

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 523.2 523.4 523.6

Номер государственной регистрации 0120.0 602993

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института космических исследований
Российской академии наук
академик РАН



Л.М. Зелёный

« » 2016 г.

м.п.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Исследование атмосфер и поверхностей планет

Тема ПЛАНЕТА

0028-2014-0004

Научный руководитель
академик РАН





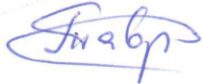



Л.М. Зелёный

« » 2016 г.

Москва

2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Наименования разделов:	Ответственные исполнители разделов темы:	
Раздел 1: Марс		Кораблёв О.И. зав. отд., д.ф.-м.н.
Раздел 2: Венера		Засова Л.В. зав. лаб., д.ф.-м.н.
Раздел 3: Ранняя эволюция планетных тел		Герасимов М.В. зав. лаб. к.ф.-м.н.
Раздел 4: Малые тела		Захаров А.В. учёный секретарь, д.ф.-м.н.
Раздел 5: Внесолнечные планетные системы		Тавров А.В. зав. лаб., д.т.н.
Раздел 6: Теоретические исследования		Петросян А.С. зав. сект. д.ф.-м.н.
Раздел 7: Луна		Митрофанов И.Г. зав. отд., д.ф.-м.н.
Раздел 8: Ядерная планетология		Митрофанов И.Г. зав. отд., д.ф.-м.н.

РЕФЕРАТ

Отчет 48 стр., 16 рис., 142 источника.

ПЛАНЕТЫ, ЛУНА, МАРС, ВЕНЕРА, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ЭКЗОПЛАНЕТЫ, ЯДЕРНАЯ ПЛАНЕТОЛОГИЯ, КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ, МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ, ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ, ЭВОЛЮЦИЯ КОМЕТНЫХ ЯДЕР, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАНЕТ И ИХ СПУТНИКОВ, ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ, КОМЕТА, МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
1 Раздел 1 Марс	7
2 Раздел 2 Венера	8
3 Раздел 3 Ранняя эволюция планетных тел.....	14
4 Раздел 4 Малые тела	18
5 Раздел 5 Внесолнечные планетные системы	19
6 Раздел 6 Теоретические исследования	21
7 Раздел 7 Луна	26
8 Раздел 8 Ядерная планетология	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32

ВВЕДЕНИЕ

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с государственным заданием ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ по следующим научным направлениям.

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 16, 71)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 79,80)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 21)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 16)

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03 декабря 2012 г., № 2237-р

п/п	Направление фундаментальных исследований	Номер направления в «Программе»
1	Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач	16
2	Современные проблемы физики плазмы, включая физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы её применения в технологических процессах	14
3	Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.	71
4	Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии.	80

5	Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества	79
6	Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.	21

Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел проводятся по теме 0028-2014-0004 ПЛАНЕТА

Тема 0028-2014-0004 ПЛАНЕТА является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2016г. по теме ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет

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 Водяной пар в средней атмосфере Марса в пылевую бурю 2007 года

Недавние наблюдения диссипации водородной короны Марса с космического телескопа им. Хаббла (HST) и КА Марс-Экспресс (Clarke et al., 2014; Chaffin et al., 2014) показали, что она может быть тесно связана с сезонным циклом водяного пара. В частности, быстрые изменения скорости диссипации водорода наблюдались в период глобальной пылевой бури на Марсе, что привело к предположению о присутствии значительного количества водяного пара на высотах более 70 км. Последующие наблюдения HST (Bhattacharyya et al., 2015) показали, что увеличение скорости диссипации происходит ежегодно в период прохождения планетой перигелия даже в отсутствие глобальной пылевой бури.

Прибор СПИКАМ ИК на КА Марс-Экспресс проводит измерения вертикального распределения водяного пара в полосе 1.38 мкм, а также свойств аэрозоля в средней атмосфере планеты методом солнечного просвечивания с 2004 г. В работе были получены вертикальные профили водяного пара в средней атмосфере Марса в период развития пылевой бури 28го марсианского года ($L_s=250-310^\circ$). СПИКАМ показал увеличение концентрации водяного пара на порядок величины на высотах 60-70 км в период с $L_s 268^\circ$ до $L_s 285^\circ$. В северное полушарие – широты $50-60^\circ N$ - концентрации увеличились с $<10^{10} \text{ см}^{-3}$ до $8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ на 70 км, с $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ на 60 км. В Южное полушарие – широты $50-60^\circ S$ - концентрации увеличились с $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ до $6-8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ на 70 км, с $0.5-1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ до $1.5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ на 60 км. Эти результаты подтверждают присутствие значительного количества водяного пара на высотах более 60 км в период глобальной пылевой бури.

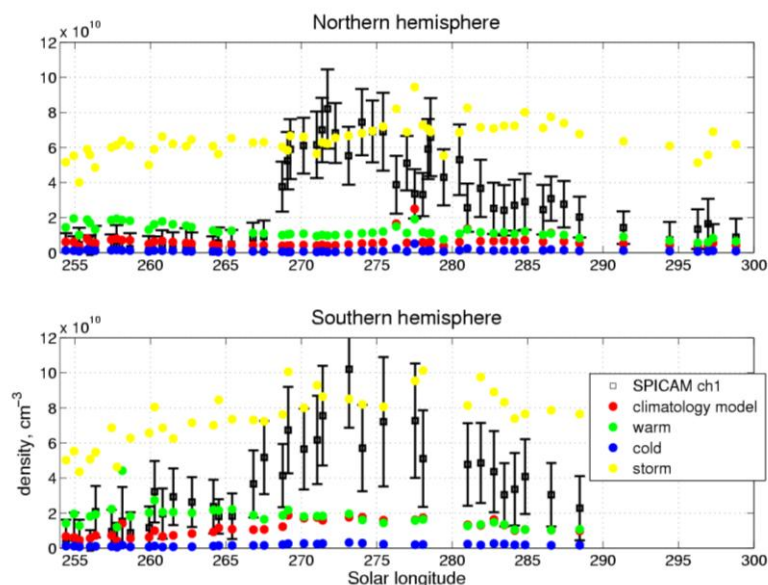


Рисунок. Зависимость концентрации водяного пара от L_s во время глобальной пылевой бури 2007 г. для обоих полушарий. Цветом отмечены результаты модели общей

циркуляции Марса лаб.LMD MCD 5.2 (Millour et al., 2015) для разных вариантов пылевого сценария

2 ВЕНЕРА

2.1 Исследование распределения малых составляющих мезосферы Венеры

В 2016 году были проведены исследования содержания двуокиси серы (SO_2) на ночной стороне Венеры в области высот мезопаузы-криосферы (85-110 км). Исследование проводилось на основе орбитальных измерений УФ спектрометра SPICAV аппарата «Венера-Экспресс» в режиме звездного просвечивания и солнечного просвечиваний. Набрана полная статистика наблюдений за все время эксперимента – с 2006 по 2014 годы. Получена карта ночного распределения содержания SO_2 в области мезопаузы (90-100 км) (Рис. 1).

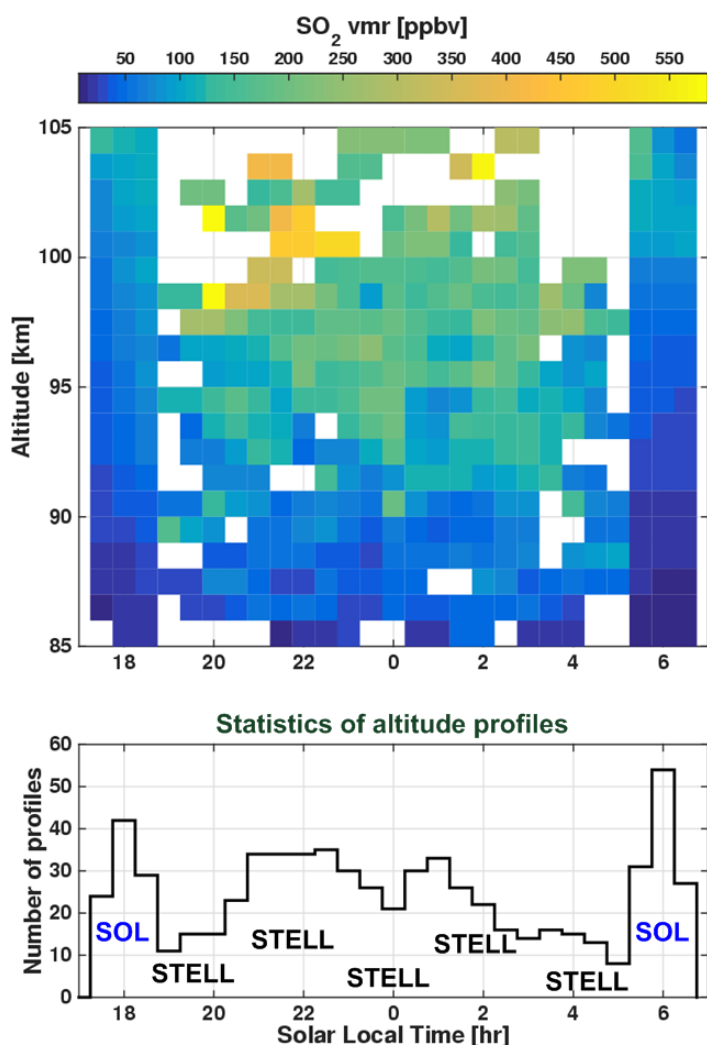


Рисунок 1. Карта ночного распределения содержания SO_2 в области мезопаузы (90-100 км) по данным солнечного (SOL) и звездного (STELL) просвечивания SPICAV

2.2 Исследование свойств аэрозолей надоблачной дымки Венеры по данным СПИКАВ ИК на борту КА «Венера-Экспресс»

В 2016 г. был проведен анализ данных, полученных прибором СПИКАВ ИК при проведении экспериментов по солнечному затмению на КА «Венера-Экспресс». Обработаны данные по 222 солнечным затмениям, выполненным с мая 2006 года по ноябрь 2014 года. Вертикальные профили аэрозольной экстинкции получены на 10 длинах волн на высотах от 70 до 95 км. Используя теорию рассеяния Ми, были восстановлены высотные профили размеров частиц и их счетной концентрации.

Из 43 профилей счетной концентрации были восстановлены значения шкалы высоты аэрозоля. Усредненное значение шкалы высоты равняется $3,6 \pm 0,7$ км, минимальное значение — ~ 2 км, максимальное — ~ 8 км. На основе полученных значений шкалы высоты аэрозоля был посчитан высотный профиль коэффициента турбулентной диффузии, который равен $5 \cdot 10^4$ cm^2/c на высоте 75 км и 10^6 cm^2/c на высоте 90 км. Полученные значения хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными с КА Венера 9 и 10 (Krasnopolsky, 1980), и значениями, которые используются в теоретических моделях (Krasnopolsky, 2012).

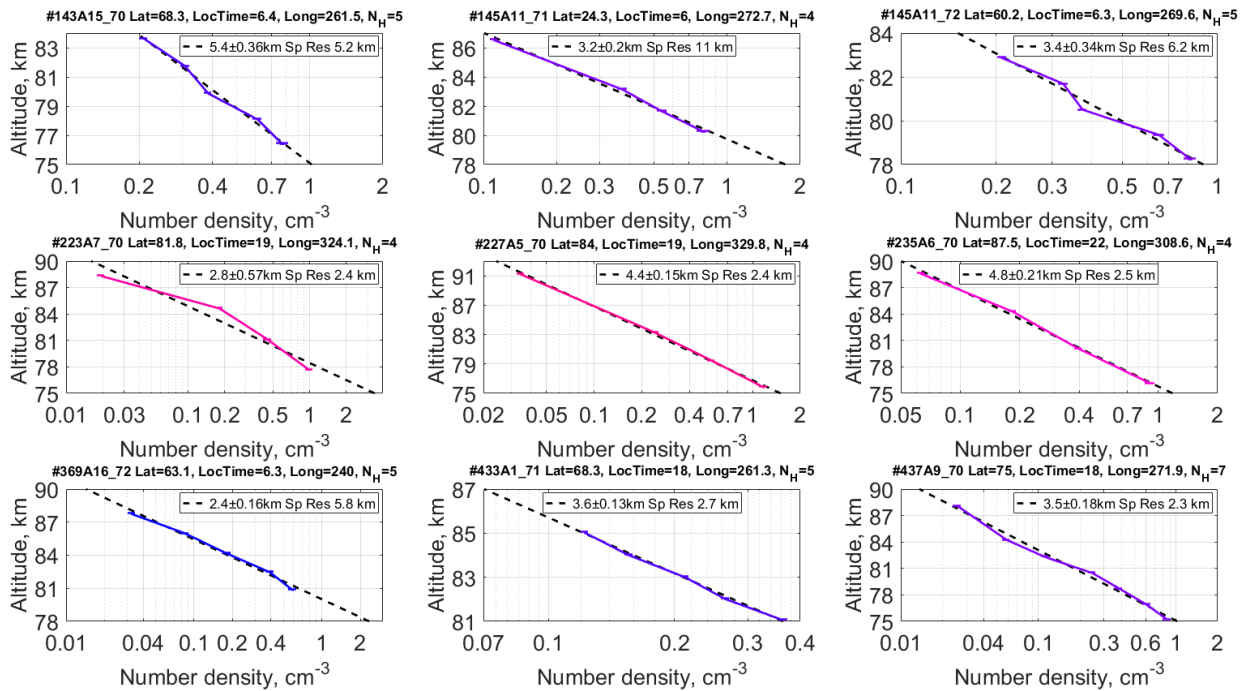


Рисунок. Примеры восстановленных профилей счетной концентрации и полученных из этих профилей шкал высот аэрозоля для 9 орбит.

В некоторых сеансах солнечных затмений наблюдался инверсионный слой в профилях оптической толщи, коэффициента ослабления и эффективного радиуса в диапазоне высот от 70 до 90 км, что указывает на наличие изолированного слоя дымки. В отдельных случаях инверсионный слой наблюдался на протяжении нескольких последовательных сеансов наблюдений, причем высота наблюдаемого слоя может как меняться, так и оставаться постоянной.

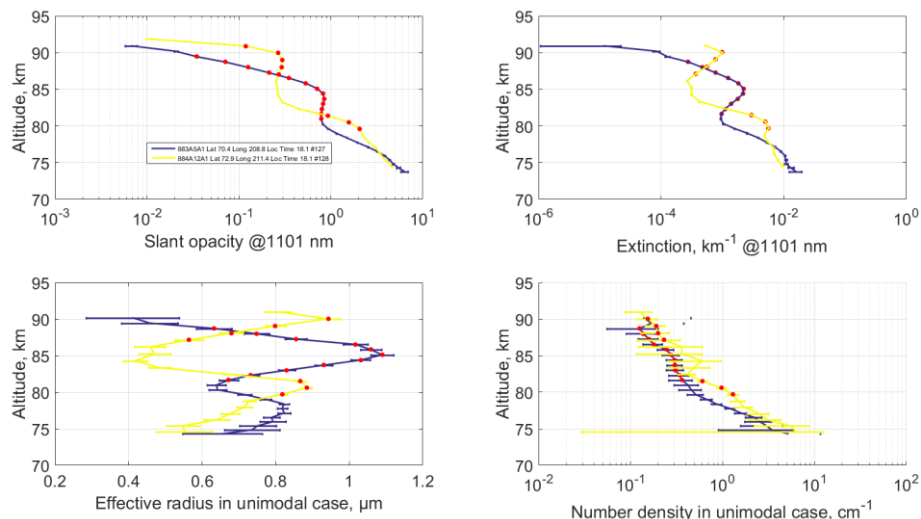


Рисунок. Высотные профили оптической толщи (левый верхний график), коэффициента ослабления на длине волны 1101 нм (правый верхний график), эффективного радиуса (левый нижний график) и счетной концентрации (правый нижний график) для орбит №883 и №884. Инверсионные слои сдвинуты по высоте, однако их форма осталась неизменной.

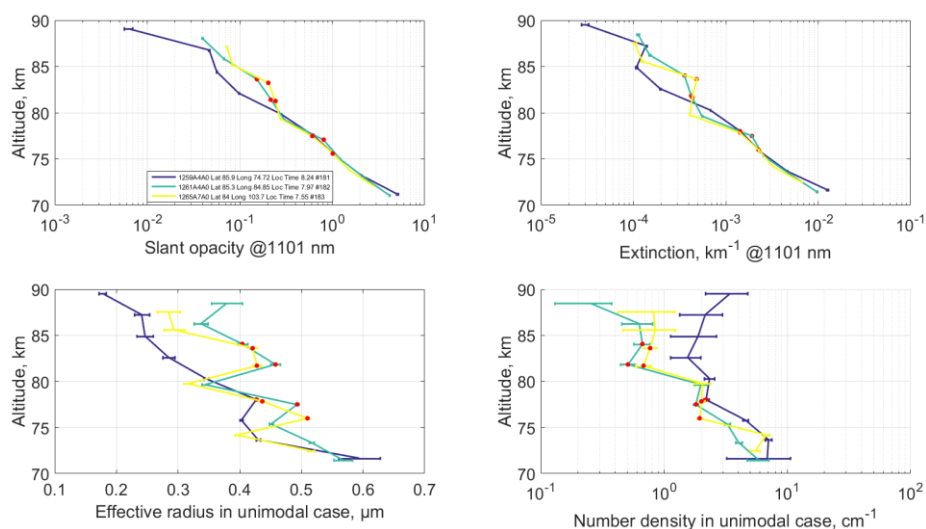


Рисунок. Высотные профили оптической толщи (левый верхний график), коэффициента ослабления на длине волны 1101 нм (правый верхний график), эффективного радиуса (левый нижний график) и счетной концентрации (правый нижний график) для орбит №1259, №1261 и №1265. Инверсионный слой для орбит №1261 и №1265 остался неизменным как по высоте, так и по форме.

2.3 Содержание водяного пара в средней атмосфере Венеры по данным СПИКАВ

Завершающий этап обработка данных надирных дневных наблюдений, полученных АОПФ спектрометром СПИКАВ на борту КА Венера-Экспресс в диапазоне 1.3-1.5 мкм, дал новые результаты. Измерения охватывает диапазон времени от апреля 2006 г. до ноября 2014 г. В работе ранее находилось относительное содержание водяного пара по полосе 1.38 мкм, его временные и пространственные вариация по огромному набору данных. Между тем, ранее не было четкой привязки к высотам формирования линий при разных условиях наблюдения, при том, что диапазон высот, к которым чувствительны измерения, был довольно широк, от 55 до 70 км. В этом году построены модели, позволившие определить эффективные высоты формирования линий для различных геометрий наблюдений. Было показано, что наблюдаемая долготная асимметрия водяного пара с максимумом 7-7,5 ppm в диапазоне долгот от -120° до 30° не коррелирует с высотой формирования линий и может отражать влияние топографии на долготное распределение малых составляющих в облачном слое (Bertaux et al., 2016). Кроме того, точная привязка к высоте для каждого восстановленного значения водяного пара позволила построить среднее вертикальное распределение H_2O в облачном слое Венеры.

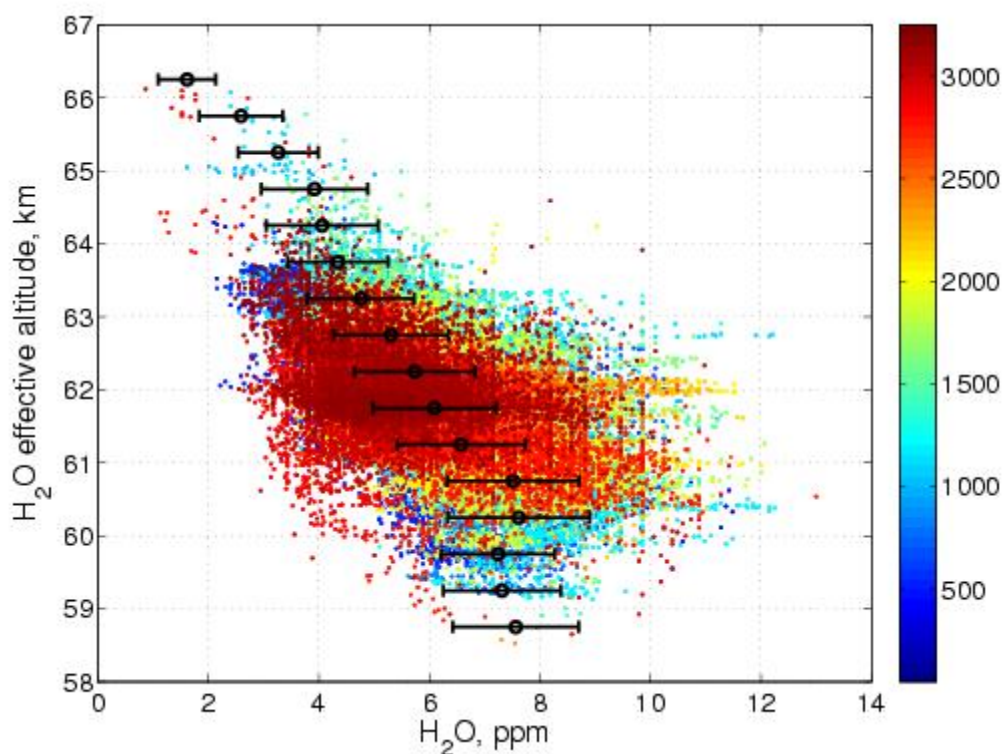


Рисунок. Относительное содержание H_2O к эффективной высоте формирования линий для всех надирных наблюдений СПИКАВ в 2006-2014гг. Средние значения (черные круги) для относительного содержания воды были вычислены при усреднение по 0.5 км высоты, ошибки – стандартное отклонение внутри бина. Цветом показан номер орбиты

2.4 Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков

Международный коллектив, возглавляемый Ж.-Л. Берто (LATMOS, Франция), в состав которого входили сотрудники ИКИ РАН (Хатунцев И.В., Пацаева М.В., Тюрин А.В., Федорова А.А.), обнаружил взаимосвязь между состоянием верхнего облачного слоя Венеры и рельефом подстилающей поверхности. Был проведен глубокий совместный анализ данных VMC и SPICAV, полученных с борта Venus Express.

Было установлено, что зональная компонента скорости горизонтального потока в Южном полушарии демонстрирует существенные вариации в зависимости от географической долготы Венеры и коррелирует с рельефом поверхности Земли Афродиты (Aphrodite Terra) (Рис.1а). В диапазоне широт 5° - 15° ю.ш. скорость меняется от 101 до 83 м/с. Замедление потока на 18% наблюдается над «материком» Земля Афродиты со смещением на 30 - 40° по долготе в сторону суперротации. Также в низких широтах к западу от Земли Афродиты наблюдается темный шлейф в УФ (365 нм) альбедо (Рис.1б), свидетельствующий о влиянии 4.5-километровой возвышенности на вертикальный перенос УФ поглотителя. И наконец, в той же области наблюдается избыток содержания водяного пара H_2O (Рис.1с).

Обнаруженный эффект был интерпретирован как результат проявления стационарных гравитационных волн, возникающих при столкновении горизонтального потока с горными возвышенностями Земли Афродиты.

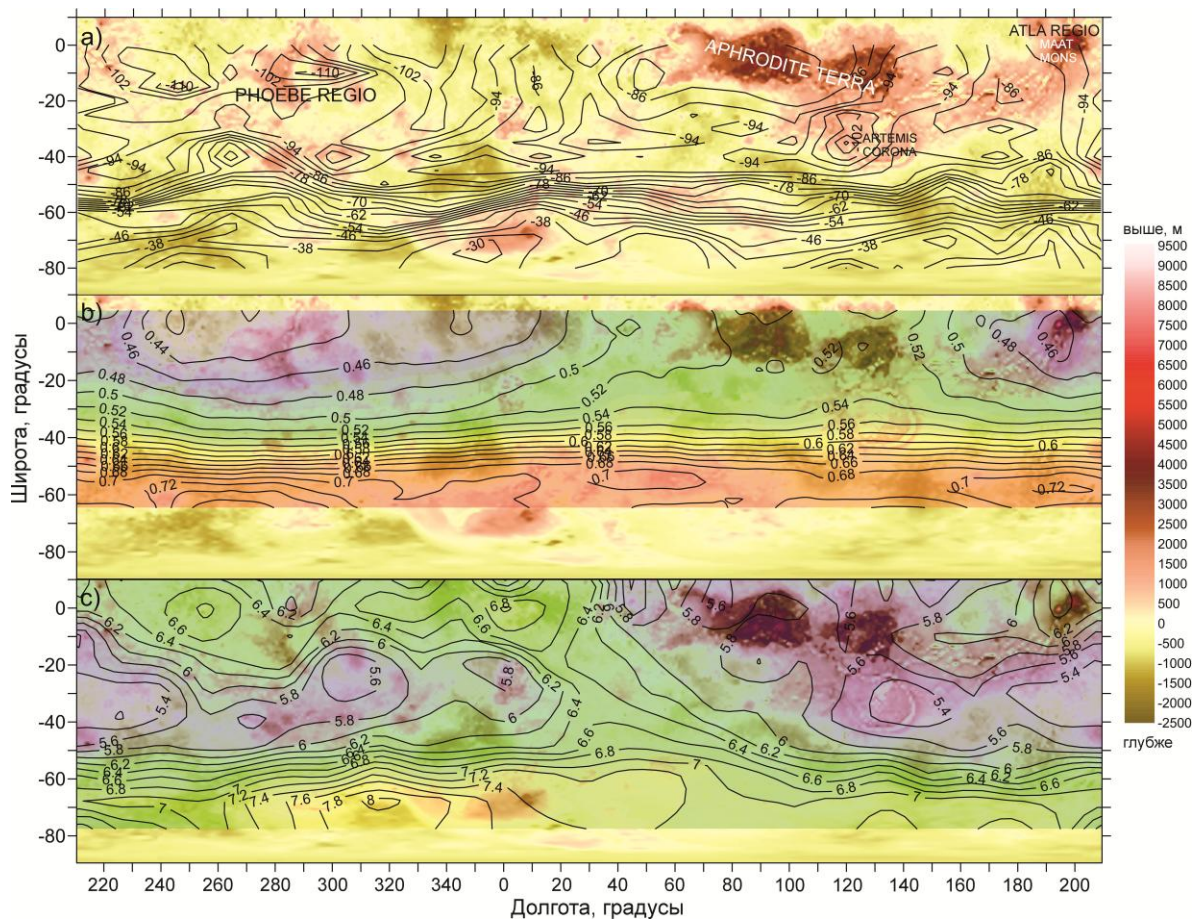


Рисунок 1. Топографическая карта Венеры с наложенными данными: а – распределение скорости зональной компоненты горизонтального потока для измерений с местным временем от 12 до 13 часов (карта скоростей смещена на 35° на восток), б – распределение УФ альbedo (365 нм), с – содержание H₂O

2.5 Циркуляция внутри облачного слоя Венеры по результатам многолетних наблюдений VMC в ближнем ИК диапазоне с борта Venus Express

Были собраны данные по циркуляции атмосферы Венеры внутри облачного слоя (55±4 км) после обработки изображений, полученных камерой VMC в ближнем ИК диапазоне (965нм) за период с декабря 2006г. по март 2010г.

Уровень контрастности изображений в ближнем ИК диапазоне значительно ниже, чем в УФ, и не превышает 4%. По этой причине использовать необработанные ИК изображения для оценки скорости ветра крайне затруднительно. Для усиления контрастности деталей облачного покрова был разработан специальный алгоритм на основе двумерной вейвлет-фильтрации. После усиления контрастности ИК изображения стало возможным использовать для оценки скорости смещения деталей облачного покрова в автоматизированном режиме. Соответствующее программное обеспечение было разработано для УФ изображений и адаптировано для ИК изображений. В итоге было обработано 150 орбит, полученных с декабря 2006 по март 2010 гг. и покрывающих наблюдениями все южное полушарие Венеры, и получить более 32000 единичных векторов смещения. Полученные вектора смещения позволили построить двумерные (широта-долгота (Рисунок 2) и широта-местное время) поля скоростей горизонтального потока в глубине облачного слоя.

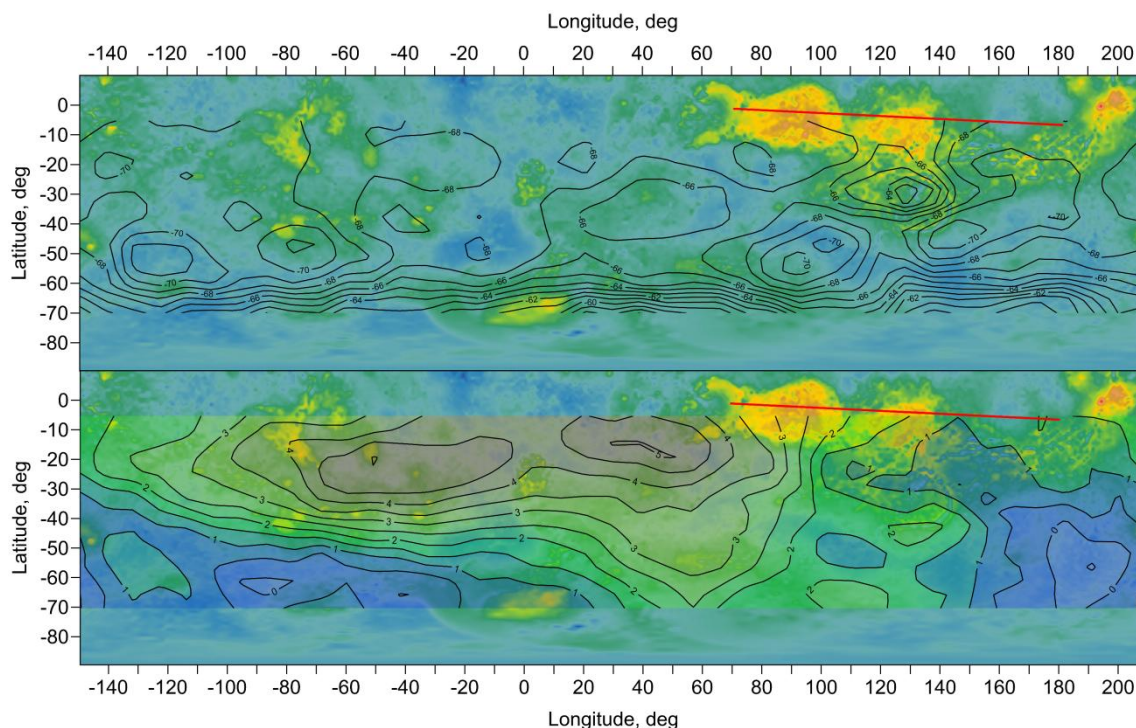


Рисунок 2. Зональная (вверху) и меридиональная (внизу) компоненты скорости горизонтального потока на высоте 55 ± 4 км, наложенные на альтиметрическую карту поверхности Венеры, полученную по данным Magellan. Красной линией представлена траектория движения баллона ВЕГА-2

Построен средний широтный профиль скорости. В низких широтах ($5\text{--}65^\circ$ ю.ш.) скорость зонального потока составляет $68\text{--}70$ м/с. Положительный знак меридиональной компоненты скорости свидетельствует о направлении потока от полюсу к экватору. Максимум меридионального потока, $+5.8 \pm 1.2$ м/с, наблюдается на широте 15° ю.ш., а затем скорость медленно падает до нуля вблизи $65\text{--}70^\circ$ ю.ш. Высота наблюдаемого слоя в ИК диапазоне 965 нм на дневной стороне составляет 55 ± 4 км. Как зональная, так и меридиональная компоненты скорости демонстрируют слабую зависимость от местного времени. Диапазон изменения средней зональной скорости на широте максимума, 15° ю.ш., составляет от 68.7 до 70.6 м/с, меридиональной компоненты от 4.6 до 6.2 м/с. На интервале 1200 суток были обнаружены долговременные вариации скорости зонального и меридионального потока. В низких широтах, $20^\circ \pm 5^\circ$ ю.ш., зональная компонента демонстрирует рост абсолютной величины скорости от -67.18 ± 1.81 м/с до -77.30 ± 2.49 м/с, меридиональная компонента почти линейно растет на протяжении всего периода наблюдений from $+1.30 \pm 1.82$ м/с до $+8.53 \pm 2.14$ м/с. Вслед за Vertaux et al. (2016) мы интерпретируем наблюдаемый долговременный тренд зональной и меридиональной компонент скорости селективностью данных по топографической долготе и влиянием рельефа подстилающей поверхности на динамические процессы через гравитационные волны. Особенно заметное влияние на циркуляцию на высотах 55 ± 4 км оказывают Земля Афродиты (Aphrodite Terra) и область Атлы (Atla Regio) (Рисунок 2).

Результаты хорошо согласуются с данными, полученными с баллона ВЕГА-2. Баллон ВЕГА-2 отклонился на 500 км к экватору во время своего 47-часового полета на высоте 53 км. Для сравнения на Рисунок 2 схематически представлена траектория баллона ВЕГА-2 (красная линия). Средняя зональная скорость баллона составила -66 ± 1.9 м/с, средняя меридиональная - $+2.5 \pm 1.2$ м/с. По данным VMC средние скорости вблизи Земли Афродиты составляют -67.5 ± 1.5 м/с для зональной компоненты и $+2.0 \pm 1.5$ м/с для меридиональной.

2.6 Распределение кислорода на ночной стороне по надирным и лимбовым измерениям инфракрасного канала М прибора VIRTIS (КА «Венера-Экспресс»)

Кислород в атмосфере Венеры формируется на дневной стороне на больших высотах благодаря фотодиссоциации CO_2 и переносится атмосферной циркуляцией на ночную сторону. Свечение на длине волны 1.27 мкм происходит в результате перехода O_2 из возбужденного электронного состояния $a^1\Delta_g$ в основное состояние $X^3\Sigma^-_g$. Таким образом, свечение является важным индикатором режима циркуляции атмосферы на высотах 90-100 км.

В данной работе рассматривается распределение кислорода на ночной стороне по надирным (южное полушарие) и лимбовым (северное полушарие) измерениям инфракрасного канала М прибора VIRTIS (КА «Венера-Экспресс»).

После обработки 867 кубов данных (718 в надирной моде и 149 в лимбовой) был проведён следующий анализ:

- Сравнение свечения между северным и южным полушарием
- Изменение свечения с течением времени
- Сравнение с топографией поверхности Венеры
- Сравнение с картами распределения скоростей ветра
- Анализ появления двойных пиков (в вертикальном профиле) свечения кислорода

Полученная усреднённая карта распределения свечения O_2 указывает на сложный характер циркуляции в этой переходной области атмосферы. Максимум усреднённого свечения приходится на антисолнечную точку, что указывает на доминирование SS-AS (subsolar-antisolar) режима циркуляции. Тем не менее свечение имеет высокую вариативность, и максимум свечения на разных изображениях может оказываться как до, так и после полуночи по местному времени. Средняя интенсивность свечения до полуночи (0,43 МРл) превышает таковую после полуночи (0,26 МРл) - эффект, обратный тому, какой мог бы наблюдаться в случае присутствия на этих высотах зональной суперротации. На наблюдаемое явление может оказывать волновая активность с диагональным фронтом, что хорошо наблюдается по многим изображениям.

3 РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

3.1 Дана приближённая оценка качественного состава экзогенного ударно-генерированного органического вещества на поверхности ледяных спутников планет по результатам исследования органического вещества, содержащегося в углистых хондритах и продуктах модельного ударного преобразования углистых хондритов и их минеральных аналогов

Показано, что «экзогенное» ударно-генерированное органическое вещество на поверхности ледяных спутников планет может состоять из различных углеводов (алифатических и ароматических, включая полициклические и алкилароматические углеводороды), кислородсодержащих (карбоновых кислот), серосодержащих (тиофена, алкил- и бензотиофенов), азотсодержащих (амидов, нитрилов, гетероциклов, относительно простых белковых и небелковых аминокислот, содержащих 2-4 атома углерода и т.д.) органических соединений (ОС) и высокомолекулярного органического вещества. Для успешной интерпретации результатов космических экспериментов *in situ* при определении принадлежности ОС к «эндогенному» (в т.ч. биологическому) источнику, необходимо создать базу данных, содержащую информацию об ОС «экзогенного» происхождения, в т.ч. об их изотопном составе, полученную в результате изучения продуктов модельного ударного преобразования метеоритов и их аналогов.

Главной целью планируемых миссий по исследованию ледяных спутников планет, таких как Ганимед и Европа, является поиск внеземной жизни, следы которой могут быть

определены при *in situ* анализе органики, присутствующей на поверхности данных космических объектов. Адекватная интерпретация результатов невозможна без принятия во внимание «экзогенных» ОС, которые могут быть представлены как неизменённым органическим веществом аккрецируемых астероидов и комет, так и органическим веществом, синтезируемым в результате ударных событий.

Нами изучен состав ОС, содержащихся в углистых хондритах Murchison (класса CM2), Каинсаз (класса CO3) и твёрдых конденсатах, полученных в результате модельного ударно-испарительного преобразования данных хондритов их минерального аналога - перидотита.

Условия высокотемпературного пара (4000-5000 К), возникающего при ударно-индуцированном испарении ударника и мишени (при скорости столкновения ~10-15 км/с) моделировали с помощью импульсного лазера на Nd стекле ($\lambda=1,06$ мкм, длительность импульса - 10^{-3} с, энергия ~ 600-700 Дж, плотность потока энергии ~ 10^6 - 10^7 Вт/см²).

Лазерное испарение метеоритов проводили в гелиевой и водородной атмосфере, испарение перидотита – в смесях азота и метана, содержащих 4 % об. (соответствует составу современной атмосферы Титана) и 50 % об. CH₄. Источником углерода для образования ОС в случае экспериментов с метеоритами было само метеоритное вещество, содержащее углерод как в органической, так и в неорганической форме, а в экспериментах с перидотитом – метан, входящий в состав модельных газовых атмосфер.

Метеориты, перидотит и их конденсаты исследовали с помощью пиролитической газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ПГХ/МС). Кроме того, конденсаты, полученные из перидотита, были подвергнуты экстракции при воздействии ультразвука органическими растворителями (смесью CH₂Cl₂ и CH₃OH) и водой для извлечения, соответственно, неполярных и полярных органических соединений. Экстракты упаривали и анализировали с помощью ГХ/МС: CH₂Cl₂-CH₃OH экстракты – напрямую, а водные экстракты – после полного удаления воды и дериватизации N-трет-бутилдиметилсилил-N-метилтрифторацетамидом (МТБСТФА). Дериватизацию применяли для получения летучих и термически стабильных производных органических веществ (главным образом аминокислот), прямой ГХ/МС-анализ которых невозможен вследствие их термолабильности.

Несмотря на экстремальные условия в облаке испарённого вещества (высокую температуру и давление, высокую концентрацию атомарного и молекулярного кислорода), в ударных процессах с участием углистых хондритов образуются разнообразные органические вещества (рис. 1). Это становится возможным вследствие протекания гетерогенно-каталитическим реакций на развитой поверхности силикатных частиц, конденсирующихся из парогазового облака, и вследствие того, что одновременно образующееся высокомолекулярное сажеобразное органическое вещество предохраняет синтезированное низкомолекулярные ОС от окисления и термодеструкции.

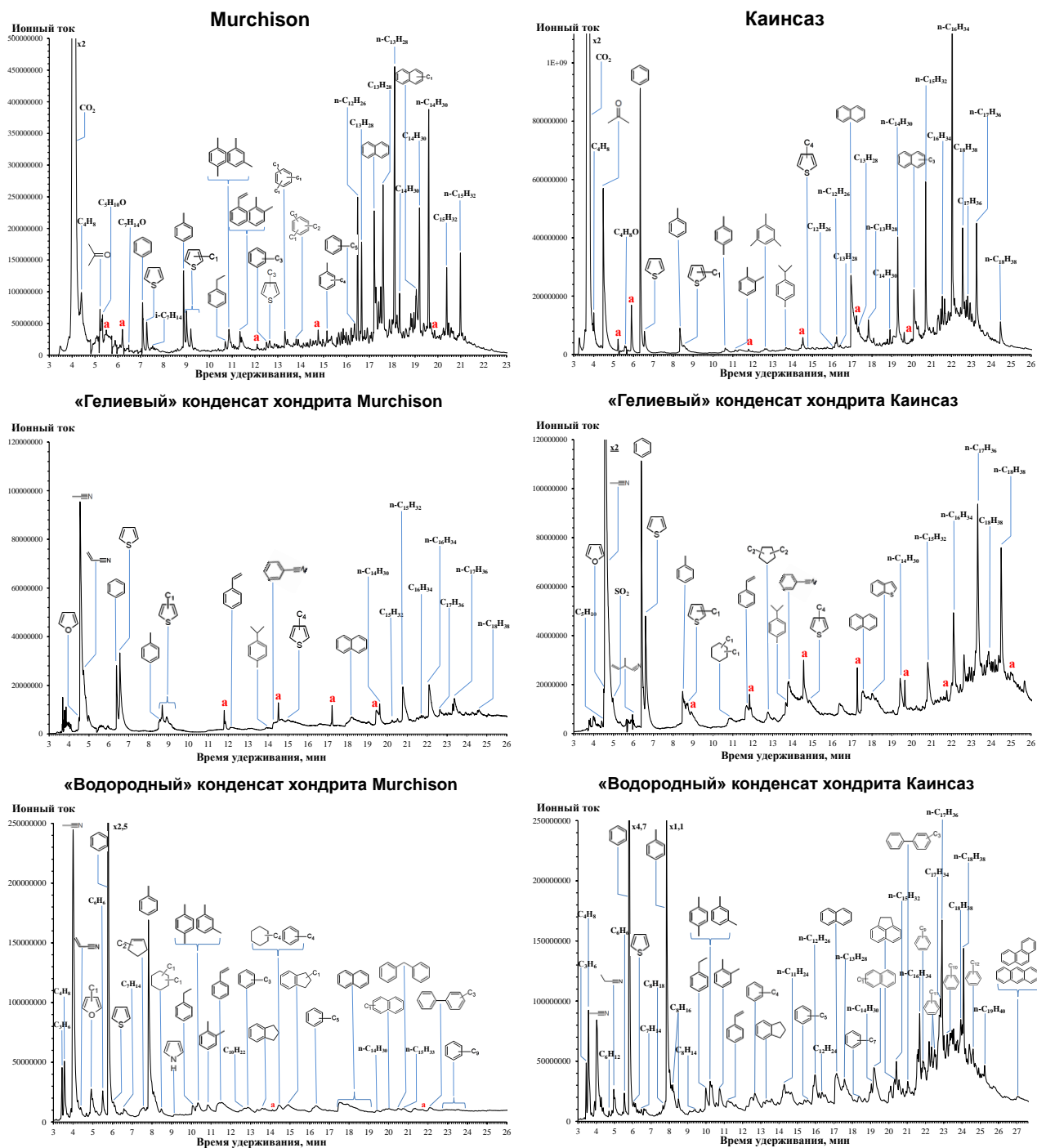


Рисунок 1. Хроматограммы продуктов пиролиза при 460°C углистых хондритов Murchison и Каинсаз и твёрдых конденсатов, полученных в результате лазерного испарения данных метеоритов в гелиевой и водородной атмосфере. «а» - артефакты.

Состав ударно-генерированных ОС определяется и компонентным составом астероида и составом газовой атмосферы, в которой происходит ударное событие. Чем более восстановленным (например, содержащим больше металлического железа) является вещество углистого астероида, тем богаче состав и выше количественное содержание органических продуктов ударно-индуцированного синтеза при сопоставим содержании углерода в составе астероидов. Синтез ОС происходит в различных условиях газовой атмосферы, однако, если окружающая атмосфера содержит «восстанавливающие» компоненты (например, водород), эффективность синтеза повышается, а синтезированные ОС лучше предохраняются от окисления в расширяющемся ударно-генерированном облаке.

Показано, что азотно-метановая атмосфера даже при малой концентрации метана способствует ударно-индуцируемому синтезу ОС в случае каменных ударников, не содержащих углерод. В частности, при лазерном испарении перидотита в атмосфере с 4% об. CH_4 зафиксировано образование не только углеводородов, но и аминокислот – глицина и аланина (рис. 2) – на уровне ppm и других азот- и кислородсодержащих ОС (мочевина, янтарной кислоты, и т.д.). При 50% метана выход ОС был заметно более высоким.

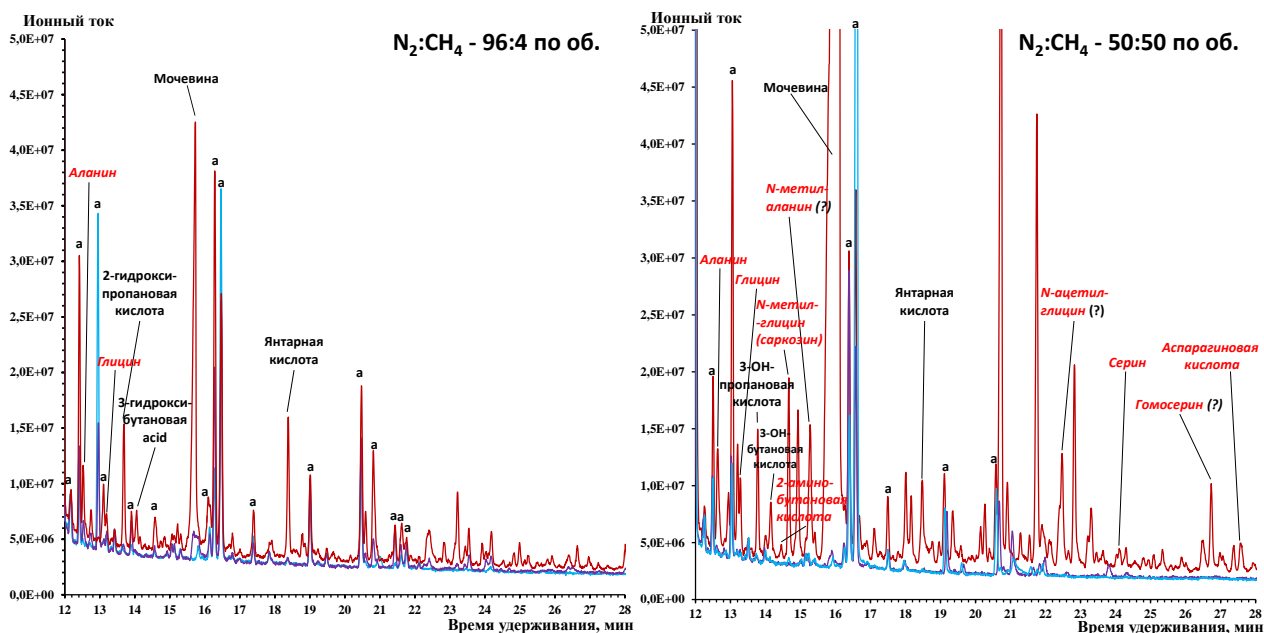


Рисунок 2. Хроматограммы трет-бутилдиметилсилильных производных ОС, выделенных при ультразвуковой экстракции водой 20 мг твёрдых конденсатов, полученных при лазерном испарении перидотита в газовых смесях азот-метан (96:4 и 50:50 по объёму). Основные хроматограммы показаны красным цветом, хроматограммы холостых опытов с перидотитом – фиолетовым, без образца – светло-синим. Названия аминокислот приведены красным шрифтом.

«?» - неуверенная идентификация;

«а» - артефакты.

3.2 Получены предварительные результаты моделирования двух-резервуарной модели мантии

Ядро земли было сформировано через 30 млн лет после формирования солнечной системы, в рассмотрении одностадийной сегрегации, или несколько позже, например, через 50 млн после формирования солнечной системы в случае непрерывной аккреции. Это накладывает ограничение на сроки формирования выделенного силикатного резервуара (DDP), - не ранее чем через 30 млн лет после формирования солнечной системы. DDP образуется как смесь базальтоподобного материала + небольшой вклад хондритового материала, облученного солнечным ветром (источник инертных газов и благородных металлов). Используя вышеуказанный временной предел и принимая DDP по массе соответствующим современному, переходная зона ядро-мантия $D'' \approx 2 \times 10^{26}$ г, тогда можно объяснить 2/3 разницы между значением $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в хондритовом и мантийном веществе.

Моделирование показывает, что ^{244}Pu - ^{238}U - ^{129}I -Xe-He-Ne систематика не очень чувствительна к временному интервалу формирования DDP в “разрешенных” пределах - от 30 млн. лет после формирования солнечной системы до ≈ 150 млн. лет, т. е. до времени, когда на поверхности земли появляется вода; “мокрая” поверхность земли должна препятствовать “сухой субдукции” смеси базальт&хондрит. Также довольно небольшой

массы материала DDP, $\approx 2 \times 10^{25}$ г, вполне достаточно для поддержания потока мантийной дегазации благородных газов в истории Земли.

4 МАЛЫЕ ТЕЛА

4.1 Исследование физико-механических свойств реголита кометных ядер на основе результатов миссий к кометам и астероидам. Исследования процессов эволюции кометных ядер

Непосредственное исследование кометных ядер, начатое 30 лет назад космическими аппаратами ВЕГА, показывает многообразие природы кометных тел, их атмосфер и областей их образования. Сравнение наиболее подробно исследованных комет, как комета 1P/Галлея и комета 67P/Чурюмова-Герасименко, указывает на существенные различия в их физико-химических свойствах, динамике и эволюции. Идея образования ядра из сталкивающихся тел не нова, но встречается с той трудностью, что энергия, выделяющаяся при столкновениях, скорее разрушает импакторы, чем их объединяет. Разумеется, в большинстве случаев именно такие разрушающие столкновения и происходили. Вероятность разрушения при столкновениях тел во время образования Солнечной системы была намного выше, чем их объединения, но среди бесчисленных первичных тел происходили и низкоскоростные столкновения.

Сталкивающимся тел было очень много, среди них встречались и такие, у которых скорости столкновений составляли единицы м с^{-1} , а импакторы могли объединяться без существенных разрушений, спрессовывая материал будущей шейки. Прямые столкновения тел с формой, близкой к сферической, могли привести к образованию гантелеобразных ядер комет (103P/Hartley-2, 19P/Borreli), что конечно, не противоречит происходящему их постепенному разрушению в узком сечении.

В ходе выполнения темы 8.1 было показано, что если геометрия и размеры шейки ядра известны, как у 67P/CG и 103P/Хартли 2, имеется возможность оценить относительные скорости импакторов, необходимых для её образования. Предварительные расчеты показали, что относительные скорости импакторов при гипотетическом объединении протоядер 67P/CG 103P/Хартли 2 и 1P/Галлея составляли:

у кометы 67P/CG $3\text{--}5 \text{ м с}^{-1}$,

у кометы 103P/Hartley-2 $67\text{--}80 \text{ м с}^{-1}$,

у кометы 1P/Halley $3.7\text{--}4.4 \text{ м с}^{-1}$.

Расчет осложняется тем, что за длительную историю эволюции ядра 67P/CG, значительная часть поверхности ядра, прежде всего – шейки, уже потеряна, а количественные характеристики потерь неизвестны. Поэтому к результатам расчетов следует относиться достаточно критически.

Более надёжными могут быть подобные оценки для кометы Галлея, где шейка менее деформирована, а обе половины ядра также выглядят разнородно.

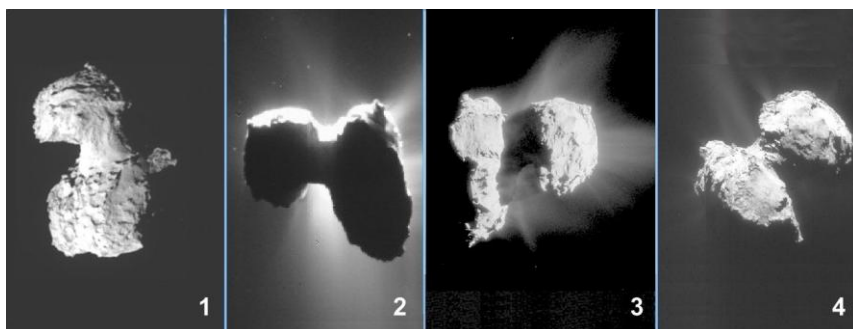


Рисунок 1. Ядро кометы 67P/CG в 4 положениях, показывающих вид шейки с разных сторон. Снимки сделаны камерой Navcam (copyright: ESA/Rosetta/Navcam – CC BY-SA IGO 3.0). Кадр 3 выделяется интенсивными газо-пылевыми выбросами. На всех снимках

шейка выглядит как звено, соединяющее 2 крупных тела, размерами около 2 и 4 км.

Снимки дополнительно обработаны

В случае кометного реголита при смятии происходит его уплотнение, от исходной плотности внешних слоёв, вероятно, менее 10 кг/м^3 , до уплотнения пустот, возможно до $(2-2.5) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Соответственно, в ходе уплотнения под действием энергии импактора E_0 давление p должно **возрастать**, как и площадь контакта σ , вплоть до остановки процесса смятия. Процесс объединения первичных тел должен происходить по-разному у тел малой и большой массы. У последних, даже при малых скоростях столкновения, рассеиваемая энергия настолько значительна, что контактная область должна полностью сминаться.

5 ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

5.1 Разработка методов звездной коронографии для изображения и исследования внесолнечных планет (экзопланет)

Сегодня достоверно существование более 3500 внесолнечных планет. Большинство из них обнаружено непрямыми методами. При этом прямое наблюдение экзопланет имеет ряд преимуществ перед косвенными методами, так как позволяет не только достоверно установить наличие планеты, но и получить больше информации о спектре ее атмосферы. Наблюдение экзопланеты земного типа в видимом диапазоне длин волн с помощью звездного коронографа требует достижения контраста от 10^{-9} до 10^{-10} . Этот контраст возможен при среднеквадратичной ошибке фазы волнового фронта $\lambda/10000$ и неоднородности по амплитуде 0,1%.

Сигнал, формируемый телескопом метрового класса и первым контуром адаптивной оптики, имеет фазовую ошибку (порядка $\lambda/500$ по СКО – среднеквадратичному отклонению). Прецизионная адаптивная оптическая система позволяет уменьшить эту ошибку до требуемых значений лишь на пределе технологических возможностей зарубежных деформируемых управляемых зеркал. Таким образом, для успешного применения звездной коронографии становится актуальным не только решение задачи по получению изображения слабоконтрастного объекта, но и поиск методов и средств коррекции волнового фронта, которые возможно реализовать в космическом телескопе.

В публикациях, решены две задачи: для коррекции волнового фронта предложен и промоделирован метод с применением существенно несбалансированного интерферометра (СНИ), а в части получения изображения слабоконтрастного объекта продолжена разработка и экспериментальная проработка метода ахроматического интерференционного коронографа общего пути с переменным вращательным сдвигом.

Результаты, представленные в работах, позволяют рассматривать предложенные методы как набор инструментов для решения задач исследования слабоконтрастных объектов, таких как протопланетные диски и планеты вокруг звезд, коричневые карлики, реликтовые H α -оболочки вокруг молодых звезд, планеты и астероиды Солнечной системы и их спутники; внегалактические объекты (галактики, окружающие квазары, ядра галактик, оптические джеты в центральных частях галактик).

5.2 Сравнительная планетология на примере связи Экзо-Венеры и Венеры Солнечной системы

Исследования планет Солнечной системы космическими средствами позволили значительно расширить поиск признаков жизни вне Земли. Спектроскопия в различных диапазонах, хроматография, биохимия, тепловая радиометрия и телевизионные изображения поверхности удаленных небесных тел дают такие возможности. Происхождение жизни на Земле и существование жизни за её пределами относится к фундаментальным темам науки. Авторы ряда исследований пытаются выйти за рамки известного. Журнал New Scientist опубликовал подборку «Жизнь без воды». Б.У. Джонс,

автор монографии «Жизнь в Солнечной системе и за её пределами» (Москва, МИР, 2007) пишет: «...наши подходы не следует строить слишком уж буквально на том варианте жизни, который существует на Земле, т.е. с участием РНК, ДНК и определенного набора белков, иначе мы рискуем пропустить другие возможности. Более того, следуя некоторым видам поиска, мы сумели бы, возможно, обнаружить жизнь, базирующуюся на совершенно ином химическом составе (например, без углерода и/или воды)» (стр. 88). Можно напомнить, что реакционная активность химических соединений резко возрастает с увеличением температуры, а именно экзопланеты с умеренно высокими температурами поверхности и атмосферы составляют основную часть экзопланет, обнаруженных у других звезд.

Д. Гнинспун с коллегами (NASA, США) пришли к выводу, что Венера в прошлом имела более благоприятные условия для жизни, аналогичной земной, и по их гипотезе первая жизнь в Солнечной системе зародилась именно там. Жизнь на Венере могла бы стать результатом отбора среди многообразных форм.

У большинства гипотетических живых объектов прослеживается несомненное сходство с видами земной флоры и фауны. Это их свойство получило название «Терраморфизм».

Черты терраморфизма у фауны и флоры другой планеты, если они подтвердятся, указывают на еще не известные науке общие закономерности живой природы, повторяющиеся при разных физических условиях, в том числе при физических условиях Венеры.

Наибольшее химическое разнообразие нестабильных, метастабильных и высокоэнергетических соединений проявляет азот. Недавно был выдвинут ряд гипотез о важной роли нестабильных полиазотных соединений для внеземной химии, в частности для планет с высокими давлениями (Goncharov *et al.*, 2015; Qian *et al.*, 2015). Подобные соединения могут быть основой для построения живых организмов на Венере.

Фотосинтез на Венере должен опираться на пока не известные биохимические механизмы. Независимо от конкретного типа фотосинтеза, действующего на поверхности Венеры, при температурах падающего T_1 и уходящего T_2 излучения, термодинамическая эффективность процесса ($\eta = (T_1 - T_2) / T_1$) должна быть несколько ниже земной, так как $T_2 = 290$ К для Земли и $T_2 = 735$ К для Венеры. Из-за сильного поглощения сине-фиолетовой части спектра в атмосфере, максимум солнечного излучения на Венере смещен к зелено-оранжевой области и согласно закону Вина соответствует более низкой эффективной температуре $T_1 = 4900$ К (у Земли $T_1 = 5770$ К).

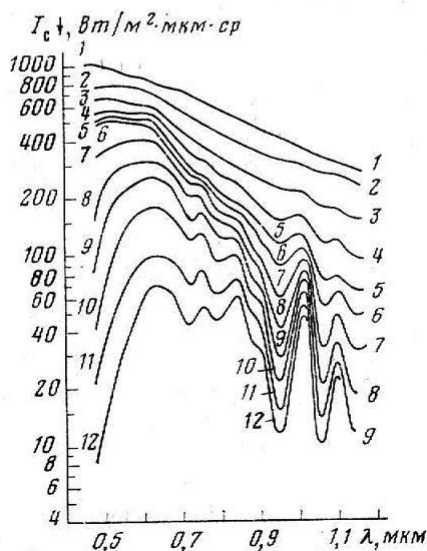
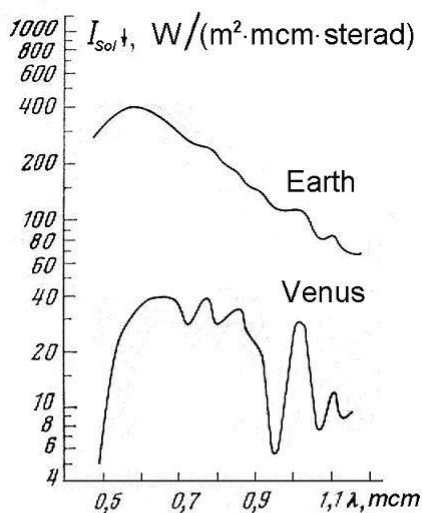


Рисунок. Спектры солнечной радиации на Земле и Венере

6 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1 Нелинейные волновые процессы в магнитоактивных атмосферах планет и звезд

Поведение различных звезд и планет описывается магнитной гидродинамикой тонких слоев планетных атмосфер со свободной границей в поле силы тяжести. Например, динамика атмосфер нейтронных звезд, захваченные приливами экзопланеты с магнитоактивными атмосферами. Для описания таких течений используется магнитогидродинамическое приближение мелкой воды и квазигеострофическое приближение в магнитной гидродинамике. В работе получены новые уравнения магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды описывающие течения тонкого слоя атмосферы (магнитной жидкости) со свободной границей, в однородном поле силы тяжести, во вращающейся системе отсчета, во внешнем вертикальном магнитном поле. Магнитогидродинамические уравнения мелкой воды получены из классических уравнений магнитной гидродинамики несжимаемой плазмы осреднением по высоте в предположении гидростатичности распределения давлений и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. Настоящая работа посвящена изучению слабонелинейных волновых взаимодействий в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды.

В линейном приближении система магнитогидродинамических уравнений мелкой воды имеет решения, описывающие магнитогравитационные (или волны Пуанкаре магнитной гидродинамики) волны и магнитогеострофические волны. Найдено, что в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды в нашем случае появляются дополнительные слагаемые, описывающие в линейном приближении два типа быстрых волн: волны магнито-Пуанкаре и магнитогеострофические волны. В работе осуществлено обобщение линейной теории магнитогидродинамических течений мелкой воды на случай волн конечной амплитуды в приближении слабой нелинейности и показано, что закон дисперсии линейных волн во внешнем вертикальном магнитном поле обеспечивает условия синхронизма, необходимые для нелинейных взаимодействий. В отсутствие же внешнего вертикального магнитного поля, исчезают магнитогеострофические волны и остаются только гравитационные волны Пуанкаре в гидродинамике нейтральной жидкости в поле силы тяжести со свободной границей.

Мы исследовали взаимное влияние волновых пакетов во вращающейся магнитной гидродинамике мелкой воды. Анализ вида дисперсионных соотношений для обоих мод показал, что возможны несколько видов трехволновых взаимодействий: три магнито-Пуанкаре волны, три магнитогеострофические волны, а также межмодовые взаимодействия: две магнито-Пуанкаре волны и магнитогеострофическая волна, две магнитогеострофические волны и магнито-Пуанкаре волна. Для описания нелинейного взаимодействия волн использован асимптотический метод многомасштабных разложений. Для всех четырех случаев получены нелинейные уравнения взаимодействия амплитуд волн. Анализ полученных нелинейных уравнений, описывающих трехволновые взаимодействия, показал существование двух типов неустойчивостей: распадные неустойчивости и параметрическое усиление волн. Найдено, что существуют следующие четыре типа распадных неустойчивостей: магнито-Пуанкаре волна распадается на две магнито-Пуанкаре волны, магнитогеострофическая волна распадается на две магнитогеострофические волны, магнито-Пуанкаре волна распадается на одну магнито-Пуанкаре волну и одну магнитогеострофическую, магнитогеострофическая волна распадается на одну магнитогеострофическую и одну магнито-Пуанкаре волну. Получены инкременты найденных распадных неустойчивостей. Исследованы также следующие четыре механизма параметрического усиления волн: параметрическое усиление магнито-Пуанкаре волн, параметрическое усиление магнитогеострофических волн, а также усиление магнито-Пуанкаре волны в поле магнитогеострофической и усиление магнитогеострофической волны в

поле магнито-Пуанкаре волны. Для всех видов неустойчивостей найдены коэффициенты параметрического усиления.

В работе осуществлено развитие классической теории мелкой воды на случай нелинейных течений тонкого сжимаемого слоя планетной атмосферы со свободной границей в поле силы тяжести в магнитогидродинамическом приближении. Нелинейная динамика таких течений описывает атмосферную динамику экзопланет, захваченных приливами ведущей звезды, описывается полной системой магнитной гидродинамики сжимаемой жидкости на всех масштабах, не допускает аналитического исследования, являясь сложной задачей для компьютерного моделирования даже в несжимаемом приближении. В таких случаях требуется развитие упрощенных моделей, допускающих аналитическое рассмотрение и численное исследование. В работе получена система магнитогидродинамических уравнений сжимаемой плазмы в приближении мелкой воды для вращающихся течений над границей произвольной формы из полной системы магнитогидродинамических уравнений для сжимаемой жидкости в предположении гидростатичности распределения давления и малости толщины слоя по отношению к характерному линейному размеру задачи путем усреднения по высоте слоя. В результате в этом приближении фильтруются звуковые волны и учитывается зависимость плотности от давления на крупных масштабах, описывающая эффекты статической сжимаемости по сравнению с несжимаемым случаем. Полученная система квазилинейных гиперболических уравнений допускает полный аналитический анализ простых волн и решение задачи распада произвольного разрыва в простейшем варианте невращающихся течений.

Полученные в работе уравнения мелкой воды сжимаемой атмосферы планеты существенно отличаются и естественным образом переходят в уравнения в несжимаемом приближении. В классической магнитогидродинамической теории мелкой воды для несжимаемой жидкости физическими переменными являются высота свободной поверхности, усредненные по глубине горизонтальные скорости и усредненные горизонтальные составляющие магнитного поля. 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. Показано, что в нашем случае сжимаемой атмосферы в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды массой столба газа является произведение высоты свободной поверхности на среднюю по высоте плотность атмосферы. Как следствие в полученных в работе уравнениях появляется новая переменная, определяющая закон сохранения массы и однозначно связанная с высотой свободной поверхности. Таким образом, при наличии эффектов крупномасштабной сжимаемости, закон сохранения массы формулируется для переменной, нетривиально зависящей от формы подстилающей поверхности, характерного вертикального масштаба течения и масштаба высот, на котором вариация плотности становится существенной. Как следствие перечисленные физические характеристики течения и форма подстилающей поверхности модифицируют закон сохранения импульса.

В простейшем случае отсутствия силы Кориолиса полученная система уравнений допускает полное аналитическое решение в виде простых волн. В работе получены простые автомодельные решения уравнений магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды над ровной границей: магнитогравитационные волны разрежения, магнитогравитационные ударные волны и альфвеновские волны. Такие решения являются основополагающими в исследовании нелинейных волновых явлений и позволяют найти точное решение задачи распада произвольного разрыва. Получено точное явное решение начальной задачи с кусочно-постоянными начальными условиями для уравнений магнитной гидродинамики в приближении сжимаемой мелкой воды на ровной границе, впервые возникшей в газовой динамике (задача Римана). Показано, что решение представляет собой одну из пяти волновых конфигураций: «две магнитогравитационные ударные волны, две альфвеновские волны»; «левая магнитогравитационная ударная

волна, правая магнитогравитационная волна разрежения, две альфвеновские волны»; «левая магнитогравитационная волна разрежения, правая магнитогравитационная ударная волна, две альфвеновские волны»; «две магнитогравитационные волны разрежения, две альфвеновские волны»; «две магнитогравитационные волны разрежения, зона вакуума». Найдены условия на начальные данные, при которых реализуется каждая конкретная конфигурация. Несмотря на формальное сходство решений в классическом случае магнитогидродинамических течений несжимаемой жидкости и сжимаемого случая, нелинейная динамика, описываемая полученными решениями, существенно отличается вследствие различия выражений для квадрата скорости распространения слабых возмущений.

6.2 Исследования формирования спутниковых систем транснептуновых объектов на стадии разреженных сгущений

Продолжены исследования формирования спутниковых систем транснептуновых объектов на стадии разреженных сгущений. Результаты этих исследований оформлены в две статьи, принятые к печати в журнале «Астрономический Вестник».

Рассмотрено формирование спутниковых систем транснептуновых объектов на стадии разреженных препланетезималей (т.е. сгущений, состоявших из пыли и/или объектов диаметром, меньшим 1 м). При этом считалось, что транснептуновые объекты, в том числе имеющие спутники, могли образоваться в результате сжатия родительских разреженных препланетезималей. Показано, что угловые скорости сгущений, необходимые для формирования транснептуновых спутниковых систем, могли быть получены при столкновениях препланетезималей, радиусы которых сопоставимы с их радиусами Хилла. Например, эти угловые скорости находятся в диапазоне возможных значений угловой скорости вращения родительской препланетезимали, образовавшейся в результате объединения двух столкнувшихся разреженных препланетезималей, двигавшихся до их столкновения по круговым гелиоцентрическим орбитам. Показано, что вклад столкновения двух одинаковых препланетезималей в угловой момент образовавшейся препланетезимали может быть больше (до 12 раз), чем вклад первоначального вращения препланетезималей, если радиусы сталкивающихся препланетезималей отличаются от своих начальных радиусов не более чем в 3 раза. Для рассматриваемой модели при отношении радиусов сталкивающихся препланетезималей, большем 3, роль начального вращения в угловом моменте образовавшейся препланетезимали больше, чем роль столкновения. Полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что большинство столкнувшихся планетезималей, образовавших родительские сгущения для транснептуновых спутниковых систем, уменьшили свои радиусы от момента образования до момента столкновения не более, чем в три раза, а радиусы двух столкнувшихся сгущений отличались между собой не более, чем в три раза. Обсуждалось формирование спутниковых систем на различных расстояниях от Солнца.

Исследована угловая скорость разреженной препланетезимали, которая росла путем аккумуляции небольших объектов. Проведенные оценки показывают, что родительская препланетезималь с радиусом, близким к радиусу Хилла, могла получить такой угловой момент, который привел бы к образованию твердого транснептунового объекта со спутниками (а не к формированию одиночного тела), если бы она приобрела значительную долю своей массы в результате многих столкновений с небольшими объектами, движущимися по почти круговым гелиоцентрическим орбитам. Однако так как около 40% двойных транснептуновых объектов имеют отрицательный момент количества движения, а при выпадении на препланетезималь большого числа малых объектов со слабо эксцентричных орбит ее результирующий угловой момент положителен, то можно сделать вывод, что в большинстве случаев большая часть углового момента двойного транснептунового объекта была приобретена при столкновении двух препланетезималей, а не при аккумуляции небольших объектов. Тем

не менее, некоторая часть углового момента двойных транснептуновых объектов могла быть доставлена к их родительским препланетезималиям небольшими объектами.

Рассмотрены модели роста компонентов спутниковой системы планетезимали на стадии твердотельной аккреции. Отмечено, что возможен случай, когда прирост углового момента планетезимали на стадии твердотельной аккреции положителен и по абсолютной величине превышает угловой момент этой планетезимали в тот момент, когда она только образовалась из разреженного сгущения. В этом случае угловой момент планетезимали может стать положительным, даже если первоначально ее угловой момент и угловой момент всей системы планетезималь-спутник были отрицательными. Аналогично возможен случай, когда угловой момент планетезимали может стать отрицательным, даже если первоначально ее угловой момент и угловой момент всей системы планетезималь-спутник были положительными. Из этого следует, что угловой момент планетезимали относительно ее центра масс и момент количества движения ее спутника относительно планетезимали могут иметь разные знаки.

Сделаны оценки доли разреженных препланетезималей, которые могли столкнуться с другими препланетезималиями и получить при столкновениях осевые моменты, достаточные для формирования транснептуновых спутниковых систем, (среди всех препланетезималей, породивших транснептуновые объекты). Эти оценки не исключают возможности того, что эта доля могла быть близка к 0.45 – к первоначальной доле классических транснептуновых объектов со спутниками среди обнаруженных классических транснептуновых объектов. Проведенные нами оценки результатов столкновения двух препланетезималей свидетельствуют в пользу того, что булыжник (или частица), принадлежащий ко второй сталкивающейся препланетезимали, движущейся внутри первой препланетезимали, может быть захвачен первой препланетезималью, по крайней мере, если диаметр булыжника (или частицы) достаточно мал.

На основе анализа результатов наблюдений спутниковых систем транснептуновых объектов изучены зависимости наклонов орбит вторых компонент вокруг первых компонент в обнаруженных двойных транснептуновых объектах от расстояния между первой и второй компонентами, от эксцентриситета орбиты второй компоненты вокруг первой компоненты, от отношения диаметров второй и первой компонент, а также от элементов гелиоцентрической орбиты двойного объекта. Предложены объяснения этих зависимостей, включая объяснения отрицательных угловых моментов некоторых этих объектов, в рамках модели формирования спутниковой системы из сгущения, образовавшегося при столкновении двух разреженных сгущений, состоявших из пыли и/или булыжников диаметром до метра.

6.3 Моделирование доставки воды и летучих к планетам земной группы из зон питания планет-гигантов на ранних стадиях эволюции Солнечной системы (совместно с М.Я. Маровым)

Продолжены исследования доставки воды и летучих к планетам земной группы из зон питания планет-гигантов на ранних стадиях эволюции Солнечной системы. Проведенные оценки показывают, что общая масса воды, доставленной из зоны питания Юпитера и Сатурна к Земле, могла быть порядка половины массы воды в земных океанах. Кроме того, примерно такое же количество воды могло быть доставлено к Земле из зоны, расположенной далее 12 а.е. от Солнца, однако основная миграция планетезималей из этой зоны могла происходить позже, чем из зоны питания Юпитера и Сатурна, и значительная часть воды, прибывшей из-за орбиты Сатурна, могла выпасть на зародыш Земли, когда его масса была не мала. Наши оценки показали, что при росте зародыша Земли до половины современной массы Земли масса воды, доставленной к зародышу, могла достигать одной трети от всей воды, доставленной из зон питания Юпитера и Сатурна.

Наиболее важным следствием проведенных нами расчетов миграции тел и пыли является вывод о возможности доставки большого количества воды и летучих за счет миграции

малых тел и пыли во внутренние области Солнечной системы, что позволяет компенсировать их дефицит вследствие формирования при относительно высоких температурах внутри снеговой линии. Общая масса воды, доставленной из зоны питания планет-гигантов к Земле, могла быть порядка массы воды в земных океанах. При этом отношение массы воды, доставленной планетезиμαлями и кометами к планете, к массе планеты могло быть больше для Меркурия, Венеры и Марса, чем для Земли. Этот результат согласуется с современными представлениями о том, что древние океаны на планетах - соседях Земли были или потеряны (на Венере) или похоронены в криосфере (на Марсе) во время их последующей эволюции.

По этой теме на международных конференциях сделано три устных [3-4, 8] доклада и один стендовый [5] доклад, а также опубликованы две статьи [3-4] в трудах конференций и трое тезисов конференций [5-6, 8].

6.4 Исследования механизмов рассеяния света в плотноупакованных средах

В 2016 году в сотрудничестве с В.П.Тишковцом (Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков) были продолжены исследования механизмов рассеяния света в плотноупакованных средах, приводящих к возникновению эффектов оппозиции в яркости и поляризации у тел Солнечной системы. Разработанный ранее метод, учитывающий как когерентное обратное рассеяние в среде, так и взаимодействие частиц в ближнем поле в слабопоглощающих средах, позволил получить хорошее согласие моделей с результатами лабораторных измерений, а также оценить некоторые свойства поверхностей высокоальбедных спутников Сатурна.

Интерпретация фотометрических и поляриметрических наблюдений безатмосферных небесных тел сталкивается с проблемами, которые связаны как с недостаточной точностью и уровнем детализации наземных наблюдений, так и с текущим состоянием теории многократного рассеяния света. Эта теория, как для диффузной компоненты рассеянного излучения, так и для когерентной, достаточно хорошо развита в приложении к разреженным средам. В таких средах между рассеивателями распространяются электромагнитные волны, которые можно считать сферическими (так называемое приближение дальней зоны). Авторами показано, что эту теорию можно с успехом применять также при интерпретации измерений поляризации света, рассеянного плотно упакованными, но не поглощающими или слабо поглощающими средами. Численное решение уравнения переноса излучения и уравнения слабой локализации волн дает характеристики рассеянного средой излучения. Поскольку в этих уравнениях элементарный объем представлен кластерами частиц, эффекты ближнего поля, а также неправильная форма частиц и их неоднородность частично учитываются в полученном решении.

Проведено сравнение результатов расчетов по этой модели с данными лабораторных измерений интенсивности и поляризации света, отраженного непоглощающими порошкообразными образцами MgO , Al_2O_3 и SiO_2 , разной плотности упаковки. В ряде случаев получено хорошее согласие модельных и измеренных фазовых профилей поляризации, что позволило оценить плотность упаковки и размеры частиц исследуемых образцов. В то же время фазовые профили интенсивности, особенно плотно упакованных образцов, плохо согласуются с теми моделями, которые хорошо описывают профили линейной поляризации. Это говорит о том, что некий механизм (или механизмы) рассеяния, который оказывает существенное влияние на интенсивность рассеянного света, но не на поляризацию, остается за рамками рассматриваемой модели.

Возможности предлагаемого подхода показаны на примере измерений поляризации ледяных спутников Сатурна - Реи и Энцелада, а также оценены некоторые свойства поверхностей этих небесных тел. В частности, было найдено отношение площади поверхности, которая не вносит вклад в отрицательную поляризацию при отражении света на малых углах фазы, к площади, создающей ветвь отрицательной поляризации. В предположении, что альbedo таких площадей одинаково, это отношение для Реи и

Энцелада составило 3.31–3.68 и 1.7–3.8, соответственно. Для Энцелада сложно получить достаточно узкий диапазон оцениваемых параметров, поскольку число точек измерения фазовой зависимости поляризации этого спутника мало. Для Реи оценка относительной концентрации рассеивателей в среде дает примерно 15%, в то время как их минимальный размер имеет порядок длины волны видимого света.

7 ЛУНА

7.1 Карта концентрации воды в реголите полярных областей Луны

И. Г. Митрофанов, М. Л. Литвак, Б. Н. Бахтин, W. Boynton, А. А. Вострухин, Д. В. Головин, А. С. Козырев, А. В. Малахов, Т. McClanahan, М. И. Мокроусов, И. О. Нуждин, R. Starr, А. Б. Санин, В. И. Третьяков, Ф. С. Федосов, В. Н. Швецов, В. В. Шевченко, К. Harshman,

Продолжается анализ результатов измерений содержания и распределения водородосодержащих летучих соединений в приповерхностном слое лунного реголита по данным измерений потоков эпитепловых нейтронов от Луны, полученным российским прибором ЛЕНД, работающим с 2009г. на борту космического аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер» (LRO). Был разработан метод оценки концентрации водорода (предположительно в форме водяного льда, water equivalent hydrogen, WEH) по данным эксперимента ЛЕНД. Метод позволил построить карты концентрации воды в верхнем слое реголита полярных областей Луны. Найдено, что не все постоянно затененные районы (холодные ловушки) содержат повышенную концентрацию воды по сравнению с окружающими их периодически освещаемыми Солнцем областями. Максимальная концентрация воды наблюдается в кратере Кабео и составляет ~0.54% по массе реголита в случае равномерного её распределения по глубине под поверхностью. Обнаружены периодически освещаемые районы с повышенной концентрацией воды. Для длительного сохранения в этих районах водяной лед должен находиться под слоем сухого реголита, препятствующим его испарению. При толщине сухого слоя ~1 м концентрация воды в нижнем слое реголита в кратере Кабео может достигать ~10% по массе.

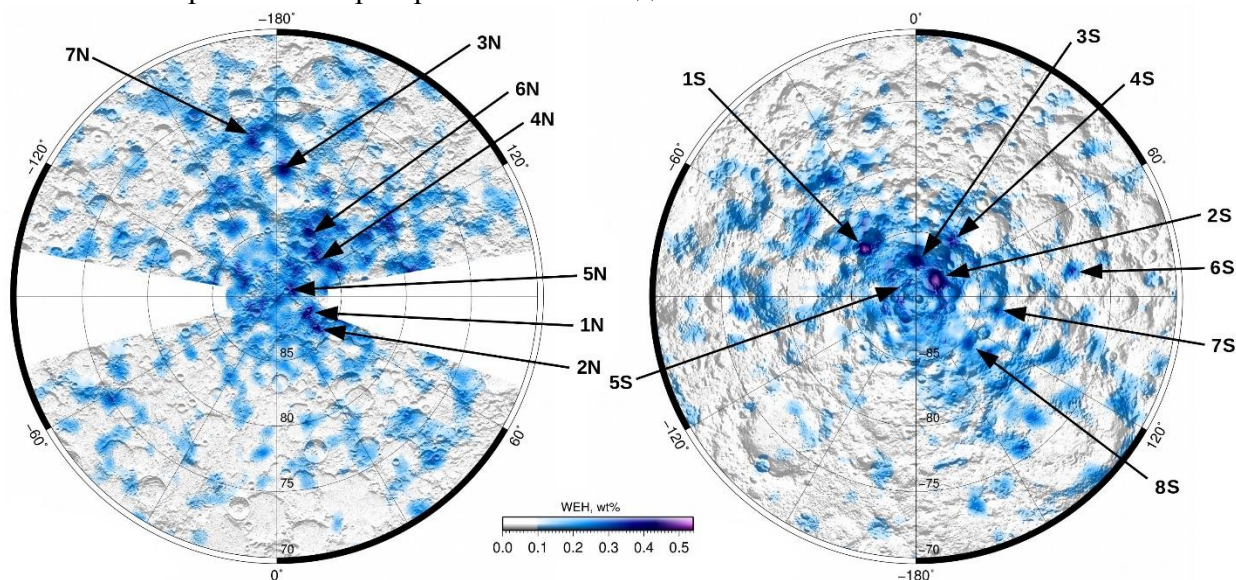


Рисунок 1. Карты концентрации воды (WEH) в процентах от массы реголита в северной (слева) и южной (справа) околополярных областях от $\pm 70^\circ$ широты к полюсам.

Отмеченные районы с наибольшей концентрацией воды перечислены в Таблице 1 статьи А.В. Sanin et al. Icarus (в печати, доступна в электронном виде на сайте журнала), doi:10.1016/j.icarus.2016.06.002

[1].

7.2 Исследование особенностей лунной пыли

Среди особенностей поведения лунной пыли две кажутся наиболее трудно объяснимыми. Во-первых, телевизионные камеры каждого из лунных посадочных аппаратов Surveyor 5, 6, and 7 регистрировали локальное свечение над поверхностью Луны в районе терминатора сразу после захода солнца. В последующих работах было показано, что это приповерхностное свечение обязано рассеянию солнечного света на разреженных облаках пылинок, загадочным образом парящих на высотах порядка метра. Во-вторых, астронавтами экспедиции Apollo-17, высадившимися на поверхность Луны, было сделано заключение, что лунная пыль имеет сильный разрушительный эффект на различные материалы. В частности, астронавт Harrison Schmitt написал, что после посещения лунной поверхности на каждом из шести космических аппаратов Apollo, были нарушены вакуумные уплотнения кабин аппаратов. До сих пор нет четкого понимания механизмов этих эффектов.

Была выполнена попытка проанализировать с единой точки зрения две группы важных проблем, которые давно известны, но в настоящее время считаются не связанными друг с другом. В первую группу входят: левитация пыли на малых высотах над поверхностью Луны и исключительно сильное разрушительное воздействие этой пыли. Ко второй группе относятся: крайне высокая адгезия лунной пыли к скафандрам, приборам и другим артефактам и практически неизбежное возникновение в земных условиях низкоразмерных структур из слипающихся наночастиц в мелкодисперсных порошках.

Все эти четыре проблемы представляются связанными с явлениями, возникающими при превращении твердого тела в газ не в результате плавления и последующего испарения (или в результате прямой возгонки), а в результате раздробления тела на все более и более мелкие частички.

По мере того, как пылевые частицы в результате weathering делаются мельче, в их поведении становятся заметными эффекты, связанные с тепловыми флуктуациями (проблемы первой группы). Процессы слипания порошинок (аналог конденсации) определяются конкуренцией между тепловыми флуктуациями и силами притяжения между ними. С этой точки зрения в пыли, возникшей и существующей в лунном вакууме, превалируют флуктуационные эффекты, а в порошках, изготовленных в земных условиях или контактирующих с загрязненными артефактами, на первый план выходят силы притяжения между порошинками.

7.3 Оценка взаимодействия между лунной экзосферой и КА с применением численного моделирования

Для оценки степени влияния посадочного аппарата на измеряемые параметры окружающей плазмы и приповерхностного электрического поля было выполнено компьютерное моделирование динамики пылевых частиц вблизи поверхности Луны и влияния на эту динамику посадочного аппарата (рисунок 1). Моделирование выполнялось «методом частиц в ячейках» (PIC) с использованием программного обеспечения SPIS-DUST (Spacecraft Plasma Interaction Software). При моделировании были использованы ожидаемые параметры плазмы в приповерхностной зоне Луны, находящейся в условиях солнечного ветра. При этом учитывалась также реальная конфигурация посадочного аппарата «Луна-Глоб» в части габаритов, поверхностных материалов и их свойств и планируемое место посадки ($\sim 68^\circ$).

На рисунке 1б видны значительные возмущения плазменного окружения вблизи КА. С подсолнечной стороны потенциал КА положительный и при заданных начальных условиях соответствует ~ 10 В. Эти возмущения заметны на расстояниях 20–25 см от корпуса КА. С теневой стороны потенциал КА отрицательный.

Данное моделирование поможет корректно оценить показания датчиков и смещение потенциалов возле поверхностей КА в зависимости от суточного вращения Луны, а также поможет в размещении датчиков последующих миссий, как лунной, так и миссий к другим безатмосферным телам.

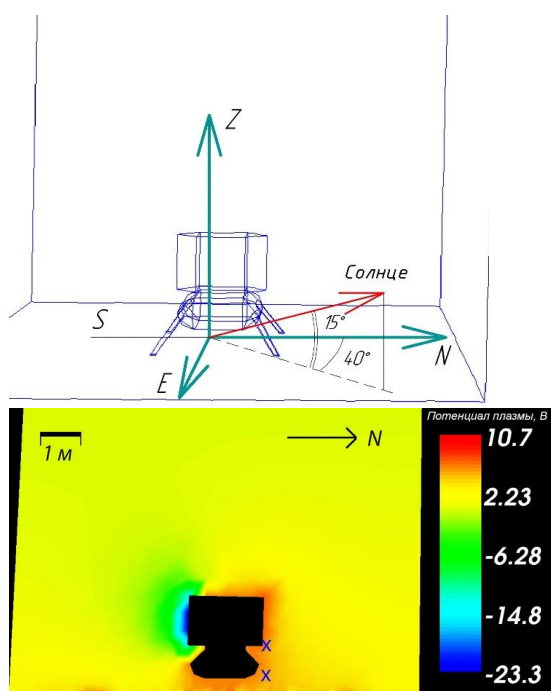


Рисунок 1. Моделирование взаимодействия КА «Луна-Глоб» и лунной экзосферы в ПО SPIS-DUST

а – схема положения посадочного аппарата при расчётах распределения потенциала плазмы в окружающем пространстве. Красная стрелка указывает направление на Солнце; б – предварительные результаты моделирования распределения потенциала плазмы в окрестностях и вблизи посадочного аппарата на поверхности Луны с использованием программы SPIS-DUST. Шкала величины потенциала плазмы в вольтах указана справа на рисунке. Крестиками на рисунке отмечены положения ЭД1 и ЭД2 (Kuznetsov I.A. et al., 2016).

8 ЯДЕРНАЯ ПЛАНЕТОЛОГИЯ

8.1 Содержание связанной воды и в различных геологических образованиях на поверхности Марса

В августе 2012 г. на поверхность Марса, в бассейне кратера Гейл, совершил успешную посадку марсоход Куриосити разработанный НАСА, основной задачей которого является поиск следов жизни и ключей к пониманию эволюции марсианского климата. С помощью российского космического эксперимента ДАН, выполняемого на борту марсохода, были получены новые данные о химическом составе и структуре марсианского грунта в кратере Гейл. В первую очередь - это оценки содержания связанной воды и хлора в приповерхностном слое грунта, а также их вариации вдоль трассы движения марсохода. Используя методы активного нейтронного зондирования удалось провести серию измерений в одном из наиболее интересных мест, области Кимберли, где орбитальные наблюдения обнаружили нагромождение слоистых структур образованных в результате протекания больших потоков воды через бассейн кратера в во время теплой и влажной климатической эпохи существовавшей на древнем Марсе. Было обнаружено, что изменения среднего содержания воды и хлора в объеме вещества согласуются с чередованием слоев осадочных пород в этом месте, что может быть связано с условиями образования гидратированных минералов.

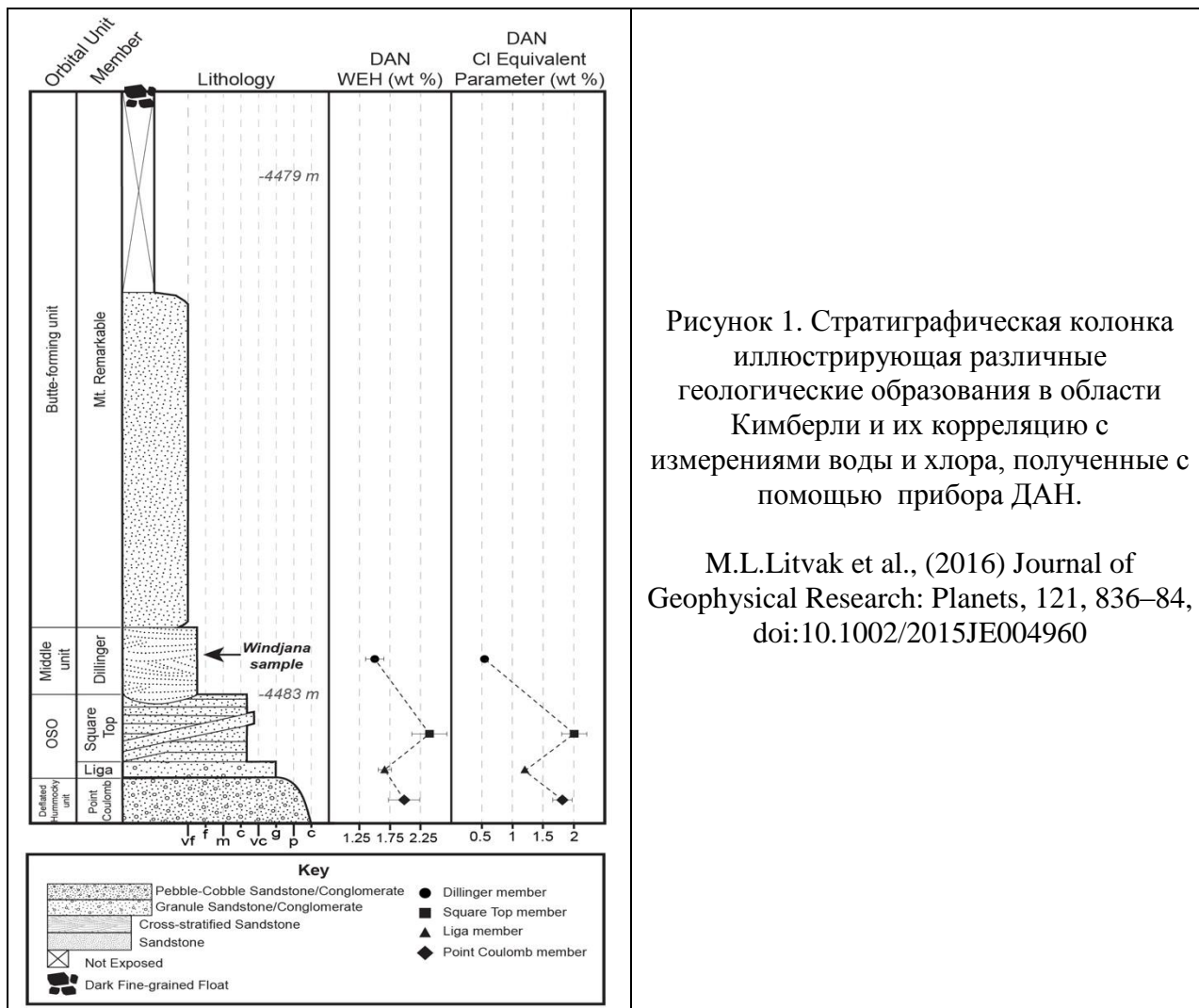


Рисунок 1. Стратиграфическая колонка иллюстрирующая различные геологические образования в области Кимберли и их корреляцию с измерениями воды и хлора, полученные с помощью прибора ДАН.

M.L.Litvak et al., (2016) Journal of Geophysical Research: Planets, 121, 836–84, doi:10.1002/2015JE004960

8.2 Нейтронный поток от луны и его вариации в ходе 23-24 солнечных циклов

Основываясь на данных многолетнего мониторинга нейтронного альbedo лунной поверхности, полученных в ходе выполнения российского космического эксперимента ЛЕНД на борту лунной орбитальной миссии НАСА LRO, удалось восстановить спектральную плотность потока лунных нейтронов в широком диапазоне энергий, оценить, что в минимуме солнечного цикла поток эпитепловых нейтронов может составлять до 2 нейтронов/сек/см² и при этом меняться до двух раз по амплитуде в течении солнечного цикла. Было показано, что глобальный тренд вариаций нейтронного альbedo Луны хорошо коррелирует с изменениями нейтронного потока измеренного другими космическими нейтронными мониторами на орбите Марса (прибор ХЕНД на борту КА Марс Одиссей) и на орбите Земли (прибор БТН на борту МКС), демонстрируя при этом локальные различия связанные с неодинаковыми внешними условиями влияющими на поток заряженных частиц космических лучей в окрестности разных планет земной группы и их спутников.

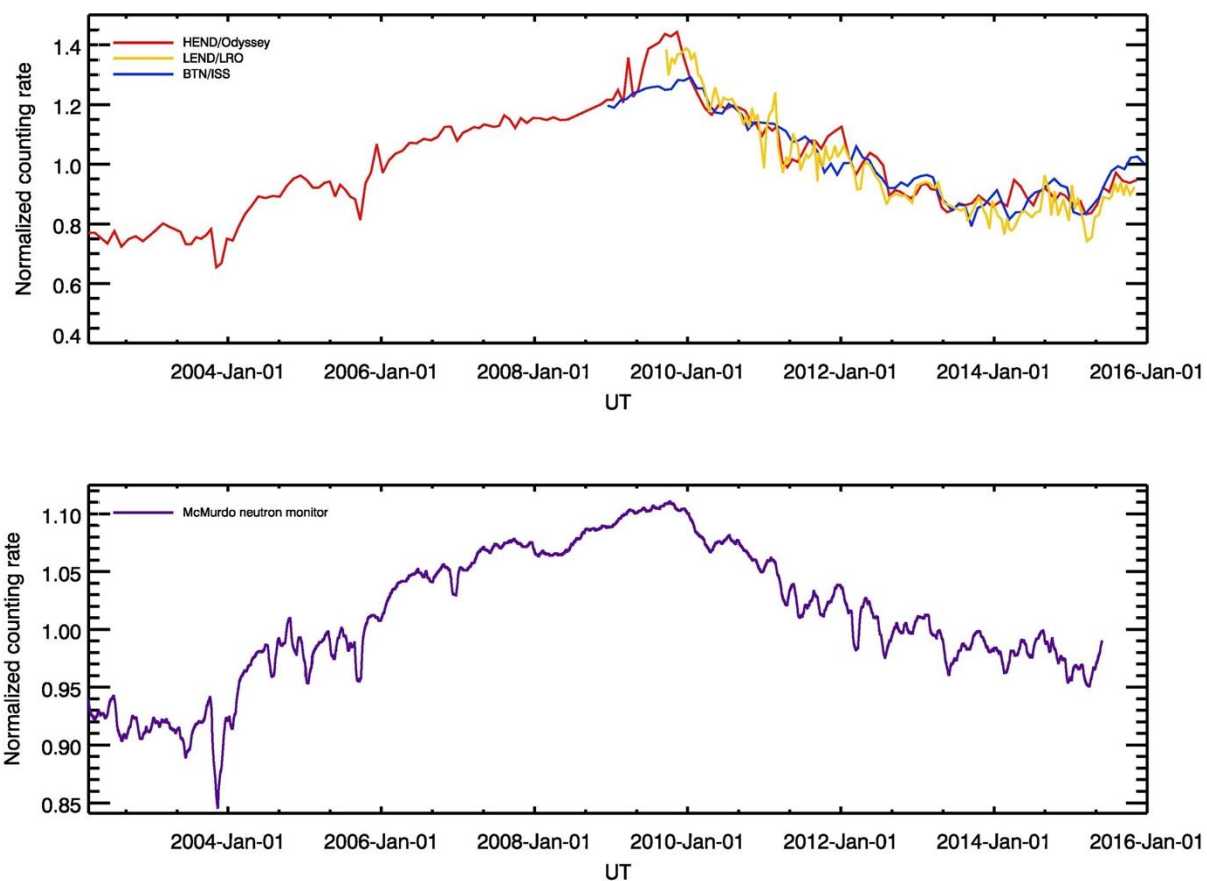


Рисунок 1. Долгопериодические вариации нейтронного потока измеренного на орбите Земли (прибор БТН/МКС), орбите Марса(прибор ХЕНД/Odyssey) и на орбите Луны (прибор ЛЕНД/LRO).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2016г. по теме ПЛАНЕТА. Проведение фундаментальных исследований планет и малых тел

Наиболее важные результаты:

- Содержание связанной воды и в различных геологических образованиях на поверхности Марса

Публикации:

M.L.Litvak et al., (2016) Hydrogen and chlorine abundances in the Kimberley formation of Gale crater measured by the DAN instrument on board the Mars Science Laboratory Curiosity rover, Journal of Geophysical Research: Planets, 121, 836–84, doi:10.1002/2015JE004960

- Нейтронный поток от луны и его вариации в ходе 23-24 солнечных циклов

Публикации:

M.L. Litvak et al., (2016), The variations of neutron component of lunar radiation background from LEND/LRO observations, Planetary and Space Science Volume 122, Pages 53-65, doi: 10.1016/j.pss.2016.01.006

- Карта концентрации воды в реголите полярных областей Луны

Публикации:

A.B. Sanin, I.G. Mitrofanov, M.L. Litvak, B.N. Bakhtin, J.G. Bodnarik, W.V. Boynton, G. Chin, L.G. Evans, d, K. Harshman, F. Fedosov, D.V. Golovin, A.S. Kozyrev, T.A. Livengood, e, A.V. Malakhov, T.P. McClanahan, M.I. Mokrousov, R.D. Starr, f, R.Z. Sagdeev, V.I. Tret'yakov, A.A. Vostrukhin, “*Hydrogen distribution in the lunar polar regions*”, Icarus (в печати, доступна в электронном виде на сайте журнала), doi:10.1016/j.icarus.2016.06.002

И.Г. Митрофанов, А.Б. Санин и М.Л. Литвак, “*Вода в полярных областях Луны: результаты картографирования нейтронным телескопом ЛЕНД*”, Доклады Академии Наук, 2016 Т. 466. № 6. С. 660-663, doi:10.7868/S0869565216060098

- Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков

Публикации:

Bertaux, J.-L., I.V. Khatuntsev, A. Hauchecorne, W.J. Markiewicz, E. Marcq, S. Lebonnois, M. Patsaeva, A. Turin, and A. Fedorova // Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: The role of stationary gravity waves // J. Geophys. Res. Planets. 2016. 121, 1087–1101, doi:10.1002/2015JE004958

Хатунцев И.В., Федорова А.А., Пацаева М.В., Тюрин А.В // Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков, Природа, №10 (1214), с.87, 2016

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Список публикаций:

Всего научных публикаций в 2016 г: 142
Число публикаций работников в базе Web of Science: 39
Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными: 20
Статьи в зарубежных изданиях: 30
Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах: 24
Статьи в сборниках материалов конференций: 11
Доклады, тезисы, циркуляры: 70
Статьи в научно-популярных изданиях: 1
Другие издания: 6

Статьи в зарубежных изданиях:

1. Belyaev D.A., Evdokimova D., ..., Luginin M. et al., 2016. Night time distribution of SO₂ content in Venus' upper mesosphere. // *Icarus*. (на рецензии)
2. Bertaux, J.-L., Khatunstsev, I.V., Hauchecorne, A., Markiewicz W.J., Marcq E., Lebonnois, S., Patsaeva, M., Turin, A., Fedorova, A. , 2016. Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: the role of stationary gravity waves, *J.Geophys. Res. Planets*, 121, doi:10.1002/2015JE004958
3. Chernyshov A.A., A. S. Petrosyan. Discrete filters for large-eddy simulation of forced compressible magnetohydrodynamic turbulence // *Physica Scripta*. 2016. Volume 91, Number 6, p. 064002.
4. Fedorova A., E. Marcq, M. Luginin, O. Korablev, J.-L. Bertaux, F. Montmessin, Variations of water vapor and cloud top altitude in the Venus' mesosphere from SPICAV/VEx observations, *Icarus*, Volume 275, 1 September 2016, Pages 143-162, ISSN 0019-1035, <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2016.04.010>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103516300550>)
5. Grassi, D.; Ignatiev, N. I.; Zasova, L. V.; Piccioni, G.; Adriani, A.; Moriconi, M. L.; Sindoni, G.; D'Aversa, E.; Snels, M.; Altieri, F.; Migliorini, Toward a coherent set of radiative transfer tools for the analysis of planetary atmospheres. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, v.87, p.186 (2016)
6. Gurfinkel Yu., O.Yu. At`kov, A.L.Vasin, T.K.Breus, M.L. Sasonko, R.Yu.Pishchalnikov` Effect of zero magnetic field on cardiovascular system and microcirculation, // *Life Sciences in Space Research*, 8 (2016) 1-7
7. Guslyakova S., A. Fedorova, F. Lefèvre, O. Korablev, F. Montmessin, A. Trokhimovskiy, J.L. Bertaux, Long-term nadir observations of the O₂ dayglow by SPICAM IR, *Planetary and Space Science*, Volume 122, March 2016, Pages 1-12, ISSN 0032-0633, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2015.12.006>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032063315300192>)
8. Harri A.-M.¹, K. Pichkadze², L. Zeleny³, L. Vazquez⁵, W. Schmidt¹, S. Alexashkin², O. Korablev³, H. Guerrero⁴, J. Heilimo¹, M. Uspensky¹, V. Finchenko², V. Linkin³, I. Arruego⁴, M. Genzer¹, A. Lipatov³, J. Polkko¹, M. Paton¹, H. Savijärvi⁸, H. Haukka¹, T. Siili¹, V. Khovanskov², B. Ostesko², A. Poroshin⁶, M. Michelena-Diaz⁴, T. Siikonen⁷, M. Palin⁷, V. Vorontsov², A. Polyakov², F. Valero⁵, O. Kempainen¹, J. Leinonen¹, and P. Romero⁵ ¹Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, The MetNet vehicle: A lander to deploy environmental stations for local and global investigations of Mars Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems (GI), MS No.: gi-2016-19

9. Klimachkov D.A., Petrosyan A.S., Parametric Instabilities in Shallow Water Magnetohydrodynamics Of Astrophysical Plasma in External Magnetic Field, *Phys. Lett. A*, DOI 10.1016/j.physleta.2016.10.011, 8p., 2016
10. Klimov, Stanislav.I., V.N. Angarov, V.M. Gotlib, M.S. Dolgonosov, A.V. Kalyuzhny, V.M. Kozlov, V.N. Nazarov, D.I. Novikov and V.G. Rodin. Implementation of a micro-satellite program in the infrastructure of the Russian segment of the International Space Station. *Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering* 2016, 5:2(Suppl), p. 33
11. Korablev O.I, Ivanov A.Yu, Evdokimova N., Fedorova A.A., Cloutis E., Kuzmin R.O., Mantsevich S.N., Shapkin A.S., Trokhimovskiy A.Yu., Poulet F., Flahaut J., Schmitz N., Martín-Torres J., Zorzano M.-P., Rodionov D.S., Vago J., Ivanov Yu.S., Kalinnikov Yu. K., Titov A.Yu., Stepanov A.V., Vyazovetsky N.A., Altieri F., Bibring J.P., Griffiths A., Gunn M., Karatekin O., Kilian R. Infrared spectrometer for EXOMARS (ISEM), a mast-mounted instrument for the rover. *Astrobiology* (принята к печати)
12. Ksanfomality L. Story about Hypothetical Discovery of life on Venus// *Global Journals Blog* Thursday, 5 May 2016. *Global Journal of Science Frontier Research: A. Physics and Space Science*.
13. Ksanfomality L.V., A.S. Selivanov & Yu.M. Gektin. New Type of Hypothetical Venusian Fauna Found at the Venera -14 Landing Site // *Global Journal of Science Frontier Research: A. Physics and Space Science* Volume 15 Issue 3 Version 1.0 Year 2015.
14. Kuznetsov I.A., S.L.G. Hess, A.V. Zakharov, F. Cipriani, E. Seran, S.I. Popel, E.A. Lisin, G.G. Dolnikov, A.N. Lyash, S.I. Kopnin, Numerical Modelling of Plasma-Lunar Lander Interactions in the Case of Sunrise, *IEEE Transactions on Plasma Science TPS9651 Special Issue - Spacecraft Charging Technology - 2017* (in press)
15. Linkin Vyacheslav, Konstantin Pichkhadze, Alexander Lipatov, Chasing comets, together, *The Space Journal "Room"*, №1, March, page. 42-47.
16. Litvak M. L., I. G. Mitrofanov, C. Hardgrove, K. M. Stack, A. B. Sanin, D. Lisov, W. V. Boynton, F. Fedosov, D. Golovin, K. Harshman, I. Jun, A. S. Kozyrev, R. O. Kuzmin, A. Malakhov, R. Milliken, M. Mischna, J. Moersch, M. Mokrousov, S. Nikiforov, R. Starr, C. Tate, V. I. Tret'yakov and A. Vostrukhin. Hydrogen and chlorine abundances in the Kimberley formation of Gale crater measured by the DAN instrument on board the Mars Science Laboratory Curiosity rover. *Journal of Geophysical Research: Planets*, pages 836–845, May 2016, DOI: 10.1002/2015JE004960
17. Litvak M.L .et al., (2016), The variations of neutron component of lunar radiation background from LEND/LRO observations, *Planetary and Space Science* Volume 122, Pages 53-65, doi: 10.1016/j.pss.2016.01.006
18. Luginin M., A. Fedorova, D. Belyaev, F. Montmessin, V. Wilquet, O. Korablev, J.-L. Bertaux, A.C. Vandaele, Aerosol properties in the upper haze of Venus from SPICAV IR data, *Icarus*, Volume 277, October 2016, Pages 154-170, ISSN 0019-1035, <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2016.05.008>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103516301488>)
19. Managadze, G. G., M. H. Engel, St. Getty, P. Wurz, W. B. Brinckerhoff, A. G. Shokolov, G. V. Sholin, S. A. Terent'ev, A. E. Chumikov, A. S. Skalkin, V. D. Blank, V. M. Prokhorov N. G. Managadze and K. A. Luchnikov. Excess of L-alanine in amino acids synthesized in a plasma torch generated by a hypervelocity meteorite impact reproduced in the laboratory. *Plan. Sp. Sc.*, 131 (2016) 70–78
20. Migliorini, A.; Altieri, F.; Shakun, A.; Zasova, L.; Piccioni, G. Bellucci. Dynamics investigation in the Venus upper atmosphere. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, v.87, p.180 (2016)
21. Ozheredov V.A., T.K. Breus, The minimal database size and resolution of the locally linear algorithm of direct dependence recovery in helio-biology studies// *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 140 (2016), 114–119

22. Rozenfeld E.V., A.V. Korolev, A.V. Zakharov, Lunar Nanodust: Is it a Borderland between Powder and Gas?, *Advance in Space Research*, vol.58, pp. 560-563, 20169
23. Sanin A.B., I.G. Mitrofanov, M.L. Litvak, B.N. Bakhtin, J.G. Bodnarik, W.V. Boynton, G. Chin, L.G. Evans, d, K. Harshman, F. Fedosov, D.V. Golovin, A.S. Kozyrev, T.A. Livengood, e, A.V. Malakhov, T.P. McClanahan, M.I. Mokrousov, R.D. Starr, f, R.Z. Sagdeev, V.I. Tret'yakov, A.A. Vostrukhin, "Hydrogen distribution in the lunar polar regions", *Icarus* (в печати, доступна в электронном виде на сайте журнала), doi:10.1016/j.icarus.2016.06.002
24. Shaposhnikov, D.S., Rodin, A.V. & Medvedev, A.S. The Water Cycle in the General Circulation Model of the Martian Atmosphere *Sol Syst Res* (2016) 50: 90. doi:10.1134/S0038094616020039
25. Shashkova Inna; Boris Shkursky; Pavel Frolov; Yulia Bezymyannikova; Alexander Kiselev; Jun Nishikwa; Alexander Tavrov. Extremely unbalanced interferometer for precise wavefront control in stellar coronagraphy // *J. Astron. Telesc. Instrum. Syst.*, Vol. 2, No 1, 011011-(1-6), Jan-Mar 2016.
26. Thomas N., G. Cremonese, R. Ziethe, M. Gerber, M. Brändli, M. Erismann, L. Gambicorti, T. Gerber, K. Ghose, M. Gruber, P. Gubler, H. Mischler, J. Jost, D. Piazza, A. Pommerol, M. Rieder, V. Roloff, A. Servonet, W. Trottmann, T. Uthaicharoenpong, C. Zimmermann, D. Vernani, M. Johnson, E. Pelò, T. Weigel, J. Viertel, N. De Roux, P. Lochmatter, G. Sutter, A. Casciello, T. Hausner, I. Ficai Veltroni, V. Da Deppo, P. Orleanski, W. Nowosielski, T. Zawistowski, S. Szalai, B. Sodor, S. Tulyakov, G. Troznai, M. Banaskiewicz, J.T. Bridges, S. Byrne, S. Debei, M.R. El-Maarry, E. Hauber, C.J. Hansen, A. Ivanov, L. Keszthelyi, R. Kirk, R. Kuzmin, N. Mangold, L. Marinangeli, W.J. Markiewicz, M. Massironi, A.S. McEwen, C. Okubo, L.L. Tornabene, P. Wajer, J.J. Wray. The Colour and Stereo Surface Imaging System (CaSSIS) for the ExoMars Trace Gas Orbiter, *Planetary Space Science* (принята к печати)
27. Tishkovets V.P., E.V. Petrova - On applicability of the far-field approximation to the analysis of light scattering by particulate media, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 182 (2016), pp. 24-34, DOI: 10.1016/j.jqsrt.2016.05.013.
28. Vago Jorge L., ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Frances Westall, CNRS-OSUC-Centre de Biophysique Moléculaire, Orléans, France, Pasteur Teams, Landing Site Selection Working Group, Other Contributors, Pasteur Teams: Andrew J. Coates, Mullard Space Science Laboratory, University College London, United Kingdom, Ralf Jaumann, DLR Institut für Planetenforschung, Berlin, Germany, Oleg Korablev, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI), Moscow, Russia, Valérie Ciarletti, LATMOS/IPSL, UVSQ Université Paris-Saclay, UPMC Université Paris 06, CNRS, Guyancourt, France, Igor Mitrofanov, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI), Moscow, Russia, Jean-Luc Josset, SPACE-X, Space Exploration Institute, Neuchâtel, Switzerland, Maria Cristina De Sanctis, Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali INAF, Roma, Italy, Jean-Pierre Bibring, Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay, France, Fernando Rull, Unidad Asociada UVA-CSIC, Universidad de Valladolid, Spain, Fred Goesmann, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Germany, Harald Steininger, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Germany, Walter Goetz, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Germany, William Brinckerhoff, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD, United States, François Raulin, Université Paris-Est Créteil, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Paris, France, LSSWG: Frances Westall, CNRS-OSUC-Centre de Biophysique Moléculaire, Orléans, France, Howell G. M. Edwards, University of Bradford, United Kingdom, Lyle G. Whyte, McGill University, Ste. Anne de Bellevue, Quebec, Canada, Alberto G. Fairén, Centro de Astrobiología, Madrid, Spain, Jean-Pierre Bibring, Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay, France, John Bridges, Space Research Centre,

- University of Leicester, United Kingdom, Ernst Hauber, DLR Institut für Planetenforschung, Berlin, Germany, Gian Gabriele Ori, International Research School of Planetary Physics (IRSPS), Pescara, Italy, Stephanie Werner, Centre for Earth Evolution and Dynamics, University of Oslo, Norway, Damien Loizeau, Université Lyon 1, Ens de Lyon, CNRS, Villeurbanne, France, Ruslan O. Kuzmin, Vernadsky Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Rebecca M. E. Williams, Planetary Science Institute, Waunakee WI, United States, Jessica Flahaut, Université Lyon 1, Ens de Lyon, CNRS, Villeurbanne, France, François Forget, LMD, Institut Pierre Simon Laplace Université Paris 6, Paris, France, Jorge L. Vago, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Daniel Rodionov, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI), Moscow, Russia, Oleg Korablev, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI), Moscow, Russia, Håkan Svedhem, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Elliot Sefton-Nash, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Gerhard Kminek, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Leila Lorenzoni, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Joachim Strengé, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Luc Joudrier, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Viktor Mikhailov, TsNIIMash, Korolev, Russia, Alexander Zashchirinskiy, NPO S. Lavochkin, Khimki, Russia, Sergei Alexashkin, NPO S. Lavochkin, Khimki, Russia, Fabio Calantropio, Thales Alenia Space, Torino, Italy, Andrea Merlo, Thales Alenia Space, Torino, Italy, Pantelis Poulakis, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Olivier Witasse, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Olivier Bayle, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Silvia Bayón, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Habitability on Early Mars and the Search for Biosignatures with the ExoMars Rover, *Astrobiology* (принята к печати)
29. Vandaele A.C., S. Chamberlain, A. Mahieux, B. Ristic, S. Robert, I. Thomas, L. Trompet, V. Wilquet, D. Belyaev, A. Fedorova, O. Korablev, and J.L. Bertaux, Contribution from SOIR/VEX to the updated Venus International Reference Atmosphere (VIRA), *Advances in Space Research* 57 (2016) 443–458, 2016.
30. Woehler C., A. Grumpe, A. Berezhnoy, E. A. Feoktistova, N. A. Evdokimova, K. Kapoor, V. Shevchenko. Temperature Regime and Water/Hydroxyl Behavior in the Crater Boguslawsky on the Moon (сдана в печать, Icarus)

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:

1. Асеев С.А., Герасимов М.В., Зайцев М.А., Сапгир А.Г. (2016) Анализ летучих веществ на Луне: исследование времени удержания газов на адсорбенте Carbosieve SIII в зависимости от температуры. *Космические исследования*. Т. 54. № 5. С. 384-391. DOI: 10.7868/S0023420616050034.
2. Бреус К., В.Н. Бинги, А.А. Петрукович «Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы» // *Успехи физических наук* – Т. 186 - № 5 - С. 568–576 (2016)
3. Бреус Т.К. Крымский А.М. Палеомагнитные поля Марса и их взаимодействие с солнечным ветром, *Космические исследования*, принята в печать в августе 2016г
4. Бухарин А.В., Г.П.Арумов, Ю.М.Блих, В.С.Макаров, А.В.Тюрин, Модуляция излучения диодного лазера для формирования сигнала обратного рассеяния, не зависящего от расстояния, *Квантовая электроника*, т.46, №10 (2016)
5. Герасимов М.В., Диков Ю.П., Яковлев О.И. (2016) Новые экспериментальные результаты изучения кластерного испарения полевых шпатов. *Петрология*. Т. 24. № 1. С. 55-82. DOI: 10.7868/S0869590316010040
6. Зайцев М.А., Герасимов М.В., Сафонова Э.Н., Васильева А.С. (2016) Особенности синтеза сложных органических веществ в азотно-метановой атмосфере при высокоскоростных ударных событиях. *Астрономический вестник*. Т. 50. № 2. С. 123-140. DOI: 10.7868/S0320930X16020080.
7. Зеленый Л.М., Л.В. Ксанфомалити. Образование кометных ядер в процессе низкоскоростных столкновений планетезималей // Доклады Академии Наук, 2016. (Принята в печать).
8. Ипатов С.И. Формирование орбит меньших компонент в обнаруженных двойных объектах транснептунового пояса. *Астрономический Вестник*. 2017, в печати
9. Ипатов С.И. Формирование транснептуновых спутниковых систем на стадии сгущений. *Астрономический Вестник*, 2017, в печати
10. Климачков Д.А., Петросян А.С., Нелинейная теория магнитогидродинамических течений сжимаемой жидкости в приближении мелкой воды, *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, Том 150, Вып. 3, стр. 602-624, 2016
11. Климачков Д.А., Петросян А.С., Нелинейные взаимодействия волн в магнитной гидродинамике астрофизической плазмы в приближении мелкой воды, *ЖЭТФ*, Том 149, Вып. 5, стр. 965, 2016
12. Климачков Д.А., Петросян А.С., Нелинейные взаимодействия волн в магнитной гидродинамике астрофизической плазмы в приближении мелкой воды, *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, Том 149, Вып. 5, стр. 965-983, 2016
13. Климов С. И., Ангаров В. Н., Готлиб В. М., Долгоносков М. С., Калюжный А. В., Козлов, И. В., Назаров В. Н., Новиков Д. И., Родин В. Г. Специфика космических исследований на микроспутниковых платформах, интегрированных в инфраструктуру Российского сегмента МКС // *Известия Вузов. Приборостроение*. 2016. Vol. 59, N 6. P. 435—442.
14. Красильников С.С., Р.О. Кузьмин, Н.А. Евдокимова. Слоистые ледосодержащие останцы на высоких северных широтах Марса. *Астрономический Вестник* (сдана в печать)
15. Ксанфомалити Л.В. К 30-летию миссии ВЕГА: Сравнение некоторых свойств комет 1P/Галлея и 67P/Чурюмова-Герасименко // *УФН*, 2016 г. (принята в печать).
16. Ксанфомалити Л.В., А.В. Тавров. Наследие миссии KEPLER – особый объект КIC 8462852. Критика кометной гипотезы.// *Астрономический Вестник*, 2016 г. (Принята в печать).

17. Ксанфомалити Л.В., А.С. Селиванов, Ю.М. Гектин, Г. А. Аванесов. Признаки гипотетической флоры на планете Венера: Ревизия данных ТВ-экспериментов (1975–82 гг.) Космические исследования, 2016, т.54, №3, стр.1-13.
18. Кузнецов И.А. и др., Лунная пыль: свойства и методы исследований, Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4. С. 20-32. (in press)
19. Митрофанов И.Г. и др.: Письма в Астрономический Журнал, т. 42, №4, стр. 285, 2016 г.
20. Митрофанов И.Г., А.Б. Санин и М.Л. Литвак, “Вода в полярных областях Луны: результаты картографирования нейтронным телескопом ЛЕНД”, Доклады Академии Наук, 2016 Т. 466. № 6. С. 660-663, doi:10.7868/S0869565216060098
21. Ожередов В.А., Т.К.Бреус, Модель и структура локально-линейно-аппроксимируемого сигнала в применении к гелиобиологическим исследованиям//Технологии живых систем, №5, 2016 год
22. Попель С.И., Голубь А.П., Лисин Е.А., Извекова Ю.Н., Атаманюк Б., Дольников Г.Г., Захаров А.В., Зеленый Л.М. Удары высокоскоростных метеороидов и отрыв пылевых частиц от поверхности Луны // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2016. Т. 103. № 9-10. С. 641-646.
23. Тишковец В.П., Е. В. Петрова - Приближение дальней зоны в приложении к плотно упакованным средам: оценка свойств поверхностей высоко-альбедных спутников Сатурна, Астрономический вестник, представлено к публикации, октябрь 2016.
24. Толстихин И.Н.«Процессы, завершившие аккрецию Земли, - согласно данным о содержаниях летучих, литофильных и сидерофильных элементов в «наблюдаемых» резервуарах». Геохимия, в печати.

Статьи в сборниках материалов конференций:

1. Kuznetsov I.A., S.L.G. Hess, A.V. Zakharov, G.G. Dolnikov, A.N. Lyash, S.I. Popel, S.I. Kopnin, E. Seran, E.A. Lisin, F. Cipriani, «Simulation of the lunar dusty plasma exosphere interactions with a lunar lander», Proceedings of 14th Spacecraft Charging Technology Conference, 04 – 08 April 2016 ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands,
http://esaconferencebureau.com/custom/16a04/14th%20SCTC%20Proceedings/Papers/Posters/P68_Kuznetsov.pdf
2. Vinogradov I.I., V.V. Barke, V.A. Kazakov, Yu.V. Lebedev, A.V. Rodin, O.Z. Roste, O.V. Benderov, A.Yu.Klimchuk, V.M. Semenov, A.A. Zakharova, A.V. Kalyuzhnyi, A.I. Nadezhdinskii, Ya.Ya. Ponurovskiy, M.V.Spiridonov, J. Cousin, G. Durry, L. Joly. Application of tunable diode laser absorption spectroscopy for planetary studies, on lander board for planned missions to Moon, Mars and Venus. 17th International Conference “Laser Optics 2016”, Invited WeR07-01, Technical Program Book, p.40. DOI: 10.1109/LO.2016.7549812. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7549812/>
3. Беляев Д., Аникин С.П., Юшков К.Б., Добро ленский Ю.С., Евдокимова Н.А., Кораблёв О.И., Манцевич С.Н., Молчанов В.Я., "Спектрально-поляризационный анализ изображений минералов на основе акусто-оптического фильтра ближнего ИК-диапазона". Современные проблемы ДДЗ из Космоса, ИКИ, 14-18 Ноября, 2016. Доклад.
http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/conf_2016/dzz-program-2016-final.pdf
4. Бендеров О. В., Гарамов В. В., Родин А. В. Концепция гетеродинного спектрометра среднего ИК-диапазона для исследования планетных атмосфер, Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"; 14 - 18 ноября 2016 г. в Москве
5. Бецис Д.С., Федорова А.А., Монтмессан Ф., Кораблев О.И., Берто Ж.-Л. Характеристики пыли в глобальную пылевую бурю 2007 г. (M_Y28) по данным солнечных затмений на КА "Марс-Экспресс", 14я 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, 14-18 ноября 2016 г.
http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/conf_2016/dzz-program-2016-final.pdf
6. Маров М.Я., Ипатов С.И. Вода и летучие на Земле: проблема происхождения. Семнадцатая международная конференция "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле" (Москва, 26-28 сентября, Борок, 30 сентября 2016 г.). Материалы конференции. Москва. ИГЕМ РАН. 2016. С. 223-226. Устный доклад. Информация о конференции:
http://www.kscnet.ru/ivs/conferences/documents/Announce_2016.pdf.
7. Маров М.Я., Ипатов С.И. Механика космических процессов миграции малых тел в Солнечной системе: Природа и модели. Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2016, 25-31 мая 2016 г. Алушта, Россия). М.: МАИ, 2016. С. 359-362. Устный доклад. Труды конференции: http://www.npnj.ru/files/npnj2016_web.pdf.
8. Мингалев И. В., Родин А. В., Орлов К. Г.. Моделирование динамики атмосферы Венеры со сверхвысоким разрешением в полярных областях, Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"; 14 - 18 ноября 2016 г. в Москве.

9. Пацаева М.В., Хатунцев И.В., Тюрин А.В.; Влияние топографии Венеры на вариации скорости горизонтального потока в верхнем облачном слое облаков по многолетним наблюдениям VMC с борта Venus Express; Четырнадцатая Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"; 14 - 18 ноября 2016 г. в Москве; http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/conf_2016/dzz-program-2016-final.pdf
10. Федорова А.А., Берто Ж.-Л., Монтмессан Ф., Бецис Д.С., Кораблев О.И., Чурбанов Д.В., Водяной пар в средней атмосфере Марса по данным СПИКАМ на КА Марс-Экспресс, 14я 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, 14-18 ноября 2016 г., http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/conf_2016/dzz-program-2016-final.pdf
11. Хатунцев И.В., Пацаева М.В., Титов Д.В., Игнатьев Н.И., Тюрин А.В., Маркевич В.Дж.; Циркуляция внутри облачного слоя Венеры по результатам наблюдений VMC в ближнем ИК диапазоне с борта Venus Express; Четырнадцатая Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"; 14 - 18 ноября 2016 г. в Москве; http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/conf_2016/dzz-program-2016-final.pdf

Доклады, тезисы, циркуляры:

1. Aseev S.A., Gerasimov M.V., Zaitsev M.A., Sapgir A.G. Gas-analytical chromatography system for mission «ExoMars 2020». In: *The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S³)*. IKI RAS, Moscow, 10-14 October, 2016, Abs. # 7MS3-FM-02.
2. Asming and V. E., I. N. Tolstikhin. Software package to solve geochemical transport problems. International conference on “Developments in noble gas understanding and expertise”, 23-15 April 2016, Nancy, France.
3. Belyaev D, "Distribution of SO₂ content at the night side of Venus' upper mesosphere", International Venus Conference, Оксфорд, Великобритания, 4-8 апреля 2016. Доклад
https://venus2016.files.wordpress.com/2016/02/venus2016_abstracts_sorted_by_auth_or.pdf.
4. Belyaev D, "Sulphur bearing species at the night side of Venus' upper mesosphere", 7MS3, ИКИ, 10-14 Октября 2016. Доклад
http://ms2016.cosmos.ru/sites/ms2016.cosmos.ru/files/7m-s3_program.pdf
5. Bertaux J.L., E.Marcq, I.V.Khatuntsev, W.J. Markiewicz, A. Hauchecorne, S. Lebonnois, M. Patsaeva, A. Turin, A. Fedorova; Influence of Venus topography on the zonal wind and albedo at cloud top level: the role of stationary gravity waves. International Venus Conference 2016. Held 4-8 April 2016, in Oxford, UK;
https://venus2016.files.wordpress.com/2016/02/venus2016_schedule_final1.pdf
6. Bertaux J.L., I.V.Khatuntsev, A. Hauchecorne, W.J. Markiewicz, E.Marcq, S. Lebonnois, M. Patsaeva, A. Turin, A. Fedorova; Observed correlation of Venus topography with the zonal wind and albedo at cloud top level: the role of stationary gravity waves. EGU General Assembly 2016, held 17-22 April, 2016 in Vienna Austria, p.16126; <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-16126.pdf>
7. Bertaux, J.-L.; Hauchecorne, A.; Khatuntsev, I.; Markiewicz, W.; Marcq, E.; Lebonnois, S.; Patsaeva, M.; Turin, A.; Fedorova, A. Observed longitude variations of zonal wind, UV albedo and H₂O at Venus cloud top level: the role of stationary gravity waves generated by Venus topography. American Astronomical Society, DPS meeting #48/EPSC #11, id.#115.01; Held 16-21 October 2016, in Pasadena, USA;
<https://aas.org/files/dps-epsc-abstract-book-final.pdf>
8. Chhiber Rohit, Arcadi V. Usmanov, William H Matthaeus, Arakel Petrosyan, Tulasi Parashar, Yan Yang, Melvyn L Goldstein Turbulence Causality-Constrained PANS Model for MHD Simulation of the Solar Wind, AGU Fall Meeting, SH41A-2519, 2016, <https://fallmeeting.agu.org/2016/>
9. Cornelissen Germaine, Tamara Breus, Yoshihiko Watanabe, Elena V Syutkina, Anatoly Masalov, Kuniaki Otsuka (Halberg Chronobiology Center, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA; Space Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan; Scientific Center of Children's Health, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow, Russia; Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia) Influence of space weather on heart rate and heart rate variability.// Доклад на 13 Европейская конференция «Неделя космической погоды» (European Space Weather Week – 13 ESWW) в Бельгии (Остенде) 14-18 ноября 2016г
10. Coscia D., Szopa C., Gerasimov M., Wurz P., Hofer L., Cabane M., Coll P., Buch A., Fausch R., Sapgir A., Aseev S., Zaitsev M., and the GAC team (2016) In Situ

- Analysis of the Volatiles in the Lunar Regolith with the Gas Analytical Package Experiment: Calibration of a GCMS Prototype. In: DPS 48 / EPSC 11 Meeting, Pasadena, CA, USA, 16 – 21 October 2016, Abs. # 123.02.
11. Dolgonosov M.S., V.M. Gotlib et al. “Charged particle acceleration at the distant magnetotail and atmosphere”, International workshop on the energy transfer through the polar ionosphere, май 2016, устный. Норвегия,
 12. Dolgonosov M.S., V.M. Gotlib et al. ”Investigation of atmospheric high-energy phenomena on-board International Space Station: microsatellite Chibis-AI”, Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration (TEPA-2016), октябрь 2016, устный, Армения.
 13. Dziuban Iliia; Inna Shashkova; Pavel Frolov; Yulia Bezymyannikova; Alexander Tavrov Precise wavefront control for stellar coronagraphy: possibilities by a common-path extremely unbalanced interferometer // Proc. SPIE 9909, Adaptive Optics Systems V, 99095B (July 27, 2016); doi:10.1117/12.2232506.
 14. Evdokimova N., Izbekov P., Krupskaya V., Muratov A., Mutnovsky and Gorely Volcanoes, Kamchatka as Planetary Analogue Sites, # P33D-2182, AGU 2016
 15. Fedorova A., Bertaux J.-L., Montmessin F., Betsis D., Korablev O., Observations of water vapor in the Martian middle atmosphere on Mars-Express, The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S³), Moscow 2016, 7MS3-MS-05.
 16. Fedorova A.A., Lefèvre F., Guslyakova S.A., Montmessin F., Churbanov D., Korablev O.I., Bertaux J.-L., Long-term O₂ nightglow observations on Mars by SPICAM/MEХ, The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S³), Moscow 2016, 7MS3-PS-01
 17. Frolov Pavel; Alexander Kiselev; Alexander Tavrov Achromatic interfero-coronagraph with variable rotational shear in laboratory experiments // Proc. SPIE 9904, Space Telescopes and Instrumentation 2016: Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 990454 (July 29, 2016); doi:10.1117/12.2232523.
 18. Gorinov, D., Zasova, L., Shakun, A., Khatuntsev, I. Oxygen nightside airglow on Venus in relation to atmospheric dynamics based on VIRTIS-M observations. The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S3), 10-14 октября 2016 г.
 19. Gorinov, D., Zasova, L., Shakun, A., Khatuntsev, I. Oxygen nightside airglow on Venus in relation to atmospheric dynamics based on VIRTIS-M observations. International Venus Conference, Oxford, UK, 4-8 апреля 2016 г.
 20. Ipatov S.I. and Marov M.Ya., Migration of planetesimals to forming terrestrial planets from the feeding zone of Jupiter and Saturn. Abstracts of 47th Lunar and Planetary Science Conference (March 21-25, 2016, The Woodlands, Texas), # 1458, <http://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/pdf/1458.pdf> - тезисы (abstracts). <http://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/eposter/1458.pdf> - стендовый доклад (e-poster). Программа конференции: <http://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/programAbstracts/view/>.
 21. Ipatov S.I., Formation and growth of embryos of the Earth-Moon system, Abstracts of 41st Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR) (Istanbul, Turkey, 30 July - 7 August 2016), presentation number B0.5-0017-16, selected for a poster presentation. COSPAR-2016 has been cancelled. <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-16/abstracts/B0.5-0017-16.pdf> - тезисы (abstracts). Ассамблея была отменена. Тезисы опубликованы. Сайт конференции: <http://cospar2016.tubitak.gov.tr/en/SCIENTIFIC-PROGRAM.html> .
 22. Ipatov S.I., Marov M.Ya., Delivery of water and planetesimals from the feeding zone of Jupiter and Saturn to forming terrestrial planets, Abstracts of “The Seventh Moscow Solar System Symposium 7M-S3” (Space Research Institute, Moscow, Russia, October 10-14, 2016) book of abstracts, 7MS3-AB-05, (3 pages), an oral

- presentation (устный доклад). Программа конференции: http://ms2016.cosmos.ru/sites/ms2016.cosmos.ru/files/7m-s3_program.pdf
23. Ipatov S.I., Marov M.Ya., Migration of icy planetesimals to forming terrestrial planets, Abstracts of 41st Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR) (Istanbul, Turkey, 30 July - 7 August 2016), presentation number B0.5-0011-16, selected for an oral presentation. COSPAR-2016 has been cancelled. <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-16/abstracts/B0.5-0011-16.pdf> - тезисы (abstracts). Ассамблея была отменена. Тезисы опубликованы. Сайт конференции: <http://cospar2016.tubitak.gov.tr/en/SCIENTIFIC-PROGRAM.html> .
 24. Ivanov M., Economou T., Eismont N., Esposito L., Gerasimov M., Gorinov D., Ignatiev N., Jessup K., Korablev O., Kremic T., Limaye S., Martynov M., Ocampo A., Senske D., Zasova L., The landing potential of terrains on the surface of Venus: prognosis for the Venera-D mission The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S3), 10-14 октября 2016 г.
 25. Khatuntsev I.V., Patsaeva M.V., Titov D.V., Ignatiev N.I., Markiewicz W.J.; Winds in the middle cloud deck from VMC near-ir imaging on Venus Express. International Venus Conference 2016. Held 4-8 April 2016, in Oxford, UK; https://venus2016.files.wordpress.com/2016/02/venus2016_schedule_final1.pdf
 26. Khatuntsev I.V., Patsaeva M.V., Titov D.V., Ignatiev N.I., Markiewicz W.J.; Winds in the middle cloud deck from the near-IR imaging by the Venus Monitoring Camera onboard Venus Express. The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S³), held 10-14 October 2016, in Moscow, Russia; http://ms2016.cosmos.ru/sites/ms2016.cosmos.ru/files/7m-s3_program.pdf
 27. Klimachkov D., A. Petrosyan, Nonlinear waves in compressible shallow water magnetohydrodynamic equations, Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-17887, 2016, <http://www.egu2016.eu/>
 28. Klimachkov D., A. Petrosyan, Parametric instabilities in rotating space and astrophysical plasmas, AGU Fall Meeting, SH31B-2552, 2016, <https://fallmeeting.agu.org/2016/>
 29. Klimachkov D., A. Petrosyan, Three-wave interactions in shallow-water magnetohydrodynamics, 11th European Fluid Mechanics Conference, 2016, <http://www.efmc11.org/>
 30. Klimov S.I., Gotlib V.M., Dolgonosov M.S. et al. "Microsatellite "Chibis-M" (25.01.2012 – 15.10.2014). Results, lessons and prospects", 10th IAA Symposium on Small Sat April 20-24, 2015, Berlin, Germany
 31. Klimov Stanislav, Valery Grushin, Denis Novikov, Maksim Dolgonosov, Vladimir Gotlib, Vyacheslav Pilipenko, Katya Georgieva, Boyan Kirov, Csaba Ferencz, Hanna Rothkaehl, Valery Korepanov, Serhiy Belyayev, Andry Marusenkov, Denis Dudkin, Vira Pronenko, and Peter Szegedi. Study of electromagnetic parameters of space weather in the ionosphere. Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-10817, 2016, EGU General Assembly 2016 <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-10817.pdf> (EGU2016-10817, Session ST4.1 Space Weather and its Effects on Terrestrial and Geo-Space Environments: Science and Application).
 32. Kolmasova I., T.Farges, O.Santolik, M. S.Dolgonosov, D.Pisa, S. I. Klimov, V. M. Gotlib. Trans-Ionospheric Pulse Pairs (TIPPs) observed by the CHIBIS-M satellite: comparison with ground based measurements. (TEA-IS), Thunderstorm Effects on the Atmosphere-Ionosphere System, Copenhagen, June, 27th - June, 29th, 2016, Poster.

33. Krasilnikov S.S., Kuzmin R.O. 2016. H₂O ice layered deposits on the northern plain of Mars. ISLPS2016.
34. Krasilnikov S.S., R.O. Kuzmin, Y. Bühler, A.E. Zubarev. Simulation of water ice glacial surges in North Polar craters on Mars, 2016, 47 LPSC, Abstract 1881
35. Kremic T., Zasova L., D. Senske, A. Ocampo, et al Venera-D: Technology Implications The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S3), 10-14 октября 2016 г.
36. Ksanfomality L.V., L.M.Zelenyi. Does regional surface morphology of comets 67P/CG and 1P/Halley carry any traces of their origin in low velocity collisions? (7 MS 2016). 11.10.2016.
37. Ksanfomality L.V.. KEPLER Mission Heritage: Strange Events around the Star KIC 8462852. International Conference "Future of Earth's civilization". Sofia, 6-7 November, 2016
38. Luchnikov Konstantin. A Novel Technique and Mass-Spectrometric Instrument for Extraterrestrial Microbial Life Detection via Analyses of the Elemental Composition of Martian Regolith and Permafrost/Ice Samples. 2-nd International Conference «Innovations in Mass Spectrometry: Instrumentation and Methods», 7-11 ноября 2016, Сколковский институт науки и технологий, <http://www.innms2016.org/programma>, 2016.
39. Luginin M., A. Fedorova, D. Belyaev, F. Montmessin, V. Wilquet, O. Korablev, J.-L. Bertaux, A-C. Vandaele, 'Venus' upper haze aerosol properties from SPICAV IR data'. International Venus Conference 2016.
40. Luginin M., A. Fedorova, D. Belyaev, F. Montmessin, V. Wilquet, O. Korablev, J.-L. Bertaux, A-C. Vandaele, 'Analysis of upper haze of Venus from Venus Express SPICAV-IR data'. The Seventh Moscow Solar System Symposium, October 10-14, 2016.
41. Managadze George G.. Mass spectrometry – the most effective method for study of the mirror symmetry breaking of amino acids synthesized in the plasma torch of meteorite impact. 2-nd International Conference «Innovations in Mass Spectrometry: Instrumentation and Methods», 7-11 ноября 2016, Сколковский институт науки и технологий, <http://www.innms2016.org/programma>, 2016.
42. Patsaeva M., Khatuntsev I.; Influence of Venus topography on variations of zonal and meridional winds according to measurements in UV and IR channels of VMC/Venus Express. The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S3), held 10-14 October 2016, in Moscow, Russia; http://ms2016.cosmos.ru/sites/ms2016.cosmos.ru/files/7m-s3_program.pdf
43. Safonov S., A. Petrosyan Rapid Distortion Theory in astrophysical turbulence, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-17796, 2016, <http://www.egu2016.eu/>
44. Sasonko M.L., Gurfinkel Yu. I., Ozheredov V.A., Breus T.C. Space Research Institute of Russian Academy of Science (RAS), Long-term observation of cardiovascular system parameters under variation of geomagnetic condition// Доклад на 13 Европейская конференция «Неделя космической погоды» (European Space Weather Week – 13 ESWW) в Бельгии (Остенде) 14-18 ноября 2016г
45. Senske D., L. Zasova, T. Economou, N. Eismont, L. Esposito, M. Gerasimov, N. Ignatiev, M. Ivanov, K. Lea Jessup, I. Khatuntsev, O. Korablev, T. Kremic, S. Limaye, I. Lomakin, M. Martynov, A. Ocampo. 'The Venera-D Mission Concept: Evaluation by a Joint Science Definition Team of a Means for the Comprehensive Scientific Exploration of Venus'. AGU Fall Meeting, San-Francisco, 12-16 dec. 2016
46. Shakun, Alexey; Korablev, Oleg; Trokhimovskiy, Alexander; Grigoriev, Alexey; Anufreychik, Konstantin; Fedorova, Anna; Ignatiev, Nikolay; Ivanov, Yuriy;

- Moshkin, Boris; Kalinnikov, Yuriy; Montmessin, Franck, Russian contribution to ExoMars Trace Gas Orbiter: Atmospheric Chemistry Suite (ACS); EGU General Assembly 2016, held 17-22 April, 2016 in Vienna Austria, p.15820
47. Tolstikhin I.N., V.E. Asming, M.V. Gerasimov. Early differentiation and degassing of the Earth as derived from modelling $^{182}\text{Hf} - ^{182}\text{W}$, $^{146}\text{Sm} - ^{142}\text{Nd}$ and noble gas isotope systematics. International conference on “Developments in noble gas understanding and expertise”, 23-15 April 2016, Nancy, France.
 48. Wilquet V., A.C. Vandaele, A.Mahieux, S. Robert, S. Chamberlain, M. Luginin, A. Fedorova, D. Belyaev, O. Korablev, F. Montmessin, ‘Aerosols properties in the Venus upper haze from SPICAV/SOIR measurements in solar occultation’. International Venus Conference 2016.
 49. Wilson C.F., M. Roos-Serote, R. MacDonald, S. Tellmann, B. Häusler, Y.-J. Lee, I.V. Khatuntsev. Correlations between temperature structure and UV contrasts in the clouds of Venus. International Venus Conference 2016. Held 4-8 April 2016, in Oxford, UK;
https://venus2016.files.wordpress.com/2016/02/venus2016_schedule_final1.pdf
 50. Zaitsev M.A., Gerasimov M.V., Safonova E.N., Vasiljeva A.S. An estimate of a qualitative composition of «exogenous» planetary surface organics by the study of model impact-induced transformation of carbonaceous meteorites. In: The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S³). IKI RAS, Moscow, 10-14 October, 2016, Abs. # 7MS3-AB-04.
 51. Zasova L., D. Senske , A. Ocampo, T. Economou, et al., JSDT :Scientific goals and architecture of the mission Venera-D The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S3), 10-14 октября 2016 г.
 52. Zasova L., D. Senske, T. Economou, N. Eismont, L. Esposito, M. Gerasimov, N. Ignatiev, M. Ivanov, I. Khatuntsev, O. Korablev, T. Kremic, K. Lea Jessup, S. Limaye, I. Lomakin, A. Martynov, A. Ocampo. “Report of the Venera-D Joint Science Definition Team: "Together to Venus". Venus Exploration Analysis Group (VEXAG) Meeting # 14, 29.11-1.12, NASA Headquarters, Washington, DC.
 53. Богомолов, А.В., В.В. Богомолов, Г.К. Гарипов, В.М. Готлиб, М.С. Долгоносов, С.И. Климов, П.Ю. Минаев, М.И. Панасюк, А.С. Позаненко, С.И. Свертилов, И.В. Яшин. Верхний предел интенсивности гамма-излучения во время грозовой активности по данным измерений на микро-спутнике «Чибиc-М». Одиннадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 15-19 февраля 2016г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, с. 201.
<http://plasma2016.cosmos.ru/docs/Plasma2016-AbstractBook.pdf>
 54. Герасимов М.В.. Анализ летучих на планетах как направление в космических исследованиях. Семинар ГЕОХИ РАН, 10.11.2016
 55. Горинов Д.А. Свечение кислорода на ночной стороне Венеры в приложении к динамике верхней мезосферы. XIII Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», Москва, 13-15 апреля 2016 г.
 56. Гурфинкель Ю.И., Васин А.Л., Саримов Р.М., Бреус Т.К., Сасонко М.Л., ИКИ РАН, НКЦ ОАО РЖД, ИОФАН, Кратковременная экспозиция магнитного поля сходного с марсианским и его влияние на микроциркуляцию и сердечно-сосудистую систему человека// ИМБП РАН, XVI Конференция по космической биологии и медицине с международным участием, 5-8 декабря 2016г Президиум РАН, Москва
 57. Долгоносов М.С., В.М. Готлиб и др. «Перспективы исследований высокоэнергичных процессов в атмосфере Земли: «ЧИБИС-АИ» и

- «ОБСТАНОВКА 2.1», Одиннадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», февраль 2016, устный доклад, Россия.
58. Долгоносов, М.С., Л.М. Зелёный, В.М. Готлиб, С.И. Климов, А.С. Косов, И.Г. Митрофанов. Перспективы исследований высокоэнергичных процессов в атмосфере земли: «Чибис-АИ» и «Обстановка 2.1». Одиннадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 15-19 февраля 2016г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, с. 204. <http://plasma2016.cosmos.ru/docs/Plasma2016-AbstractBook.pdf>
 59. Зайцев М.А., Герасимов М.В., Сафонова Э.Н., Васильева А.С. (2016). Оценка состава экзогенных органических веществ на поверхности планет и их спутников по результатам исследования продуктов модельного ударного преобразования углистых хондритов. Доклад на семинаре «Астробиология: методы и приборы обнаружения признаков внеземной жизни». ИКИ РАН, Москва, 21 апреля 2016 г.
 60. Зайцев М.А.. Особенности синтеза сложных органических веществ при высокоскоростных ударных событиях. Семинар ИНАСАН, 03.03.2016
 61. Зиняков Т.А., Петросян А.С. Моделирование двумерной магнито-гидродинамической турбулентности в плазме на β -плоскости, XIV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа, Сборник аннотаций, с. 223, 2016, <http://www.nrcki.ru/pages/main/5509/5512/7358/18106/index.shtml>
 62. Климачков Д.А., Петросян А.С. Нелинейные взаимодействия волн Россби в магнитной гидродинамике тонкого слоя плазмы со свободной границей в поле силы тяжести, XIV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа, Сборник аннотаций, с. 225, 2016, <http://www.nrcki.ru/pages/main/5509/5512/7358/18106/index.shtml>
 63. Климов, С.И., В.М. Готлиб, М.С. Долгоносов, Д.И. Новиков, В.А. Пилипенко, С.С. Давыденко, Д.И. Иудин, В.В. Клименко, А.В. Костров, J-L Pincon, M. Parrot, F. Lefeuvre, P.-L. Blelly, A. Marchaudon, F. Pitout, F. Forme. Научно-методическое обоснование многоспутниковых исследований атмосферно-ионосферных электрических связей. Одиннадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 15-19 февраля 2016г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, с. 213. <http://plasma2016.cosmos.ru/docs/Plasma2016-AbstractBook.pdf>
 64. Косов А.С., В.М. Готлиб и др. “GARS instrument – an imitator of ExoMars-2016 TGO transmitter”/ The seven Moscow Solar System Symposium. Moscow, October 2016 (poster)
 65. Котцов П.В., В.А. Котцов Простой способ скрытой передачи видеoinформации. Седьмая научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления – 2016»
 66. Ксанфомалити Л.В., Л.М. Зеленый. Кометные исследования (к 30-летию миссии ВЕГА). РКК Энергия 6.09.2016 г.
 67. Ксанфомалити Л.В.. Кометы – гости из прошлого (к 30-летию миссии ВЕГА). ИКИ РАН, 16.04.2016.
 68. Ксанфомалити Л.В.. Наследие миссии KEPLER: Странный объект К1С 8462852. ГАИШ, 15.02.2016.
 69. Сафонов С.И., Петросян А.С. Метод быстрых искажений для изучения анизотропной турбулентности плазмы в приближении холловской магнитной гидродинамики, XIV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа, Сборник аннотаций, с. 246, 2016, <http://www.nrcki.ru/pages/main/5509/5512/7358/18106/index.shtml>

70. Толстихин И.Н. Процессы поздней аккреции земли, - по данным изотопии вольфрама, неодима и ксенона. Тезисы докладов XXI Симпозиума по геохимии изотопов, ГЕОХИ, Москва, 2016, с. 56-60.

Статьи в научно-популярных изданиях:

1. Хатунцев И.В., Федорова А.А., Пацаева М.В., Тюрин А.В // Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков, Природа, №10 (1214), с.87, 2016

Другие издания:

1. Тавров А., Популяризация науки, материалы исследования по разработке звездного коронографа и по развитию метода прецизионной оптики представлены в ТВ программе «Черные дыры, белые пятна», канала «Культура», см. эфиры от 10.11.2016. 17.11.2016,
http://tvkultura.ru/video/show/brand_id/20863/episode_id/1431077/
2. Патент РФ № 2578799 В.А.Котцов Способ получения изображений с увеличенным динамическим диапазоном
3. Патент РФ № 2586405 Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А Способ преобразования изображений
4. Патент на служебное изобретение, №2586778, Авторы: Манагадзе Г.Г., Воробьева Е.А., Лучников К.А., Сафронова А.А., Чумиков А.Е., Манагадзе Н.Г., «Способ обнаружения наличия микробной биомассы земного типа на космических телах» дата начала отсчета срока действия патента: 17.03.2015, опубликован: 10.06.2016.
5. Заявка на изобретение. П.В. Котцов, В.А.Котцов Способ скрытой передачи цифровой информации
6. Заявка на изобретение. Грабчиков С.С., Кораблев О.И., Котцов В.А., Труханов А.В. Многослойный электромагнитный экран.