунте Марса по индексу полосы 1.93 мкм необходимо знать массовые соотношения содержаний в грунте разных сульфатов и глинистых минералов. Без этой информации калибровка содержания воды по спектральному индексу по полосе 1.93 мкм может быть проведена лишь очень грубо. В первом приближении можно предположить, что зависимость величины спектрального индекса от содержания воды имеет линейный характер. Для калибровки значений были выбраны следующие районы: места посадок посадочных аппаратов Viking-1 ( $312^\circ$  E,  $23^\circ$  N) и ПА Pathfinder ( $326^\circ$  E,  $19^\circ$  N), в грунте которых были замерены инструментально минимальные значения содержания воды в 1%-2% [10, 20, 40] и район долины Маврта ( $338^\circ$ - $343^\circ$  E,  $18^\circ$ - $28^\circ$  N), где по данным полосы 3 мкм определены содержания воды – 6%-8% [51, 70]. Сами значения индекса по полосе 1.93 мкм для данных регионов брались из результатов, полученных в ходе данной работы (рис. 2).

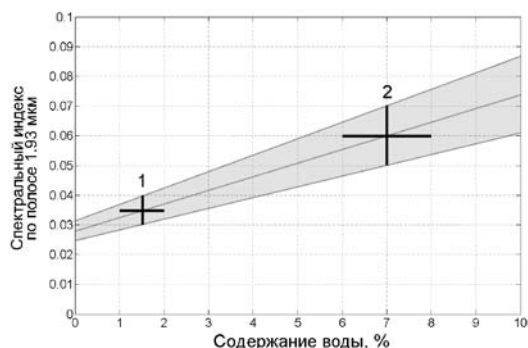


Рис. 2. Калибровка спектрального индекса по полосе 1.93 мкм на содержание воды в верхнем слое грунта.

Большой интерес представляет оценка количества воды, доступной для сезонного гидрологического цикла и связываемой в виде гидратов минералов в реголите. Такая оценка была получена путем анализа сезонных вариаций спектрального индекса по полосе

1.93 мкм. На рис. 1 показана сезонная эволюция зонального усредненного значения спектрального индекса 1.93 мкм в координатах  $L_S$ –  $\varphi$  (солнечная долгота – широта).

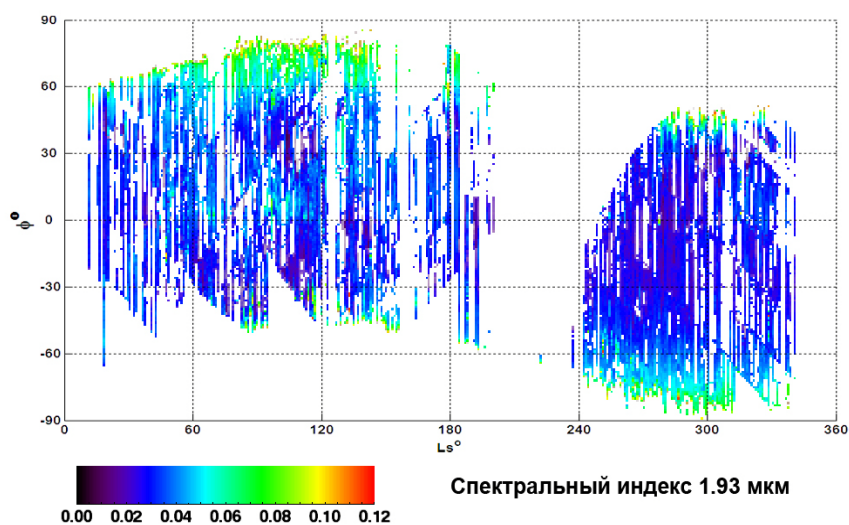


Рис. 3. Зонально усредненный сезонный тренд гидратации по полосе 1.93 мкм для двух лет наблюдения (MY26-27).

Ввиду того, что за 1.5 рассматриваемых марсианских года наблюдения в данных OMEGA имеются существенные пропуски, для получения возможно более полного покрытия по солнечной долготе  $L_S$ , мы наложили данные за весь рассматриваемый промежуток времени на одну карту. Отсутствие каких-либо явных разрывов в полученном распределении свидетельствует об отсутствии существенных межгодовых вариаций.

Евдокимова Н. А., [evdokimova@iki.rssi.ru](mailto:evdokimova@iki.rssi.ru), Родин А. В., [rodin@irn.iki.rssi.ru](mailto:rodin@irn.iki.rssi.ru), Кузьмин Р. О., [rok@geokhi.ru](mailto:rok@geokhi.ru).

## 2 ВЕНЕРА

### 2.1 Измерения содержания водяного пара вблизи верхней границы облаков по данным прибора VIRTIS на КА Venus Express

По данным канала высокого разрешения VIRTIS-H эксперимента VIRTIS на КА Venus Express выполнены измерения содержания водяного пара вблизи верхней границы облаков с пространственным разрешением 10–100 км. Данные измерения являются наиболее качественными по точности и покрытию (в координатах широта — местное время) из большого количества измерений, выполненных различными методами к настоящему времени. Использовались полосы  $H_2O$  и  $CO_2$ , расположенные на длине волны ~2.5 мкм. Эти измерения убедительно и однозначно подтвердили отсутствие значительных вариаций содержания  $H_2O$  вблизи верхней границы облаков, обнаруженных ранее в некоторых экспериментах. В низких широтах ( $\pm 40^\circ$ ) среднее содержание водяного пара равно  $3 \pm 1$  ppm, соответствующая высота верхней границы облаков  $69.5 \pm 2$  km. В средних широтах верхняя кромка облаков начинает снижаться, достигая минимума 64 км над полюсом, в то время как среднее содержание водяного пара достигает максимума 5 ppm с разбросом 1–15 ppm на широтах 70–80°. Показано также отсутствие заметной зависимости содержания  $H_2O$  от местного времени. Равновесная концентрация серной кислоты облачных капель, соответствующая измеренным содержаниям водяного пара составляет 75–83%. Сернокислотный аэрозоль, по всей вероятности, находится в жидком переохлажденном состоянии. При этом количество воды в виде пара всегда превышает количество воды в аэрозоле, т.е. концентрация серной кислоты подстраивается под количества водяного пара, образующиеся на данном уровне вследствие каких либо (динамических, фотохимических) причин. Наблюдаемое пространственное

распределение водяного пара вполне согласуется с динамикой атмосферы. Одновременные УФ изображения Венеры, полученные при помощи фотокамеры VMC, показали отсутствие предполагавшейся ранее возможной систематической связи между локальными (на масштабах в сотни км и менее) вариациями содержания УФ-поглопителя, водяного пара и высоты облаков.

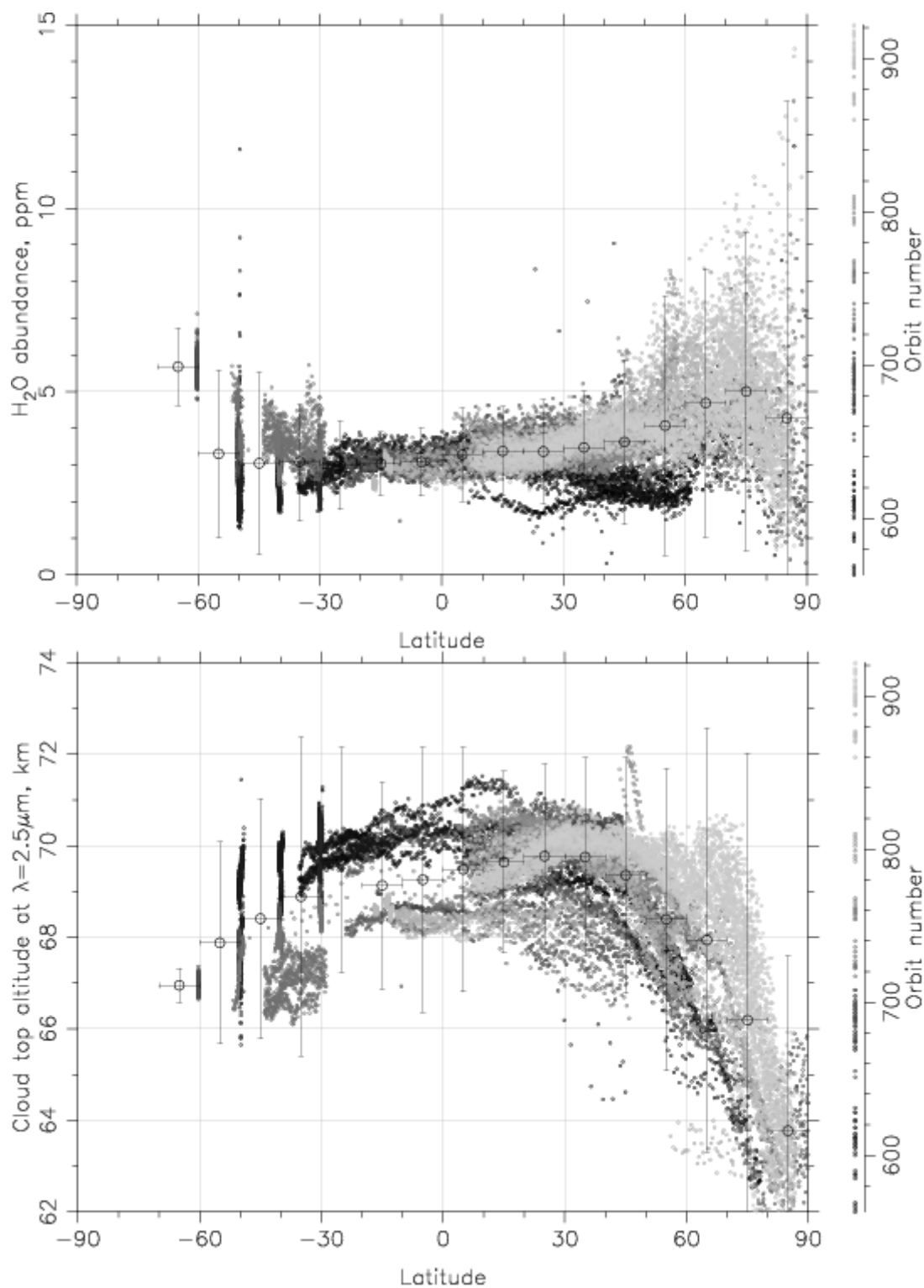


Рис. 1. Содержание водяного пара (вверху) вблизи верхней границы облаков (внизу) как функция широты по данным эксперимента VIRTIS на КА Venus Express (Cottini, Ignatiev, et al., 2011).

К ф.-м. н. Н.И. Игнатьев, [inick@irn.iki.rssi.ru](mailto:inick@irn.iki.rssi.ru), 333-15-02

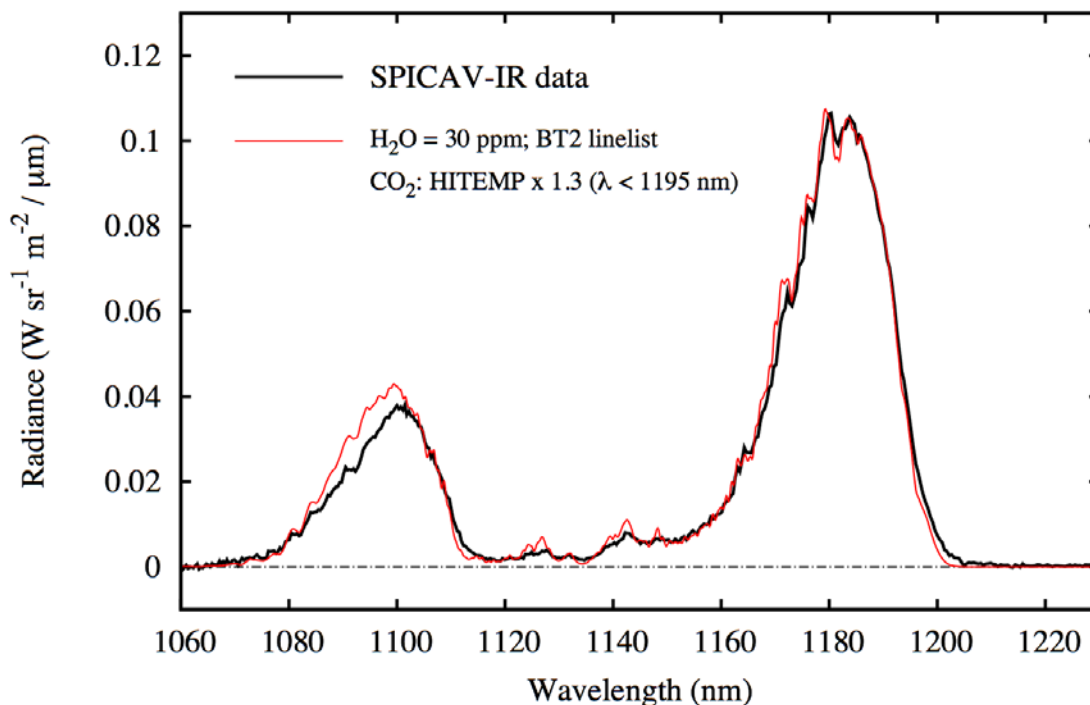
## 2.2 Исследования атмосферы Венеры в эксперименте СПИКАВ-СУАР

### 2.2.1 Моделирование окон прозрачности 1.10- и 1.18-мкм по данным эксперимента СПИКАВ ИК на борту КА «Венеры-Экспресс»

Единственным способом измерения водяного пара под облаками Венеры дистанционно с орбиты планеты (если исключить спускаемые аппараты) является измерение излучения на ночной стороне планеты в так называемых «окнах прозрачности». В частности, содержание  $H_2O$  в нижних слоях атмосферы на высотах 5-15 км определяется по окну 1.18 мкм. Восстановление содержания малых составляющих под облаками сталкивается с проблемой мало изученной физики переноса излучения в крыльях линий атмосферных газов при высоком давлении и температуре. Существует различные модели как эмпирические, так и базирующиеся на теоретических расчетах. Кроме того, базы данных «горячих» линий для  $CO_2$ , основного газа на Венере, до сих пор неполны.

На КА «Венера-Экспресс» два эксперимента ВИРТИС и СПИКАВ позволяют проводить измерения окон прозрачности на ночной стороне планеты. Эксперимент СПИКАВ ИК проводит измерения в диапазоне от 0.9 до 1.6 мкм с разрешением около 1500, что позволяет более точно проверить различные теории переноса излучения в крыльях линий, по сравнению с ВИРТИС (разрешение  $\sim 100$ ). В работе было проведено моделирование окна прозрачности для разных высокотемпературных баз данных  $CO_2$  HITEMP 1995, 2010, CDS-D-Venus, а также  $H_2O$  – HITEMP, BT2, GEISA. Сравнивались различные профили линий: эмпирическая модель, модель включающая теорию интерференции вращательных состояний в приближении сильных столкновений и т.д.

Наилучшее согласие модели и эксперимента на данном этапе было получено для баз данных HITEMP 1995  $CO_2$ , BT2  $H_2O$  и эмпирического форм-фактора линии. На высотах порядка 10 км получено значения 30 ppm  $H_2O$ , что меньше значения, полученного ранее в эксперименте ВИРТИС (45 ppm). Значение 30 ppm может говорить о более равномерном распределении водяного пара от поверхности до подоблачного слоя.



К.ф.-м.н. Федорова А.А., [fedorova@iki.rssi.ru](mailto:fedorova@iki.rssi.ru), К.ф.-м.н. Родин А.В., [rodin@irn.iki.rssi.ru](mailto:rodin@irn.iki.rssi.ru)

–B. Bézard, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A. Rodin, O. Korablev Modeling of the 1.10- and 1.18- $\mu m$  nightside windows observed by SPICAV-IR aboard Venus Express. *International Venus*



### 2.2.2 Водяной пар в мезосфере Венеры по данным эксперимента СПИКАВ.

Продолжена работа по восстановлению содержания водяного пара в мезосфере Венеры по данным надирных измерений эксперимента СПИКАВ ИК, работающего в диапазоне 0.65-1.7 мкм с разрешением ~1500. Измерения проводятся на дневной стороне. Восстановление проводится по полосе водяного пара 1.38 мкм с учетом многократного рассеяния света в облачном слое атмосферы Венеры. По полосам CO<sub>2</sub> в области 1.4-1.65 мкм были получены высоты верхней границы облаков (68-74 км), по уровню вертикальной оптической толщины  $\tau = 1$ . Получены карты распределения водяного пара и высот облаков в период с 2006 по 2008 год (рис. 1 и 2). В отличие от наземных измерений в микроволновом диапазоне и результатов Пионер-Венера, показавших вариации в содержании водяного пара на порядок и более, данные СПИКАВ ИК указывают на довольно однородное распределение на низких и средних широтах, слабо меняющиеся от местного времени. Полученные значения содержания H<sub>2</sub>O колеблются в пределах от 3 до 7 ppm.

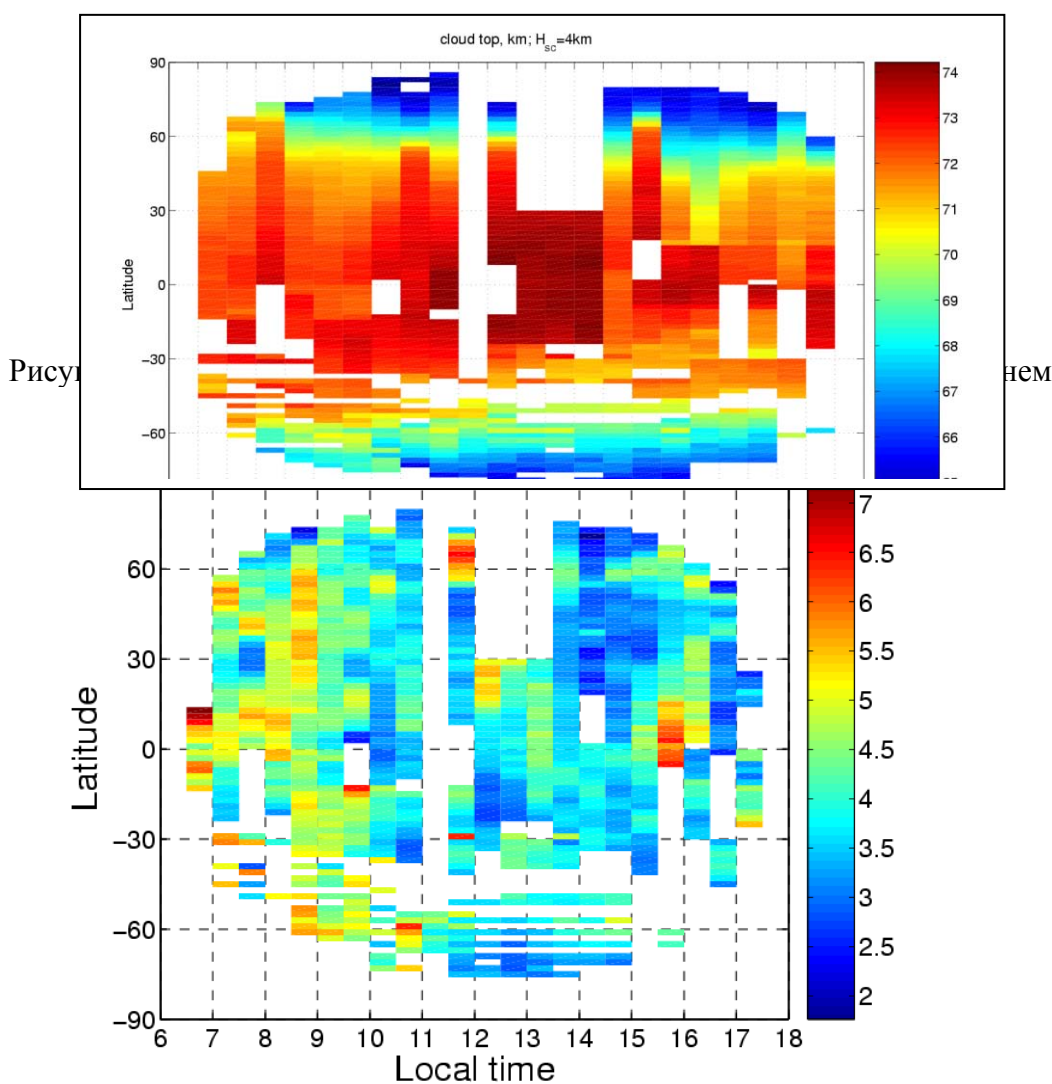


Рисунок 2. Распределения водяного пара в ppm (относительное содержание) с местным временем

–Anna Fedorova, Oleg Korablev, Jean-Loup Bertaux, Franck Montmessin, Denis Belyaev, Arnaud Mahieux, Ann-Carine Vandaele, Water vapor distribution in the Venusian mesosphere from SPICAV/SOIR observations, 38th COSPAR Scientific Assembly 2010, [C31-0011-10 \(Oral\)](#)

–Fedorova, O. Korablev, J.-L. Bertaux, F. Montmessin, D. Belyaev Water vapor distribution in the venusian mesosphere from SPICAV observations. International Venus Conference, Aussois 2010 Aussois (France), 20 — 26 June 2010. [http://lesia.obspm.fr/venus2010/IMG/pdf/02-03\\_Fedorova.pdf](http://lesia.obspm.fr/venus2010/IMG/pdf/02-03_Fedorova.pdf)

–Fedorova, O. Korablev, J.-L. Bertaux, F. Montmessin, D. Belyaev Water vapor in the venusian mesosphere with SPICAV IR/VEX. 2010 VEXAG International Workshop, Venus, Our Closest Earth-like Planet: From Surface to Thermosphere - How does it Work? Madison, Wisconsin, USA, 30 August - 2 September 2010, Abstract summaries, p.18.

### 2.3 Исследование содержания SO<sub>2</sub> и SO над облаками Венеры по данным прибора SPICAV/SOIR миссии «Венера Экспресс»

Оксиды серы SO и SO<sub>2</sub> играют одну из ключевых ролей в структуре облаков Венеры, состоящих из капель серной кислоты и полностью покрывающих планету. Изменения содержания этих газов в надоблачном слое (высоты >65 км) являются индикатором фотохимических реакций в атмосфере, а также возможной геологической активности на поверхности. За 40 лет измерений концентрации SO<sub>2</sub> над облаками Венеры (в основном, наблюдения в надир на дневной стороне) были обнаружены годовые вариации содержания газа в диапазоне от 0.02 до 0.5 ppm. При этом поглощение SO было детектировано в УФ диапазоне с неизменной концентрацией ~10% от SO<sub>2</sub> на высоте ~70 км. Для объяснения причин такого поведения необходимо зондирование как высотных, так и широтных профилей сернистых оксидов над облаками, а также исследование изменения содержания газов со временем суток. С 2006 года с борта орбитального аппарата «Венера Экспресс» спектрометр SPICAV/SOIR осуществляет зондирование атмосферы Венеры в режимах солнечного затмения (просвечивания) и надир.

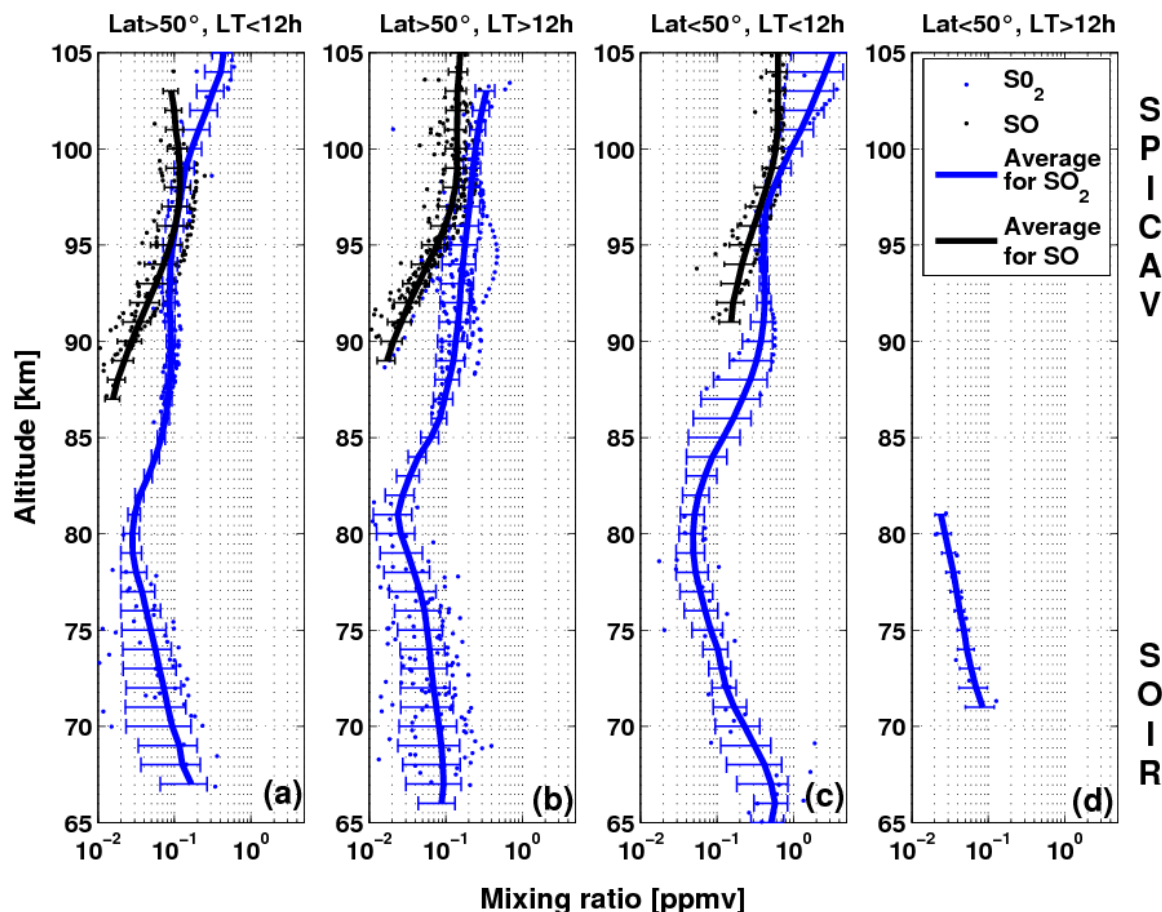


Рис. 1. Вертикальные профили относительного содержания SO<sub>2</sub> и SO (ppmv – количество частиц газа в объеме на миллион). Результаты SOIR (только SO<sub>2</sub>) – ниже 80 км, результаты SPICAV (SO<sub>2</sub> и SO)– выше 85 км.

К. ф.-м. н. Беляев Д.А., [belyaev@iki.rssi.ru](mailto:belyaev@iki.rssi.ru)

–Belyaev D., Montmessin F., Bertaux J.-L., Korablev O. I., Fedorova A. A., Vandaele A.-C., Mahieux A., Marcq E. *Sulfur dioxide above Venus clouds: sounding by orbital solar occultations in UV and IR ranges. EGU General Assembly 2010, held 2-7 May, 2010 in Vienna, Austria, p.6693.*

–Marcq E., Montmessin F., Bertaux J.-L., Belyaev D., Fedorova A. *Variability of SO<sub>2</sub> above the clouds of Venus using Venus Express/SPICAV-UV in nadir mode. EGU General Assembly 2010, held 2-7 May, 2010 in Vienna, Austria, p.2944.*

–Marcq E., Bertaux J.-L., Montmessin F., Belyaev D., Fedorova A., Vandaele A.-C., Neefs E. *SO<sub>2</sub> above the clouds of Venus as measured by SPICAV-UV in nadir. American Astronomical Society, DPS meeting #42, #15.02; Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 42, p.974.*

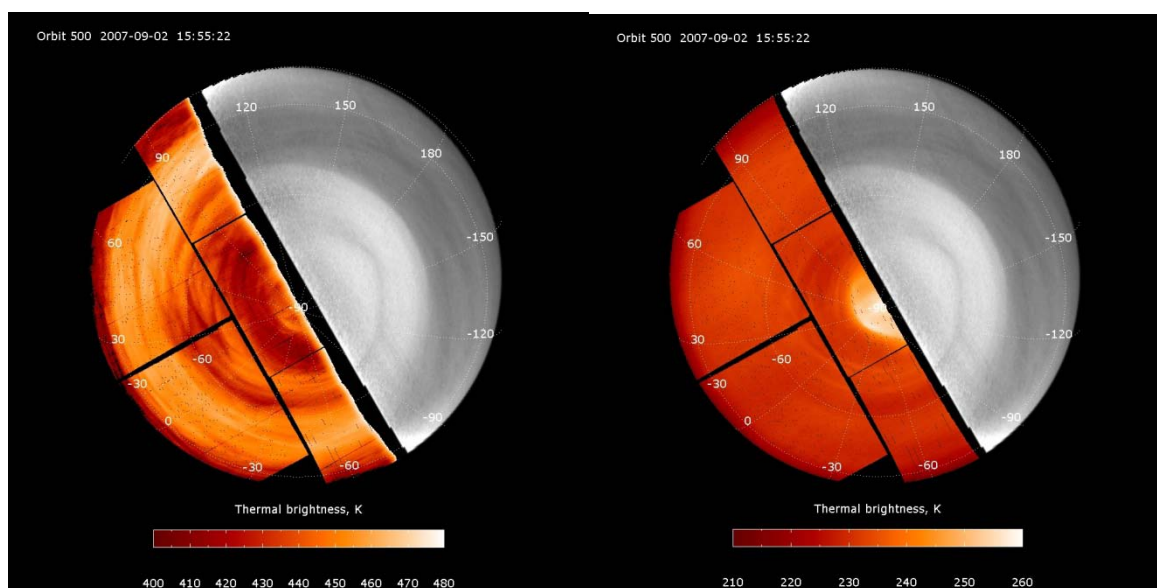
–E. Marcq, D. Belyaev, F. Montmessin, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A.-C. Vandaele, E. Neefs. *An investigation of the SO<sub>2</sub> content of the Venusian mesosphere using SPICAV-UV in nadir mode. Icarus, 2010, doi:10.1016/j.icarus.2010.08.021, (in press).*

–Беляев Д., Монтмессан Ф., Марк Э., Берто Ж.-Л., Федорова А., Кораблев О. *Двуокись серы над облаками Венеры: измерения прибором SPICAV/SOIR с борта КА "Венера Экспресс". Восьмая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2010 г. Сборник тезисов, стр. 236.*

## 2.4 Связь между динамикой и структурой атмосферы, облаками и «неизвестным»

### УФ-поглотителем

Одновременные измерения в УФ и ИК областях спектра в экспериментах VIRTIS и VMC продемонстрировали связь между УФ-контрастами, тепловой структурой атмосферы и строением облачного слоя.



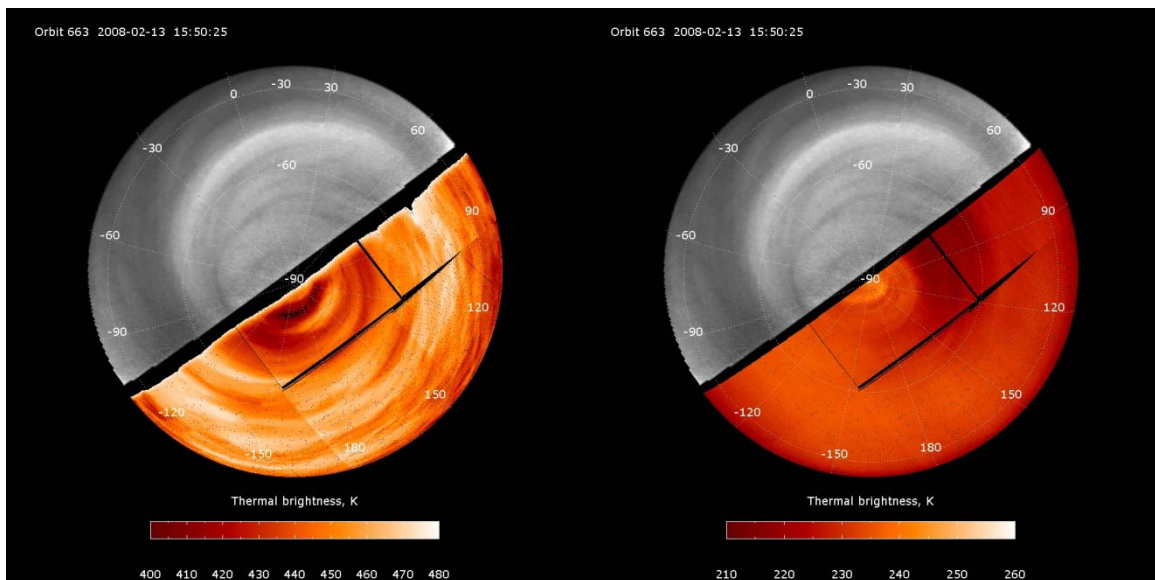


Рис. 2. Венера в УФ (дневная сторона, черно-белое изображение, 0,38 мкм) и ИК (ночная сторона, цветное изображение, 1,74 мкм слева и 5 мкм справа) диапазонах. Одновременные изображения получены в экспериментах VIRTIS и VMC.

К ф.-м. н. Н.И. Игнатъев, [inick@irn.iki.rssi.ru](mailto:inick@irn.iki.rssi.ru), 333-15-02

## 2.5 Динамика мезосферы Венеры

В 2010-м году были продолжены исследования параметров циркуляции верхнего облачного слоя атмосферы Венеры по данным VMC (проект «Венера-Экспресс»). База данных векторов смещения деталей облачного покрова составляет более 35000 измерений, полученных по 100 орбитам. Период наблюдений охватывает более 6 венерианских лет (1400 земных суток).

При анализе БД были обнаружены вековые вариации скорости зонального ветра в низких широтах (. Аналогичные вековые вариации в скорости ветра на уровне верхней границы облаков были обнаружены по изображениям ОСРР на «Пионер-Венера» (Rossow et. al, 1990). Малый наклон оси вращения Венеры к плоскости экватора не позволяет говорить о каких-либо климатических проявлениях, но обнаруженные вариации вполне могут быть проявлением влияния солнечной активности на процессы динамики в верхней атмосфере.

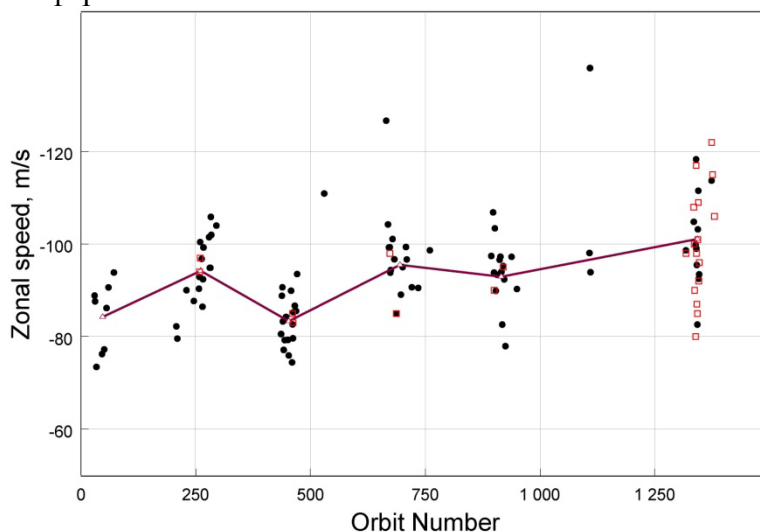


Рис. 1 Вековые вариации в зональной скорости ветра на уровне верхней границы облаков по данным VMC, установленной на борту «Венера-Экспресс». Диапазон наблюдений покрывает более 6-ти венерианских года

При анализе БД были обнаружены вековые вариации скорости зонального ветра в низких широтах (. Аналогичные вековые вариации в скорости ветра на уровне верхней границы облаков были обнаружены по изображениям ОСРР на «Пионер-Венера» (Rossow et. al, 1990). Малый наклон оси вращения Венеры к плоскости экватора не позволяет говорить о каких-либо климатических проявлениях, но обнаруженные вариации вполне могут быть проявлением влияния солнечной активности на процессы динамики в верхней атмосфере.

Обнаружены периодические вариации в скоростях зонального ветра в низкоширотном поясе. Например, усредненная зональная компонента скорости ветра на широте 20 градусов составляет для орбит 436-471 величину  $83.6 \pm 1$  м/с. На постоянную составляющую с периодом 4.1 суток накладывается волна с амплитудой  $5.1 \pm 1.3$  м/с. Для орбит 1318-1374 среднее значение зональной скорости составляет значение  $96.9 \pm 1.8$  м/с, на которое с периодом 4.2 суток накладывается волна амплитудой  $12.6 \pm 2.6$  м/с.

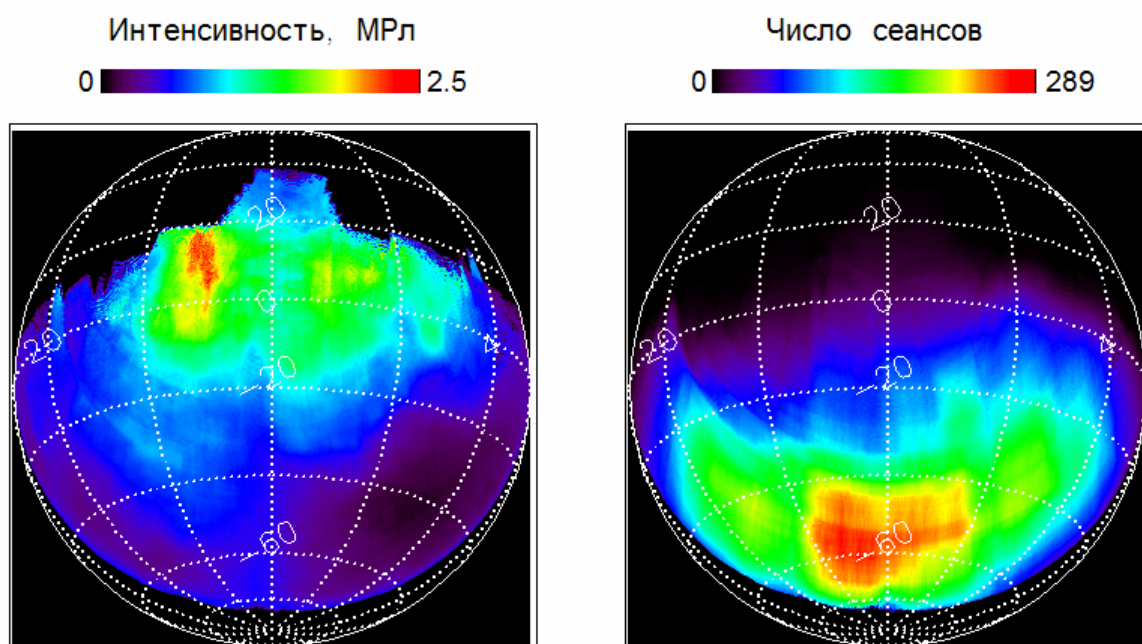
Периоды изменения зональной скорости близки к периоду суперротации атмосферы на уровне верхней кромки облаков, который по данным VMC на широте 20 градусов составляет около 4.5 земных суток.

По всей совокупности измерений получен средний широтный профиль скорости ветра на уровне верхней кромки облачного покрова. Средний профиль может быть использован в инженерных моделях атмосферы Венеры. Полученный средний профиль в пределах ошибок совпадает со средним профилем, полученным по изображениям ОСРР на «Пионер-Венера» (Rossow et. al, 1990).

К. ф.-м. н.И. В. Хатунцев, [inick@irn.iki.rssi.ru](mailto:inick@irn.iki.rssi.ru)

## 2.6 Свечение O<sub>2</sub> на ночной стороне Венеры

В процессе исследования эмиссии кислорода O<sub>2</sub>(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>) на ночной стороне Венеры была разработана методика обработки спектрометрических данных с низким спектральным разрешением. Метод основан на моделировании синтетических спектров теплового излучения ночной стороны Венеры и исключении модельного спектра из экспериментального, измеренного изображающим спектрометром VIRTIS. Было обработано свыше 700 надирных изображений ночной стороны планеты (данные за 3 года наблюдений), полученные данные использовались для построения усредненного распределения эмиссии кислорода на ночной стороне Венеры (рис.).



**Рисунок 1.** Распределение эмиссии кислорода  $O_2(a^1\Delta_g)$  по ночной стороне Венеры (слева) и соответствующее число сеансов наблюдений VIRTIS-M (справа).

При обработке данных, был выявлен ряд неточностей в спектральных изображениях, установленные неточности были устранены посредством дополнительных калибровочных процедур.

Полученная карта распределения эмиссии кислорода на ночной стороне Венеры была использована для анализа характера циркуляции на высоте эмиссии  $\sim 100$  км. Динамика на анализируемых высотах имеет достаточно сложный характер, хотя видно значительное влияние циркуляции SSAS (от подсолнечной к антисолнечной точке) на общую картину.

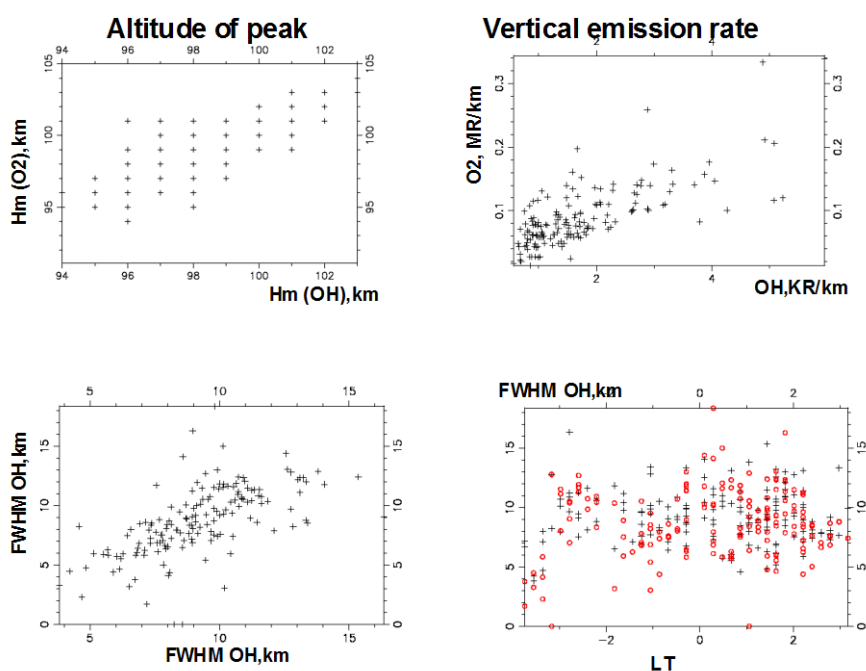
Были систематизированы результаты анализа эмиссии кислорода на ночной стороне Венеры, полученные с использованием лимбовых изображений спектрометра VIRTIS. Полученные средние значения интенсивностей эмиссии по лимбовым ( $0.45 \pm 0.36$  МРл) и по надирным ( $0.35 \pm 0.30$  МРл) данным спектрометра совпадают в пределах ошибок.

Анализ вертикальных профилей распределения эмиссии кислорода позволил выявить широтные зависимости для интенсивности свечения и ширины профиля на половине максимума. Кроме того, была выявлена пропорциональная зависимость интенсивности свечения кислорода от высоты максимума эмиссии.

А.В. Шакун, [avshakun@irn.iki.rssi.ru](mailto:avshakun@irn.iki.rssi.ru)

## 2.7 Свечение ОН на ночной стороне Венеры

Изучение параметров вертикального распределения эмиссий ОН и  $O_2$  показало корреляцию между интенсивностью, высотой пика излучения, шириной пика эмиссий ОН и  $O_2$  с коэффициентом корреляции около 0.7, что говорит о генетической связи этих излучений.



## 2.8 Прибор «ИОАВ-2» миссии «Венера-13» (1982 г.)

Восстановление оптических параметров облаков Венеры из данных измерений АМС "Венера-13"

Богдан Майоров, [Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru](mailto:Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru)

–Мельникова И.Н., Майоров Б.С. "Восстановление оптических параметров облаков Венеры из данных измерений АМС "Венера-13"" // *Восьмая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Сборник тезисов конференции. 15-19 ноября 2010 г., г. Москва. Институт космических исследований РАН / Москва. ИКИ РАН. 2010 г.*

## 3 МЕРКУРИЙ

### 3.1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТЫ МЕРКУРИЙ.

Заканчивается время, когда значительная часть поверхности Меркурия оставалась неизвестной, даже после аппарата MARINER 10 (рис. 1). В марте 2011 г. аппарат MESSENGER должен выйти на орбиту ИС Меркурия. Работами, проведенными в 1999-2010 гг. по результатам наземных астрономических наблюдений были получены изображения Меркурия в секторе долгот  $280^{\circ}\text{W}$  –  $360^{\circ}$ – $10^{\circ}\text{W}$ . В 2010 г. подводились итоги этих исследований. Сдана в печать статья, где представлены изображения полусферы Меркурия в секторах долгот  $90$ – $180^{\circ}\text{W}$ ,  $215$ –

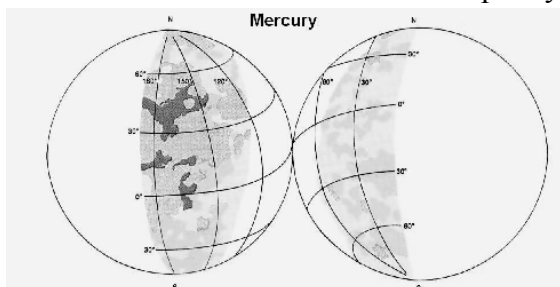


Рис. 1 350°W и 50–90°W, включающих, в числе других, районы, не охваченные съемкой с космических аппаратов.

В ходе работы исследовались наиболее интересные и доступные наблюдениям объекты. Возможно, что удалось обнаружить еще один (кроме Бассейна S) сравнительно большой объект такого рода, с размерами до 700 км и с центром у  $25^{\circ}\text{S}$ ,  $330^{\circ}\text{W}$  (Ксанфомалити, 2008), хотя требуется подтверждение этих наблюдений. Как сообщалось ранее, в секторе долгот  $250$ – $290^{\circ}\text{W}$  был обнаружен гигантский Бассейн S, представляющий собой крупнейшее образование такого типа на планетах земной группы. У Меркурия сильно выражены эффекты фазы, из-за чего вид поверхности полностью изменяется с фазой планеты. Но выбор фазы при исследованиях с космических аппаратов ограничен орбитальными характеристиками миссии, поэтому наземные наблюдения планеты обеспечивают им важную поддержку.

Из-за эффекта оппозиции и высокой скорости орбитального движения, вид Меркурия

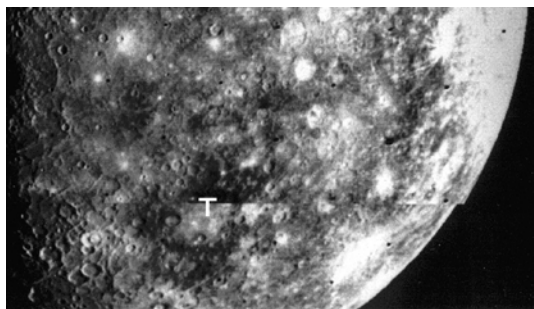
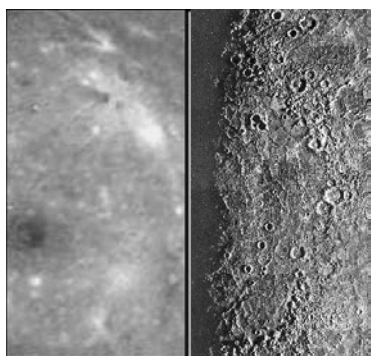


Рис. 2 390 км (отмечен буквой Т). Снимок составной, как можно заметить по горизонтальной линии, пересекающей кратер.

особенно быстро изменяется при прохождении квадратуры, причем вблизи квадратуры один и тот же район поверхности может выглядеть как темным, так и светлым. Так, на рис. 2 изображен снимок фрагмента поверхности Меркурия, сделанный аппаратом MARINER-10 в 1974 г. при наклонном солнечном освещении. На снимке представлен крупный кратер Толстой, диаметром

Из-за движения аппарата при съемке верхняя и нижняя части снимка по этой линии на лимбе (справа) не вполне совпадают. Хотя различия в фазовом угле из-за изменения положения аппарата составляли всего лишь несколько градусов, но этого оказалось достаточно, чтобы кратер был темным в верхней половине, но оставался светлым в

нижней. Еще нагляднее эффект различия фаз иллюстрирует рис 3, где представлен бассейн Caloris Planitia (Равнина Жары), справа – по съемке аппарата «Маринер-10» (1974), слева – по съемке аппарата «Мессенджер» (2008).



Геометрия снимка «Мессенджер» скорректирована и соответствует правой части изображения. Нетрудно видеть, что фазовые эффекты изменяют изображение до неузнаваемости. Рельеф, четко представленный на правом снимке, на левом отсутствует полностью. Разумеется, после выхода «Мессенджера» на орбиту спутника планеты в 2011 г. любые фазы станут доступными, но для этого понадобится длительная работа. Наземные наблюдения предоставляют полную свободу выбора фазы планеты, если, конечно, позволяют метеорологические условия. Разрешение

наилучших наземных снимков примерно соответствует снимкам с космического аппарата, сделанным с расстояния около 1 млн км (но, конечно, значительно уступают орбитальным снимкам с близких расстояний). В представленной в печать статье приводятся другие результаты систематических наземных наблюдений Меркурия.

Поскольку более ранние работы (1999-2003) выполнялись с помощью еще несовершенного программного обеспечения, было нелишним вернуться к старым данным и сравнить синтезированные изображения, где детали должны были быть видны (Меркурий), и где они не ожидалось (Венера). Такое сравнение показано на рис. 4. Как известно, контрастность деталей Венеры в ближнем инфракрасном диапазоне малозаметна (Ксанфомалити, 1986), поэтому по изображению рис. 4 можно судить о роли шумов в формировании деталей снимков. С другой стороны, рис. 4 может служить независимым подтверждением реальности крупных контрастных элементов. Разумеется, в дальнейшем зашумленность изображений была в значительной мере преодолена.

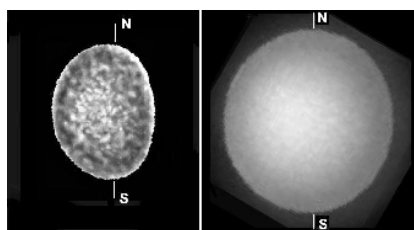


Рис. 4

В ряде случаев удалось успешно переобработать большие массивы электронных снимков, которые были отложены «до лучших времен». Так, при наблюдениях 2003 г. метеоусловия были не вполне удачными, но все же удалось получить около 100 электронных снимков. С тех пор программы обработки были значительно усовершенствованы. Результат новой обработки показан на рис. 5. Эффектно проявились детали, соответствующие низким пространственным частотам (протяженные темные и светлые области), хорошо проработана периферия изображения, появились «лучи» кратеров.

Различия оттенков на рис. 5 несколько подчеркнута, стали видны различия в альbedo протяженных районов. Но разрешение в деталях едва достигает 1/90, хотя изображение более естественно и кажется более «подробным». Таким образом, в результате выполненной заново обработки данных 2003 г. получено вполне приемлимое изображение Меркурия для еще одного неисследованного сектора Меркурия (рис. 5).

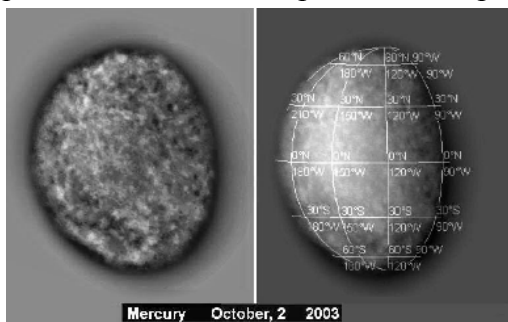


Рис. 5

наблюдениях Меркурия.

Помимо двух докладов, представленных на международных конференциях 2010 г., в печать сдана новая статья о наземных астрономических



– Ksanfomality L. *Large dark areas in northern hemisphere of Mercury centered at 295°W. European Planetary Science Congress 2010. Abstract ID EPSC2010-251. Rome, Italy, Sept. 2010.*

## 4 ТИТАН

### 4.1 Численное моделирование аэрозолей в атмосфере Титана

На основе методов дискретных диполей и Т-матрицы построены спектры и фазовые функции фрактальных аэрозольных частиц, содержащих до 3000 мономеров. На основе негидростатической трехмерной модели общей циркуляции атмосферы проведено численное моделирование распределение аэрозолей. Обнаружена зональная модуляция концентрации аэрозоля, вызванная воздействием планетарных волн на перенос пассивной примеси в атмосфере.

Работа финансируется РФФИ, грант 10-02-01260а

К.ф.-м.н. Родин А.В., [rodin@irn.iki.rssi.ru](mailto:rodin@irn.iki.rssi.ru), Ю.В.Скоров (Технический университет Брауншвайг, Германия), У.Келлер(Технический университет Брауншвайг, Германия))

– Yu. V. Skorov, H. U. Keller, and A. V. Rodin. *Optical properties of aerosols in Titan's atmosphere: large fluffy aggregates. Planet. Space Sci., 2010, doi:10.1016/j.pss.2010.08.002*

– Alexander V. Rodin, Igor Mingalev, Yury Skorov, Nadezda Evdokimova, Konstantin, Horst Uwe Keller. *GCM simulation of tholin aerosols in the Titan atmosphere. 38th COSPAR Scientific Assembly 2010, C31-0041-10 (poster)*

## 5 РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

### 5.1 Химия ударных процессов

#### 5.1.1 Оценка температурных условий образования HASP- и GASP-стекел лунного реголита

При ударном кратерообразовании на лунной поверхности происходили процессы высокотемпературного плавления пород, испарения расплавов и конденсации силикатного пара. Признаки глубокой испарительной дифференциации расплавов описаны в так называемых HASP (High-Alumina-Silica-Poor)-стеклах лунного реголита. Многочисленные объекты конденсационного происхождения были найдены в реголитовой брекчии Apollo-14. Они получили название GASP (Gas-Associated-Spheroidal-Precipitate)-стекел. По химическим особенностям, а именно, по содержанию FeO и SiO<sub>2</sub>, GASP-стекла были разделены на богатые железом FeGASP- и богатые кремнеземом SiGASP-конденсаты. Опираясь на экспериментальные данные по испарению образца глиноземистого базальта 68415,40 из сборов Apollo-16 и рассчитанные составы остаточного расплава и комплементарного пара при различных температурах, мы провели сравнение полученных составов с данными химического анализа HASP-стекел и GASP-конденсатов. Цель сравнения экспериментальных и природных данных состояла в оценке температуры образования HASP- и GASP-стекел. Результаты сравнения показали, что составы HASP-стекел и GASP-конденсатов хорошо согласуются с составами, полученными в ходе равновесного эксперимента. Основываясь на экспериментальных данных, оценка температурного интервала испарения HASP-стекел составляет ~1750–1870°C. Температурный интервал конденсации с учетом эффекта переохлаждения пара для FeGASP-стекел составляет ~1700–1500°C, а для SiGASP-стекел температуры конденсации не превышают 1700–1750°C. В статье также обсуждаются вопросы установления межфазового термодинамического равновесия при разлете облака пара и расплава, вопросы возможного переохлаждения пара при его конденсации и влияния кривизны поверхности расплавных и конденсатных частиц на характер испарения и конденсации.

– Яковлев О.И., Герасимов М.В., Диков Ю.П. *Оценка температурных условий образования HASP- и GASP-стекел лунного реголита // Геохимия. 2011. № 3.*

### 5.1.2 Состав и условия образования конденсатных продуктов на Луне

Приведены экспериментальные данные по испарению лунного базальта, которые были использованы для оценок температур конденсатов лунного реголита. Эксперимент по испарению был выполнен эффузионным методом Кнудсена в сочетании с масс-спектрометрическим анализом паровой фазы. Экспериментально определялись равновесные параметры (температура, парциальные давления компонентов) системы расплав-пар в широком диапазоне температур (до  $\sim 2500^\circ\text{C}$ ). В ходе эксперимента при измерении величин парциальных давлений компонентов определялся состав равновесного пара над расплавом при данной температуре и в данный момент эксперимента. На базе проведенных измерений были рассчитаны скорости испарения отдельных компонентов расплава, что, в свою очередь, позволило рассчитать составы остаточных расплавов и комплементарных паров при различных температурах. Как показал масс-спектрометрический анализ, испарение расплава происходит при диссоциации окисных компонентов. В парах присутствовали металлизированные формы – K, Na, Fe, Mg, Ca, Al, субокислы и окислы – SiO, TiO, TiO<sub>2</sub>, AlO, Al<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, а также кислород в атомной и молекулярной формах. Данные эксперимента позволили выделить принципиально разные по генезису и температуре образования конденсаты лунного реголита. Конденсаты, которые оседали на поверхности минеральных частиц, образовались из пара с температурой  $>1850^\circ\text{C}$ . Соприкосновение минерала и пара в неоднородном по температуре и по составу ударно-взрывном облаке приводило к закалке и фиксации состава пара, находящегося в непосредственном окружении минерала.

–Яковлев О.И., Герасимов М.В., Диков Ю.П. Состав и условия образования конденсатных продуктов на Луне // 11-ая Международная конференция «Физико-химические петрофизические исследования в науках о Земле». Москва. 2010. с. 302-305.

–Яковлев О.И., Герасимов М.В., Диков Ю.П. Условия образования плёночных конденсатов на поверхности частиц лунного реголита // Геохимия (принята к печати в 2010 г.).

–Яковлев О.И., Герасимов М.В., Диков Ю.П. Составы лунных конденсатов и условия их образования // XVI Российское совещание по экспериментальной минералогии. Тезисы докладов. Черногловка. 2010. ИЭМ РАН. С. 291-293.

### 5.1.3 Высокотемпературное термодинамическое исследование изменения состава конденсированной фазы вещества CAI при испарении

В работе исследовались испарительные изменения состава расплавов в системе CaO–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–FeO–SiO<sub>2</sub> в интервале температур 1600–2300К. Исследование базировались на экспериментальных и термодинамических данных. Из него следует, что на первой стадии испарения расплавы теряют MgO и смещаются в область, близкую к составу геленита Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>SiO<sub>7</sub>. Затем из состава образовавшегося расплава системы CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> удаляется SiO<sub>2</sub>. На последней стадии происходит испарение расплава системы CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с резким уменьшением содержания CaO вплоть до состава, соответствующего корунду. Сопоставление результатов теоретического расчета эволюции состава расплава с экспериментальными данными, найденными масс-спектрометрическим эффузионным методом Кнудсена, показывает их удовлетворительное соответствие.

–Шорников С.И., Яковлев О.И. Высокотемпературное термодинамическое исследование изменения состава конденсированной фазы вещества CAI при испарении // XVI Российское совещание по экспериментальной минералогии. Тезисы докладов. Черногловка. 2010. ИЭМ РАН. С. 288-291.

–S.I. Shornikov, O.I. Yakovlev. A study of CAI melt composition changing during evaporation // LPSC. 41. 2010. (Abstracts). Houston. USA. CD-ROM. # 1408.

### 5.1.4 Восстановления железа и других сидерофильных элементов в условиях Луны

Рассмотрены причины восстановления железа и других сидерофильных элементов в условиях Луны. Нанометрические формы железа обычно присутствуют в матрице конденсатов на поверхности минеральных частиц лунного реголита. Возможны три типа реакций восстановления железа: 1) прямое термовосстановление в высокотемпературном ударном процессе; 2) диспропорционирование закисной формы железа при том же

ударном процессе; 3) реакции с веществами восстановителями – углерод, водород и др. Экспериментальные данные по термовосстановлению железа показали, что не смотря на кратковременность процесса образования металла, частицы железа успевают растворить заметное количество никеля (несколько процентов) и кобальта ( 0.5 процента).

– *Gerasimov M.V., Dikov Yu.P., Yakovlev O.I. The effect of reduction of elements of their dynamic during an impact // European Planetary Science Congress. vol. 5. 2010. Rome. Abstract. EPSC2010-63.*

К. ф.-м. н. Герасимов М.В, [mgerasim@mx.iki.rssi.ru](mailto:mgerasim@mx.iki.rssi.ru)

## **5.2 Лабораторное моделирование метеоритных ударов при помощи мощного лазера на фосфатном стекле**

Проведена серия экспериментов по моделированию сверхскоростных метеоритных ударов на мощной лазерной установке «Сатурн» с энергией импульса 10 Дж и длительностью 30 нс. Выстрелы проводились по зернам оливина в образце авачита (Камчатка). Исследована морфология пленки толщиной 50 А, осажденной на Ni фольгу из факела выброса, её элементный состав. Обнаружено присутствие в пленке конденсата как нуль-валентного железа, так и восстановленных форм Si<sup>0</sup>.

К.ф.-м.н. Родин А.В., [rodin@irn.iki.rssi.ru](mailto:rodin@irn.iki.rssi.ru), М.В.Герасимов, О.И.Яковлев, Н.А.Евдокимова, А.Г.Леонов (МФТИ), М.М.Пергамент (МФТИ), Е.С.Егоров, А.Ю.Климчук, М.И.Пергамент, А.Ю.Гольцов (ТРИНИТИ)

## **6 ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ**

### **6.1 Исследования экзопланет в астрономических наблюдениях**

Физику экзопланет, как и физику их родительских звезд, можно рассматривать как одну из наиболее быстро растущих отраслей астрофизики за последнее десятилетие, когда было открыто около 500 внесолнечных планет. Характеристики экзопланет можно получить только хорошо скоординированными междисциплинарными исследованиями, объединяющими планетные науки, солнечно-звездную физику и астрофизику. В 2010 г. опубликован обзор, где представлено сообщение о текущем статусе исследований экзопланет и их родительских звезд, основанный на надежных исследовательских проектах наземного и космического базирования, и перспективах исследований ближайших лет. (Список публикаций ниже).

Исследования экзопланет в астрономических наблюдениях:

В 2010 г. к.ф.-м.н. К. Антонюком на телескопе АЗТ-11 НИИ КрАО с помощью пятиканального фотометра-поляриметра в рамках программы исследований экзопланет были получены следующие наблюдательные данные:

по объекту HD149026 - 33 наблюдательных сета, по 51Peg - 43, по HD189733 - 3 сета. По двум последним объектам наблюдения интенсивно продолжаются.

По HD149026 наблюдения обработаны, проводится анализ данных. Каждый сет включает не менее 1.5 часов наблюдений (чаще всего - больше).

Получены оценки параметров поляризации в UBVR<sub>I</sub> - полосах для всех сетов. Достигнута точность не хуже 0,02% для 51Peg и 0,03% для HD149026 в красных полосах.

По результатам наблюдений скорректирована программа наблюдений: при условии достижения предельной для данного телескопа и прибора точности (0,01) необходимо исключить из программы объекты слабее 8,5 зв. вел.

Помимо наблюдения программных объектов проводились наблюдения поляриметрических стандартов. Для каждого месяца получены свои константы с точностью не хуже 0,01% во всем диапазоне.

Д.ф.-м.н., Ксанфомалити Л.В., [ksanf@iki.rssi.ru](mailto:ksanf@iki.rssi.ru), 333-23-22

–Л. В. Ксанфомалити, В. И. Шематович. Симпозиум “Наблюдения, характеристики и эволюция обитаемых экзопланет и их родительских звезд”, Австрия, Грац-Колдорф, 29 ноября–1 декабря 2009 г. Астроном. Вестн., 2010, том 44, № 4, с. 1–4

–Н. Lammer,...L. Ksanfomality et al. (41 автор). Наблюдения, проекты и развитие исследований экзопланет и их родительских звезд: состояние проблемы. *Астрономический вестник*, 2010. т. 44, №4, с. 314-336.

–L.V. Ksanfomality. *The Solar System, Planetary Systems of Stars, and Sequential Accretion Theory*. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel*, 2010, V. 26, No. 4, pp. 84–106

–"The atmosphere of the exoplanet GJ 1214b» (*Атмосфера экзопланеты GJ 1214b*, доклад E15-0014-10), Л.В. Ксанфомалити. *38ая Научная Ассамблея КОСПАР*, 07, 2010. Бремен, Германия.

–"Looking for a habitable planet" (*Поиск обитаемых планет*, доклад B06-0003-10), Л.В. Ксанфомалити *38ая Научная Ассамблея КОСПАР*, 07, 2010. Бремен, Германия.

–"Diffraction camera for hunting up the microorganisms' traces on Europa" (*Дифракционная камера для поиска микроорганизмов на Европе*, доклад F36-0012-10). Л.В. Ксанфомалити. *38ая Научная Ассамблея КОСПАР*, 07, 2010. Бремен, Германия.

–*Water saturated atmosphere of the exoplanet GJ 1214b*

L.Ksanfomality, H. Lammer. *ESF* (Вена, апрель 2010, докладчик H. Lammer).

–*Possible emergence and evolution of life on an Earth-like planet: natural restrictions* L. Ksanfomality, H.Lammer. *European Planetary Science Congress 2010 Angelicum Centre – Pontifical University of Saint Thomas Aquinas 19 – 25 September 2010, Rome, Italy OEA4: Stars, Planets and Habitability*.

–*Looking for a habitable planet*. L.V.Ksanfomality *COSPAR 38, Bremen (2010) ID 5481*.

–*Low atmosphere of the exoplanet GJ 1214b: saturated water vapor*

–L. Ksanfomality, H. Lammer. *Pushchino, September 2010 Astrobiology симпозиум*.

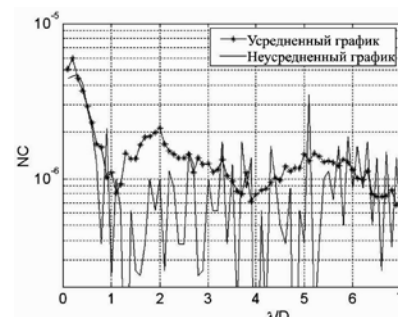
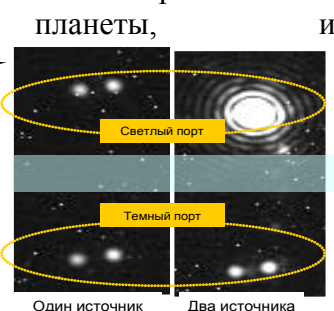
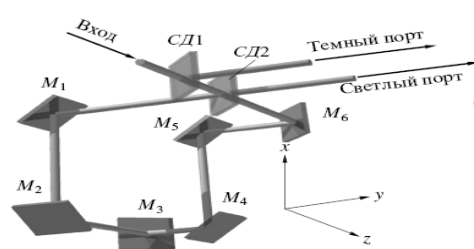
## 6.2 Ахроматическая интерференционная коронография экзопланет

Задачей оптической звездной коронографии является наблюдение и изучение экзопланет – несолнечных планет. Научные задачи звездной коронографии планет должны ответить на следующие вопросы: Сколько планет вокруг звезды? Какие механизмы формирования и эволюции планет? Какие основные физические параметры планет: масса, размер, состав? Что на поверхности планет: скалы, атмосферы? Есть ли свидетельства жизни на других планетах, ... разумной жизни?

Звездный коронограф размещают после телескопа с угловым разрешением, оптически разделяющим звезду и планету. На длине волны 1 мкм телескоп с диаметром зеркала 1 м разрешит 1 А. Е. (астрономическую единицу) – расстояние от Земли до Солнца, удаленные на 5 парсеков (3,2616 св. лет). Непосредственное наблюдение экзопланет Земного типа требует космического базирования *ахроматического* звездного коронографа, совмещенного с телескопом 0.8-1.5 м. На Земле существующие системы адаптивной оптики технически не позволяют достичь дифракционного разрешения телескопа из-за турбулентного экрана атмосферы.

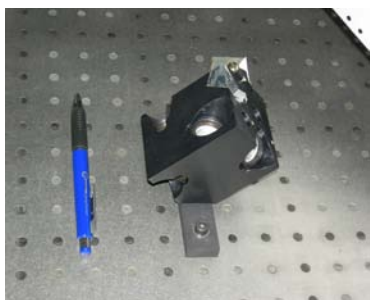
Разработан ахроматический интерференционный коронограф по схеме механически стабильного интерферометра общего пути, где изображение планеты и его копия приобретают ахроматический фазовый сдвиг на 180 градусов и интерферируют в противофазе. Ахроматический фазовый сдвиг обусловлен геометрической фазой в схеме трехмерного интерферометра. Процесс интерференции пространственно разделяет темное (коронографическое) и светлое (некоронографическое) поля изображения звезды, перенаправляя их по разные стороны светоделителя.

изображение

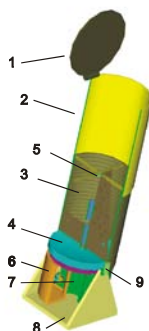


перенаправляет его с равной интенсивностью по обе стороны светоделителя. Экспериментально показано ослабление фонового сигнала на шесть порядков.

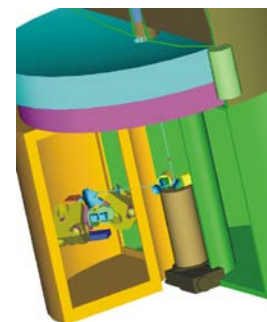
Ахроматический интерференционный коронограф включен в состав комплекса научной аппаратуры телескопа «Планетного мониторинга» (ПМ) с диаметром главного зеркала  $\varnothing$  600 мм, запланированного в «Долгосрочной программе научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС» и учреждение Российской академии наук Институт Космических Исследований РАН (ИКИ РАН) является постановщиком космического эксперимента «Мониторинг переменных явлений с борта международной космической станции (Планетный Мониторинг-ПМ)». Для обеспечения необходимой точности наведения телескопа разрабатывается дополнительная система динамической коррекции оси визирования.



Действующий макет коронографа



Секции телескопа «ПМ»



Расположение коронографа

Д. т. н. Тавров А. В., [tavrov@iki.rssi.ru](mailto:tavrov@iki.rssi.ru)

## 7 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 7.1 Исследование механизмов рассеяния света в зависимости от свойств среды

За последнее десятилетие в разработке теории рассеяния света морфологически сложными объектами достигнут значительный прогресс, что расширяет возможности корректной интерпретации фотометрических и поляриметрических наблюдений. Особенно это касается области обратного рассеяния, где наблюдаются оппозиционные эффекты в яркости и поляризации. Хотя уравнения переноса излучения и слабой локализации (когерентного обратного рассеяния) строго выполняются только для разреженных сред, результаты численно точных компьютерных решений уравнений Максвелла для макроскопического объема, заполненного случайно расположенными частицами, показывают, что область их применения может быть шире. В частности, корректная интерпретация наблюдений возможна при плотности упаковки частиц в среде, достигающей 20-30%. Предложенное недавно приближенное решение проблемы когерентного обратного рассеяния позволило объяснить интересные эффекты в спектрах спутников Сатурна. В плотноупакованных средах могут наблюдаться эффекты, невозможные в разреженных средах и обусловленные вкладом ближнего поля. Для вычисления характеристик отраженного излучения такой средой не достаточно решить уравнения переноса и слабой локализации, даже записанные без ограничения дальней зоны. Исследование влияния взаимодействия частиц в ближнем поле пока возможно только для ограниченных ансамблей частиц. Оно показывает, что значительное увеличение плотности упаковки существенно образом изменяет фазовые функции интенсивности и поляризации в области обратного рассеяния. Это позволяет по форме измеренных фазовых кривых судить о плотности упаковки частиц среды и их поглощательных свойствах. Однако задача количественной интерпретации измерений излучения, отраженного плотноупакованной средой, в терминах размеров частиц, их показателя преломления и плотности упаковки пока не решена.

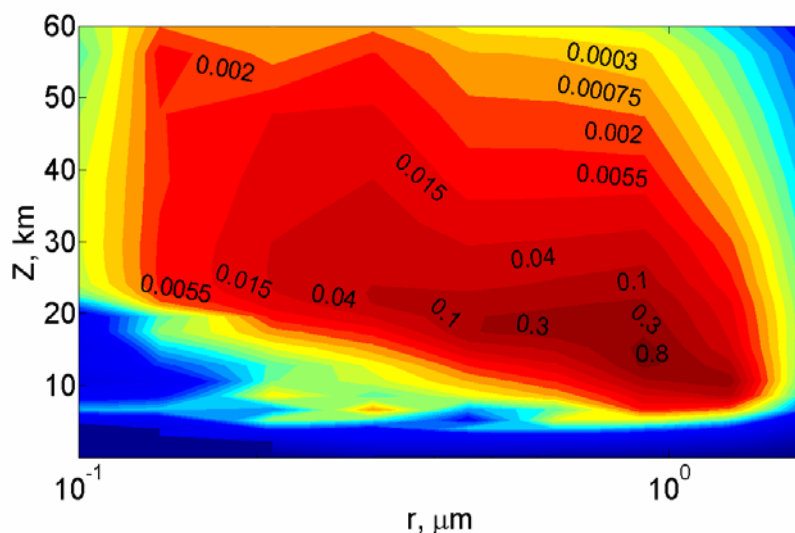
К.ф.-м.н. Петрова Е.В , [epetrova@iki.rssi.ru](mailto:epetrova@iki.rssi.ru)

– *Рассеяние света морфологически сложными объектами и оппозиционные эффекты (обзор) Е. В. Петрова, В. П. Тишковец - принято к печати в Астрон.вестнике (окт. 2010)*

## 7.2 Численное моделирование планетных атмосфер

### 7.2.1 Микрофизика облаков в атмосфере Марса

Построена и модель конденсационных облаков в атмосфере Марса на основе полунейвной гибридной сеточно-моментной схемы. Модель воспроизводит двухмодовый состав водяных облаков в атмосфере Марса, включая основную моду (1-2 мкм) и высотную фракцию (0.2-0.3 мкм), а также выпадение утреннего тумана в приповерхностном слое атмосферы. Разработана и применена к конденсационным облакам одномерная модель вертикального переноса пассивной примеси в приближении дробной диффузии, учитывающем перенос вихрями различных масштабов и глобальной системой циркуляции.



Распределение ледяных частиц по высоте и размерам (ppm/мкм) по результатам моделирования.

Бурлаков А., [burlakov.alex@gmail.com](mailto:burlakov.alex@gmail.com), к.ф.-м.н. Родин А.В., [rodin@im.iki.rssi.ru](mailto:rodin@im.iki.rssi.ru)

– *Бурлаков А.В., А.В.Родин , Одномерная численная модель кинетики формирования облаков H<sub>2</sub>O в атмосфере Марса. Астрономический вестник, в печати*

– *Бурлаков А.В., А.В.Родин "Одномерная микрофизическая модель конденсационных облаков в атмосфере Марса", Восьмая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН, 15 – 19 ноября 2010 г.*

– *Burlakov A.V., Rodin A.V. A one-dimensional numerical model of H<sub>2</sub>O cloud formation in Martian atmosphere EPSC Abstracts, Vol. 5, EPSC2010-332, 2010. European Planetary Science Congress 2010*

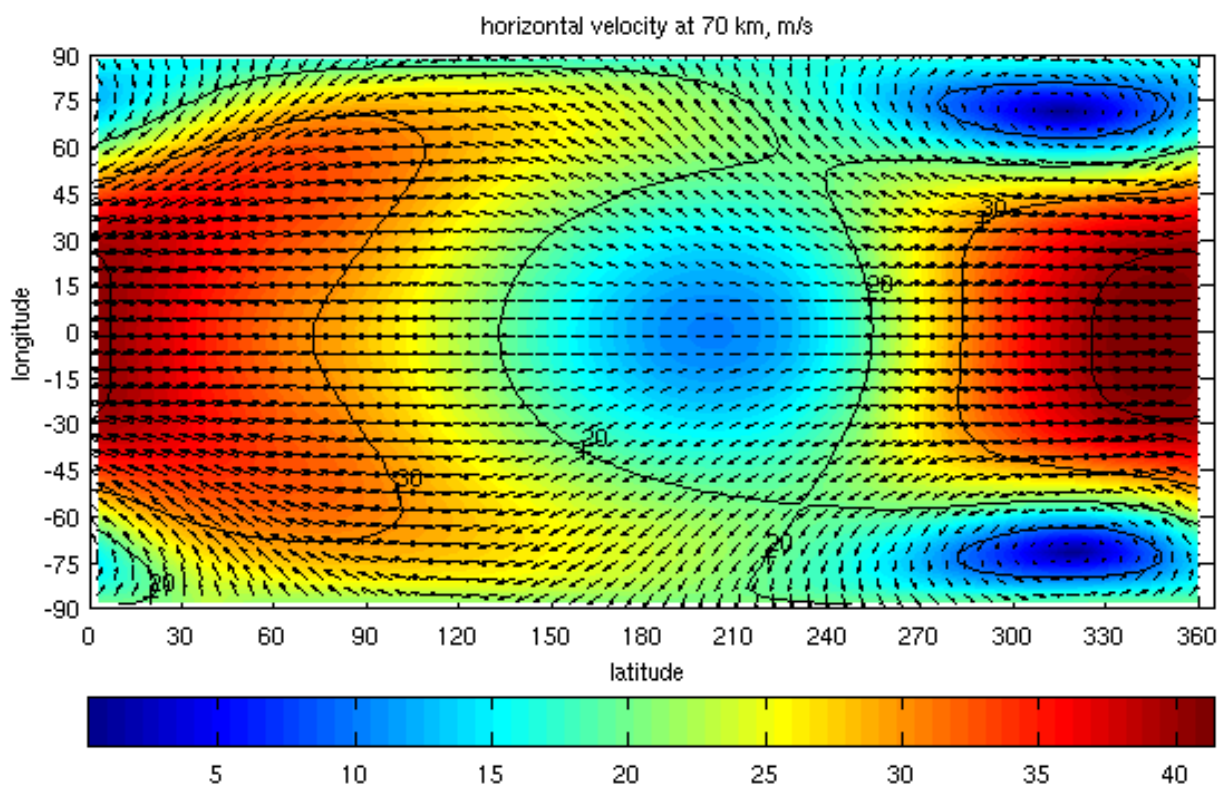
– *Alexander V. Rodin, Alexey Burlakov, Nadezda Evdokimova, Anna Fedorova, Ruslan Kuzmin, R. John Wilson, The role of stationary and transient atmospheric waves in the Martian water cycle, 38th COSPAR Scientific Assembly 2010, C31-0017-10 (Oral)*

### 7.2.2 Моделирование переноса излучения и общей циркуляции атмосферы Венеры

Проведено моделирование начальной стадии формирования суперротации и системы полярных вихрей в атмосфере Венеры на основе негидростатической модели общей

циркуляции. Расчеты проводились методом гибридных вычислений с использованием графических ускорителей NVIDIA, получено ускорение более чем в 100 раз по отношению к одному ядру центрального процессора.

Исследовано поведение далекого крыла спектральных линий поглощения CO<sub>2</sub> в атмосфере Венеры в диапазоне коротковолновых окон прозрачности (1-1.7 мкм), высказаны предположения о возможных причинах отклонения теоретического поведения крыльев от наблюдаемого. Введены коррекции в модель интерференции вращательных состояний с целью повышения точности построения синтетических спектров атмосферы Венеры.



Горизонтальная скорость ветра (м/с) в атмосферы Венеры на высоте 70 км по результатам негидростатической модели общей циркуляции. Заметны вихри на долготе 290°-350°.

Работа финансируется РФФИ, грант 10-02-01260a

к.ф.-м.н. Родин А.В., [rodin@irn.iki.rssi.ru](mailto:rodin@irn.iki.rssi.ru), И.В.Мингалев, К.Г.Орлов (ПГИ КНЦ РАН), А.А.Федорова, С.Стефани (ИНАФ, Италия)

—Rodin A.V., I.V.Mingalev, K.G.Orlov. Numerical simulation of the initial stage of superrotation development in the Venus atmosphere with the non-hydrostatic general circulation model. *Icarus*, представлено в печать

—B. Bézard, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A. Rodin, O. Korablev Modeling of the 1.10- and 1.18- $\mu$ m nightside windows observed by SPICAV-IR aboard Venus Express. *International Venus Conference, Aussois 2010 Aussois (France), 20 — 26 June 2010.* [http://lesia.obspm.fr/venus2010/IMG/pdf/10-05\\_Bezard.pdf](http://lesia.obspm.fr/venus2010/IMG/pdf/10-05_Bezard.pdf)

–A.V.Rodin, A.A.Fedorova, S.Stefani, N.Ignatiev, M.Snels, G.Piccioni, and P.Drossart *CO2 absorption in the far wings of rovibrational bands: implications for Venus nightside observations. International Venus Conference, Aussois 2010 Aussois (France), 20 – 26 June 2010. [http://lesia.obspm.fr/venus2010/IMG/pdf/09-02\\_Rodin.pdf](http://lesia.obspm.fr/venus2010/IMG/pdf/09-02_Rodin.pdf).*

–A.V.Rodin, A.Fedorova, S.Stefani, N.Ignatiev, M.Snels, G.Piccioni, and P.Drossart *CO2 absorption in the far wings of rovibrational bands under Venus conditions. 2010 VEXAG International Workshop, Venus, Our Closest Earth-like Planet: From Surface to Thermosphere - How does it Work? Madison, Wisconsin, USA, 30 August - 2 September 2010, Abstract summaries, p.10.*

–Stefania Stefani, Giuseppe Piccioni, Marcel Snels, Alexander V. Rodin, Nikolay Ignatiev, Alberto Adriani. *Optical properties of CO2 under extreme conditions: measured and simulated data. 38th COSPAR Scientific Assembly 2010, B08-0021-10 (poster)*