### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

УДК 523.2 523.4 523.6 Номер государственной регистрации 01200602993

**УТВЕРЖДАЮ** 

Директор

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук

чл.-корр. РАН

А.А. Петрукович

<u>декабря</u> 2021 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ Исследование атмосфер и поверхностей планет (промежуточный, этап 2)

м.п.

Тема ПЛАНЕТА

0024-2021-0004

Научный руководитель

чл.-корр. ВАН

О.И Кораблёвдекабря 2021 г.

Москва

2021

#### СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

	14.12.2021	Кораблёв О.И зав. отд., д.фм.н.
	14.12.2021	Кораблёв О.И. зав. отд., д.фм.н.
Deed	14.12.2021	Беляев Д. А. с.н.с., к.фм.н.
W.	14.12.2021	Герасимов М.В. зав. лаб., к.фм.н.
Byl	14.12.2021	Захаров А.В. г.н.с., д.фм.н.
Thatpa	14.12.2021	Тавров А.В. зав. лаб., д.т.н.
Halps	14.12.2021	Тавров А.В. зав. лаб., д.т.н
	Beg And	14.12.2021 14.12.2021 14.12.2021 14.12.2021 14.12.2021

Нормоконтроль

14.12.2021

Ростэ О.З.

#### РЕФЕРАТ

Отчет 37 стр., 16 рис., 108 источников.

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

### СОДЕРЖАНИЕ

		Стр
	ВВЕДЕНИЕ	5
1	Раздел 1 Марс.	6
2	Раздел 2 Венера	10
3	Раздел 3 Ранняя эволюция планетных тел.	12
4	Раздел 4 Малые тела Солнечной системы	13
5	Раздел 5 Внесолнечные планетные системы	17
6	Раздел 6 Научные исследования, поддержанные грантом Министерства высшего	
	образования и науки РФ	18
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	24

#### ВВЕДЕНИЕ

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научноисследовательские 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
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2021г. по теме "ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет" в рамках Фундаментальных и прикладных научных исследования планет и малых тел (тема 0024-2021-0004 ПЛАНЕТА). Тема 0024-2021-0004 ПЛАНЕТА является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

Направления НИР и ОКР по теме ПЛАНЕТА соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2021 - 2030 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г., № 3684-р :

- 1.3.7.5. Планеты и планетные системы
- 1.3.7.6. Развитие методов наземной и внеатмосферной астрономии
- 1.3.5.4. Развитие методов спектроскопии, люминесценции и прецизионных оптических измерений
- 1.5.4.3. Формирование и эволюция внеземного вещества, Луны, планет и малых тел Солнечной системы
- 1.5.9.5. Создание методов, технологий и аппаратуры атмосферных и ионосферных исследований
- 1.6.1.5. Происхождение жизни и астробиология

#### Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы

#### Тема ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет

Гос.рег. № 01200602993

Науч.рук.: чл.-корр. РАН Кораблев О.И. Зам. рук. темы : д.ф.-м.н. Захаров А.В.

#### Раздел 1. МАРС

### 1.1 Вертикальное распределение CO в атмосфере Марса по данным ACS (ЭкзоМарс TGO)

Окись углерода (СО) – неконденсируемый газ в атмосфере Марса, образующийся в результате фотолиза СО2. Его относительное содержание отражает конденсацию и сублимацию углекислого газа на полярных шапках Марса, что приводит к сезонным колебаниям содержания СО в полярных регионах. С 2018 года все три спектрометра эксперимента ACS на борту орбитального аппарата Trace Gas Orbiter измеряют CO в инфракрасном диапазоне полосах поглощения В методом просвечивания. В работе впервые был представлен долгосрочный мониторинг вертикального распределения СО в диапазоне высот от 0 до 80 км за 1,5 марсианских года от Ls = 163 ° 34-го года до конца 35-го года. Мы получили средний коэффициент смешивания CO (VMR)  $\sim 950$  ppm на высотах 0–40 км и широтах от 45°S до 45°N, что в основном согласуется с предыдущими наблюдениями. В сезоны равноденствия как северной, так и южной весной было обнаружено увеличение относительного содержания СО выше 50 км до 3000-4000 ррту. Это связано с нисходящим потоком газа, обогащенного молекулами СО и вызванного циркуляцией Хэдли от экватора к полюсам в сезон равноденствия на Марсе. Сравнение с моделью общей циркуляции показало, что она значительно переоценивает интенсивность этого процесса, поскольку содержание СО в ней в 2-3 раза выше результатов наблюдений на тех же высотах. Минимум СО, наблюдаемый южным летом в высоких и средних южных широтах, хорошо согласуется с надирными измерениями экспериментов CRISM/MRO и NOMAD/TGO. Относительное содержание CO на Ls=180-240° MY34 во время глобальной пылевой бури показало примерно на 20-40% меньшие значения по сравнению со спокойным марсианским годом МУ35, что свидетельствует о влиянии радикалов водорода НОх на скорость потери СО и его преобразования в СО<sub>2</sub>.

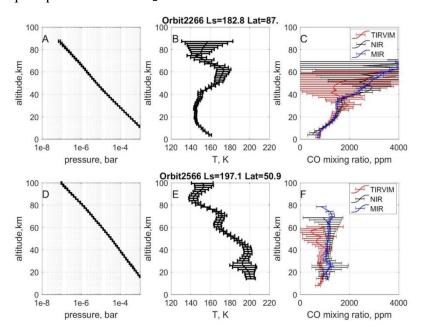


Рис. Примеры профилей плотности, температуры и относительного содержания СО в атмосфере по данным эксперимента ACS

### 1.2 Взаимосвязь между озоном и водным паром на Марсе по наблюдениям СПИКАМ (Марс Экспресс) и расчетам модели общей циркуляции Марса.

Озон  $(O_3)$  в атмосфере Марса образуется в результате фотолиза  $CO_2$  и легко разрушается водородными радикалами (НОх), которые высвобождаются при фотолизе и окислении водяного пара. В результате ожидается антикорреляция между озоном и водяным паром. В работе была представлена взаимосвязь О<sub>3</sub> и Н<sub>2</sub>О, полученная на основе 4-х марсианских лет одновременных наблюдений этих газов спектрометра SPICAM на борту космического корабля "Марс-Экспресс". Отчетливая антикорреляция наблюдается в высоких широтах, где коэффициент корреляции интегрального содержания О<sub>3</sub> в столбе атмосферы по отношению к воде равен -0.6. На низких широтах содержание Оз и Н2О не коррелируют. Чтобы оценить наше количественное понимание фотохимии Марса, наблюдаемые соотношения О<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O сравниваются с тем, что предсказывается глобальной климатической моделью циркуляции Марса, включающей фотохимию. Для идентичного в модели и наблюдениях содержания Н<sub>2</sub>О, модель занижает наблюдаемый озон примерно в 2 раза по сравнению со SPICAM при использовании рекомендованного в настоящее время химического состава атмосферы. Исследования чувствительности с использованием низкотемпературных сечений поглощения  $\mathrm{CO}_2$  или скорректированных кинетических скоростей, не устраняют это расхождение. Учет потенциальных неоднородных процессов потери НОх на облаках приводит к значительному улучшению, но только на высоких северных широтах. В более широком смысле результаты предполагают, катализируемая НОх фотохимия слишком эффективна в модели. Эта проблема согласуется с давнишней недооценкой СО в фотохимических моделях Марса и может быть связанных с аналогичными трудностями при моделировании О3 и НОх в верхней стратосфере и мезосфере Земли.

#### 1.3 Верхние пределы содержания фосфина (РН<sub>3</sub>) в атмосфере Марса

Предполагается, что фосфин (PH<sub>3</sub>) является возможным биомаркером в планетных атмосферах. В 2020 году были опубликованы наблюдения фосфина на Венере, что вызвало интерес к обитаемости ее атмосферы. Несколько раз сообщалось о наблюдениях другого биомаркера, метана (CH<sub>4</sub>) в атмосфере Марса, что также указывает на возможность существования биосферы в прошлом или настоящем планета. Спектрометр МІК комплекса ACS на орбитальном аппарате ExoMars Trace Gas Orbiter имеет спектральный диапазон, который включает несколько линий поглощения PH<sub>3</sub> с интенсивностью линий, сопоставимой с ранее наблюдаемыми линиями CH<sub>4</sub>. Группой исследователей эксперимента ACS было проанализировано 192 затмения за полный марсианский год наблюдений и линий фосфина обнаружено не было. Получены верхние пределы содержания PH<sub>3</sub>, которые не превышают 0,1–0,6 ppbv.

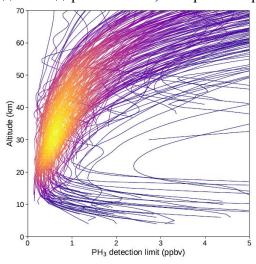


Рисунок. Верхние пределы детектирования фосфина по данным ACS MIR на 192 орбитах с 34 по 35 марсианские годы

### 1.4 Исследование динамики атмосферы Марса с температурами ACS (ЭкзоМарс TGO)

Температурные профили, полученные в эксперименте ACS за 34 марсианский год были ассимилированы в модель общей циркуляции Марса АОРР лаборатории Окфорда для исследования некоторых динамических характеристик планеты.

Было исследовано влияние пыли в марсианской атмосфере на суперротацию. Используя данные космических аппаратов, наблюдавших температурные профили атмосферы в 2018 году, было смоделировано состояние атмосферы во время глобальной пыльной бури (GDS) 34 года на Марсе. Суперротация увеличилась в два раза на пике GDS по сравнению с тем же периодом прошлого года, когда глобальная буря не наблюдалась. Показано, что усиленная суперротация за 40 сол до начала бури, что связано с поднятием пыли в южных средних широтах и тропиках. Равномерное распределение пыли в тропиках привело к образованию симметричной ячейки Хэдли с тропической восходящей ветвью, которая могла эффективно переносить пыль по вертикали; это могло внести значительный вклад в быстрое распространение пыли.

Полярные вихри на Марсе: области холодного изолированного воздуха над полюсами, ограниченные мощными западными потоками, которые могут действовать как барьеры для переноса пыли, воды и других малых составляющих атмосферы. Глобальная пыльная буря 2018 года наблюдалась несколькими орбитальными аппаратами и предоставила ценную возможность изучить влияние такой бури на полярную динамику. С этой целью в модель глобального климата Марса были ассимилированы данные из экспериментов Mars Climate Sounder на КА MRO и ACS на TGO. Было обнаружено, что во время шторма северный вихрь оставался относительно устойчивым, а южный вихрь значительно уменьшился по своей интенсивности. Показано, что оба полярных вихря, в частности северный, были уменьшены в эллиптичности бурей. Наблюдаемые асимметричные эффекты предполагают усиление переноса в южный (но не северный) полярный регион во время глобальных пыльных бурь в период северного осеннего равноденствия и более продольно-симметричный перенос вокруг обоих полюсов.

### 1.5 Многолетний мониторинг сезонного распределения льдов на поверхности Марса по данным аппарата СПИКАМ-ИК (Марс Экспресс)

В 2021 году была продолжена работа по обработке данных надирных наблюдений СПИКАМ-ИК на КА Марс-Экспресс. Были получены сезонные карты распределения СО2 и водяного льда для 9 марсианских лет (18 земных лет). В карты распределения водяного льда входят также наблюдения облаков водяного льда в надир (пояс облаков афелия и облака около полярных шапок). Было получено географическое распределение  ${\rm CO}_2$  льда, показывающее эволюцию "криптического" региона южной полярной "Криптическая" область - часть полярной шапки с грязным СО2 льдом, альбедо которой значительно темнее остальной части шапки, но температура остается холодной. Также на основе наблюдений были построено межгодовое сравнение краев как северной, так и южной шапки СО2 льда. Было проведено исследование влияния глобальных пылевых бурь 28-го и 34-го марсианского года на площадь южной полярной шапки.

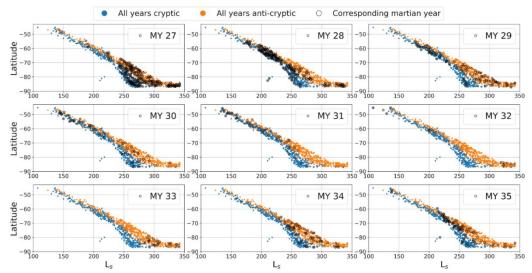


Рисунок. Граница южной полярной шапки за девять марсианских лет, построенная по данным спектрометра СПИКАМ-ИК. Синим цветом отмечены точки, попадающие в "криптическую" часть шапки (60-260 градусов восточной долготы), а оранжевым - лежащие вне ее.

### 1.6 Исследование аналогов марсианского грунта с методом спектроскопии ближнего ИК диапазона

В отчетный период велась работа по подготовке методов интерпретации спектров ближнего ИК диапазона для анализа минералогического состава грунта на Марсе в рамках подготовки научной базы для спектрометра ISEM миссии ExoMars 2022 (Korablev et al., 2018). Целью установленного на мачте марсохода спектрометра является быстрый анализ минералогического состава в непосредственной близости от марсохода, выбор перспективных участков для бурения и для последующих, более тщательных, прямых измерений другими приборами марсохода. Спектральный диапазон прибора содержит важные спектральные полосы поглощения многих минералов, в том числе связанные с присутствием в их кристаллической решетке гидроксильной группы ОН и химически связанной H<sub>2</sub>O (i.e. Clark et al., 1990; Bishop, 2005). Многие из этих минералов являются важными маркерами водной активности в прошлом, поэтому спектры ISEM могут быть использованы (совместно с данными других приборов) для уточнения геологической обстановки района посадки и исследования геологических процессов в прошлые эпохи. Для грубой оценки минералогического состава образца была разработана методика соответствующих использования спектральных индексов, различным полосам поглощения, входящим в спектральный диапазон ISEM, аналогично используемым при обработке гиперспектральных изображений, например, для таких экспериментов как CRISM/MRO и OMEGA/Mex (Viviano-Beck et al., 2014). Для реализации метод экспресс классификации спектров ISEM был проведен сбор статистической информации по индексам, рассчитанным для различных библиотечных мономинеральных эталонов и простых минеральных смесей с известным составом, подготовленных на базе ИКИ РАН и ИГЕМ РАН.

#### 1.7 Исследование гравитационных волн в атмосферах планет

В 2021 году были получены и проанализированы данные по результатам восстановления параметров гравитационных волн (ГВ) в атмосфере Сатурна, полученные в эксперименте по звездному просвечиванию со спектрографа UVIS (Ultraviolet Imaging Spectrograph) с борта орбитального аппарата Cassini во время финальной фазы миссии, погружения в атмосферу планеты. Был применен и адаптирован для атмосферы Сатурна метод усреднения вертикального профиля температуры и дальнейшего получения характеристик ГВ, изначально разработанный для условий Марсианской атмосферы. Были исследованы и объединены в широтно-высотные распределения такие параметры ГВ, как амплитуда

волн, частота Брента-Вяйсяля, потенциальная энергия, вертикальные потоки горизонтального импульса, ускорения и меридиональная скорость волн. При составлении статистики использовано 18 высотных профилей температуры.

На рисунке представлен анализ одного из температурных профилей.

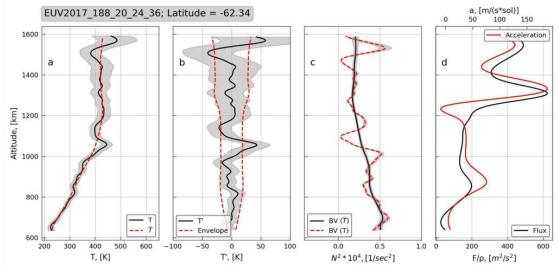


Рис.1 Высотные профили для затменного измерения в атмосфере Сатурна 2017-188-20-24-36. а) Измеренная (черная сплошная линия) и вписанная средняя температура (красная штриховая линия); b) колебания ГВ (сплошная черная линия) и амплитуда колебаний (красная штриховая линия); c) частота Брента-Вяйсяля, представленная для средней (сплошная черная линия) и измеренной температуры (красная штриховая линия); d) поток импульса на единицу массы (нижняя ось, черная линия) и ускорение (верхняя ось, красная линия). Затемнение отображает погрешность данных.

#### Раздел 2. ВЕНЕРА

### 2.1 Пространственное и временное распределение $O_3$ и $SO_2$ в ночной мезосфере Венеры на высотах 85-105 км

В 2021 году был проведен анализ вариаций двуокиси серы  $(SO_2)$  и озона  $(O_3)$ в диапазоне высот 85-105 км ночной атмосферы Венеры. Вертикальные распределения относительного содержания газов (VMR), т.е. отношения концентрации  $SO_2$  или  $O_3$  к одновременно измеренной концентрации углекислого газа, были получены из данных звездных просвечиваний 2006-2014 гг., которые наблюдались УФ каналом спектрометра СПИКАВ космической миссии «Венера-Экспресс». Наблюдения охватывают все ночное полушарие.

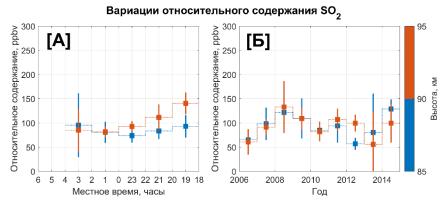


Рисунок 1.Вариации среднего значения относительного содержания SO<sub>2</sub>по местному времени (А) и долговременные вариации (Б) для двух диапазонов высот: 85–90 км (синий цвет) и 90–95 км (красный цвет). Среднее значение вычислялось в каждом из интервалов: 2 часа для местного времени и 1 год для временной зависимости.

Анализ вариаций  $SO_2$  в зависимости от местного времени (Рис. 1A) и года наблюдения (Рис. 1B) был проведен для среднего значения относительного содержания, вычисляемого, соответственно, для каждого отрезка в 1 час диапазона с 18:00 до 06:00 и для каждого года. В результате, за 8 лет наблюдений локальный минимум содержания газа обнаруживается в 2010 году (Рис. 1B). Но для каждого года кратковременные изменения содержания  $SO_2$  достигают одного порядка величины и приводят к большим стандартным отклонениям. При изучении зависимости от местного времени было получено, что среднее содержание $SO_2$ может уменьшаться от вечернего терминатора планеты к 02:00 (Рис. 1A) на 90-95 км.

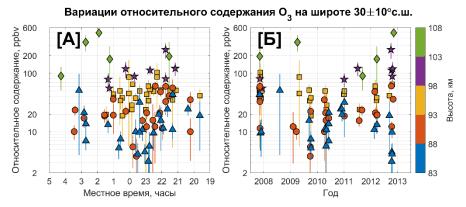


Рисунок 2. Вариации по местному времени (A) и долгосрочная изменчивость (Б) относительного содержания  $O_3$  в диапазоне широт  $30^{\circ}\pm10^{\circ}$  с.ш., где было достигнуто лучшее покрытие данными. Различными цветами обозначены интервалы высот в 5 км.

Вариации озона были подробно изучены для широт  $30^{\circ}\pm10^{\circ}$  с.ш., где было достигнуто наилучшее покрытие данными. Было получено, что распределение  $O_3$ по местному времени может изменятся с высотой (Рис. 2A). Ниже 93 км возможно уменьшение относительного содержания от терминаторов к полуночи. Этот минимум сглаживается выше в мезосфере. Изучение долгосрочных изменений (Рис. 2Б) не выявило значимых закономерностей.

### 2.2 Оценка применимости метода лазерной ионизационной масс-спектрометрии для исследования поверхности Венеры на посадочном аппарате

Состав реголита Венеры изучен не полностью и лишь в некоторых регионах планеты. Венеры проводился советскими посадочными аппаратами Анализ пород преимущественно в районах возвышенностей и равнин, при этом в ряде случаев определялись концентрации только радиоактивных элементов (Th, U, K) с помощью гамма-спектроскопии, в то время как аппаратами Венера-13, Венера-14 и Вега-2 были определены концентрации основных породообразующих элементов методом рентгеновской флуоресценции. При этом точность измерений для большинства элементов не превышала 15%, а проведенные исследования выявили довольно вариабельность состава реголита в зависимости от места посадки. В связи с этим очевидна необходимость детального изучения состава пород Венеры с применением методов, обеспечивающих более высокую точность измерений.

Одним из таких методов может являться лазерная ионизационная масс-спектрометрия (ЛИМС). Данный метод хорошо себя зарекомендовал при разработке и наземной отработке приборов для ряда космических миссий, включая Фобос-Грунт, Луна-25, Луна-27 и др. Характеристики приборов, разработанных для указанных миссий, позволяют утверждать, что в случае применения подобных масс-спектрометров в рамках проекта Венера-Д точность измерений состава пород будет значительно выше (не хуже 10%), чем в ходе предыдущих миссий. При этом будет определен состав элементов в широком диапазоне масс (1-250 а.е.м.), в том числе возможно определение концентраций легких

элементов и примесей, что ранее не проводилось. Вместе с исследованием элементного состава будет проведен анализ изотопного состава реголита, что в ходе предыдущих миссий также не выполнялось.

Важным преимуществом метода является анализ неоднородностей в микромасштабах (десятки микрометров), так как в случае обнаружения пород, характеризующихся зернистой структурой (граниты, пикриты), будет возможно определение состава отдельных зерен, и на основе их элементного состава возможна идентификация минералогического состава.

Определение состава пород с помощью ЛИМС способствует выявлению геологических процессов, сформировавших и изменивших поверхность планеты. В частности, наличие или отсутствие гранитов, а также ряда минералов, образующихся в присутствии воды, поможет установить, были ли океаны на ранней Венере. Кроме того, определение типа пород позволит дать геодинамическую характеристику места посадки. Измерение концентраций радиоактивных элементов (Th, U, K) на поверхности планеты способствует построению моделей их распределения в мантии Венеры и оценке потоков тепла, ответственных за циркуляционные процессы в мантии и реализацию различных сценариев обновления поверхности планеты. Данные о минералогическом составе поверхности Венеры могут прояснить вклад вулканизма и процессов выветривания в атмосферные процессы, а также уточнить модели взаимодействия атмосферных газов с реголитом.

Таким образом, приборы, применяющие метод ЛИМС могут быть использованы для решения широкого круга научных задач и обладают рядом преимуществ в сравнении с приборами, использовавшимися для определения элементного состава пород Венеры ранее.

#### Раздел 3. РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

# 3.1 На основе модельных экспериментов с импульсным лазером предложен механизм ударно-инициированного образования нанофазного металлического железа в лунном реголите

Известно, что значительное влияние на спектральные характеристики реголита Луны и других безатмосферных космических объектов оказывает наличие в минеральных частицах реголита нанофазного металлического железа (np-Fe $^0$ ), образующегося в процессе космического выветривания. Железо в такой форме повсеместно встречается в образцах лунного реголита в виде глобул размером  $\sim 5-20$  нм. Особенно часто np-Fe $^0$  обнаруживается в тонкой аморфной пленке на поверхности минеральных частиц. Как было показано в наших экспериментах, в образовании np-Fe $^0$  на Луне, помимо солнечного ветра и конденсации железа из пара, генерируемого при микрометеоритных ударах, задействован еще один механизм.

В лабораторных лазерных экспериментах (Nd:YAG-лазер,  $\lambda$ =1,06 мкм, длительность импульса –  $10^{-3}$  с, энергия импульса ~ 600-700 Дж, плотность потока энергии ~  $10^{6}$ - $10^{7}$  Вт/см²), имитирующих микрометеоритный "удар" по минеральным мишеням различного состава, показана возможность формирования сферул металлического железа различного размера (от десятков до сотен нанометров и единиц микрометров). Показана зависимость наличия и количества наносферул железа от материала мишени. Базальтовое стекло и оливин поддаются более глубокому и лёгкому преобразованию, чем кристаллический базальт и перидотит. При сравнении образцов, подвергнутых облучению в лазерных экспериментах, с зёрнами агглютинатов, доставленных АМС «Луна-20», отмечены схожие текстурные особенности.

На основе полученных результатов предложен новый механизм формирования  $np-Fe^0-$  путём термического восстановления в расплаве, т.е. *in situ*. Данный механизм следует принимать во внимание при объяснении происхождения  $np-Fe^0$ , широко распространённого в реголите Луны.

### 3.2 Исследование устойчивости микроорганизмов к воздействию факторов внеземного пространства

Ионизирующее излучение - один из основных факторов, ограничивающих выживание микроорганизмов во внеземных условиях. Выживаемость микроорганизмов при облучении существенно зависит от условий, в которых происходит облучение. В частности, большое влияние оказывают температура, давление, концентрация кислорода и воды. Однако влияние таких факторов, как интенсивность излучения (в условиях низких температур) и тип минеральной матрицы, в которой находятся микроорганизмы, практически не изучено. Показано, что радиорезистентность бактерий увеличиваться после воздействия на них сублетальных доз последующего И восстановления повреждений при благоприятных условиях, однако таких исследований также немного и влияние других факторов внеземного пространства (температуры, давления) при этом не изучалось. Нами исследована жизнеспособность бактерий Arthrobacterpolychromogenes, Kocuriarosea и Xanthomonassp. после облучения гаммаизлучением в дозе 1 кГр в условиях низкого давления (1 Торр) и низкой температуры (-50 °C) при различной интенсивности излучения (4 против 0,8 кГр / ч) с иммобилизацией бактерий на различных минеральных матрицах (монтмориллонит и аналог лунной пыли). Были облучены нативные, ранее необлученные штаммы, а также штаммы, которые ранее были облучены гамма-излучением и подвергнуты 10 пассажам культивирования на плотных средах. Количество выживших клеток определяли путем культивирования на твердой среде.

Показано, что радиорезистентность бактерий существенно зависит от типа минеральной матрицы, на которой они иммобилизованы, при этом монтмориллонит способствует повышенной выживаемости по сравнению с силикатной матрицей. Обнаружено, что выживаемость исследуемых бактерий увеличивается с уменьшением интенсивности излучения, несмотря на невозможность активных процессов репарации в условиях эксперимента. Учитывая низкую интенсивность излучения на различных космических объектах по сравнению с радиобиологическими экспериментами, это говорит о возможности более длительного сохранения жизнеспособных микроорганизмов вне Земли, чем принято считать. Выявлено повышение радиорезистентности бактерий даже после одного цикла облучения штаммов и их последующего культивирования в благоприятных условиях. Это указывает на возможность увеличения радиорезистентности гипотетических микроорганизмов на Марсе.

#### Раздел 4. МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

### 4.1 Сублимационная активность астероидов Главного пояса как подтверждение их общего происхождения за снеговой линией

Недавние UBVRI наблюдения ряда примитивных астероидов Главного пояса подтвердили, что при приближении к перигелию и повышении температуры поверхности в их спектрах появляются нехарактерные детали. Предполагается, что они связаны с сублимацией приповерхностного льда и выносом частиц других материалов, то есть, развитием экзосферы у астероида. Численное моделирование рассеяния в экзосфере, состоящей из агломератов льда, силикатов и/или органических соединений, подтверждает такой сценарий. Он может быть реализован (1) при повышенном содержании воды в материале астероида по сравнению с содержанием связанной воды в углистых хондритах, (2) при экскавации льдов из-за частых столкновений с другими телами, (3) при существенных колебаниях температуры поверхности при орбитальном движении, и (4) при усилении солнечной активности. Каждый из этих факторов сам по себе недостаточно эффективен, чтобы вызвать сублимацию летучих, но одновременное действие двух-трех из них может вызвать наблюдаемое явление. Сублимационная активность примитивных астероидов Главного пояса свидетельствует о их общем происхождении за снеговой линией в ранней Солнечной системе.

### 4.2 Лабораторные методы исследований приповерхностной экзосферы безатмосферных тел

В 2021 году продолжались лабораторные исследования моделирования динамических плазменно-пылевых процессов, которые могут встречаться к поверхности Луны и других безатмосферных тел. Эти исследования проводились на вакуумных установках отд. 53 ИКИ РАН.

### 4.2.1 Определение величины напряженности электрического поля, необходимой для возможного отрыва частиц реголита безамосферных тел

Наиболее вероятной причиной левитации пылевых частиц над освещенной поверхностью безвоздушных тел является электростатический механизм. Однако есть две существенные проблемы, возникающие при объяснении этого эффекта. Первая из них связана с вопросом о том, как большой электрический заряд (несколько единиц или даже десятков элементарных зарядов е), необходимый для левитации в поле двойного электрического слоя, может накапливаться на пылинке, лежащей на поверхности, и насколько большим он должен быть. Вторая проблема связана с выяснением природы силы, которая отрывает частицу пыли от поверхности, преодолевая адгезионную силу Ван-дер-Ваальса. По ряду гипотез (Hartzell et al., 2011; De, Criswell, 1977), для отрыва частиц необходимо электрическое поле, таким образом поверхность тела должна обладать неким потенциалом, отличным от электрического потенциала приповерхностной плазмы. Величина напряженности поля оценивается как 10<sup>3</sup> В/см. В лабораторной установке была воссоздана ситуация нахождения пылевых частиц (симулянта) на диэлектрической поверхности в поле величиной 3125 В/см. При приложении такого электрического поля наблюдался массовый отрыв частиц от поверхности по параболическим траекториям, что подтверждает ряд результатов, полученных в теоретических работах.

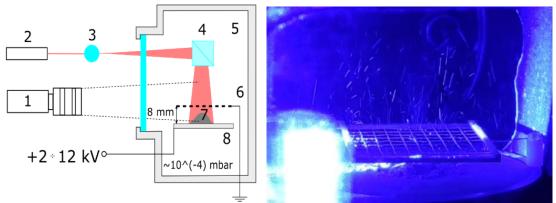


Рисунок — Схема эксперимента по созданию условий для левитации частиц (слева, 1 — скоростная камера, 2 — лазер, 3,4 — оптическая схема для подсветки частиц, 5 — вакуумная камера, 6 — заземленная сетка, 7 — образцы частиц, 8 — подложка) и треки взлетевших частиц (справа).

### 4.2.2 Восстановление траекторий пылевых частиц при моделировании физических процессов в приповерхностной экзосфере Луны

Выполнены лабораторные исследования по визуализации движения пылевых частиц с одновременной оценкой ее параметров. При выполнении исследований использовалась экспериментальная установка на основе вакуумной камеры для физического моделирования левитации пылевой плазмы. Визуализация левитации пылевых частиц осуществляется стереосистемой из двух камер. Частицы освещались лазерным лучом, который формируется специальной оптической системой.

Основная цель работы - определение траектории левитации частицы в трехмерных координатах. Траектории были получены классическим подходом - вычислением координат трехмерных точек из двухмерных координат точек с разных камер

стереосистемы. Максимальная мощность источника света была ограничена из-за возможности дополнительного воздействия на исследуемые частицы. Поэтому недостаток света в исследуемом объеме привел к необходимости использования специальной техники обработки изображений.

Предлагаемый подход и методика обработки изображений позволяют не только визуализировать, но и получать количественные значения параметров левитации. Эти параметры вносят ценный вклад в физические эксперименты по моделированию левитации пылевой плазмы и повышают вероятность успеха будущих полетов роботов и людей на Луну.

Разработанный инструмент визуализации траекторий пылевых частиц необходим для адекватной интерпретации научных данных, полученных в ходе планируемого эксперимента ПмЛ на лунных спускаемых аппаратах «Луна-25» (запуск запланирован на 2022 г.) и «Луна-27».

#### 4.2.3 Метод оценки запыленности поверхностей КА

Проведены лабораторные исследования, направленные на разработку методов оценки запыленности поверхностей КА. Проведены калибровки датчика: сняты показания при распределении кратных масс монодисперсной пыли. Даны оценки чувствительности датчика к пылевым частицам. Для  $0{,}0025$  г песка  $20{-}25$   $\mu$ м, распределенного равномерно по чувствительной области датчика, составляющей  $S=3.8~10^{-4}~\text{M}^2$ , зафиксирована чувствительность по K и ИК каналам датчика. Для измерений использован датчик MAX30105.

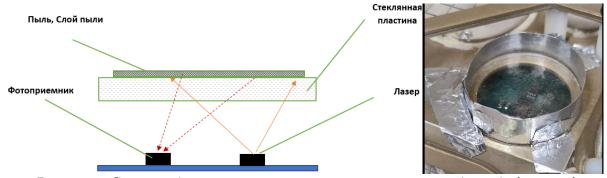


Рисунок – Схема работы датчика определения запыленности (слева), фотография чувствительной области датчика MAX3105 (справа).

#### 4.2.4. Разработка метода регистрации пылевых частиц на орбитах Луны

Выполнены исследования возможности регистрации пылевых частиц на орбитальном аппарате вокруг Луны. Метод регистрации основан на установке пьезо-датчиков на корпусе панелей солнечных батарей КА. Численные оценки и лабораторной макетирование показало, что прибор, основанный на предложенном методе, будет иметь апертуру на полтора порядка больше, чем прибор LDEX, работавший на КА LADEE. Кроме того, порог диапазон скоростей регистрируемых микрочастиц на орбите Луны таким прибором, будет значительно больше в сравнении с возможностями прибора LDEX. Получены экспериментальные данные, подтверждающие работоспособность методов детектирования межпланетной пыли с помощью солнечных панелей космических аппаратов. Опыты проводились с помощью небольшого фрагмента (~ 200 см2) солнечной панели с приклеенными к его поверхности пьезоэлектрическими датчиками для регистрации механического импульса, подключаемых напрямую или через усилитель к осциллографу. На разные участки этой поверхности с высоты 10 см производилось сбрасывание одиночных сферических металлических частиц, при свободном падении приобретающих импульсы, предположительно, входящие в диапазон значений, характерных для межпланетной космической пыли субмикронного размера. Было показано, в частности, что сигнал от частицы размером 0,2 мм может быть зарегистрирован даже в отсутствие усиления, а использование системы регистрации из 3

датчиков позволяет при известной скорости распространения акустических волн в материале с хорошей точностью рассчитывать место попадания частицы в солнечную панель. Эти данные указывают на возможность использования метода для оценки одиночных или суммарных импульсов частиц, встречающихся на при движении космического аппарата, а также для определения потоков таких частиц. Метод позволяет производить наблюдения за межпланетной и орбитальной пылью с апертурой детектора более 1 м2, достигаемой за счет использования элементов конструкции аппарата (солнечных панелей), т. е. при минимальных массовых потребностях (масса одного пьезодатчика не превышает 10 г). Также с помощью таких датчиков возможно наблюдать степень сохранности солнечной панели основываясь на регистрации частоты колебаний панели.

На основе полученных результатов подготовлено предложение по прибору для включения в состав орбитального аппарата Луна-26.

### 4.3 Изучение взаимовлияния лунных посадочных аппаратов и приповерхностной экзосферы Луны

Проводились исследования взаимовлияния лунных посадочных аппаратов и приповерхностной экзосферы Луны.

В частности, продолжались работы по численному моделированию влияния приповерхностной плазмы у Луны на распределение электрического потенциала на корпусе посадочного аппарата. При этом рассматривались конкретные случаи изменение потенциала КА с учетом предполагаемого места посадки КА Луна-25 и в зависимости от местного времени.

Результаты работы были опубликованы и докладывались на конференциях.

### 4.4 Изучение условий плазменно-пылевой экзосферы в полярных областях приповерхностной экзосферы Луны

С целью поддержки исследований динамики пылевых частиц в приповерхностной экзосфере Луны с помощью посадочного аппарат Луна-25, проводились исследования возможных условий в предполагаемом месте посадки КА Луна-25. Предлагаемые места посадки станций Луна-25 расположены в районе кратера Богуславского (около 70° лунной широты в Южном полушарии). В статье получены значения потенциала лунной поверхности ( $\phi_S = 0.8 \div 1.8$  В), длины Дебая ( $\lambda_D = 1.3$  м) и электрического поля ( $E = 0.6 \div 1.4$  В/м) на 70° широте Луны в зависимости от скорости солнечного ветра и определено распределение частиц пыли вблизи этих широт. Предложено краткое описание методов определения параметров пылевой плазмы вблизи лунной поверхности.

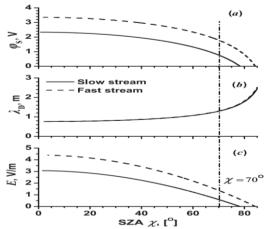


Рис.1 Зависимость потенциала  $\phi_S$ , деоаевского радиуса  $\lambda_D$ , и электрического поля от лунной широты

Расчет распределения частиц пыли на 77° широте в зависимости от высоты над лунной поверхностью указывает на характерный диаметр частиц пыли  $\leq 200$  нм при концентрации  $\sim 2000/\text{см}^3$ . Чувствительность пьезоэлементов, входящих в состав прибора

ПмЛ для Луны-25, не позволяет измерять параметры пылевых частиц таких малых размеров, но позволяет изучать влияние микрометеоритов на формирование лунного реголита.

### 4.5 Изучение флуктуаций электрического заряда и локальных электрических полей на поверхности диэлектрика при воздействии потоков плазмы и УФ излучения

Продолжались теоретические работы по изучению флуктуаций электрического заряда и локальных электрических полей на поверхности диэлектрика при воздействии потоков плазмы и УФ излучения. Эти исследования направлены на понимание возникновения условий отрыва пылевых частиц от поверхности реголита. Отрыв пылевых частиц от поверхности реголита может происходить тогда, когда значения возникающих электростатических полей превышают гравитационную силу и силу адгезии ван дер Вальса. В выполненных работах показано, что такие условия могут возникнуть в микрообластях поверхности при флуктуациях электрического заряда на поверхности реголита под действием потоков заряженных частиц лили УФ излучения (фотоэффекта).

По материалам этих исследований опубликована статья в журнале Plasma.

#### Раздел 5. ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

### 5.1 Разработка методики измерения волнового фронта для задачи получения прямого изображения экзопланет

Коронографическое увеличение контраста вблизи яркого источника (например, звезды) достигается с помощью звездного коронографа интерференционного типа. Для любого типа коронографа (масочного, апподизационного или интерференционного) требуется высокое качество волнового фронта (ВФ). При отсутствии требуемого качества ВФ на входе, ВФ корректируют средствами прецизионной адаптивной оптики (АО). Для получения контраста  $10^9$  по интенсивности на расстоянии  $1...10 \lambda / D$  (где  $\lambda$  – длина волны, D – диаметр входной оптики телескопа (главного зеркала, линзы, апертуры и т. п.)) необходимо качество волнового фронта, превосходящее по величине среднеквадратичное отклонение (RMS)  $\sim \lambda/1000$ . Важной подзадачей исправления ВФ с указанной точностью является определение распределения ВФ (по величине фазы и интенсивности) в плоскости корректора ВФ, устанавливаемого до коронографа. Стандартные методики, например датчик волнового фронта (ДВФ), например, датчик Гартмана, оказываются неточными при использовании в данной задаче. Коронограф является сложным нелинейным элементом, нетривиальным для расчета в дифракционной оптике. Интегральное пропускание коронографа и распределение интенсивности после коронографа нелинейно зависят от распределений фазы и амплитуды ВФ на входе. Для прецизионной коррекции ВФ (до значений RMS $\sim \lambda/100$  ...  $\lambda/1000$ ), использование стандартных методов (при помощи ДВФ) определения распределения ВФ до коронографа не учитывает важную составляющую, так называемую аберрацию необщего пути (АНП, от англ. non-commonpath aberration). АНП физически происходит от Френелевских аберрационных экранов, она представляет собой вклад аберраций и микрошероховатости плоскостей, не сопряженных с плоскостью корректора ВФ на оптических плоскостях и апертурах до коронографа и внутри коронографа. Плоскость, где устанавливают корректирующий элемент, оптически сопряжена со зрачковой плоскостью оптической системы, и нет принципиальной возможности установить корректирующие элементы всех сопряженных плоскостях, так как этих плоскостей много.

На данном этапе исследования мы решили следующие задачи: был смоделирован и экспериментально исследован алгоритм определения амплитудно-фазового измерения ВФ с фиксацией серии изображений после интерференционного коронографа. Эксперимент показал хорошее согласие с теорией и модельными расчетами. Был создан и использован для расчета пакет программ для оптических расчетов дифракционной оптики, обеспечивающий точности преобразований Фурье и Френеля, превосходящие  $\lambda/10000$ .

#### Раздел 6. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОДДЕРЖАННЫЕ ГРАНТОМ МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

### 6.1 Распределение транзитных экзопланет по массе с использованием зависимостей масса-радиус

Проведено альтернативное исследование закона распределения транзитных экзопланет по массе, в которых масса планет с неизмеренной массой определялась из зависимости масса-радиус, что позволило провести проверку ранее полученных и опубликованных результатов.

Работа посвящена исследованию экзопланет, обнаруженных космическими телескопами Kepler и TESS, и распределению остальных транзитных экзопланет (преимущественно обнаруженных наземными средствами), масса которых известна по архивным данным. Систематизированы данные об экзопланетах, обосновано разделение экзопланет на две группы и найдены некоторые новые особенности их распределения по массе и по радиусу. Проведенный обзор известных по публикациям зависимостей масса-радиус позволил вычислить массы экзопланет. Полученные распределения по массе (с учетом вычисленных масс и аппроксимации степенным законом), были сравнены с результатами серии наших работ (Иванова и др. 2019, Ananyeva et al, 2020, Ананьева и др. 2020). Дополнительно представлены результаты проверки гипотезы соответствии распределений степенному закону при варьировании минимального значения массы рассматриваемого интервала. Полученные распределения хорошо аппроксимируются кусочным степенным законом, параметры которого сравнивались с предсказаниями теории популяционного синтеза (Mordasini, 2018).

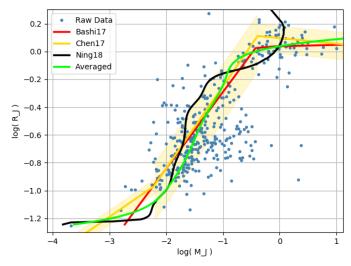


Рисунок показывает зависимости масса-радиус, используемые для вычисления ожидаемой массы экзопланет по их радиусам, показанные на фоне данных из Архива о транзитных экзопланетах с измеренными массами на плоскости  $\log M - \log R$ .

Работа поддерживается грантом Министерства высшего образования и науки РФ 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039) «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет».

### 6.2 Исследование и коррекция теллурического поглощения в спектрах звезд с целью обнаружения экзопланет

Одним из методов обнаружения экзопланет является метод лучевых скоростей, который выявляет периодичности в вариациях лучевой скорости звезд и верифицирует уравнения Кеплера для определения параметров экзопланеты. В последние годы ведется работа по развитию метода фитирования полученного спектра звезды и шаблона, но метод кросскорреляции до сих пор остается главенствующим. При использовании любого из вышеуказанных методов исследователи сталкиваются с проблемой теллурического поглощения. Поскольку спектры звезд получены с Земли, они содержат также линии

поглощения, образующиеся в земной атмосфере, или теллурические линии поглощения. В качестве модели земной атмосферы используется TAPAS. Вначале были выбраны спектры горячих звезд, которые проще для коррекции от теллурического поглощения, так как в них почти нет звездных линий.

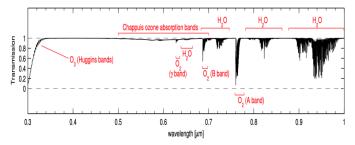


Рисунок 1 показывает модель пропускания излучения атмосферой Земли в диапазоне от 0.3 до 1 микрометра.

Коррекция от теллурического поглощения позволила выделить ранее незадействованную в анализе линию калия (7664.8Å), которая обычно смешивается с теллурической линией кислорода. Одновременная работа с двумя линиями позволила повысить точность измерений и составить более полные и точные карты.

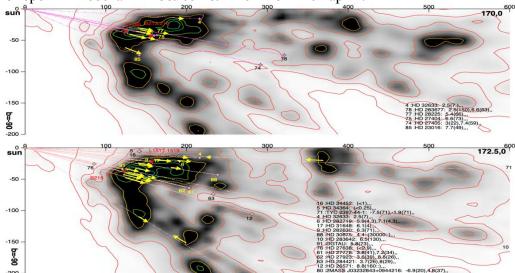


Рисунок 2 показывает карты межзвездного вещества со скоростью и направлением движения облаков. Галактические долготы - 170,0 и 172,5. Галактические широты от 0 до -90.

Работа. поддерживается грантом Министерства высшего образования и науки РФ 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039) «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет».

#### 6.3 Разработка алгоритма быстрого гидирования

Для быстрого и точного гидирования разработан метод идентификации кадра звездного датчика (ЗД), основанный на определении набора локальных признаков звезды, которые позволяют однозначно опознавать ее. Идентификаторы звезд при этом размещаются в многомерном целочисленном признаковом пространстве, а соответствующий ему признаковый каталог представлен разреженным массивом, что позволяет определять звезду без перебора. Разработаны примеры бортовой реализации признаковых каталогов, состоящих из звезд до 6 звездной величины. Проведена оценка требуемой для них памяти и предложен механизм сжатия признакового каталога для размещения его в памяти бортового компьютера. Подробно исследован алгоритм идентификации кадра с использованием признакового каталога уменьшенной размерности. Проверка алгоритма осуществлялась на реальных кадрах неба. Для широкого применения решена подзадача определения координат звезд, попавших в поле зрения кадра звездного датчика. Несмотря

на большое число разработок и широкое использование ЗД, продолжается поиск путей совершенствования и оптимизации применяемых методов идентификации кадра ЗД, для чего было проведено комплексное рассмотрение характеристик ЗД и его ключевой составной части — бортового навигационного звездного каталога. В частности, был минимизирован объем каталога и время получения решения при его использовании.

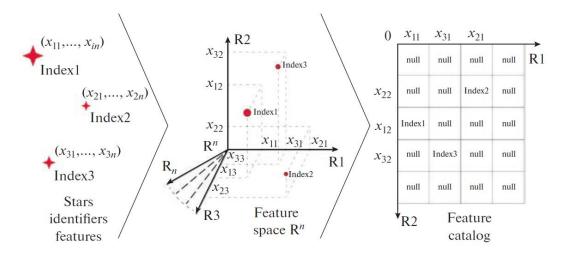


Рисунок показывает пример построения каталога звезд в новом признаковом пространстве для оптимального быстрого поиска.

Работа поддерживается грантом Министерства высшего образования и науки РФ 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039) «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет».

### 6.4 Состав частиц комы межзвездной кометы 2I Borisov и подтверждение единого механизма формирования комет в Солнечной системе и вне ее

При приближении кометы 2I к Солнцу в октябре—декабре 2019, от 2.4 к 2.01 а.е., UBVRI измерения зарегистрировали существенные вариации в ее спектре. Численное моделирование рассеяния на агрегатных частицах в коме кометы, окружающей ядро, показало, что во время наблюдений в рассеянии комой превалировали агрегаты субмикронных частиц Mg-Fe силикатов и, возможно, органических соединений, в то время как вклад ледяных агрегатов был несущественным. Этот результат согласуется с выводами о свойствах пыли в коме кометы 67P/Churyumov—Gerasimenko по результатам миссии Rosetta, что подтверждает единый механизм формирования таких объектов, как кометы, в Солнечной системе и вне ее. Рост интенсивности в коротковолновом диапазоне у кометы 2I в отдельные даты связан с повышенным выделением газовой компоненты и/или очень мелких частиц. Спорадический характер этого явления говорит о неоднородном распределении активных зон на поверхности ядра кометы 2I.

Работа поддерживается грантом Министерства высшего образования и науки РФ 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039) «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет».

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2021г. по теме ПЛАНЕТА.

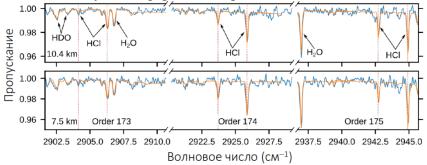
Два важнейших(уникальных) результата исследований ИКИ РАН в 2021г.:

#### 1. Открытие и исследование хлорводорода в атмосфере Марса

Кораблев О.И., Трохимовский А, Федорова А.А., Беляев Д., Лугинин М., Патракеев А., Игнатьев Н., Шакун А., Григорьев А.,

Институт Космических Исследований РАН в кооперации с научными организациями Великобритании, Бельгии, Франции, США, Украины, Испании, Италии.

Обнаружен новый газв атмосфере Марса. В спектрах российского спектрометра АСSна космическом аппарате ExoMars TraceGasOrbiteryверенно отождествлены 12 линий хлороводорода (HCl). Хлороводородв количестве 1–4 ррbvбыл зарегистрирован в атмосфере во время глобальной пылевой бури 34 марсианского года (2018), и постепенно исчез после ее окончания. Газ появился и в следующий, 35 марсианский год − хотя глобальной пылевой бури в этот год не было. Вне пылевого сезона установлены верхние пределы ≤0,1ppbv, в согласии с прежними наблюдениями с земли и космической обсерватории Hershel.Вероятно, HCl образуется ежегодно во время пыли и водяного пара. Не исключены и источники на поверхности.Исследованизотопный состав хлораН<sup>37</sup>Cl/H<sup>35</sup>Cl. В отличие от других газов, обогащенных тяжелыми изотопами вследствие потери Марсом атмосферы, изотопное отношение в хлороводородеблизко к земному. Это указывает, что хлор в его составе не участвует в длительных процессах обмена между атмосферойи поверхностью.



Участки спектров атмосферы Марса измеренные прибором ACSMIR, демонстрирующие шесть линий поглощения открытого хлороводорода ( $H^{35}Cl$  и  $H^{37}Cl$ ).

Korablev, O., Olsen, K.S., Trokhimovskiy, A., Lefevre, F., Montmessin, F., Fedorova, A.A. Toplis, M.J., Alday, J., Belyaev, D.A., Patrakeev, A., Ignatiev, N.I., Shakun, A.V., Grigoriev, A.V., ..., Vandaele, A.C. TransientHClintheatmosphereofMars. *Science Adv.* 7, eabe4386(2021) doi:10.1126/sciadv.abe4386

Olsen, K.S., Trokhimovskiy, A., Montabone, L., Fedorova, A.A., Luginin, M., Lefevre, F., Korablev, O.I., Montmessin, F., ..., Belyaev, D.A., Patrakeev, A. Shakun, A. Seasonal reappearance of HCl in the atmosphere of Mars during the Mars year 35 dusty season. *Astron. Astrophys.* 647, A161(2021) doi:10.1051/0004-6361/202140329

Aoki, S., Daerden, F., Viscardy, S., ..., Trokhimovskiy, A., Fedorova, A.A., Korablev, O., Vandaele, A.C. Annual appearance of hydrogen chloride on Mars and a striking similarity with the water vapor vertical distribution observed by TGO/NOMAD. *Geophys. Res. Lett.* 48, 2021GL092506(2021)doi: 10.1029/2021GL092506

Trokhimovskiy, A., Fedorova, A.A., Olsen, K.S., Alday, J., Korablev, O., Montmessin, F., Lefevre, F., Patrakeev, A., Belyaev, D., Shakun, A.V. Isotopes of chlorine from HCl in the Martian atmosphere *Astron. Astrophys.* 651, A32(2021)doi:10.1051/0004-6361/202140916

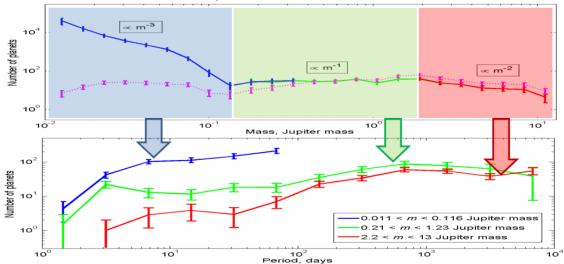
-Результат получен при поддержке темы «Планета» и гранта РНФ-ANR 20-42-09035 -номер научного направления ПФНИ: 1.3.7.5 Планеты и планетные системы.

## 2. Коррекция от наблюдательной селекции статистических распределений экзопланет по массам и по орбитальным периодам, усредненное строение экзопланетных систем

В. И. Ананьева, А. Е. Иванова, О. Я. Яковлев, А. В. Тавров

Предложены и исследованы методы коррекции наблюдательной селекции в статистике транзитных и RV (лучевые скорости) экзопланет по массам и по орбитальным периодам. Скорректированные распределения наблюдаемых экзопланет по их массам хорошо описываются следующими степенными законами: малые массы экзопланет (0.011-0.21 масс Юпитера)  $\propto m^{-3}$ , средние массы экзопланет (0.21-2 масс Юпитера)  $\propto m^{-1}$ и большие массы экзопланет (2-13 масс Юпитера)  $\propto m^{-2}$ . Результат находится в согласии с теорией популяционного синтеза, и показывает ряд новых особенностей (пустыня горячих нептунов и др.) Согласуются распределения планет, полученные разными наблюдательными методами, в частности транзитным и RV- методами.

Распределения экзопланет по орбитальным периодам планет разных массовых интервалов свидетельствует об усредненном строении планет внутри планетных систем, где более массивные планеты находятся преимущественно на дальних орбитах (по аналогии с Солнечной системой).



(Рисунок сверху) скорректированное распределение RV экзопланет (с массами 0.011-13 масс Юпитера), малиновая линия — нескорректированное распределение. (Рисунок снизу): Распределение экзопланет по орбитальным периодам, цвета линий соответствуют последовательным массовым интервалам как на рисунке сверху.

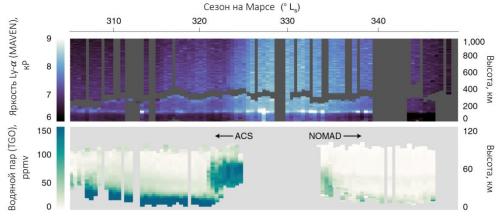
- 1. Yakovlev, O. Y., Ananyeva, V. I., Ivanova, A. E., & Tavrov, A. V. (2021). Comparison of the mass distributions of short-period exoplanets detected by transit and RV methods. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 509(1), L17-L20.
- 2. Yakovlev, O. Y., Ivanova, A. E., Ananyeva, V. I., Shashkova, I. A., Yudaev, A. V., Bertaux, J. L., & Tavrov, A. V. (2021). The Mass Distribution of Transit Exoplanets from the Mass–Radius Relationships: the Structurization within Planetary Systems. *Solar System Research*, 55(3), 200-217.
- 3. Ivanova, A. E., Yakovlev, O. Y., Ananyeva, V. I., Shashkova, I. A., Tavrov, A. V., & Bertaux, J. L. (2021). The "Detectability Window" Method to Take into Account Observational Selection in the Statistics of Exoplanets Discovered through Radial Velocity Measurements. *Astronomy Letters*, 47(1), 43-49.
- II. Физические науки, направление 16. Номер темы в системе «Парус»: 0028-2019-0014

### Наиболее значимый результат института, выполняемый в рамках государственного задания в 2021г.:

#### Потери воды с Марса

Федорова А.А., Трохимовский А, Кораблев О.И., Беляев Д.А, Патракеев А.,Шакун А. ИнститутКосмическихИсследованийРАН в кооперации с научными организациями США, Великобритании, Франции, Бельгии, Испании, Италии.

Судьба воды является ключевым вопросом истории Марса. Ее потерив результате фотодиссоциации и последующей диссипации водорода зависят от солнечного излучения сверху и подъема воды снизу. Наблюдения атмосферы Марса российскими приборами ACSи космических аппаратах **ExoMars** TGO MarsExpress, **SPICAM**Ha охватывающиевосемь марсианских лет и две глобальные пылевые бури, позволили исследовать распределение воды до больших высот. Подтверждена эффективность пылевых бурь в подъеме воды и установлено что такой подъемпроисходит каждый марсианский год, летом в южном полушарии. Эффективность процесса диссоциации впервые подтверждена одновременными наблюдениями водородной короны на КА MAVENво время регионального пылевого события. По данным ACSизучено отношение (H<sub>2</sub>O и HDO) в зависимости концентрации обычной и тяжелой воды высоты. Установлено, что образование атомарного водорода и дейтериярегулируется преимущественно фотолизом, а не конденсацией, как считалось ранее. Результат позволит уточнить оценки полныхпотерь воды с Марса, опирающиеся на отношение дейтерия к водороду.



Увеличение интенсивности свечения атомарного водорода на порядок (данные MAVEN) приподъеме водяного пара из нижней атмосферы (данные ACS/TGO) во время региональной пылевой бури на Марсе в начале 2019г.

Fedorova, A., Montmessin, F., Korablev, O., Lefevre, F., Tokhimovskiy, A., Bertaux, J.L. Multiannual monitoring of the water vapor vertical distribution on Mars by SPICAM on Mars Express. *J. Geophys. Res.-Planets* 126, e2020JE006616 (2021) doi:10.1029/2020JE006616. Chaffin, M.S., Kass, D.M., Aoki, S., Fedorova, A.A., ..., Trokhimovskiy, A., Korablev, O.I. Martian water loss to space enhanced by regional dust storms. *Nature Astronomy* 5, 1036 (2021) doi:10.1038/s41550-021-01425-w.

Alday, J., Trokhimovskiy, A., ... Fedorova, A.A., Belyaev, D.A. Olsen, K.S., Korablev, O., ..., Patrakeev, A.Shakun, A. Isotopic fractionation of water and its photolytic products in the atmosphere of Mars. *Nature Astronomy* 5, 943 (2021)doi: 10.1038/s41550-021-01389-x. Holmes, J.A., Lewis, S.R., Patel, M.R., ..., Fedorova, A.A., Kass, D.M., Vandaele, A.C., Enhanced water loss from the martian atmosphere during a regional-scale dust storm and implications for long-term water loss, *Earth Planet. Sci. Lett.* 571, 117109 (2021) doi:10.1016/j.epsl.2021.117109.

- -Результат получен в рамках темы «Планета»
- -номер научного направления ПФНИ: 1.3.7.5 Планеты и планетные системы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Список публикаций:

Всего научных публикаций в 2021 г: 55

Число опубликованных научных публикаций без РНФ в 2021 г: 48

Статьи в зарубежных изданиях: 46

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах: 9

Статьи в сборниках материалов конференций: 15

Доклады, тезисы, циркуляры: 33

Статьи в научно-популярных изданиях: 0

Другие издания: 1

Патенты: 2

Число публикаций работников в базе Web of Science: **34** Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными

учёными: **25** В печати: **2** 

#### Статьи в зарубежных изданиях:

- Alday, J., Trokhimovskiy, A., Irwin, P.G.J., Colin F. Wilson, Franck Montmessin, Franck Lefévre, Anna A. Fedorova, Denis A. Belyaev, Kevin S. Olsen, Oleg Korablev, Margaux Vals, Loïc Rossi, Lucio Baggio, Jean-Loup Bertaux, Andrey Patrakeev&Alexey Shakun, Isotopic fractionation of water and its photolytic products in the atmosphere of Mars. *Nature Astronomy*, 5, 943–950 (2021). https://doi.org/10.1038/s41550-021-01389-x, IF 14.437, Q1
- 2. Aoki, S., Daerden, F., Viscardy, S., Thomas, I. R., Erwin, J. T., Robert, S., L. Trompet, L. Neary, G. L. Villanueva, G. Liuzzi, M. M. J. Crismani, R. T. Clancy, J. Whiteway, F. Schmidt, M. A. Lopez-Valverde, B. Ristic, M. R. Patel, G. Bellucci, J.-J. Lopez-Moreno, K. S. Olsen, F. Lefèvre, F. Montmessin, A. Trokhimovskiy, A. A. Fedorova, O. Korablev, A. C. Vandaele (2021). Annual appearance of hydrogen chloride on Mars and a striking similarity with the water vapor vertical distribution observed by TGO/NOMAD. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL092506. https://doi.org/10.1029/2021GL092506, **IF 4.720**, **Q1**
- 3. Barke V. V., A. A. Venkstern, V. A. Kottsov, A. V. Tavrov, and A. V. Yudaev, A Fast Search-Free Algorithm for Star Sensor Frame Identification by Star Configurations. A Version of Onboard Implementation, ISSN 2075-1087, *Gyroscopy and Navigation*, 2021, Vol. 12, No. 3, pp. 254–264. © Pleiades Publishing, Ltd., 2021. DOI: 10.1134/S2075108721030020, **IF 1.569,Q2**
- Belyaev, D. A., Fedorova, A. A., Trokhimovskiy, A., Alday, J., Montmessin, F., Korablev, O. I., et al. (2021). Revealing a high water abundance in the upper mesosphere of Mars with ACS onboard TGO. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093411. <a href="https://doi.org/10.1029/2021GL093411">https://doi.org/10.1029/2021GL093411</a>, (PHΦ N20-42-09035), IF 4.720, Q1
- 5. Busarev, V.V., Petrova, E.V., Shcherbina, M.P., Ikonnikova, N.P., Burlak, M.A., Belinski, A.A., Interstellar comet 2I/Borisov: dust composition from multiband photometry and modeling. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume502, Issue2, Page1882-1894, DOI10.1093/mnras/staa4022, (2021), **IF** 5.287, Q1
- 6. Busarev, V.V., Petrova, E.V., Irsmambetova, T.R., Shcherbina, M.P., Barabanov, S.I., Simultaneous sublimation activity of primitive asteroids including (24) Themis

- and (449) Hamburga: Spectral signs of an exosphere and the solar activity impact. *Icarus*, Volume369, Article Number114634, DOI10.1016/j.icarus.2021.114634, (2021), **IF 3.508**, **Q2**
- Chaffin, M.S., Kass, D.M., Aoki, S., A. A. Fedorova, J. Deighan, K. Connour, N. G. Heavens, A. Kleinböhl, S. K. Jain, J.-Y. Chaufray, M. Mayyasi, J. T. Clarke, A. I. F. Stewart, J. S. Evans, M. H. Stevens, W. E. McClintock, M. M. J. Crismani, G. M. Holsclaw, F. Lefevre, D. Y. Lo, F. Montmessin, N. M. Schneider, B. Jakosky, G. Villanueva, G. Liuzzi, F. Daerden, I. R. Thomas, J.-J. Lopez-Moreno, M. R. Patel, G. Bellucci, B. Ristic, J. T. Erwin, A. C. Vandaele, A. Trokhimovskiy&O. I. Korablev. Martian water loss to space enhanced by regional dust storms. *Nature Astronomy*, 5, 1036–1042 (2021). <a href="https://doi.org/10.1038/s41550-021-01425-w">https://doi.org/10.1038/s41550-021-01425-w</a>, IF 14.437, Q1
- 8. Cheptsov, V. S., Belov, A. A., Vorobyova, E. A., Pavlov, A. K., &Lomasov, V. N.. Effects of Radiation Intensity, Mineral Matrix, and Pre-Irradiation on the Bacterial Resistance to Gamma Irradiation under Low Temperature Conditions. *Microorganisms*, 9(1), 198. (2021). DOI: 10.3390/microorganisms9010198, **IF** 4.167.02
- 9. Cheptsov, V. S., Belov, A. A., Vorobyova, E. A., Pavlov, A. K., Tsurkov, D. A., Frolov, D. A., Lomasov, V. N., Chumikov, A. E., Resistance of Enzymes to Ionizing Radiation under Model Conditions of the Martian Regolith. *Solar System Research*, Volume55, Issue5, Page383-388, DOI10.1134/S003809462104002X, (2021), (РФФИ N20-02-00470), IF 0.706, Q4
- 10. Cheptsov, V. S., Vorobyova, E. A., Manucharova, N. A., Gorlenko, M., V., Pavlov, A. K., Rozanova, M. S., Lomasov, V. N., Belov, A. A., Chumikov, A. E., Prokaryotic Community of the Ancient Antarctic Permafrost after Irradiation with Gamma Rays under Simulated Martian Conditions. *Eurasian Soil Science*, Volume54, Issue3, Page417-423, DOI10.1134/S1064229321030030, (2021), (РНФ N17-12-01184, РФФИ N20-02-00470), IF 1.369, Q4
- 11. Chumikov, A. E, Cheptsov, V. S., Managadze, N. G., Managadze, G. G. (2021).LASMA-LR Laser-Ionization Mass Spectrometer Onboard Luna-25 and Luna-27 Missions. *Solar System Research*, 55(6), 550-561.DOI: 10.1134/S0038094621060022), **IF 0.706, Q4**
- 12. Chumikov, A. E., Cheptsov, V. S., Wurz, P., Lasi, D., Jost, J., Managadze, N. G., Design, characteristics and scientific tasks of the LASMA-LR laser ionization mass spectrometer onboard Luna-25 and Luna-27 space mission. *International Journal of Mass Spectrometry*, Volume469, Article Number116676, DOI10.1016/j.ijms.2021.116676, (2021), **IF 1.986, Q3**
- 13. Evdokimova, D., Belyaev, D., Montmessin, F., Korablev, O., Bertaux, J. L., Verdier, L., Lefevre, F., Marcq, The Spatial and Temporal Distribution of Nighttime Ozone and Sulfur Dioxide in the Venus Mesosphere as Deduced From SPICAV UV Stellar Occultations. *Journal of Geophysical Research-Planets*, Volume126, Issue3, Article Numbere2020JE006625, DOI10.1029/2020JE006625, (2021), **IF 3.755, Q2**
- Fedorova, A., Montmessin, F., Korablev, O., Lefèvre, F., Trokhimovskiy, A. &Bertaux, J. L. (2021). Multi-annual monitoring of the water vapor vertical distribution on Mars by SPICAM on Mars Express. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2020JE006616. <a href="https://doi.org/10.1029/2020JE006616">https://doi.org/10.1029/2020JE006616</a>. IF 3.755, Q2
- 15. Forget, F., Korablev, O., Venturini, J., Imamura, T., Lammer, H., Blanc, M, Editorial: Topical Collection on Understanding the Diversity of Planetary Atmospheres, *Space Science Reviews*, Volume217, Issue4, Article Number51, DOI10.1007/s11214-021-00820-z, (2021), **IF 8.017**, **Q1**

- 16. Holmes J.A., S.R. Lewis, M.R. Patel, M.S. Chaffin, E.M. Cangi, J. Deighan, N.M. Schneider, S. Aoki, A.A. Fedorova, D.M. Kass, A.C. Vandaele, Enhanced water loss from the martian atmosphere during a regional-scale dust storm and implications for long-term water loss, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 571, 2021, 117109, ISSN 0012-821X, <a href="https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117109">https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117109</a>, IF 4.581, O1
- 17. Ivanova A., R. Lallement, J. L. Vergely and C. Hottier «Toward a 3D kinetic tomography of Taurus clouds» *Astronomy & Astrophysics*, Volume 652, August 2021, A22, https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140514, **IF 5.802, Q1**
- Ivanova, A.E., Yakovlev, O. Ya., Ananyeva, V. I., Shashkova, I. A., Tavrov, A. V., Bertaux, J. -L., The "Detectability Window" Method to Take into Account Observational Selection in the Statistics of Exoplanets Discovered through Radial Velocity Measurements. *Astronomy Letters*, Volume47, Issue1, Page43-49, DOI10.1134/S1063773721010059, (2021), IF 1.384, Q3
- 19. Kameda, S., 2 Murakami, G., Tavrov, A., Enya, K., Sachkov, M., Ikoma, M., Narita, N., Korablev, O., UVSPEX/WSO-UV for Earth-like exoplanetary oxygen exospheres. *Space Telescopes and Instrumentation 2020: Ultraviolet to Gamma Ray, Book SeriesProceedings of SPIE*, Volume11444, Article Number114440L, DOI10.1117/12.2576260,(2021) Conference on Space Telescopes and Instrumentation Ultraviolet to Gamma Ray / SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Conference Location Electr Network
- 20. Korablev O., K.S. Olsen, A.Trokhimovskiy, F.Lefèvre, F.Montmessin, A.A. Fedorova, M.J. Toplis, J.Alday, D.A. Belyaev, A.Patrakeev, N.I. Ignatiev, A.V. Shakun, A.V. Grigoriev, L.Baggio, I.Abdenour, G.Lacombe, Y.S. Ivanov, S.Aoki, I.R. Thomas, F.Daerden, B.Ristic, J.T. Erwin, M.Patel, G.Bellucci, J.-J. Lopez-Moreno, A.C. Vandaele, Transient HCl in the atmosphere of Mars. *Science Advances*.7, Article Numbereabe 4386 (2021), DOI10.1126/sciadv.abe4386, (PHΦ N20-42-09035), IF 14.136, Q1
- 21. Kotsyurbenko, O. R., Cordova Jr, J. A., Belov, A. A., Cheptsov, V. S., Kölbl, D., Khrunyk, Y. Y., Kryuchkova, T. Milojevic, R. Mogul, S. Sasaki, G. P. Słowik, V. Snytnikov, & Vorobyova, E. A. (2021). Exobiology of the Venusian Clouds: New Insights into Habitability through Terrestrial Models and Methods of Detection. *Astrobiology*, 21(10), 1186-1205.DOI: 10.1089/ast.2020.2296, **IF 4.335, Q2**
- 22. Lefèvre, F., Trokhimovskiy, A., Fedorova, A., Baggio, L., Lacombe, G., Määttänen, A., et al. (2021). Relationship between the Ozone and Water Vapor columns on Mars as Observed by SPICAM and Calculated by a Global Climate Model. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2021JE006838. https://doi.org/10.1029/2021JE006838, **IF 3.755, Q2**
- 23. Mangano, V.,Dosa, M.,Franz, M., Milillo, A., Oliveira, J.S., Lee, Y.J., McKenna-Lawlor, S., Grassi, D., Heyner, D., Kozyrev, A.S., Peron, R., Helbert, J., Besse, S., de la Fuente, S., Montagnon, E., Zender, J., Volwerk, M., Chaufray, J.Y., Slavin, J.A., Kruger, H., Maturilli, A., Cornet, T., Iwai, K., Miyoshi, Y., Lucente, M., Massetti, S., Schmidt, C.A., Dong, C.F., Quarati, F., Hirai, T., Varsani, A., Belyaev, D., Zhong, J., Kilpua, E.K.J., Jackson, B.V., Odstrcil, D., Plaschke, F., Vainio, R., Jarvinen, R., Ivanovski, S.L., Madar, A., Erdos, G., Plainaki, C., Alberti, T., Aizawa, S., Benkhoff, J., Murakami, G., Quemerais, E., Hiesinger, H., Mitrofanov, I.G., Less, L., Santoli, F., Orsini, S., Lichtenegger, H., Laky, G., Barabash, S., Moissl, R., Huovelin, J., Kasaba, Y., Saito, Y., Kobayashi, M., Baumjohann, W., BepiColombo Science Investigations During Cruise and Flybys at the Earth, Venus and Mercury. Space Science Reviews, Volume 217, Issue1, Article Number23, DOI10.1007/s11214-021-00797-9,(2021), IF 8.017, Q1

- 24. Mantsevich S. N., Yu. S. Dobrolenskiy, N. A. Evdokimova, O. I. Korablev, Yu. K. Kalinnikov, N. A. Vyazovetskiy, I. A. Dzyuban, A. G. Sapgir, A. V. Stepanov, A. Yu. Titov, K. V. Aleksandrov, A. V. Bondarenko, I. V. Dokuchaev, M. G. Knyazev, A. Ya. Dokuchaev, and F. V. Kulakov. Lunar Infrared Spectrometer with TV Support of the Robotic Arm Working Zone (LIS-TV-RPM). *Solar System Research*, 2021, Vol. 55, No. 6, pp. 537–549. DOI: 10.1134/S0038094621060071. IF 0.706, Q4
- 25. Meshcherinov V. V.; I. I. Vinogradov; M. V. Gerasimov; V. A. Kazakov; M. V. Spiridonov; A. A. Venkstern; Yu. V. Lebedev; A. V. Nosov; M. Ghysels-Dubois; G. Durry. Lunar multichannel diode laser spectrometer DLS-L for in-situ study of samples pyrolytically evolved from regolith onboard Luna-27 mission. PDF: 7 pages. *Proc. SPIE* 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119162O (15 December 2021); doi: 10.1117/12.2602144
- 26. Meshcherinov V. V.; V. A. Kazakov; M. V. Spiridonov; A. V. Nosov; I. Sh. Gazizov; A. V. Rodin. Infrared remote LIDAR-based gas sensor for atmosphere anthropogenic pollution monitoring. *Proc. SPIE* 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119162X (15 December 2021); doi: 10.1117/12.2602819
- 27. Montmessin F., O. I. Korablev, A. Trokhimovskiy, F. Lefèvre, A. A. Fedorova, L. Baggio, A. Irbah, G. Lacombe, K. S. Olsen, A. S. Braude, D. A. Belyaev, J. Alday, F. Forget, F. Daerden, J. Pla-Garcia, S. Rafkin, C. F. Wilson, A. Patrakeev, A. Shakun and J. L. Bertaux, A stringent upper limit of 20 pptv for methane on Mars and constraints on its dispersion outside Gale crater, *Astronomy & Astrophysics*, 650 (2021) A140, DOI: https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140389(PHΦ20-42-09035), (PHΦ N20-42-09035), IF 5.802, Q1
- 28. Olsen K. S., A. Trokhimovskiy, L. Montabone, A. A. Fedorova, M. Luginin, F. Lefèvre, O. I. Korablev, F. Montmessin, F. Forget, E. Millour, A. Bierjon, L. Baggio, J. Alday, C. F. Wilson, P. G. J. Irwin, D. A. Belyaev, A. Patrakeev and A. Shakun, Seasonal reappearance of HCl in the atmosphere of Mars during the Mars year 35 dusty season, *Astronomy & Astrophysics*, 647 (2021) A161, DOI: https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140329, **IF 5.802, Q1**
- 29. Olsen K.S., A. Trokhimovskiy, A. S. Braude, O. I. Korablev, A. A. Fedorova, C. F. Wilson, M. R. Patel, P. G. J. Irwin, F. Montmessin, F. Lefèvre, L. Baggio, J. Alday, D. A. Belyaev, A. Patrakeev, A. Shakun, Upper limits for phosphine (PH3) in the atmosphere of Mars, *Astronomy & Astrophysics*, 649 L1 (2021), DOI: 10.1051/0004-6361/202140868. **IF 5.802, Q1**
- 30. Olsen Kevin, Franck Lefèvre, Franck Montmessin, Anna Fedorova, Alexander Trokhimovsky, Lucio Baggio, Oleg Korablev, Juan Alday, Colin Wilson, François Forget, Denis Belyaev, Andrey Patrakeev, Alexey Grigoriev, and Alexey Shakun, The vertical structure of CO in the Martian atmosphere from the ExoMars Trace Gas Orbiter. *Nature Geoscience*. (2021). <a href="https://doi.org/10.1038/s41561-020-00678-w">https://doi.org/10.1038/s41561-020-00678-w</a>, **IF 10.14, Q1**
- 31. Perevalov V.I., A Yu. Trokhimovskiy, A.A. Lukashevskaya, O.I. Korablev, A. Fedorova, F. Montmessin, Magnetic dipole and electric quadrupole absorption in carbon dioxide, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Volume 259, 2021, 107408, ISSN 0022-4073, https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107408, (PHΦ №17-12-01204), IF 2.468, Q2
- 32. Pinto, J.P., Li, J.Z., Mills, F.P., Marcq, E., Evdokimova, D., Belyaev, D., Yung, Y.L., Sulfur monoxide dimer chemistry as a possible source of polysulfur in the upper atmosphere of Venus. *Nature Communications*, Volume12,I ssue1, Article Number175, DOI10.1038/s41467-020-20451-2, (2021), **IF 14.919, Q1**

- 33. Rajendran, K., Lewis, S. R., Holmes, J. A., Streeter, P. M., Fedorova, A. A., & Patel, M. R. (2021). Enhanced super-rotation before and during the 2018 martian global dust storm. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL094634. https://doi.org/10.1029/2021GL094634, **IF 4.720, Q1**
- 34. Rossi, L., Vals, M., Montmessin, F., Forget, F., Millour, E., Fedorova, A., et al. (2021). The effect of the Martian 2018 global dust storm on HDO as predicted by a Mars global climate model. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL090962. <a href="https://doi.org/10.1029/2020GL090962">https://doi.org/10.1029/2020GL090962</a>, (PHΦ №20-42-09035), IF 4.720, Q1
- 35. Starichenko, E. D., Belyaev, D. A., Medvedev, A. S., Fedorova, A. A., Korablev, O. I., Trokhimovskiy, A., et al. (2021). Gravity wave activity in the Martian atmosphere at altitudes 20–160 km from ACS/TGO occultation measurements. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2021JE006899. https://doi.org/10.1029/2021JE006899 (PHΦ N20-42-09035), **IF 3.755, Q2**
- 36. Streeter, P. M., Lewis, S. R., Patel, M. R., Holmes, J. A., Fedorova, A. A., Kass, D. M, &Kleinböhl, A. (2021). Asymmetric impacts on Mars' polar vortices from an equinoctial Global Dust Storm. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2020JE006774. https://doi.org/10.1029/2020JE006774, **IF 3.755, Q2**
- 37. Trokhimovskiy A., A. A. Fedorova, K. S. Olsen, J. Alday, O. Korablev, F. Montmessin, F. Lefèvre, A. Patrakeev, D. Belyaev and A. V. Shakun, Isotopes of chlorine from HCl in the Martian atmosphere, *Astronomy & Astrophysics*, 651 (2021) A32, DOI: <a href="https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140916">https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140916</a>, IF 5.802, Q1
- 38. Yakovlev, O. Y., Ananyeva, V. I., Ivanova, A. E., & Tavrov, A. V. (2021). Comparison of the mass distributions of short-period exoplanets detected by transit and RV methods. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society:*Letters, 509(1), L17-L20 https://doi.org/10.1093/mnrasl/slab115, **IF 5.287**, **Q1**
- 39. Yakovlev, O. Ya., Ivanova, A. E., Ananyeva, V., I., Shashkova, I. A., Yudaev, A., V., Bertaux, J.-L., Tavrov, A., V., The Mass Distribution of Transit Exoplanets from the Mass-Radius Relationships: the Structurization within Planetary Systems. *Solar System Research*, Volume55, Issue3, Page200-217, DOI10.1134/S0038094621030084, (2021), **IF 0.706, Q4**
- 40. Yudaev, A. V., Yakovlev, Kiselev, A. V., Barke, V. V., Venkstern, A. A., Shashkova, I. A., Tavrov, A. V., Testing of a Stellar Interference Coronagraph as Part of a Ground-Based Telescope. *Solar System Research*, Volume55, Issue4, Page367-378, DOI10.1134/S0038094621030096, (2021), **IF 0.706, Q4**
- 41. Zakharov A. V., G. G. Dol'nikov, I. A. Kuznetsov, A. N. Lyash, A. E. Dubov, V. V. Afonin, S. A. Bednyakov, A. S. Bychkova, V. A. Grushin, I. V. Dokuchaev, A. A. Kartasheva, S. I. Popel, I. A. Shashkova, A. V. Shekhovtsova, A. V. Yakovlev, M. M. Vasiliev, E. A. Lisin, O. F. Petrov, N. D. Borisov, and L. M. Zelenyi. PmL Instrument Onboard Luna-25 Lander: Plasma–Dust Measurements in the Surface Exosphere. Solar System Research, 2021, Vol. 55, No. 6, pp. 576–587. DOI: 10.1134/S0038094621060125, IF 0.706, Q4
- 42. Zakharov A., The Lunar dust puzzle. *Oxford Research Encyclopedia. Planetary science*. <a href="https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190647926.013.23">https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190647926.001.0</a> https://oxfordre.com/planetaryscience/view/10.1093/acrefore/9780190647926-e-23
- 43. Zakharov, A.V., Poroykov, A.Y., Bednyakov, S.A., Lyash, A.N., Shashkova, I.A., Kuznetsov, I.A., Dolnikov, G.G., Recovery of dust particles trajectories in modeling physical processes in the near-surface exosphere of the moon. *Measurement*, Volume171, Article Number108831, DOI10.1016/j.measurement.2020.108831, (2021), (PHΦ № 17-12-01458), IF 3.364, Q1

- 44. Zakharov, A.V.; Rosenfeld, E.V. Charge Density Fluctuations on a Dielectric Surface Exposed to Plasma or UV Radiation. *Plasma*. 2021, 4, 201–213. https://doi.org/10.3390/plasma4020012
- 45. Zelenyi L. M., A. V. Zakharov, I. A. Kuznetsova, and A. V. Shekhovtsev. Moondust As a Risk Factor in Lunar Exploration. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2021, Vol. 91, No. 6, pp. 637–646. DOI: 10.1134/S1019331621060071, **IF 0.66,Q2**
- 46. Zenevich, S., Gazizov, I., Churbanov, D., Plyashkov, Y., Spiridonov, M., Talipov, R., A Concept of 2U Spaceborne Multichannel Heterodyne Spectroradiometer for Greenhouse Gases Remote Sensing. *Remote Sensing*, Volume13, Issue12, Article Number2235, DOI10.3390/rs13122235, (2021), (РФФИ №19-29-06104, 18-29-24204, 19-32-90276), IF 4.84, Q1

#### Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:

- 1. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А., Тавров А.В., Юдаев А.В. Быстрый алгоритм идентификации кадра звездного датчика по звездным конфигурациям, не требующий перебора. Вариант бортовой реализации. *Гироскопия и навигация*, 2021, Т. 29, №3 (114). С. 80-95. DOI 10.17285/0869-7035.0072, **IF(PИНЦ) 1, 217**
- 2. Захаров А. В., Г. Г. Дольников, И. А. Кузнецов, А. Н. Ляш, А. Е. Дубов, В. В. Афонин, С. А. Бедняков, А. С. Бычкова, В. А. Грушин, И.В. Докучаев, А. А. Карташева, С. И. Попель, И. А. Шашкова, А. В.Шеховцова, А. В. Яковлев, М. М. Васильев, Е. А. Лисин, О. Ф. Петров, Н. Д. Борисов, Л. М. Зеленый. «Прибор ПмЛ на посадочном аппарате Луна-25: плазменно-пылевые измерения в приповерхностной экзосфере», *Астрономический вестник*, 2021, том 55, № 6, с. 1–12, DOI: 10.31857/S0320930X21060128, **ІГ(РИНЦ)** 1,461
- 3. Зелёный Л. М., А. В. Захаров, И. А. Кузнецов, А. В. Шеховцов. Лунная пыль как фактор риска при исследовании Луны. *Вестник Российской академии наук*, 2021, том 91, № 11, с. 50–60 50, 2021, DOI: 10.31857/S0869587321110141, **IF(PИНЦ) 1.556**
- 4. Котцов В.А., Котцов П.В. Стеганографическое использование структуры сигнала цифрового изображения. *Цифровая обработка сигналов*, № 1, 2021. С. 44-50, **ІГ(РИНЦ) 0,351**
- 5. Манцевич С. Н., Ю. С. Доброленский, Н. А. Евдокимова, О. И. Кораблёв,Ю. К. Калинников, Н. А. Вязоветский, И. А. Дзюбан, А. Г. Сапгир, А. В. Степанов,А. Ю. Титов, К. В. Александров, А. В. Бондаренко, И. В. Докучаев, М. Г. Князев,А. Я. Докучаев, Ф. В. Кулаков, Лунный инфракрасный спектрометр с телевизионной поддержкой рабочего поля манипулятора (ЛИС-ТВ-РПМ). Астрономический вестник, 2021, том 55, № 6, с. 550 561.DOI: 10.31857/S0320930X21060074, IF(РИНЦ) 1,461
- 6. Сорокин Е.М., Герасимов М.В, Зайцев М.А., Щербаков В.Д., Рязанцев К.М., Крашенинников С.П., Яковлев О.И., Слюта Е.Н. (2022) Экспериментальная модель образования нанофазного металлического железа в реголите Луны. *Геохимия. В печати*
- 7. Харин С.А., Зайцев М.А., Поддубко С.В., Петропавловский А.П., Черничкин Р.В., Головин Д.В., Сычев В.Н. Оценка возможности применения метода газовой стерилизации оксидом этилена в миссии «ЗкзоМарс-2022» для обеспечения планетарной защиты Марса. Космическая биология и медицина. В печати
- 8. Чепцов, В. С., Белов, А. А., Воробьева, Е. А., Павлов, А. К., Цурков, Д. А., Фролов, Д. А., Ломасов, В. Н., &Чумиков, А. Е. (2021). Устойчивость ферментов к воздействию ионизирующей радиации в модельных условиях реголита Марса. *Астрономический вестник*, 55(5), 387-392.DOI: 10.31857/S0320930X21040022, **ІГ(РИНЦ) 1,461**
- 9. Чепцов, В. С., Воробьева, Е. А., Манучарова, Н. А., Горленко, М. В., Павлов, А. К., Розанова, М. С., Ломасов, В. Н., Белов, А. А.,&Чумиков, А. Е. (2021). Прокариотноесообщество древней мерзлоты Антарктиды после облучения гамма-излучением в модельных условиях Марса. *Почвоведение*, (3), 347-354.DOI: 10.31857/S0032180X21030035, **ІГ(РИНЦ) 2.810**

- 10. Чумиков, А. Е, Чепцов, В. С., Манагадзе, Н. Г., Манагадзе, Г. Г. (2021). Лазерный ионизационный масс-спектрометр ЛАЗМА-ЛР на борту миссий Луна-25 и Луна-27. *Астрономический вестник*, 55(6), 1-13. DOI: 10.31857/S0320930X21060025, **IF(РИНЦ)** 1,461
- 11. Юдаев А.В., О. Я. Яковлев, А. В. Киселев, В. В. Барке, А. А., Венкстерн, И. А. Шашкова, А. В. Тавров Статья «Тестирование звездного интерференционного коронографа в составе наземного телескопа». *Астрономический вестник*, 2021, Т. 55, № 4, стр. 368-380, DOI: 10.31857/S0320930X21030105, **ІГ(РИНЦ) 1,461**
- 12. Яковлев О.Я., А. Е. Иванова, В. И. Ананьева, И. А. Шашкова, А. В., Юдаев, А. В. Тавров Статья «Распределение транзитных экзопланет по массе с использованием зависимостей масса-радиус. Структурирование внутри планетных систем». *Астрономический вестник*, 2021, том 55, № 3, с. 213–231, DOI:10.31857/S0320930X21030099, **IF(РИНЦ) 1,461**

#### Статьи в сборниках материалов конференций:

- Dolnikov, G. G., Kartasheva, A. A., Bychkova, A. S., Shashkova, I. A., Kuznetsov, I. A., Lyash, A. N., .A.E. Dubov, S.I. Popel, Zakharov, A. V. (2021, February). Dusty plasma environment near lunar surface. XXXV International Conference on Equations of State for Matter (ELBRUS 2020). In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1787, No. 1, p. 012050). IOP Publishing. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1787/1/012050/meta
- 2. Kuznetsov et al., Experimental evidence of the dust particles detachment possibility in the E-field, Сборник трудов конференции ВАК-2021 (в печати)
- 3. Беляев Д.А., Федорова А.А., Кораблев О.И., Трохимовский А.Ю., Патракеев А., Климатология температуры и плотности средней и верхней атмосферы Марса по данным СО2 спектроскопии ACS/TGO. Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15 19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.
- 4. Газизов И.Ш., Зеневич С.Г., Бендеров О.В., Спиридонов М.В., Родин А.В. Изображающий FMCW лидар для измерения скорости и расстояния. XXVII Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", 05-09 июля 2021 года, Москва, сборник трудов, стр. С-393 С-397, издательство ИОА СО РАН, Томск, ISBN 978-5-94458-187-7. https://symp.iao.ru/files/symp/aoo/27/C.pdf
- 5. Дольников Г.Г., Захаров А.В., Кузнецов И.А., Ляш А.Н., Дубов А.Е., Карташева А.А., Бедняков С.А., Бычкова А.С., Мониторинг пылевых образований приповерхностных сред Луны и Марса ближайших космических миссий, Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15 19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.
- 6. Евдокимова Н.А., Манцевич С.Н., Дзюбан И.А., Доброленский Ю.С., Вязоветский Н.А., Иванов Ю.С., Синявский И.И., Кораблёв О.И., Федорова А.А., Кузьмин Р.О., Калинников Ю.К., Степанов А.В., Титов А.Ю., Докучаев А.Я., Кулаков Ф.В., Изучение аналогов марсианского грунта с помощью спектрометра ближнего ИК излучения ISEM, предназначенного для марсохода миссии ExoMars 2022. Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15-19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.
- 7. Зеневич С.Г., Газизов И.Ш., Чурбанов Д.В., Спиридонов М.В., Родин А.В. Портативный многоканальный лазерный гетеродинный спектрорадиометр для измерения концентрации парниковых газов в ближнем ИК диапазоне. XXVII Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", 05-09 июля 2021 года, Москва, сборник трудов, стр. С-227 С-230, издательство ИОА СО РАН, Томск, ISBN 978-5-94458-187-7. https://symp.iao.ru/files/symp/aoo/27/C.pdf
- 8. Котцов В.А, Егоров В.В., Балтер Д.Б., Стальная М.В. Метод двойной корреляции в анализе многозональной видеоинформации. Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. С. 307. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a

- 9. Котцов В.А. Решение проблем электромагнитной совместимости на борту космического научного комплекса. Сборник докладов конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2021). (секция «Пленарная».). С. 5-8. 2021
- 10. Ломакин А. А., Федорова А.А., Montmessin F., Кораблев О.И., Девять марсианских лет наблюдений полюсов в эксперименте СПИКАМ-ИК на КА Марс-Экспресс. Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15 19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.
- 11. Мещеринов В.В., Виноградов И.И., Казаков В.А., Спиридонов М.В., Венкстерн А.А., Козлова Т.О., Лебедев Ю.В., Носов А.В., Жизель-Дюбуа М., Дюрри Ж. Лунный многоканальный диодный лазерный спектрометр ДЛС-Л для исследования газовых образцов пиролиза на борту миссии «Луна-27». XXVII Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", 05-09 июля 2021 года, Москва, сборник трудов, стр. С-504 С-507, издательство ИОА СО РАН, Томск, ISBN 978-5-94458-187-7. https://symp.iao.ru/files/symp/aoo/27/C.pdf
- 12. Мещеринов В.В., Казаков В.А., Спиридонов М.В., Родин А.В. Инфракрасный дистанционный газоанализатор лидарного типа для мониторинга антропогенных загрязнений атмосферного воздуха. XXVII Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", 05-09 июля 2021 года, Москва, сборник трудов, стр. С-107 С-110, издательство ИОА СО РАН, Томск, ISBN 978-5-94458-187-7. https://symp.iao.ru/files/symp/aoo/27/C.pdf
- 13. Стариченко Е.С., Беляев Д.А., Медведев А.С., Федорова А.А., Кораблев О.И., Montmessin F., Трохимовский А.Ю., Характеристика гравитационных волн в атмосфере Марса в результате эксперимента по солнечному просвечиванию аппарата ACS/TGO, Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15 19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.
- 14. Федорова А.А., Lefevre F., Трохимовский А.Ю., Кораблев О.И., Olsen K., Montmessin F., Forget Ф., Ломакин А. А., Игнатьев Н.И., Беляев Д.А., Alday J., Патракеев А., Шакун А.В., Вертикальное распределения О2 и СО в атмосфере Марса по данным эксперимента АСS на КА ТGO, Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15 19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.
- 15. Хоркин В.С., Федорова А.А., Доброленский Ю.С., Дзюбан И.А., Вязоветский Н.А., Сапгир А.Г., Титов А.Ю., Кораблёв О.И., Прибор ODS миссии ЭкзоМарс-2022: моделирование и наземные полевые измерения. , Девятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15 19 ноября 2021, Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. Электронный сборник материалов конференции.

#### Доклады, тезисы, циркуляры:

- Abdelaal M.E., I.A. Shashkova, A.Y. Poroykov, I.A. Kuznetsov,G.G. Dolnikov, A.A. Kartasheva, A. Shekhovtsova, A.S. Bychkova,A.N. Lyash, A.E. Dubov and A.V. Zakharov., Study the trajectory of dust particles by simulating the plasma environment on the Moon's surface, 12M-S3, Space Research Institute, Moscow, Russia, October 11-15, 2021
- Ananyeva V., A. Ivanova I. Litosova, A. Tavrov, J.-L. Bertaux. Properties of RV-exoplanets' distributions by masses and by orbital periods. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. Abstract No. 12MS3-EP-02. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf
- 3. Ananyeva, V., Tavrov, A., Korablev, O., and Bertaux, J.-L.: Distribution of RV-and transiting exoplanets by masses and orbital periods taking into account observational selection, Europlanet Science Congress 2021, online, 13–24 Sep 2021, EPSC2021-802, https://doi.org/10.5194/epsc2021-802
- 4. Belov, A. A., and Cheptsov, V. S. Resistance and metabolic activity of soil prokaryotic communities under conditions of water deficiency: astrobiological implications. In The Twelfth Moscow Solar System Symposium 2021 (2021), IKI RAS Space Research Institute, pp. 240–241.
- Belyaev D.A., A.A. Fedorova, O.I. Korablev, A. Trokhimovskiy, E. Starichenko, A. Patrakeev, F. Montmessin, J. Alday, M. Lopez-Valverde. Temperature and density climatology of the Martian middle/upper atmosphere from the ACS/TGO CO2 spectroscopy. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. <a href="https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf">https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf</a>
- 6. Bulat, S. A., Verbenko, V. N., and Cheptsov, V. S. Resistance of dna (microbial) to radiation damage on the frosty Jovian Europa surface. In The Twelfth Moscow Solar System Symposium 2021 (2021), IKI RAS Space Research Institute, pp. 236–237.
- 7. Busarev V.V., E.V. Petrova, M.P. Shcherbina, S.I. Barabanov. Reflectance spectra of asteroids with simultaneous sublimation activity: registration and models. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. Abstract No. 12MS3- SB-03. <a href="https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf">https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf</a>
- 8. Cheptsov, V. S., Belov, A. A., Soloveva, O. A., Vorobyova, E. A., Osipov, G. A., Manucharova, N. A., and Gorlenko, M. V. Perchlorate tolerance of soil microbial communities. In The Twelfth Moscow Solar System Symposium 2021 (2021), IKI RAS Space Research Institute, pp. 239–239.
- 9. Cheptsov, V. S., Chumikov, A. E, Wurz, P, Managadze, N. G., Managadze, G. G. Laser ionization mass spectrometer LASMA-LR onboardLuna-25 and Luna-27 spacecraft. In The Twelfth Moscow Solar System Symposium 2021 (2021), IKI RAS Space Research Institute, pp. 506-507.
- 10. Coustenis A., Hedman N., Kminek G., Ammannito E., Doran P., Fujimoto M., Grasset O., Green J., Hayes A., Ilyinj V., Kumar P., Mustin C., Nakamura A., Olsson-Francis K, Pengo J., Prieto-Ballesteros O., Raulin F., Rettberg P., Xus K., Zaitsev M., Zorzano-Mier M.-P. Planetary Protection: an international concern and responsibility In: 72<sup>nd</sup> International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021, Abs. # IAC-21-A3.1.
- 11. Evdokimova, D., Fedorova, A., Belyaev, D., Montmessin, F., Korablev, O., Bertaux, J.-L. Spatial distribution of the infrared O2 (α1Δg) airglow in the night Venus hemisphere based on the SPICAV IR/VEX nadir observations in 2006-

- 2014. European Planetary Science Congress 2021, online, September 13–24, 2021, EPSC2021-739, DOI: 10.5194/epsc2021-739
- 12. EvdokimovaD., Fedorova A., Zharikova M., Belyaev D., Montmessin F., Korablev O., Bertaux J.-L. Night distribution of the O<sub>2</sub> (α1Δg) airglow on Venus observed by SPICAV IR/VEX in 2006–2014. The Twelfth Moscow Solar System Symposium 2021, October 11-15, 2021, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 12MS3-VN-14, DOI: 10.21046/12M-S3
- 13. Fedorova A., A. Trokhimovskiy, F. Lefevre, O. Korablev, F. Forget, N. Ignatiev, A. Lomakin, K. Olsen, D. Belyaev, F. Montmessin, J. Alday, M. Luginin and the ACS Team.Seasonal and spatial variations of the CO vertical distribution on Mars based on ACS TGO measurements. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf
- 14. Ivanova A., V. Ananyeva, I. Litosova, A. Tavrov. Correction of observation selection in statistics of RV exoplanets. from the number of detected planets to occurrence rate. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. Abstract No. 12MS3-EP-PS-06 <a href="https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf">https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf</a>
- 15. Kuznetsov I. et al., Investigation of the lunar near-surface dusty plasma exosphere interaction with spacecraft with PiC method simulation, 12M-S3, Space Research Institute, Moscow, Russia, October 11-15, 2021
- 16. Luginin M., N. Ignatiev, A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, D. Belyaev, A. Grigoriev, A. Shakun, F. Montmessin, O. Korablev.CO2 clouds on Mars from ACS solar ccultations onboard TGO. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf
- 17. Shashkova I. et al., Investigation of the dust particles dynamics under the airless bodies' conditions: experimental set-up, 12M-S3, Space Research Institute, Moscow, Russia, October 11-15, 2021
- 18. Sorokin E.M., Yakovlev O.I., Slyuta E.N., Gerasimov M.V., Zaitsev M.A., Shcherbakov V.D., Ryazantsev K.M., Krasheninnikov S.P., . Shklover V.Y. Laser experimental modeling of the formation of nanophase iron (np-Fe<sup>0</sup>) In: The Twelfth Moscow Solar System Symposium (12M-S<sup>3</sup>). IKI RAS, Moscow, 11-15 October, 2021, Abs. # 12MS3-MN-17
- 19. Starichenko E.D., D.A. Belyaev, A.S Medvedev, A.A. Fedorova, O.I. Korablev, F. Montmessin, A. Trokhimovskiy. Activity of the gravity waves in the Martian atmosphere from the ACS/TGO solar occultations experiment
- Trokhimovskiy A., A. Fedorova, O. Korablev, K.S. Olsen, F. Lefèvre, F. Montmessin. Hydrogen chloride (HCl) and its isotopologues in the atmosphere of Mars. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3 book 5.pdf
- 21. Vinogradov I., A. Rodin, M. Spiridonov, M-DLS team: V. Barke, A. Budovaya, I. Gazizov, I. Golovnin, V. Kazakov, T. Kozlova, Yu. Lebedev, S. Malashevich, V. Meshcherinov, A. Nosov, O. Roste, A. Venkstern, S. Zenevich, M. Ghysels-Dubois, G. Durry, Martian multichannel diode laser spectrometer experiment: M-DLS instrument design, fabrication and calibration for the ExoMars-2020 mission. 43rd COSPAR Scientific Assembly, scheduled oral presentation # B0.6-0005-21, 28 January 4 February, 2021, Sydney, Australia. https://www.cospar2021.org/

- 22. Vinogradov I.I., V.A. Kazakov, A.A. Koposov, Yu.V. Lebedev, V.V. Meshcherinov, A.V. Nosov, M.V. Spiridonov, A.A. Venkstern. Sensor DLS-L of the GC-L instrument of the "Luna-Resource" mission: calibration results and perspective discussion. The Twelfth Moscow Solar System Symposium 12M-S3, poster presentation # 12MS3-MN-PS-04. October 11-15, 2021, IKI RAS, Moscow, Russia. ISBN: 978-5-00015-015-3, DOI: 10.21046/12M-S3. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf
- 23. Yakovlev O.Ya., V.I. Ananyeva, A.V. Tavrov. Comparison of the mass distributions of short-period exoplanets detected by transit and RV methods. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. Abstract No. 12MS3-EP-03 https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3 book 5.pdf
- 24. Yudaev A., A. Tavrov. Wavefront correction for direct imaging of exoplanets. Phase retrieval by LC SLM as AO to interferocoronagraph. The Twelfth Moscow international Solar System Symposium (12M-S3), October 11-15, 2021. Abstract No. 12MS3-EP-PS-07 https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3\_book\_5.pdf
- 25. Zakharov A. et al., Dust Complex instrument onboard ExoMars-2020 Surface Platform, 12M-S3, Space Research Institute, Moscow, Russia, October 11-15, 2021
- 26. Zakharov A. et al., Lunar near-surface dusty plasma investigations with PmL instrument, 12M-S3, Space Research Institute, Moscow, Russia, October 11-15, 2021
- 27. Zakharov A. V. et al., Lunar Near-Surface Dusty Plasma Investigations with PmL Instrument of the "Luna-25" Mission, Lunar Surface Science Workshop, Fundamental and Applied Lunar Surface Research in Physical Sciences, August 18–19, 2021
- 28. Zenevich Sergei, Iskander Gazizov, Dmitry Churbanov, Maxim Spiridonov, Alexander Rodin. Multichannel Heterodyne Spectroradiometer for Atmospheric Greenhouse Gas Measurements. EGU General Assembly 2021, EGU21-3674, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-3674.
- 29. Виноградов И.И., рабочая группа эксперимента ИСКРА-В. Измерение сернистых компонент разрежаемой атмосферы Венеры: эксперимент ИСКРА-В на посадочном аппарате миссии «Венера-Д». Всероссийская астрономическая конференция 2021 года (ВАК-2021), стендовый доклад. Москва, ГАИШ МГУ, 23-28 августа 2021
- 30. Захаров А.В., Кузнецов И.А., Бедняков С.А. и др. «Пылевые частицы безатмосферных тел: изучение in-situ и лабораторное моделирование», Всероссийская астрономическая конференция 2021, 23-28 августа 2021, ГАИШ МГУ
- 31. Котцов В.А. О возможном преобразовании видеоинформации для стереоотождествления. Сборник тезисов конференции «Техническое зрение в системах управления 2021», ИКИ, 2021
- 32. Кузнецов И.А. et al., Гранулометрия лунной пыли и методы её исследований, XXII международной конференции "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле", 7 сентября 3 октября 2021 года, ГЕОХИ РАН, ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН.
- 33. Кузнецов И.А. et al., Лунная плазменно-пылевая экзосфера: методы моделирования и исследования, XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 14–16 апреля 2021 г., ИКИ РАН

#### Патенты:

- 1. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А. Способ определения ориентации по изображениям участков звездного неба. Патент РФ 2749580, 2021 г.
- 2. Котцов В.А. Способ умножения чисел в позиционном коде. Патент РФ 2749647, 2021 г.

#### Другие издания:

1. Forget François, Oleg Korablev, Julia Venturini, Takeshi Imamura, Helmut Lammer, Michel Blanc. Understanding the Diversity of Planetar Atmospheres. Springer Netherlands. ISBN:978-94-024-2125-5, pages: 591, published 2 September 2021.