

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

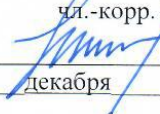
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИКИ РАН)

УДК 523.2 523.4 523.6

Номер государственной регистрации 122042500017-2

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института космических исследований  
Российской академии наук  
чл.-корр. РАН

  
А.А. Петрукович  
« 21 » декабря 2022 г.  
м.п.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
Исследование атмосфер и поверхностей планет  
( промежуточный, этап 1)

Тема ПЛАНЕТА

FFWG-2022-0007











Научный руководитель  
чл.-корр. РАН

  
О.И. Кораблёв  
« 26 » декабря 2022 г.

Москва

2022

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы		20.12.2022	Кораблёв О.И. зав. отд., д.ф.-м.н.
Наименования разделов:		Ответственные исполнители разделов темы:	
<b>Раздел 1:</b> Марс		20.12.2022	Федорова А.А. зав. лаб., к.ф.-м.н.
<b>Раздел 2:</b> Венера		20.12.2022	Беляев Д. А. с.н.с., к.ф.-м.н.
<b>Раздел 3:</b> Ранняя эволюция планетных тел		20.12.2022	Герасимов М.В. зав. лаб., к.ф.-м.н.
<b>Раздел 4:</b> Малые тела Солнечной системы и и космическая пыль		20.12.2022	Захаров А.В. г.н.с., д.ф.-м.н.
<b>Раздел 5:</b> Внесолнечные планетные системы		20.12.2022	Тавров А.В. зав. лаб., д.т.н.
<b>Раздел 6:</b> Методы, технологии и аппаратура исследований планет		20.12.2022	Кораблёв О.И. зав. отд., д.ф.-м.н.
<b>Раздел 7:</b> Теоретические исследования		20.12.2022	Петросян А.С. зав. сект., д.ф.-м.н.
<b>Раздел 8:</b> Научные исследования, поддержанные грантом Министерства высшего образования и науки РФ		20.12.2022	Тавров А.В. зав. лаб., д.т.н.
Нормоконтроль		20.12.2022	Ростэ О.З.

## РЕФЕРАТ

Отчет 42 стр., 11 рис., 128 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, КОМЕТА, МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ

В отчете представлены результаты исследований, проведенных в 2022г. по теме «ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет» в рамках Фундаментальных и прикладных научных исследований планет и малых тел (тема FFWG-2022-0007 ПЛАНЕТА). Направления НИР и ОКР по теме соответствуют ряду направлений Программы фундаментальных исследований государственных академий наук на 2021 - 2030 годы:

- 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

Основные результаты 2022г получены по данным космического проекта ЭкзоМарс 2016 с российскими приборами. Почти завершена специальная секция Journal of Geophysical Research-Planets, в которую в 2022г вошли 16 статей по теме, основанных на данных российского прибора ACS. Часть из них выполнена при поддержке РНФ/ANR (20-42-09035 МЗ: три вопроса атмосферы Марса; завершен в 2022г), но многие результаты получены по теме «Планета» (раздел 1). К ним относится и наиболее значимый результат института «Моноксид углерода и структура атмосферы Марса по данным ExoMars, Федорова и др.». Этот результат, как важнейшее достижение астрономических исследований рекомендован для включения в отчет ОФН для Президиума РАН Научным советом по астрономии ОФН РАН (<http://www.astrosovet.ru/d2022.html>).

Исследования Венеры (раздел 2) ведутся в основном в рамках выделенной темы государственного задания «ВЕНЕРА-Д». Все результаты, полученные по теме исследования экзопланет (разделы 5, 8) поддержаны грантом МОН 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039) «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет» и включены в отчет согласно рекомендации МОН. Добавлен раздел 6: Методы, технологии и аппаратура исследований планет, суммирующий методические и экспериментальные работы, направленные на создание новой аппаратуры для космических исследований и не поддерживаемые контрактами ГК Роскосмос и др.

По теме «ПЛАНЕТА» работает 27 научных сотрудников и 42 научных работника в составе семи лабораторий, одного сектора и группы, включая 28 молодых ученых и специалистов.

Опубликовано 52 статьи в рецензируемой литературе, из них 30 Q1-Q2.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Раздел 1 Марс. ....	6
2 Раздел 2 Венера .....	11
3 Раздел 3 Ранняя эволюция планетных тел.....	12
4 Раздел 4 Малые тела Солнечной системы и космическая пыль.....	13
5 Раздел 5 Внесолнечные планетные системы .....	14
6 Раздел 6 Методы, технологии и аппаратура исследований планет .....	17
7 Раздел 7 Теоретические исследования	20
8 Раздел 8 Научные исследования, поддержанные грантом Министерства высшего образования и науки РФ .....	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	25

## ВВЕДЕНИЕ

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

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии
- 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 2022г. по теме “ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет” в рамках Фундаментальных и прикладных научных исследования планет и малых тел (тема FFWG-2022-0007 ПЛАНЕТА). Тема FFWG-2022-0007 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

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

Гос.рег. № 122042500017-2

Науч.рук.: чл.-корр. РАН Кораблев О.И.

Зам. рук. темы : д.ф.-м.н. Захаров А.В.

**Раздел 1. МАРС**

**1.1 Обзор состояния насыщения водяного пара на Марсе за два марсианских года на основе солнечных затмений ACS NIR/TGO**

На Марсе конденсация является основным фактором, ограничивающим вертикальное распределение водяного пара. Недавние измерения профилей воды и температуры показали, что вода может быть сильно перенасыщена на уровне и выше уровня образования облаков в сезоны афелия и перигелия. С 2018 года спектрометр ближнего инфракрасного диапазона (NIR) комплекса ACS (Atmospheric Chemistry Suite) на борту космического аппарата Trace Gas Orbiter измеряет профили  $H_2O$  и температуры методом солнечного затмения в инфракрасном диапазоне на высоте от 10 до 100 км. В работе представлен первый долговременный анализ состояние насыщения водяного пара. Наблюдения охватывает 2 марсианских года от  $L_s=163^\circ$  MY34 до  $L_s=170^\circ$  MY36. Мы обнаружили, что вода часто бывает пересыщенной выше облачного слоя. В сезон афелия относительное содержание  $H_2O$  выше 40 км в средних и высоких широтах составляло  $< 3$  ppmv, при этом водяной пар находился в перенасыщенном состоянии. В период перигелия вода также перенасыщена выше 60 км с относительным содержанием 30-50 ppmv. Более сильное насыщение получено в пылевой сезон 35го марсианского года по сравнению с тем, что наблюдалось во время глобальной пыльной бури и в период перигелия 34го года. Состояние насыщения меняется на вечернем и утреннем терминаторах как отклик на модуляцию температуры, вызванную тепловыми приливами. Хотя водяного пара больше вечером, низкие утренние температуры приводят к большим значениям коэффициента насыщения. Наши данные показывают, что перенасыщение водяного пара на Марсе обычное явление, особенно в пылевой сезон, что способствует более быстрой потере воды Марсом.

**1.2 Моделирование состояния насыщения водяного пара в пылевой сезон 34-го марсианского года и влияние перенасыщения на цикл HDO по данным глобальной климатической модели**

Вертикальные профили водяного пара, полученные нами в эксперименте ACS NIR на КА Trace Gas Orbiter в пылевой сезон 34 марсианского года были адаптированы для моделей общей циркуляции Марса.

Чтобы понять марсианский водный цикл, необходима глобальное понимание вертикального и горизонтального распределения водяного пара, состояния ее насыщения и потери в космос, а также того, как это распределение меняется в пространстве и во времени. Глобальное вертикальное распределение водяного пара исследовалось с помощью анализа, который объединяет данные о водяном паре, температуре и пыли, полученные с приборов на нескольких космических аппаратах в течение 34-го марсианского года, с моделью общей циркуляции Марса. Результаты моделирования подтвердили перенасыщение, обнаруженное по данным эксперимента ACS. Найдены свидетельства прорыва перенасыщенного водяного пара в северный зимний полярный вихрь. Перенасыщение выше примерно 60 км наблюдается большую часть времени, при этом на более низких высотах наблюдаются значительные суточные колебания состояния насыщения водяного пара. Глобальная пыльная буря и южная летняя региональная

пыльная буря вытеснили водяной пар на всех широтах в перенасыщенном состоянии на 60-90 км, где он с большой вероятностью фотодиссоциирует и покидает атмосферу. Также было проведено исследование цикла отношения D/H и его чувствительности к моделированию облаков водяного льда и насыщения водяного пара. Была показана важность моделирования состояния пересыщения, возникающего в результате микрофизических процессов в облаках водяного льда, для правильного учета водяного пара и отношения D/H в средних и верхних слоях атмосферы.

### **1.3 Водяной пар на Марсе: уточненная климатология и ограничения на вертикальное распределение в приповерхностном слое**

На основе накопленных данных с приборов космической миссии Mars Express представлена глобальная климатология водяного пара на Марсе, охватывающая все сезоны и широты за семь марсианских лет наблюдений. Картирование водяного пара, как правило, не подразумевает определение вертикального профиля распределения. Однако это было сделано используя метод одновременной обработки данных различных приборов: PFS (тепловой ИК диапазон) и SPICAM (ближней ИК диапазон). Было также показано, что при этом результаты восстановления менее подвержены систематическим и случайным ошибкам. Особое внимание уделено северному полярному региону в виду сублимации сезонной полярной шапки в конце весеннего и летнего сезонов. Было обнаружено, что полученные значения водяного пара и существующая климатическая модель отличаются как по величине, так и по меридиональным вариациям вертикального распределения. Это позволяет предположить, что некоторые аспекты переноса и динамики водяного пара не полностью охвачены современными атмосферными моделями.

### **1.4 Сезонные изменения вертикальной структуры озона в нижних слоях атмосферы Марса и его связь с водяным паром**

По данным прибора Atmospheric Chemistry Suite (ACS) на борту ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) были получены вертикальные профили распределения озона в марсианской атмосфере за три года. Также благодаря одновременным наблюдениям исследованы взаимосвязи между содержаниями озона, водяного пара и температурой. Было определено что содержание озона в несколько раз больше, чем предполагалось фотохимическими моделями. Это позволяет предположить, что окислительная способность марсианской атмосферы сильнее или быстрее, чем ожидалось. Была продемонстрирована антикорреляция вертикального содержания водяного пара и озона. В афелии наблюдались два высотных слоя с максимальным содержанием озона: приповерхностный слой, присутствующий в течение холодного и сухого периода в широком диапазоне широт, и слой на высоте 40 км над экваториальной областью, связанный с формированием пояса облаков.

### **1.5 Вертикальное распределение озона на Марсе по данным СПИКАМ УФ на КА Марс-Экспресс**

Ультрафиолетовый спектрометр SPICAM на КА Марс-Экспресс исследовал марсианскую атмосферу методом покрытия с 2004 по 2014 год. SPICAM UV работал в режиме как звездных, так и солнечных затмений в течение четырех марсианских лет с хорошим пространственным и сезонным покрытием. Был проведен тщательный отбор данных, чтобы исключить ложные обнаружения озона. Сравнение наблюдений с общей климатической моделью атмосферы Марса показали хорошее согласие. Однако в отдельных областях обнаружены количественные различия, возможно, связанные с трудностями корректного моделирования водяного цикла.

### **1.6 Наблюдение озона по данным спектрометра TIRVIM/ACS космической миссии ExoMars**

В 2022 году было исследовано содержание озона (O<sub>3</sub>) в атмосфере Марса по данным Фурье-спектрометра TIRVIM, проводившим наблюдения поверхности и атмосферы Марса в надир в 2018-2019 гг. Наблюдения соответствуют почти полному марсианскому году.

Для изучения  $O_3$  в надир были отобраны 800 тыс. спектров, полученных на дневной стороне Марса и вне периодов глобальной ( $L_S = 185-240^\circ$ ) и региональной ( $L_S = 320-330^\circ$ ) пылевых бурь, скрывающих приповерхностный слой атмосферы. Для увеличения сигнала к шуму последовательно измеренные спектры были сгруппированы по 1000-4000 штук, но не более, чем в диапазоне с  $\Delta L_S = 30^\circ$  и в интервале широт  $30^\circ$ , и усреднены. Относительное содержание 70-110 ppbv  $O_3$  обнаружено в северных полярных областях на  $L_S$  от 310 до  $40^\circ$ , для остальных данных установлен предел обнаружения 70 ppbv.

### 1.7 Вертикальное распределение монооксида углерода (CO) – первые карты сезонного распределения

Впервые получены сезонные и широтные изменения в распределении угарного газа (CO) на разных высотах в атмосфере Марса. Данные были получены на основе измерений трех спектрометров ACS на борту орбитального аппарата Trace Gas Orbiter с апреля 2018 по начало 2021 года. ACS измеряет CO в разных полосах поглощения в инфракрасном диапазоне методом солнечного просвечивания, что позволяет получать его вертикальные профили от 0 до 80 км. Угарный газ не конденсируется в атмосфере Марса и его относительное содержание в нижней атмосфере отражает конденсацию и сублимацию основного газа атмосферы ( $CO_2$ ) на полярных шапках. В то же время в средней и верхней атмосфере изменения содержания CO могут быть индикатором динамики атмосферы. В работе были впервые получены особенности сезонного цикла CO, не наблюдавшиеся ранее:

1) Найден обогащенный слой угарного газа на высотах 10-20 км в южных полярных областях в конце зимы начале весны, что говорит об активных процессах конденсации атмосферы в этих областях.

2) В сезоны равноденствия в обоих полушариях было обнаружено увеличение относительного содержания CO выше 50 км до 3000-4000ppmv. Это связано с нисходящим потоком газа, обогащенного молекулами CO и вызванного циркуляцией Хэдли от экватора к полюсам. Сравнение с моделью общей циркуляции Марса показало, что она значительно переоценивает интенсивность этого процесса.

3) Найден межгодовые вариации угарного газа, связанные с глобальной пылевой бурей, случившейся летом 2018 г. на Марсе. Относительное содержание CO во время глобальной пылевой бури показало меньшие значения по сравнению со следующим спокойным марсианским годом, что свидетельствует о влиянии водяного пара на скорость потери CO и его преобразования в  $CO_2$ .

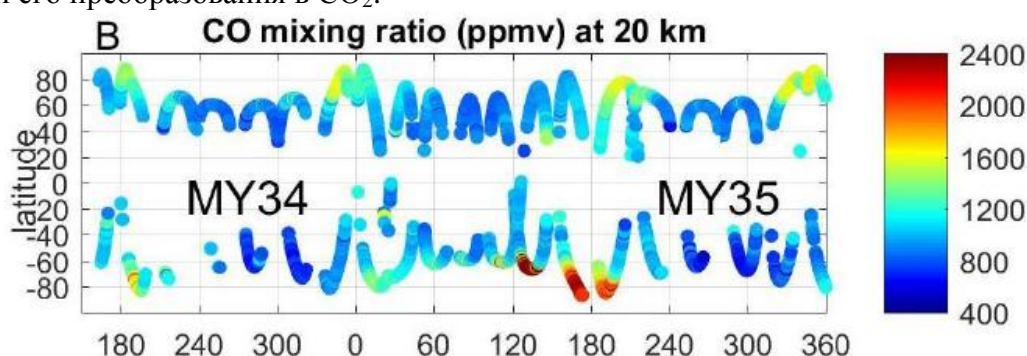


Рисунок. Относительное содержание CO в частях на миллион (ppmv) по данным спектрометра ACS NIR на высоте 20 км. По оси X ареоцентрическая долгота Солнца ( $L_S$ ) от середины марсианского года 34 до конца 35 года.  $L_S=0$  соответствует весеннему равноденствию в северном полушарии.

### 1.8 Анализ термической структуры, содержания пыли и водяного льда, исследование глобальных волновых процессов и ассимиляция в климатическую модель Марса данных термического зондирования при помощи спектрометра TIRVIM комплекса ACS на КА ExoMars TGO

Фурье-спектрометр ИК-диапазона TIRVIM является одним из каналов приборного комплекса ACS, установленного на борту КА ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO), и работает в режиме наблюдений в надир и в режиме солнечных затмений. Его основная научная задача в надирном режиме заключается в непрерывном мониторинге температуры атмосферы, температуры поверхности и атмосферных аэрозолей от поверхности до высоты 60 км. Обработано 2.3 млн спектров, полученных в надирном режиме наблюдений за весь период научной работы TIRVIM с 13 марта 2018 г. ( $L_s = 142.8^\circ$ , MY 34) до 2 декабря 2019 г. ( $L_s = 115.2^\circ$ , MY 35), что составляет почти полный марсианский год. Орбита TGO позволяет достичь полного покрытия по местному времени за 54 марсианских дня.

Точность восстановленных температуры и содержания пыли и водяного льда исследована как путем применения алгоритма к набору смоделированных наблюдений, так и сравнением с результатами почти одновременных измерений тех же параметров в эксперименте Mars Climate Sounder (MCS) на КА Mars Reconnaissance Orbiter.

Полученные температурные поля и содержание пыли в период глобальной пылевой бури 34 года ( $L_s = 182,3^\circ - 211,4^\circ$ ), ассимилированы в Модель климата Марса. Ассимиляция представляет собой корректировку численной модели с использованием результатов измерений. Включение в ассимиляцию восстановленных содержаний пыли уменьшает и погрешность температуры на 50%. После ассимиляции измерений TIRVIM модель точно воспроизводит распределение пыли в период максимального развития шторма по данным MCS, а также суточный цикл давления, измеренный на марсоходе Curiosity, с точностью не хуже 10 Па. Анализ поля ветра показывает что в период максимального развития глобальной пылевой бури усиливается меридиональная циркуляция, а асимметрия в зональных среднеширотных течениях достигает 125 м/с, тепловой прилив на экваторе ослабевает, а в средних широтах усиливается до 10-15 К, на всех широтах усиливается полусуточная гармоника теплового прилива.

Полное покрытие по местному времени позволило исследовать глобальные волновые процессы, в частности в период вблизи летнего солнцестояния: установлена доминирующая роль суточной моды тепловых приливов и существенная роль полусуточной моды и волны Кельвина с амплитудами 5, 3 и 2,5 К, соответственно, на уровне  $10^2 - 10^3$  Па.

### **1.9 Термическая структура и аэрозоли в атмосфере Марса, сезонная эволюция и суточный цикл по данным термического зондирования при помощи спектрометра TIRVIM комплекса ACS на КА ExoMars TGO весь период наблюдений TIRVIM**

В 2022 г. продолжен анализ данных термического зондирования атмосферы Марса спектрометром TIRVIM комплекса ACS на КА ExoMars TGO. С применением обновленного алгоритма повторно восстановлена тепловая структура атмосферы Марса от поверхности до тропопаузы включительно, а также общее содержание частиц пыли и облаков водяного льда для всего периода измерений TIRVIM. Обработано 2.3 млн спектров (с выборочным усреднением), полученных в надирном режиме наблюдений за весь период научной работы TIRVIM с 13 марта 2018 г. ( $L_s = 142.8^\circ$ , MY 34) до исчерпания ресурса элемента охлаждения детектора 2 декабря 2019 г. ( $L_s = 115.2^\circ$ , MY 35), что составляет почти полный марсианский год. Получен полный суточный цикл зонально усреднённого температурного поля атмосферы для всех 4 сезонов на Марсе и во время глобальной и региональной пылевых бурь. Построены сезонные зонально усреднённые карты глобального среднесуточного содержания пыли и водяного льда, демонстрирующие как сезонные особенности распределений, так и нерегулярные события в виде глобальной пылевой бури в середине марсианского года 34. Высокое отношение сигнал/шум позволило обнаружить систематическое наличие аномально узкой (с точки зрения широко используемых данных Warren et al. о поглощении водяного льда) слабой полосы поглощения в диапазоне 800–900 см<sup>-1</sup>, предположительно связанной с оптическими свойствами холодных облаков водяного льда или поверхности.

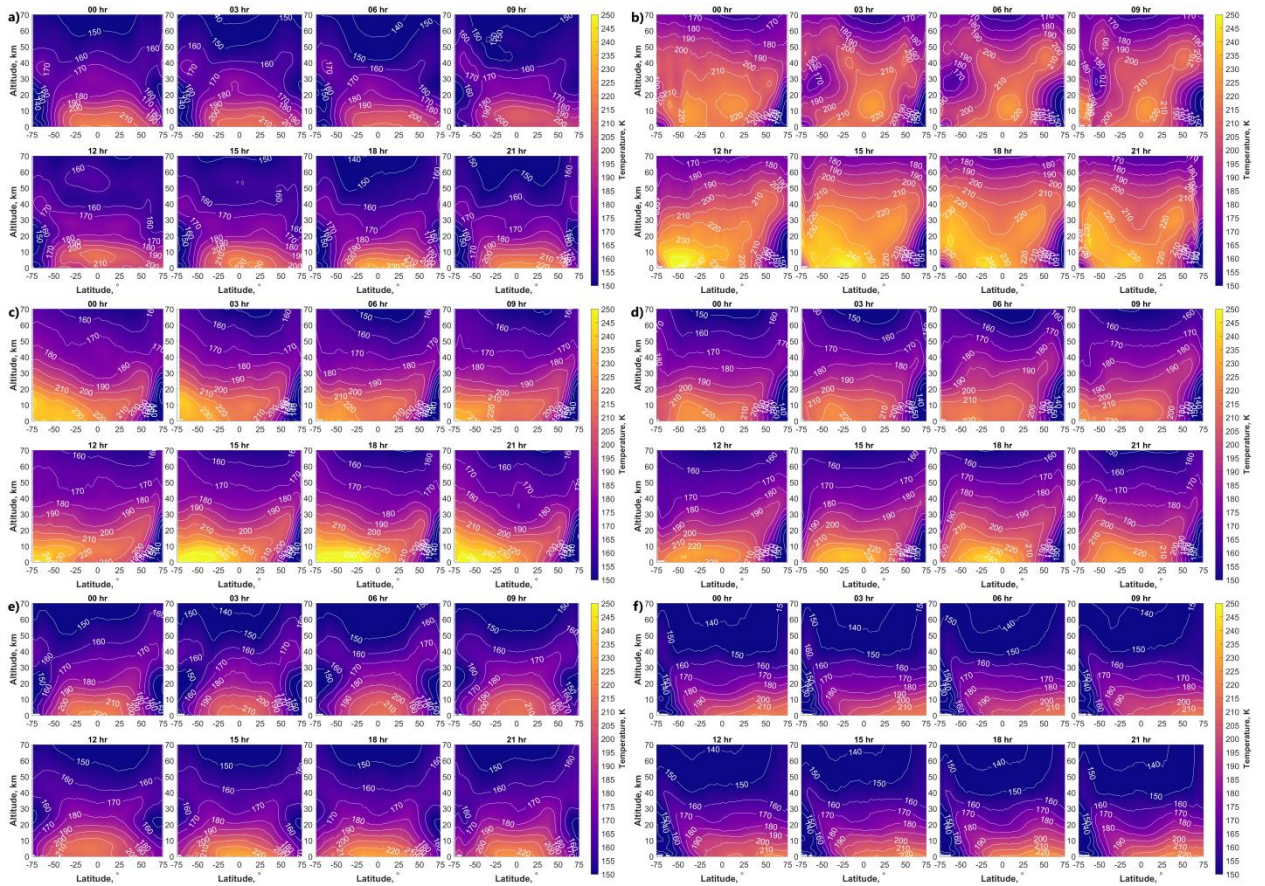


Рис. 1. Суточный цикл зонально усреднённой тепловой структуры атмосферы Марса с интервалом в 3 ч местного времени для всего набора сезонов: (а) осень в северном полушарии ( $L_S = 142^\circ\text{--}185^\circ$ , MY 34); (б) глобальная пылевая буря в конце осени ( $L_S = 200^\circ\text{--}245^\circ$ ); (с) зима ( $L_S = 260^\circ\text{--}305^\circ$ ); (д) региональная пылевая буря в начале весны ( $L_S = 305^\circ\text{--}350^\circ$ ); (е) весна ( $L_S = 345^\circ\text{--}30^\circ$ ); (ф) лето ( $L_S = 70^\circ\text{--}115^\circ$ , MY 35). Работа выполнена по гранту РФФ № 20-42-09035.

### 1.10 Вертикальная структура мезосферы и термосферы Марса: сезонные вариации в разреженной атмосфере

Температура и плотность верхней атмосферы Марса являются ключевыми параметрами при исследовании процессов диссипации частиц [1] с одной стороны и влияния солнечной активности с другой. Наблюдения мезосферы и термосферы Марса российским прибором ACS на космическом аппарате EхоMars TGO, охватывающие полтора марсианских года и одну глобальную пылевую бурю, позволили исследовать вертикальное распределение плотности и температуры в рекордно широком диапазоне высот, от 10 до 180 км с разрешением 1 км. В 2022 году по полученным профилям были выявлены сезонные вариации мезопаузы – температурного минимума всей атмосферы, а также высоты гомопаузы – слоя, выше которого равномерное (турбулентное) перемешивание атмосферы меняется на молекулярное, индивидуальное для каждой компоненты [2]. Высокое вертикальное разрешение (1 км) позволило также выявить волновые эффекты вдоль всего столба атмосферы с характерным затуханием волны в области гомопаузы [1K]. Результат (вместе с публикациями) получен в рамках гранта РФФ № 20-42-09035.

## Раздел 2. ВЕНЕРА

### 2.1 Анализ спектров пропускания надоблачной атмосферы Венеры в рамках подготовки к будущим экспериментам

В 2022 году был проведен анализ спектров пропускания верхней (надоблачной) атмосферы Венеры на примере эксперимента SOIR (миссия «Венера Экспресс», 2006-2014) в полосах поглощения CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в ИК диапазоне. Была возобновлена интерпретация данных SOIR с целью оценки чувствительности к малым газовым составляющим для готовящихся экспериментов по солнечному просвечиванию на Венере, например, для российского спектрометра VIRAL индийской миссии Shukrayan-2.

### 2.2 Моделирование спектров пропускания SO<sub>2</sub> в нижней атмосфере Венеры для эксперимента с борта посадочной платформы

В 2022 году была определена научная концепция эксперимента ДАВУС (DAVUS, т.е. Descent in the Atmosphere of Venus with Ultraviolet Spectrometer) на борту разрабатываемого посадочного аппарата. Инструмент, состоящий из спектрометра, источника ультрафиолетового (УФ) излучения и оптической кюветы, будет измерять поглощение газообразных (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и др.) и аэрозольных частиц в атмосфере во время спуска платформы с высоты 70 км до поверхности. Атмосферное поглощение регистрируется спектрометром высокого разрешения (порядка 0.1 нм) в диапазоне длин волн 250-400 нм. На основе рассчитанных спектральных и оптических характеристик прибора ДАВУС были смоделированы спектры пропускания исследуемых молекул для различных концентраций атмосферы в заданном диапазоне длин волн. Основной научной задачей является исследование профиля содержания двуокиси серы, SO<sub>2</sub>, играющей ключевую роль в атмосферной фотохимии при формировании облаков из капель серной кислоты (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) на высотах 50-70 км. Кроме того, до сих пор мало изучена взаимосвязь SO<sub>2</sub> с неизвестным УФ поглотителем в облаках Венеры. Из рассчитанных спектров пропускания молекулы SO<sub>2</sub> показано, что эксперимент чувствителен к детектированию на высотах от поверхности до 70 км (Рис. 1), что дополнит и улучшит вертикальное распределение газа, полученное из предыдущих измерений в нижней атмосфере Венеры (спуск аппаратов «ВеГа», ИК-зондирование).

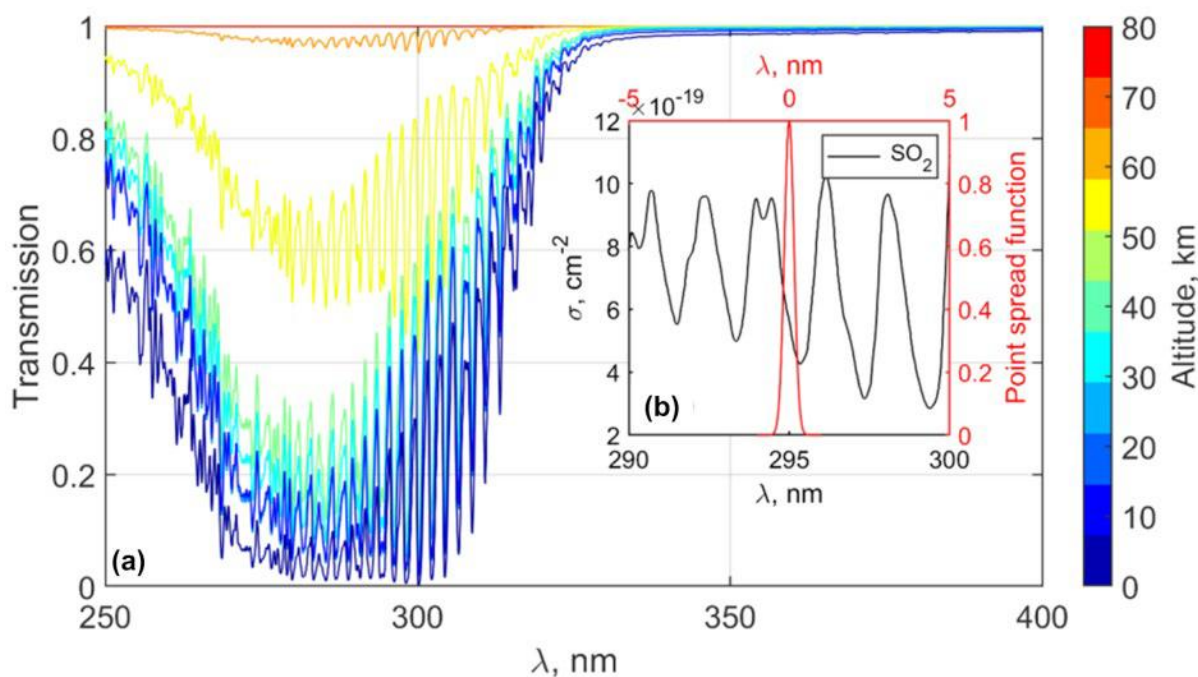


Рис. 1. (a) Примеры спектров пропускания SO<sub>2</sub>, смоделированные для измерений прибором ДАВУС на разных высотах атмосферы для длины оптического пути к кювете 2

метра. (б) Все спектры свернуты с аппаратной функцией спектрометра с полушириной 0,2 нм.

### **Раздел 3. РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ**

#### **3.1 На основе модельных экспериментов показана принципиальная возможность образования диоксида серы при фотохимическом разложении сульфата магния на поверхности Марса под действием коротковолнового УФ-излучения**

Исследование фотохимического разложения безводного  $MgSO_4$ , осуществляли в проточном кварцевом фотореакторе, облучаемом эксимерной ксеноновой лампой ( $\lambda_{max} = 172$  нм, полуширина полосы излучения – 10 нм), что соответствует вакуумному УФ-излучению. В реактор подавали гелий особой чистоты, который позволял переносить летучие продукты реакций в криогенную ловушку, а затем – в аналитическую систему – газовый хромато-масс-спектрометр.

В продуктах фотолиза сульфата магния обнаружен диоксид серы в количествах, позволяющих сделать вывод о том, что в реакцию вступает лишь незначительный поверхностный слой вещества (менее характерного размера ромбического кристалла  $MgSO_4$ ).

Поскольку основной диапазон УФ-излучения на Марсе 200 – 400 нм, в дальнейшем планируется применение ртутной лампы среднего давления для получения информации о процессе фотолиза солей марсианского грунта в более широком диапазоне длин волн и экспериментального определения пороговой энергии кванта УФ-излучения, при котором протекает фотолиз.

#### **3.2 На основе модельных экспериментов с миллисекундным Nd:YAG-лазером предложен механизм образования нанофазного металлического железа в лунном реголите при микрометеоритных ударах**

Влияние на спектральные характеристики реголита Луны и других безатмосферных космических объектов в значительной степени оказывает наличие в минеральных частицах реголита нанофазного металлического железа ( $np-Fe^0$ ), образующегося, как предполагается, в процессе космического выветривания.  $np-Fe^0$  повсеместно встречается в образцах лунного реголита в виде глобул размером ~5–20 нм. Особенно часто  $np-Fe^0$  обнаруживается в тонкой аморфной пленке на поверхности минеральных частиц.

В образовании  $np-Fe^0$  на Луне, помимо солнечного ветра и конденсации железа из пара, генерируемого при микрометеоритных ударах, задействован еще один механизм, как было показано в наших экспериментах.

С помощью Nd:YAG-лазера ( $\lambda=1,06$  мкм, длительность импульса –  $10^{-3}$  с, энергия импульса ~ 600-700 Дж, плотность потока энергии ~  $10^6$ - $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>), имитирующего высокотемпературную стадию фазообразования при ударных процессах по минеральным мишеням различного состава (базальтовому стеклу, оливину, базальту и перидотиту), показана возможность формирования сферул металлического железа размером от десятков до сотен нанометров и единиц микрометров. Прослежена зависимость наличия и количества наносферул железа от материала мишени. Базальтовое стекло и оливин поддаются более глубокому и лёгкому преобразованию, чем кристаллический базальт и перидотит. Отмечены схожие текстурные особенности при сравнении образцов, подвергнутых облучению в лазерных экспериментах, с зёрнами агглютинатов, доставленных АМС «Луна-20».

Подтвержден механизм формирования  $np-Fe^0$  – путём ударно-иницированного термического разложения петрогенных окислов в расплаве, т.е. *in situ*. Следует принимать во внимание указанный механизм при объяснении происхождения  $np-Fe^0$ , широко распространённого в реголите Луны.

#### **3.3 Исследование устойчивости микроорганизмов к воздействию факторов внеземного пространства**

Вода играет важную роль в клеточном метаболизме и жизнедеятельности микроорганизмов. Во внесемной среде нехватка воды является важным ограничивающим фактором для распространения жизни. Более того, не только отсутствие молекул воды ограничивает микробную активность, но и высокие концентрации водорастворимых веществ (солей, сахаров, аминокислот и т. д.) также негативно сказываются на бактериях, снижая количество доступной воды.

Разные организмы могут выживать и размножаться при разных уровнях доступности воды. Для оценки потенциальной активности культивируемых почвенных бактериальных сообществ при различных значениях доступности воды был проведен следующий эксперимент: бактерии из почв пустынь Сахара (Тунис) и Негев (Израиль), культивировались на питательной среде с добавлением глицерина в различных концентрациях, вследствие чего среды обеспечивали активность воды ( $A_w$ ) от 1.0 до 0.9 (с шагом 0.01). После инкубации уникальные культуры выделяли, описывали, идентифицировали с помощью секвенирования 16S рРНК и тестировали на рост в градиенте  $A_w$  в чистых культурах.

Культивируемые бактерии обнаруживались вплоть до  $A_w$  0.95, на средах с более низкими значениями активности воды роста не обнаружено. В результате культивирования выделены представители 34 родов бактерий, преимущественно представители филума Actinobacteria; доминировали представители родов Arthrobacter, Kocuria и Pseudarthrobacter. При этом выявлены 38 штаммов с низким сходством нуклеотидных последовательностей с базами данных и, вероятно, являющихся представителями ранее не описанных видов родов Agrococcus, Arthrobacter, Bacillus, Brachybacterium, Cellulomonas, Conyzicola, Kocuria, Microbacterium, Okibacterium, Rathayibacter и Sphingomonas. Тестирование штаммов на способность к росту в чистой культуре в градиенте значений  $A_w$  позволило обнаружить 18 штаммов родов Arthrobacter, Kocuria, Brachybacterium, Serratia и Leucobacter, способных к росту при  $A_w$  0.91. Проведенное исследование подтверждает данные о том, что пустынные почвы и породы, являются депозитарием ранее не описанных видов бактерий, а также могут быть источником микроорганизмов, способных функционировать при дефиците доступной воды. Полученные данные существенно расширяют список организмов, для которых показана устойчивость к низким значениям  $A_w$ , и могут быть перспективны для дальнейшего изучения в рамках модельных астробиологических экспериментов.

## **Раздел 4. МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ**

### **4.1 Исследование оптических свойств частиц в экзосфере активных астероидов по их спектрам отражения в видимом диапазоне**

В спектрах отражения активных астероидов (АА), измеренных в видимом и ближнем УФ-диапазонах, наблюдаются необычные детали, которые, вероятно, обусловлены рассеянием света в экзосфере, образовавшейся во время активных процессов на астероиде. Для количественной интерпретации этих деталей рассчитаны спектры отражения АА, окруженного экзосферой, состоящей из агрегатных субмикронных зерен разного состава и морфологии, а также однородных частиц. Показано, что рассеяние на агрегатах субмикронных зерен формирует на длинах волн короче 0.6 мкм интерференционные детали, положение которых определяется как размерами этих зерен (но не самих агрегатов), так и действительной частью их показателя преломления. Структура агрегата и вариации (до  $\pm 20\%$ ) размеров зерен слабо влияют на положение этих деталей. Форма спектра на более длинных волнах также зависит от размеров зерен и может служить дополнительным критерием для оценки этого параметра. Для выбора адекватной модели расчета интенсивности и поляризации света, рассеянного реголитом поверхности астероида, проведен анализ различных приближений к решению этой проблемы.

**4.2.1 Теоретическая работа:** Рассмотрена граница раздела между диэлектриком и средой, содержащей носители заряда с умеренной подвижностью. При воздействии на эту

границу стохастических потоков положительных и отрицательных частиц с одинаковой средней плотностью тока  $j_0$ , и предположении, что поверхность поглощает все падающие заряды, по всей поверхности возникают флуктуирующие и взаимодействующих друг с другом противоположно заряженные пятна различных размеров  $D$ . Фурье-разложение сводит эту совокупность взаимодействующих пятен к ансамблю независимо флуктуирующих волн плотности заряда. Было показано, что величина флуктуирующего электрического поля может иметь довольно большую величину непосредственно над каждым пятном заряда, но экспоненциально уменьшается с расстоянием от плоскости. Время жизни  $\tau$  пятна заряда обратно пропорционально плотности  $j_0$  стохастического тока, а пропорциональные амплитуды флуктуаций не зависят от  $j_0$ . Зависимость параметров флуктуаций от размера пятна заряда  $D$  может меняться в зависимости от свойств проводящей среды. Результаты этой работы опубликованы в журнале Langmuir (Q1).

#### 4.2.2 Развитие экспериментальной базы

Выполнялись работы по совершенствованию установок и экспериментальных методик для проведения лабораторных исследований при моделировании физических процессов у поверхностей безатмосферных тел.

### Раздел 5. ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

#### 5.1 Коррекция от наблюдательной селекции статистических распределений экзопланет по массам и по орбитальным периодам, усредненное строение экзопланетных систем. Выборка солнцеподобных звезд

Исследованы методы коррекции наблюдательной селекции в статистике транзитных планет и планет, обнаруженных методом лучевых скоростей (RV) по массам и по орбитальным периодам. Изучено распределение по массам планет у солнцеподобных звезд (с массами  $1.00 \pm 0.25$  солнечных масс). Скорректированные распределения наблюдаемых экзопланет по их массам ( $m$ ) хорошо описываются следующими степенными законами: малые массы экзопланет (0.02-0.21 масс Юпитера)  $\propto m^{(-2.5 \dots -3)}$ , средние массы экзопланет (0.21-2 масс Юпитера)  $\propto m^{(-1)}$  и большие массы экзопланет (2-13 масс Юпитера)  $\propto m^{(-2)}$ . В области 0.011-0.02 масс Юпитера (3.6-6.3 масс Земли) распределение планет у солнцеподобных звезд становится плоским ( $\propto m^{(-1)}$ ), что может свидетельствовать о наличии зависимости распределения планет малых масс от массы родительской звезды (рис. 1).

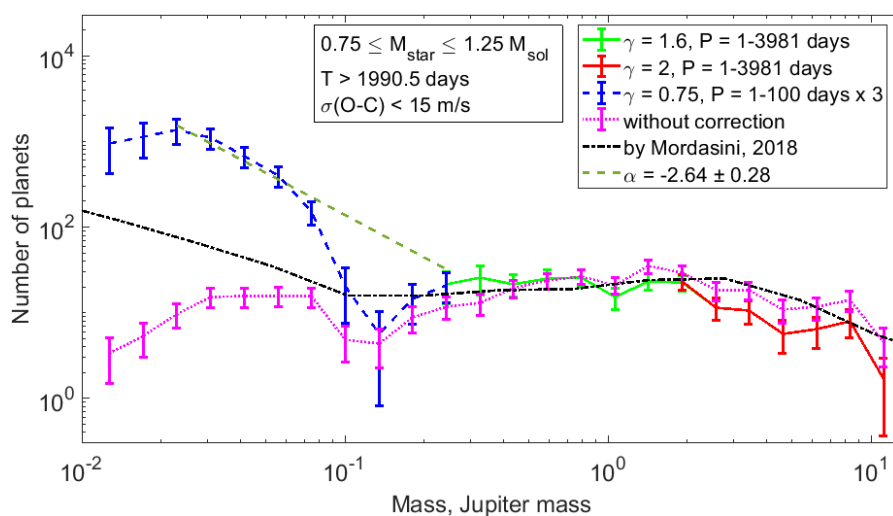


Рис. 1 – Скорректированное распределение по массам планет у солнцеподобных звезд с массами  $1.00 \pm 0.25$  солнечных масс (показано синей, зеленой и красной линиями для планет с массами 0.011-0.21, 0.21-1.7 и 1.7-13 масс Юпитера, соответственно). Точечной малиновой линией показано не скорректированное распределение. Черной штрихпунктирной линией показано распределение из обзора (Mordasini, 2018).

Результат находится в частичном согласии с новым поколением космогонических моделей популяционного синтеза и демонстрирует дополнительные особенности, в частности, минимум, соответствующий «пустыне горячих нептоунов». Показано, что распределения планет, полученные разными наблюдательными методами, в частности транзитным и RV- методами, находятся в хорошем согласии друг с другом.

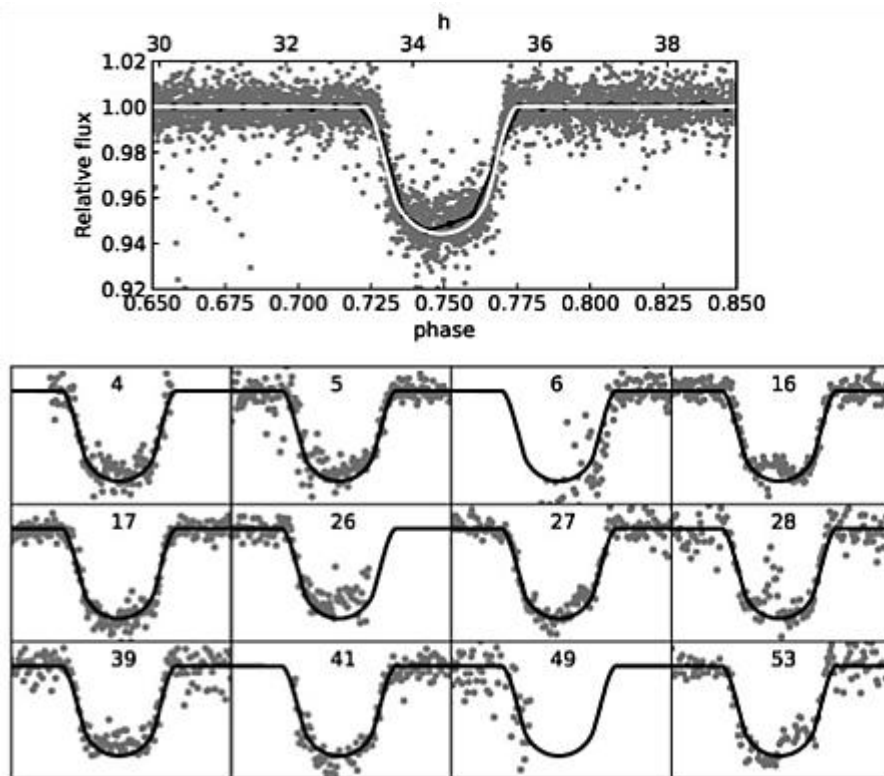
## 5.2 Восемь кандидатов в экзопланеты открыты с помощью российских роботизированных телескопов

Поиск и исследование характеристик планет у других звезд — экзопланет — одна из самых «горячих» тем современных исследований космоса. Огромный прорыв был достигнут с запуском космических обсерваторий, прежде всего, *Kepler* (NASA, 2009–2018), благодаря которым счет новых подтвержденных экзопланет и кандидатов в экзопланеты пошел на тысячи.

Сейчас в нашей стране создается сеть оптических телескопов для проведения постоянно обновляемого обзора транзитных событий и экзопланет. Основой ее станет комплекс роботизированных телескопов с диаметрами зеркал 50 сантиметров, созданный в Специальной астрофизической обсерватории РАН (Карачаево-Черкесия). Сегодня он включает в себя уже три телескопа, планируется его дальнейшее развитие.

Первые наблюдения здесь начались во второй половине 2020 г. Исследователи из САО РАН, ИКИ РАН и других организаций выполнили глубокий обзор участка неба площадью  $1^{\circ},5 \times 1^{\circ},5$ . По его итогам было обнаружено восемь новых кандидатов в экзопланеты.

Поиск велся методом транзитов — исследователи пытаются заметить снижение яркости звезды, когда её диск частично затмевает экзопланета. Поскольку планета очень мала по сравнению со звездой, то таким образом лучше всего заметны близкие и довольно большие планеты.



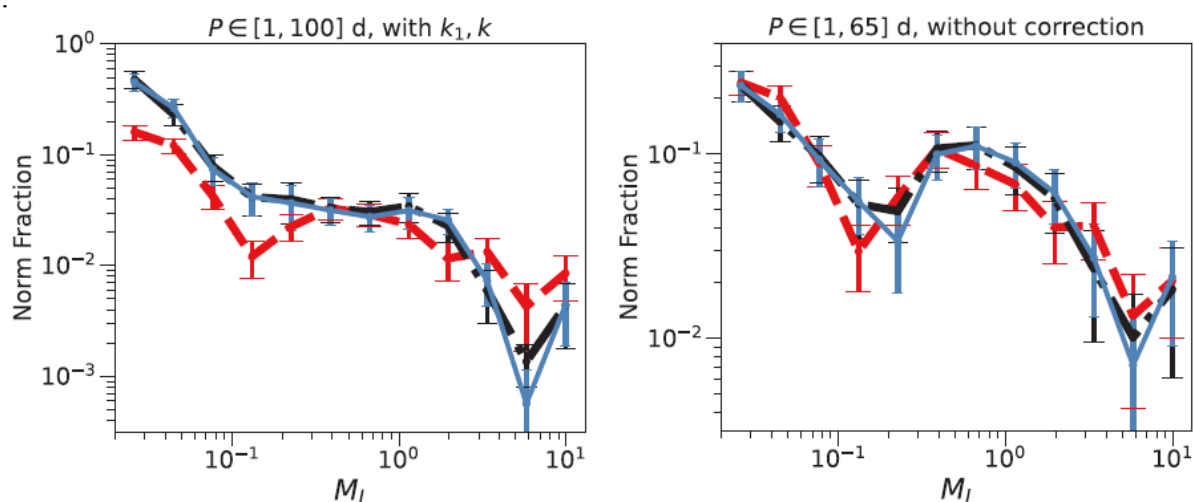
Пример открытия фотометрических транзитных событий у звезды солнечного типа. Изображение из ст. Яковлев и др., *Астрофизический бюллетень*, в печати

Радиусы найденных экзопланет превышают радиус Юпитера в  $\geq 1.4$  раза, а большие полуоси орбит составляют от 0.012 до 0.035 астрономической единицы. Таким образом, найденные экзопланеты относятся к классам «горячих Юпитеров» или «горячих Нептунов», которые находятся на очень близких расстояниях к своим звездам.

Наблюдения в нескольких площадках такого размера продолжались в 2021–2022 годах, сейчас полученные данные обрабатываются.

### 5.3 Сравнение распределений по массам короткопериодических экзопланет открытых транзитным методом и методом лучевых скоростей

Изучены причины расхождения между ранее полученными выборками распределений масс экзопланет, обнаруженных транзитным методом и методом лучевых скоростей (RV), с поправкой на некоторые наблюдательные эффекты наблюдательной селекции. Установлено, что это несоответствие может быть устранено путем введения следующих ограничений в процедуры формирования выборок: (i) рассматривать среди транзитных экзопланет только те, массы которых были определены методом RV (т.е. исключая метод TTV); (ii) учитывать экзопланеты с орбитальными периодами  $P \in [1, 100]$  дней и массами  $M \in [0.02, 13]$  MJ (массы Юпитера). Следует учитывать, сравнение распределений по проективным массам (это  $M \cdot \sin i$ , где  $i$  - наклон орбиты экзопланеты по направлению к наблюдателю). Для этого распределение масс транзитных экзопланет преобразуется в распределение проективных масс. Благодаря этим трем изменениям в процедуре сравнения, полученные распределения RV и транзитов демонстрируют сходное поведение в интервале  $M \in [0.02, M_{mid}]$  MJ и совпадают при  $M \in [M_{mid}, 13]$  MJ, где  $M_{mid} \approx 0.17$  MJ.

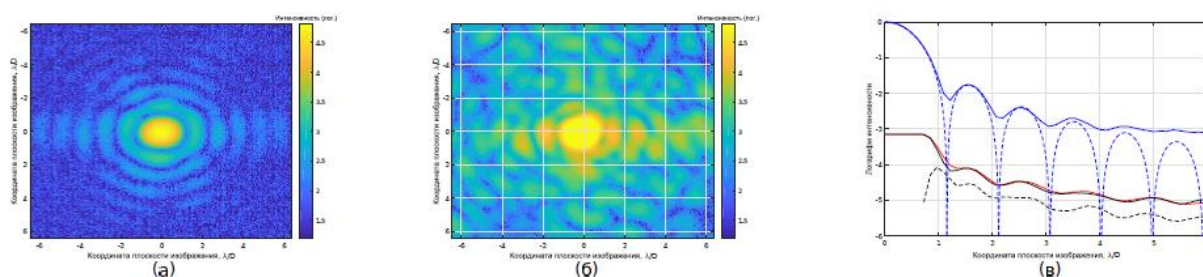


### 5.4 Численная инверсия распределения экзопланет $m \cdot \sin i$ : пустыня суб-Сатурнов более обеднена, чем наблюдалось, и разрыв масс в области Урана

Обнаружение экзопланеты, вращающейся вокруг другой звезды, методом лучевых скоростей (RV) позволяет определить только минимальную массу планеты,  $m \cdot \sin i$ ,  $m$  - истинную массу,  $i$  - угол наклона полярной оси орбиты планеты к линии визирования. Учитывая наблюдаемое дискретизированное распределение  $m \cdot \sin i$ :  $f_0(m \cdot \sin i)$ , разработан алгоритм для нахождения распределения истинных масс  $f(m)$ . Метод основан на анализе геометрического представления экзопланет. Метод использует представления распределений в форме сфер и цилиндров и в некоторой степени похож (хотя и отличается) на инверсию Абеля, широко используемую в физике атмосферы. Мы применили этот алгоритм к выборке открытых RV планет, содержащей 909 планет. Подтверждено существование суб-сатурновой пустыни (по крайней мере, для периодов  $< 100$  дней), наиболее обедненной в диапазоне масс в диапазоне  $0.1-0.2 M_{\text{Jup}}$  ( $\sim 32-64 M_{\oplus}$ ), обнаруженной в первоначальном распределении  $m \cdot \sin i$ . Результат является надежным и сохраняется даже при учете других погрешностей RV-обзоров экзопланет. Обсуждаются различия с космогонической моделью популяционного синтеза. Обнаружен статистически значимый разрыв планет в наблюдаемом распределении  $m \cdot \sin i$  в узком диапазоне  $13.7-15.2 M_{\oplus}$ , содержащем планету типа Уран.

### 5.5 Коррекция волнового фронта для наблюдения экзопланеты на фоне дифракционной окрестности звезды

Предложен и исследован метод прецизионной коррекции волнового фронта для осуществления астрономического наблюдения экзопланет в дифракционной окрестности звезды. Показана применимость метода для измерения и коррекции волнового фронта в схеме телескопа и интерференционного коронографа без применения Гартрмановских измерителей волнового фронта. В лабораторном эксперименте получены точность коррекции  $\sim \lambda/50$  и коронографический контраст лучше чем  $10^5$ . Намечены перспективы для увеличения точности коррекции до целевого значения  $\lambda/500$  для визуализации Земли в окрестности Солнца, наблюдаемых с расстояния 10 парсек (в ближайшей окрестности Солнечной системы) за счет дополнительной коррекции амплитуды и учета aberrаций необщего пути.



Экспериментальные изображения: (а) – некоронаграфическое изображение (экспозиция 0,02 мс). (б) – коронографическое изображение, при коррекции ВФ приблизительно с  $\sigma \approx \lambda/40$  (экспозиция  $\approx 30$  мс). (в) – усредненные радиальные сечения: синяя (сплошная) линия для некоронаграфического изображения (а), красная (сплошная) линия для коронографического изображения (б), синяя (пунктирная) линия для радиального сечения теоретической ФРТ, черная (сплошная) линия – сечение другой реализации в другой момент времени коронографического изображения, черная (пунктирная) линия – усредненное сечение разности двух коронографических изображений.

## Раздел 6. МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ И АППАРАТУРА ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАНЕТ

### 6.1 Оценка применимости масс-спектрометра ЛАЗМА-ЛР для обнаружения водяного льда в лунном реголите

Планируется, что космические аппараты (КА) «Луна-25» и «Луна-27» осуществят посадку в районе Южного полюса Луны. Одной из главных целей этих КА является поиск воды в реголите. Измерение количества воды в реголите предполагается проводить с помощью активного нейтронного зондирования (прибор АДРОН-ЛР). При этом для выполнения этой научной задачи рассматривается возможность использования других приборов, входящих в комплекс научной аппаратуры этих миссий. В частности, оба КА несут на борту лазерно-ионизационный времяпролетный масс-спектрометр ЛАЗМА-ЛР, основной задачей которого является анализ элементного состава лунного реголита. Этот прибор предназначен для анализа твердых проб и не предназначен для анализа летучих веществ. Тем не менее, нами рассмотрены некоторые подходы к анализу проб во время лунных миссий с целью оценки применимости ЛАЗМА-ЛР для обнаружения воды в реголите.

Была проведена серия экспериментов с изотопными метками. Порошок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  смешивали с дейтерированной водой ( $\text{D}_2\text{O}$ ) в концентрациях от 0.5 до 40%, образец помещали в вакуумную камеру и анализировали с помощью прибора ЛАЗМА-ЛР в летной конфигурации. В результате были получены масс-спектры с пиками дейтерия и кислорода, т.е. прибор был способен обнаруживать в пробах тяжелую воду (рис. 1). В ходе экспериментов наблюдалось постепенное снижение концентрации дейтерия, которое регистрировалось прибором, что было связано с сублимацией льда или воды (в зависимости от температуры образца) в вакуумной камере (рис. 2). Это создает предпосылки для определения состояния воды в пробе путем анализа динамики содержания ионов водорода в пробе. В частности, при наличии в реголите Луны воды в

виде льда, ожидается постепенное снижение концентрации ионов водорода, в то время как концентрация ионов водорода, образовавшихся из химически связанной воды, должна оставаться постоянной.

Таким образом, установлено, что прибор ЛАЗМА-ЛР способен обнаруживать водяной лед в реголите. Однако количественная оценка содержания воды требует дальнейших исследований и разработки методов. Важно отметить, что возможность проведения таких анализов критически зависит от условий отбора проб реголита и доставки его в грунтоприемное устройство прибора, так как в условиях лунной поверхности возможна сублимация льда еще до анализа образцов. Тем не менее проведенные эксперименты свидетельствуют о принципиальной применимости масс-спектрометра ЛАЗМА-ЛР для поиска воды в ходе миссий «Луна-25» и «Луна-27».

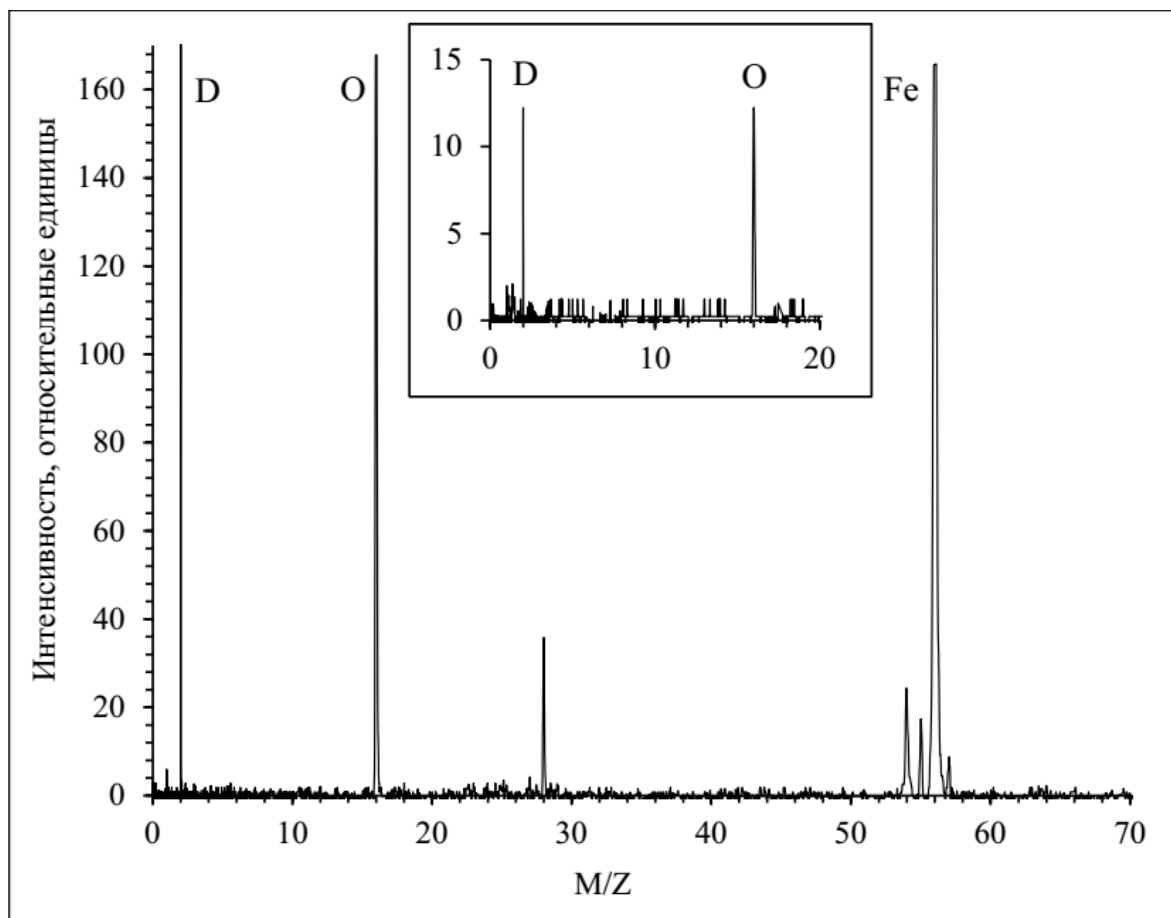


Рисунок 1. Масс-спектр порошка  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с 40%  $\text{D}_2\text{O}$ . Врезка представляет часть того же масс-спектра в наименее чувствительном канале.

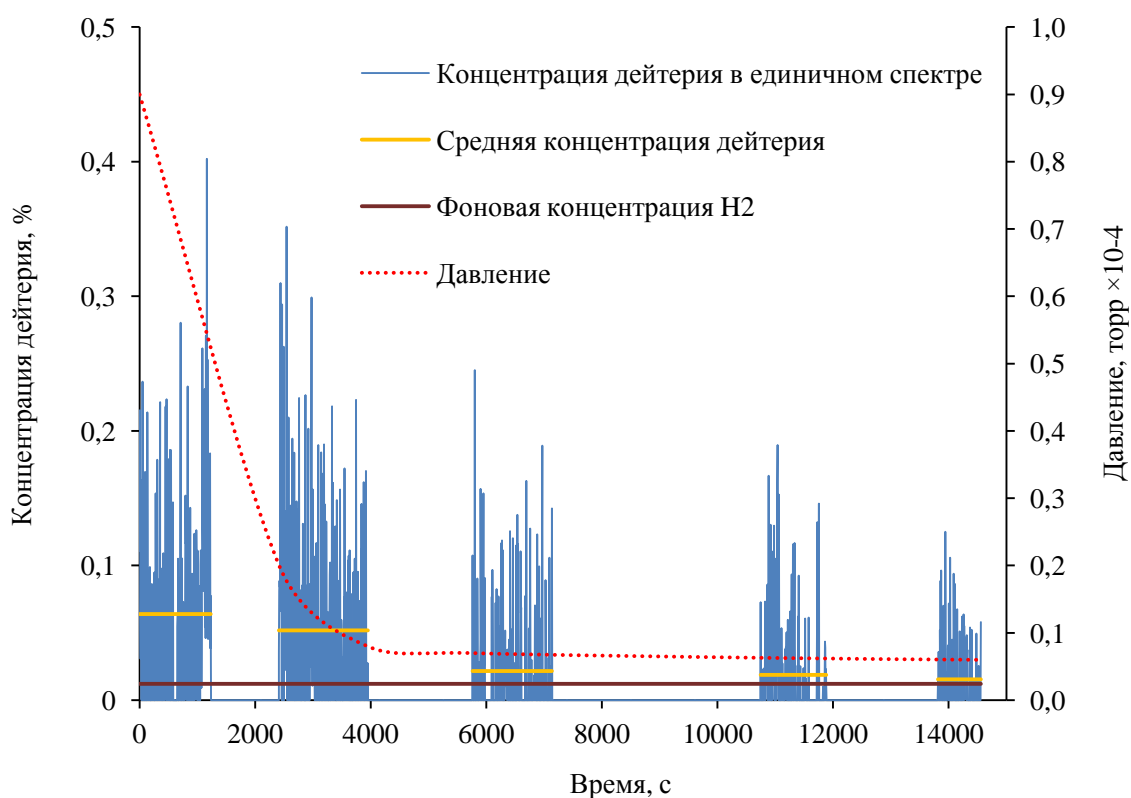


Рисунок 2. Динамика концентрации дейтерия в образце порошка  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с 0,5%  $\text{D}_2\text{O}$  (рассчитана без применения коэффициентов относительной чувствительности) и изменения давления в вакуумной камере за счет сублимации  $\text{D}_2\text{O}$ , полученная при  $+25^\circ\text{C}$ .

## 6.2 Проработка возможностей интерпретации данных лазерно-ионизационного масс-спектрометра ЛМС для исследования поверхности Венеры на посадочном аппарате

В 2021 г. было предложено включение в комплекс научной аппаратуры миссии Венера-Д лазерно-ионизационного масс-спектрометра ЛМС. В ходе подготовки технического предложения были определены характеристики масс-спектрометра, что позволило уточнить научные задачи, которые могут быть выполнены с помощью данного прибора, а также проработать ряд вариантов интерпретации масс-спектрометрических данных.

Предполагается, что прибор ЛМС проведет анализ реголита Венеры и определит состав элементов в широком диапазоне масс (1-250 а.е.м.) с точностью не ниже 10% и относительной чувствительностью в одном спектре  $10^{-4}$ . При этом будут получены данные о неоднородностях образцов в микромасштабах (десятки микрометров).

Для анализа и интерпретации данных предлагается следующая последовательность действий:

- 1) определение типа породы на основе качественных данных об элементном составе образца, а также на основании соотношений суммарного содержания натрия и калия к содержанию кремния;
- 2) анализ горной породы Земли того же типа с использованием аналогичной лабораторной модели прибора;
- 3) расчет коэффициентов относительной чувствительности на основе спектров, полученных в лаборатории;
- 4) повторный анализ данных, полученных бортовым прибором, с применением рассчитанных коэффициентов относительной чувствительности.

В связи с наличием возможности микроанализа, также предполагается определение минералогического состава образцов. Так, в случае обнаружения пород, характеризующихся зернистой структурой (граниты, пикриты), может быть возможно определение состава отдельных зерен. Выявление подобных пород возможно по наличию

групп спектров, полученных при анализе одного образца, но содержащих качественно разный состав элементов. В частности, при анализе гранита можно предполагать наличие спектров, содержащих пики Si и O (кварц), Si, O, Na, Ca, Al (плагиоклаз), K, Al, Si, O (калиевый полевой шпат) и т.д. При выявлении подобных выборок спектров возможна предварительная идентификация минерала по качественному составу и по соотношениям содержания Ca, Al, Si, и дальнейший анализ минералов на Земле с последующим повторным анализом данных космического эксперимента аналогично схеме, предложенной выше.

Определение типа пород и минералогического состава может способствовать обнаружению прошлых гидрологических процессов на Венере. В частности, обнаружение гранитов может являться свидетельством существования в прошлом океанов на планете. Достоверная же идентификация пород столь сложного минералогического состава в ходе космической миссии требует подробной проработки подходов к анализу данных, в том числе в ходе наземных экспериментов. Это обуславливает необходимость дальнейших теоретических и экспериментальных исследований в данном направлении.

### **6.3 Прибор для исследования пылевых облаков на орбитах Луны**

Интерпретация результатов по исследованиям лунной ионосферы, выполненные радиозатменным методом в середине 70х годов прошлого века на советских лунных орбитальных станциях, показали, что над освещенной стороной Луны на больших высотах присутствуют заряженные пылевые частицы. Кроме того, американские астронавты, выполнявшие полеты по программе Apollo сообщали, что на высотах порядка 100 км над Луной наблюдаются свечения, которые можно объяснить рассеянием света на микрочастицах, находящихся на больших высотах. Прямая регистрация пылевых частиц на высотах в диапазоне от нескольких до 250 км от поверхности Луны была выполнена в 2013-2014 гг. с помощью прибора LDEX, установленного на американском спутнике Луны LADEE. Однако, эти измерения были выполнены прибором с апертурой 150 x 150 мм (порядка двух сотых квадратного метра).

Предлагается установить на орбитальную станцию Луна-26 прибор, позволяющий регистрировать пылевые частицы на орбитах Луны, апертура которого составит несколько кв. метров. Основным чувствительным элементом такого прибора станут пьезоэлектрические датчики, установленные на корпусе солнечных панелей станции Луна-26, площадь которых более 3 кв.м.

### **6.4 Прибор для исследований приповерхностной зоны Российской орбитальной служебной станции (РОСС)**

Подготовлено предложение по созданию прибора для установки на создаваемую Российскую орбитальную служебную станцию (РОСС) с целью исследований потоков микрочастиц околоземного космического пространства и параметров плазменно-пылевой среды в приповерхностной зоне орбитальной станции. Прибор, основанный на широкоапертурных методах исследований потоков межпланетной пыли на траекториях полета космических аппаратов, позволит получить новые данные о динамике и физических характеристиках заряженных и нейтральных космических микрочастиц на околоземных орбитах; выполнить исследования плазменно-пылевой среды приповерхностной зоны орбитальной станции. Полученные данные важны для верификации и уточнения моделей популяции космического мусора в околоземном пространстве, исследований взаимовлияния орбитальной станции с окружающим пространством, мониторинга пылевой обстановки.

## **Раздел 7. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **7.1 Теория крупномасштабных процессов в планетных атмосферах при наличии крупномасштабной сжимаемости**

Развита теория крупномасштабных процессов в планетных атмосферах при наличии крупномасштабной сжимаемости. Теория единообразно описывает как физические

процессы в планетных атмосферах при наличии крупномасштабной сжимаемости, так и крупномасштабные процессы в запыленной атмосфере, что создает уникальные возможности для совместного моделирования влияния пылевых частиц в планетных атмосферах. Для описания таких процессов используется приближение мелкой воды. Получена система дифференциальных уравнений движения вращающейся сжимаемой атмосферы в поле силы тяжести со свободной границей в приближении мелкой воды. Полученная система уравнений нетривиально зависит от характерного вертикального масштаба течения и масштаба высот, на котором изменение плотности планетной атмосферы становится существенным. В отличие от классических уравнений мелкой воды для несжимаемых течений, высота свободной поверхности не может считаться аналогом массы столба жидкости и закон сохранения массы записывается для новой переменной, являющейся произведением высоты свободной поверхности на среднюю плотность атмосферы. Учитывая широкий спектр применимости полученных уравнений в геофизической гидродинамике и в физике планет, в работе приведен их подробный вывод, проведен анализ их пределов применимости. Показано, что при малости высоты слоя по сравнению с масштабом сжимаемости полученная система переходит в систему классических уравнений мелкой воды. Вследствие различия выражений для квадрата скорости распространения слабых возмущений нелинейная динамика таких течений отличается от динамики классических уравнений несжимаемой атмосферы мелкой воды, несмотря на формальную аналогию гиперболической структуры обеих моделей. Получена система уравнений для сжимаемой планетной атмосферы в приближении мелкой воды на  $\beta$ -плоскости, в которой учитывается линейная зависимость параметра Кориолиса от широты. Для системы уравнений на  $f$ -плоскости получены линейные решения в виде волн Пуанкаре для сжимаемой атмосферы. Для системы уравнений на  $\beta$ -плоскости получены два вида волн - волны Пуанкаре в сжимаемой атмосфере в коротковолновом пределе и волны Россби в сжимаемой атмосфере в длинноволновом пределе. Качественный анализ дисперсионных соотношений показал, что на  $f$ -плоскости невозможны трехволновые взаимодействия волн Пуанкаре в сжимаемой атмосфере, а на  $\beta$ -плоскости возможны трехволновые взаимодействия для трех волн Россби в сжимаемой атмосфере, а также двух волн Россби и одной волны Пуанкаре в сжимаемой атмосфере. На  $\beta$ -плоскости асимптотическим методом многомасштабных разложений получены нелинейные уравнения на амплитуды взаимодействующих волн. Для каждого случая трехволновых взаимодействий исследованы параметрические неустойчивости и найдены коэффициенты взаимодействия трех волн в сжимаемой атмосфере на  $\beta$ -плоскости.

## **Раздел 8. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОДДЕРЖАННЫЕ ГРАНТОМ МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

### **8.1 Развитие наблюдательной базы для исследования экзопланет на БТА (6 м) и др. телескопах САО РАН**

За последние десятилетия достижения в области астрономического инструментария привели к появлению ряда новых передовых исследований, связанных с анализом больших массивов данных наблюдений. Одними из самых известных таких исследований являются изучение переходных событий в ближнем и дальнем космосе и поиск экзопланет. Основными требованиями для такого рода проектов являются одновременный охват максимально возможного поля зрения с максимально возможными пределами обнаружения и временным разрешением. В данном исследовании представлен подобный проект, направленный на создание обширного, постоянно обновляемого обзора переходных транзиентных событий и экзопланет. На сегодняшний день ядро проекта включает в себя несколько оптических телескопов 0,07-2,5 м и 6-метрового телескопа БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН (Россия), ряд других российских обсерваторий и обсерватория Бонхёнсан Корейского института астрономии и космических наук Корейского института астрономии и космических наук (Южная Корея).

Наше внимание в основном сосредоточено на описании двух групп небольших широкоугольных оптических телескопов для первичного обнаружения. Все телескопы изначально разработаны для целей проекта и могут представлять интерес для научного сообщества. Также приводится описание нового высокоточного оптического спектрографа для доплеровских исследований переходных и экзопланетных событий, обнаруженных в рамках проекта. Представлены первые результаты, полученные в течение первого года работы проекта: EXPLANATION: Exoplanet and Transient Event Investigation.



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 2022г. по теме ПЛАНЕТА.

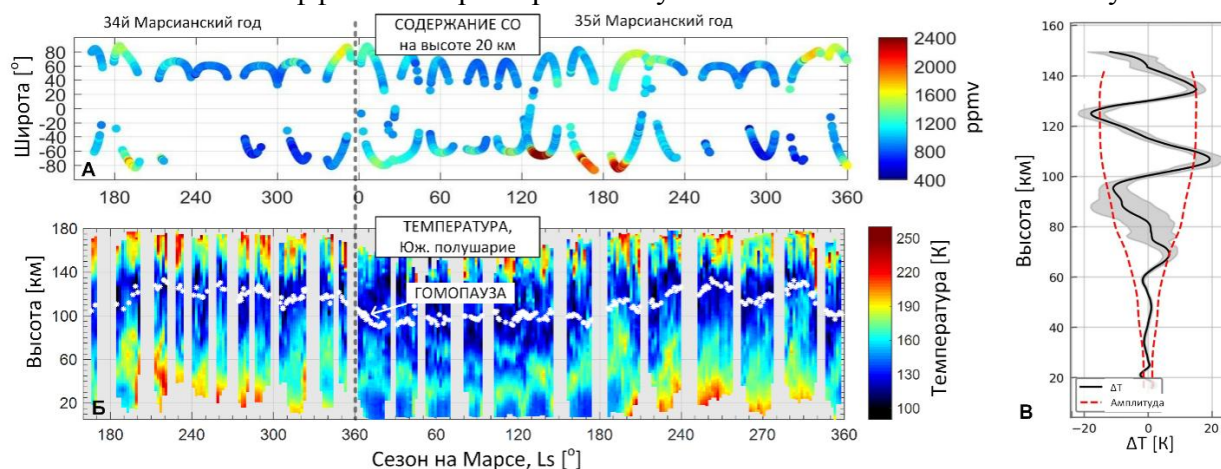
**Наиболее значимый результат института, выполняемый в рамках государственного задания в 2022г.:**

**Моноксид углерода и структура атмосферы Марса по данным ExoMars**

Федорова А.А., Беляев Д.А., Трохимовский А.Ю., Стариченко Е.Д., Игнатъев Н.И.,

Лугинин М.С., Патракеев А.С., Ломакин А.А., Шакун А.В., Кorableв О.И.

По данным измерений спектрометра ACS на борту ExoMars Trace Gas Orbiter впервые исследованы сезонные и широтные изменения в высотном распределении угарного газа (CO) в атмосфере Марса от 0 до 80 км. Угарный газ не конденсируется и его относительное содержание меняется по мере сезонной конденсации и сублимации основной составляющей атмосферы Марса (CO<sub>2</sub>). Впервые наблюдались следующие особенности: 1) обогащенный слой CO на 10-20 км в южных полярных областях в конце зимы, что говорит об активных процессах конденсации атмосферы в этих областях, 2) увеличение относительного содержания в 4–5 раз выше 50 км в равноденствии, свидетельство переноса воздуха обогащенного CO, 3) уменьшение содержания CO во время глобальной пылевой бури 2018 г, связанное с влиянием водяного пара на скорость потери CO и его преобразования в CO<sub>2</sub>. Исследовано вертикальное распределение плотности и температуры в рекордном диапазоне высот, от 10 до 180 км. Получены сезонные вариации высоты мезопаузы – температурного минимума в атмосфере и гомопаузы – слоя, выше которого турбулентное перемешивание атмосферы меняется на молекулярное, индивидуальное для каждого газа. Впервые вдоль всего столба атмосферы выявлены волновые эффекты с характерным затуханием волны в области гомопаузы.



**Рисунок. А** – сезонная карта содержания CO в частях на миллион (ppmv) на высоте 20 км. **Б**– вертикальное распределение температуры по сезонам и уровень гомопаузы. По горизонтальной оси аэроцентрическая долгота Солнца (Ls). **В** – колебания температуры вдоль столба атмосферы.

Fedorova A., Trokhimovskiy A., Lefèvre F., Olsen K.S., Korablev O. et al., 2022. Climatology of the CO Vertical Distribution on Mars Based on ACS TGO Measurements. *J. Geophys. Res.-Planets* 127, e07195. <https://doi.org/10.1029/2022JE007195>

Belyaev D.A., Fedorova A.A., Trokhimovskiy A., Alday J., Korablev O.I. et al., 2022. Thermal structure of the middle and upper atmosphere of Mars from ACS/TGO CO<sub>2</sub> spectroscopy. *J. Geophys. Res.-Planets* 127, e007286. <https://doi.org/10.1029/2022je007286>.

Starichenko E.D., Belyaev D.A., Medvedev A.S., Fedorova A.A., Korablev O.I. et al., 2021. Gravity wave activity in the Martian atmosphere at altitudes 20–160 km from ACS/TGO occultation measurements. *J. Geophys. Res.-Planets* 126, e006899.

<https://doi.org/10.1029/2021je006899>.

Olsen K. S., Lefèvre F., Montmessin F., Fedorova, A.A., Trokhimovskiy A. et al.,2021. The vertical structure of CO in the Martian atmosphere from the ExoMars Trace Gas Orbiter. *Nature Geosci.* 14, 67-71. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00678-w>

Результаты получены в рамках госзадания и при поддержке РФФ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Список публикаций:

Всего научных публикаций в 2022 г: **52**

Число опубликованных научных публикаций без РНФ в 2022 г: **38**

Статьи в зарубежных изданиях: **42**

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах: **9**

Глава в книге: **1**

Статьи в сборниках материалов конференций: **20**

Доклады, тезисы, циркуляры: **46**

Статьи в научно-популярных изданиях: **1**

Другие издания: **3**

Число публикаций работников в базе Scopus: **34**

Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными

учёными: **32**

В печати: **6**

### Статьи в зарубежных изданиях:

1. Alemanno G., M. D'Amore, A. Maturilli, J. Helbert, G. Arnold, O. Korablev, N. Ignatiev, A. Grigoriev, A. Shakun, A. Trokhimovskiy. Martian Atmospheric Spectral End-Members Retrieval From ExoMars Thermal Infrared (TIRVIM) Data. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 9 September 2022 Номер статьи e2022JE007429, DOI: 10.1029/2022JE007429, **IF 4.43, Q1**
2. Aoki S., A. C. Vandaele, F. Daerden, G. L. Villanueva, G. Liuzzi, R. T. Clancy, M. A. Lopez-Valverde, A. Brines, I. R. Thomas, L. Trompet, J. T. Erwin, L. Neary, S. Robert, A. Piccialli, J. A. Holmes, M. R. Patel, N. Yoshida, J. Whiteway, M. D. Smith, B. Ristic, G. Bellucci, J. J. Lopez-Moreno, A. A. Fedorova. Global Vertical Distribution of Water Vapor on Mars: Results From 3.5 Years of ExoMars-TGO/NOMAD Science Operations. *Journal of Geophysical Research: Planets*. Том 127, Выпуск 9, September 2022, Номер статьи e2022JE007231, <https://doi.org/10.1029/2022JE007231>, **IF 4.43, Q1**
3. Arumov G.P., Bukharin A.V., Makarov V.S. Three-dimensional reflecting objects in the problem of modeling a lidar signal from a scattering layer. *Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, Том 19, Выпуск 4, Страницы 328 – 334, 2022, DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-328-334, **IF 1.069, Q3**
4. Belyaev D. A., A. A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, J. Alday, O. I. Korablev, F. Montmessin, E. D. Starichenko, K. S. Olsen, and A. S. Patrakeevev. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars From ACS/TGO CO<sub>2</sub> Spectroscopy. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol 127, Issue 10, October 2022, <https://doi.org/10.1029/2022JE007286>, **IF 4.43, Q1, РНФ 20-42-09035**
5. Bertaux Jean-Loup, Anastasiia Ivanova. A numerical inversion of m sin i exoplanet distribution: the sub-Saturn desert is more depleted than observed and hint of a Uranus mass gap, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 512, Issue 4, June 2022, Pages 5552–5571, <https://doi.org/10.1093/mnras/stac777>, **IF 5.235, Q1**
6. Braude A. S. , F. Montmessin, K. S. Olsen, A. Trokhimovskiy, O. I. Korablev, F. Lefèvre, A. A. Fedorova, J. Alday, L. Baggio, A. Irbah, G. Lacombe, F. Forget, E. Millour, C. F. Wilson, A. Patrakeevev and A. Shakun. No detection of SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, or OCS in the atmosphere of Mars from the first two Martian years of observations from TGO/ACS. *Astronomy and Astrophysics*, Том 6581, February 2022, Номер статьи A86, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202142390>, **IF 6.240, Q1, РНФ 20-42-09035**
7. Brown Zarah L., Alexander S. Medvedev, Ekaterina D. Starichenko (IKI), Tommi T. Koskinen, Ingo C. F. Müller-Wodarg, Evidence for Gravity Waves in the

- Thermosphere of Saturn and Implications for Global Circulation, *Geophysical Research Letters*, Том 49, Выпуск 828, April 2022, Номер статьи e2021GL097219, DOI: 10.1029/2021GL097219, **IF 5.58, Q1**
8. Chumikov A.E., Cheptsov V.S., Managadze N.G. Microchannel plate detector gain degradation through storage under ambient conditions. *IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement*. В печати
  9. Dehant V, M Blanc, S Mackwell, K M Soderlund, P Beck, E Bunce, S Charnoz, B Foing, V Filice, L N Fletcher, F Forget, L Griton, H Hammel, D Höning, T Imamura, C Jackman, Y Kaspi, O Korablev, J Leconte, E Lellouch, B Marty, N Mangold, P Michel, A Morbidelli, O Mousis, O Prieto-Ballesteros, T Spohn, J Schmidt, V J Sterken, N Tosi, A C Vandaele, P Vernazza, A Vazan, F Westall. *Planetary Exploration Horizon 2061 Report*, Chapter 3: From science questions to Solar System exploration arXiv:2211.04474 (2022) <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.04474>
  10. Deichulia V.M., T.M. Petrova, A.M. Solodova, A.A. Solodova, A.A. Fedorova. Water vapor absorption line parameters in the 6760–7430 cm<sup>-1</sup> region for application to CO<sub>2</sub>-rich planetary atmosphere. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. Volume 293, December 2022, 108386, <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2022.108386>, **IF 2.342, Q2, PHΦ N22-22-00800**
  11. Fan Siteng, Sandrine Guerlet, François Forget, Antoine Bierjon, Ehouarn Millour, Nikolay Ignatiev, Alexey Shakun, Alexey Grigoriev, Alexander Trokhimovskiy, Franck Montmessin, Oleg Korablev. Thermal Tides in the Martian Atmosphere Near Northern Summer Solstice Observed by ACS/TIRVIM Onboard TGO. *Geophysical Research Letters*, Том 49, Выпуск 716 April 2022 Номер статьи e2021GL097130, <https://doi.org/10.1029/2021GL097130>, **IF 5.58, Q1**
  12. Fedorova Anna, Alexander Trokhimovskiy, Franck Lefèvre, Kevin S. Olsen, Oleg Korablev, Franck Montmessin, Nikolay Ignatiev, Alexander Lomakin, Francois Forget, Denis Belyaev, Juan Alday, Mikhail Luginin, Michael Smith, Andrey Patrakeev, Alexey Shakun, Alexey Grigoriev. Climatology of the CO Vertical Distribution on Mars Based on ACS TGO Measurements. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 9, September 2022, Номер статьи e2022JE007195, <https://doi.org/10.1029/2022JE007195>, **IF 4.43, Q1**
  13. Fedorova Anna, Franck Montmessin, Alexander Trokhimovskiy, Mikhail Luginin, Oleg Korablev, Juan Alday, Denis Belyaev, James Holmes, Franck Lefevre, Kevin Olsen, Andrey Patrakeev, Alexey Shakun. A two-Martian year survey of the water vapor saturation state on Mars based on ACS NIR/TGO occultations. *Journal of Geophysical Research: Planets*, <https://doi.org/10.1029/2022JE007348>, **IF 4.43, Q1**
  14. Gazizov, Iskander; Zenevich, Sergei ; Rodin, Alexander. Low-pixel-count imaging FMCW lidar. *Applied Optics*. Vol. 61, Issue 31, pp. 9241-9246(2022), <https://doi.org/10.1364/AO.472610>, **IF 1.905, Q2**
  15. Guerlet S., N. Ignatiev, F. Forget, T. Fouchet, P. Vlasov, G. Bergeron, R. M. B. Young, E. Millour, S. Fan, H. Tran, A. Shakun, A. Grigoriev, A. Trokhimovskiy, F. Montmessin, O. Korablev. Thermal Structure and Aerosols in Mars' Atmosphere From TIRVIM/ACS Onboard the ExoMars Trace Gas Orbiter: Validation of the Retrieval Algorithm. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 2, February 2022, Номер статьи e2021JE007062, <https://doi.org/10.1029/2021JE007062>, **IF 4.43, Q1**
  16. Holmes, J. A., Lewis, S. R., Patel, M. R., Alday, J., Aoki, S., Liuzzi, G., Villanueva G.L.; Crismani M.M.J.; Fedorova A.A.; Olsen K.S.; Kass D.M.; Vandaele A.C., Korablev O. (2022). Global variations in water vapor and saturation state throughout the Mars Year 34 dusty season. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127, e2022JE007203. <https://doi.org/10.1029/2022JE007203>, **IF 4.43, Q1**

17. Kerkhof Mark van de, Edgar Osorio, Vladimir Krivtsun, Maxim Spiridonov, Dmitry Astakhov, Viacheslav Medvedev. Miniature plasma source for in situ extreme ultraviolet lithographic scanner cleaning. *Journal of Vacuum Science & Technology, B* 40, 022601 (2022); <https://doi.org/10.1116/6.0001636>, **IF 1.572, Q2**
18. Knutsen Elise W., Franck Montmessin, Loïc Verdier, Gaétan Lacombe, Franck Lefèvre, Stéphane Ferron, Marco Giuranna, Paulina Wolkenberg, Anna Fedorova, Alexander Trokhimovskiy, Oleg Korablev. Water Vapor on Mars: A Refined Climatology and Constraints on the Near-Surface Concentration Enabled by Synergistic Retrievals. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 5, May 2022, Номер статьи e2022JE007252, <https://doi.org/10.1029/2022JE007252>, **IF 4.43, Q1, РФФ 20-42-09035**
19. Määttänen, F. Lefèvre, L. Verdier, F. Montmessin, C. Listowski, S. Guilbon, A. Fedorova, O. Korablev. Ozone vertical distribution in Mars Years 27–30 from SPICAM/MEX UV occultations. *Icarus*, Volume 387, 15 November 2022, 115162, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115162>, **IF 3.657, Q1**
20. Mantsevich Sergey N., Ekaterina I. Kostyleva. Determination of the paratellurite stiffness constants temperature coefficients by the acousto-optic method. *Materialia*, Том 21, March 2022, Номер статьи 101340, <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101340>, **IF 3.44, Q1, РФФ 19-12-00072**
21. Montmessin F., D. A. Belyaev, F. Lefèvre, J. Alday, M. Vals, A. A. Fedorova, O. I. Korablev, A. V. Trokhimovskiy, M. S. Chaffin, N. M. Schneider. Reappraising the Production and Transfer of Hydrogen Atoms From the Middle to the Upper Atmosphere of Mars at Times of Elevated Water Vapor. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 5, May 2022, Номер статьи e2022JE007217, <https://doi.org/10.1029/2022JE007217>, **IF 4.43, Q1, РФФ 20-42-09035**
22. Morozova T. I., M. A. Garasev, I. A. Kuznetsov. On the Possibility of Dust Grain Destruction by the Coloumb Explosion in Protoplanetary Disks. *Radiophysics and Quantum Electronics*, volume 65, pages 1–8 (2022, Metrics), DOI: 10.1007/s11141-022-10188-x, **IF 1.078, Q3**
23. Myasnikov A. V., S. M. Pershin, M. Ya. Grishin, V. A. Zavozin, V. S. Makarov, A. A. Ushakov. Estimation of the Influence of Meteorological Factors on the Aerosol Lidar Signal in Tunnels above the Elbrus Volcano Chamber. *Physics of Wave Phenomena*, Том 30, Выпуск 2, Страницы 119 - 127 June 2022, DOI: 10.3103/S1541308X22020054, **IF 1.108, Q3, РФФ 19-19-00712**
24. Olsen K. S., A. A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, F. Montmessin, F. Lefèvre, O. Korablev, L. Baggio, F. Forget, E. Millour, A. Bierjon, J. Alday, C. F. Wilson, P. G. J. Irwin, D. A. Belyaev, A. Patrakeev, and A. Shakun. Seasonal Changes in the Vertical Structure of Ozone in the Martian Lower Atmosphere and Its Relationship to Water Vapor. *The Journal of Geophysical Research Planets*, Vol 127, Issue 10, October 2022, DOI: 10.1029/2022JE007213, **IF 4.43, Q1**
25. Olsson-Francis Karen, Peter T. Doran, Vyacheslav Ilyin, Francois Raulin, Petra Rettberg, Gerhard Kminek, María Paz Zorzano Mier, Athena Coustenis, Niklas Hedman, Omar Al Shehhi, Eleonora Ammannito, James Bernardini, Masaki Fujimoto, Olivier Grasset, Frank Groen, Alex Hayes, Sarah Gallagher, Praveen Kumar, Christian Mustin, Akiko Nakamura, Elaine Seasley, Yohey Suzuki, Jing Peng, Olga Prieto Ballesteros, Silvio Sinibaldi, Kanyan Xu, Maxim Zaitsev. The COSPAR Planetary Protection Policy for robotic missions to Mars: a review of current scientific knowledge and future perspectives., *Life Sciences in Space Research*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2022.12.001>, **IF 2.082, Q2**
26. O'Rourke Joseph, Colin Wilson, Madison Borrelli, Paul K. Byrne, Caroline Dumoulin, Richard Ghail, Anna Gülcher, Seth Jacobson, Oleg Korablev, Tilman Spohn, Michael Way, Matt Weller, Frances Westall. Venus, the Planet: Introduction to the Evolution of

- Earth's Sister Planet. *ESS Open Archive* . November 21, 2022, DOI: [10.1002/essoar.10511847.2](https://doi.org/10.1002/essoar.10511847.2)
27. Pershin S. M., A. L. Sobisevich, V. A. Zavozin, M. Ya. Grishin, V. N. Lednev, V. S. Makarov, V. B. Petkov, Ya. Ya. Ponurovskii, A. N. Fedorov, D. G. Artemova. LIDAR Detection of Aerosols in the Tunnel above the Elbrus Volcano Chamber. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*, Том 49, Выпуск 2, Страницы 36 - 41 February 2022, DOI: 10.3103/S1068335622020063, **IF 0.422, Q3, РИФ 19-19-00712**
  28. Rosenfeld E. V., A. V. Zakharov, V. V. Djakin. Charge Fluctuations on a Flat Interface between Dielectric and Electrolyte or Dense Plasma. *Langmuir*, Том 38, Выпуск 30, Страницы 9382 – 93882, August 2022, , Ministry of Education and Science of the Russian Federation AAAA-A18-118020190098-5, DOI: 10.1021/acs.langmuir.2c01347, **IF 4.331, Q1**
  29. Rossi Loïc, Margaux Vals, Juan Alday, Franck Montmessin, Anna Fedorova, Alexander Trokhimovskiy, Oleg Korablev, Franck Lefèvre, Francisco Gonzalez-Galindo, Mikhail Luginin, Antoine Bierjon, François Forget, Ehouarn Millour. The HDO Cycle on Mars: Comparison of ACS Observations With GCM Simulations. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 8, August 2022, Номер статьи e2022JE007201, <https://doi.org/10.1029/2022JE007201>, **IF 4.43, Q1**
  30. Sharoshnikov D. S., A. S. Medvedev, and A. V. Rodina . Simulation of Water Vapor Photodissociation during Dust Storm Season on Mars. *Solar System Research*, Том 56, Выпуск 1, Страницы 23 - 31 January 2022, DOI: 10.1134/S0038094622010051, **IF 0.790, Q3, РИФ 20-72-00110**
  31. Sharoshnikov Dmitry S. , Alexander S. Medvedev, Alexander V. Rodin, Erdal Yiğit, and Paul Hartogh. Martian Dust Storms and Gravity Waves: Disentangling Water Transport to the Upper Atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 1, January 2022, Номер статьи e2021JE007102, <https://doi.org/10.1029/2021JE007102>, **IF 4.43, Q1, РИФ 20-72-00110**
  32. Sorokin E.M., Gerasimov M.V., Zaitsev M.A., Shcherbakov V.D., Ryazantsev K.M., Krashennnikov S.P., Yakovlev O.I., Slyuta E.N. (2023) Experimental data on the formation of nanophase iron in the lunar soil E.M. *Geochim. et Cosmochim. Acta. В печати*
  33. Stcherbinine Aurélien, Franck Montmessin, Mathieu Vincendon, Michael J. Wolff, Margaux Vals, Oleg Korablev, Anna Fedorova, Alexander Trokhimovskiy, Gaetan Lacombe, Lucio Baggio. A Two Martian Years Survey of Water Ice Clouds on Mars with ACS onboard TGO. First published: 18 December 2022, A Two Martian Years Survey of Water Ice Clouds on Mars with ACS onboard TGO. *Journal of Geophysical Research: Planets*, <https://doi.org/10.1029/2022JE007502>, **IF 4.43, Q1**
  34. Tishkovets V.P. and Petrova E.V. (2022) A Cross-Check of the Reflectance Models to Be Used in Interpretation of Observations of Regolith-Like Surfaces. *Front. Remote Sens.* 3:869527. DOI: 10.3389/frsen.2022.869527
  35. Vals Margaux, Loïc Rossi, Franck Montmessin, Franck Lefèvre, Francisco Gonzalez-Galindo, Anna Fedorova, Mikhail Luginin, François Forget, Ehouarn Millour, Oleg Korablev, Alexander Trokhimovskiy, Alexey Shakun, Antoine Bierjon, Luca Montabone. Improved Modeling of Mars' HDO Cycle Using a Mars' Global Climate Model. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 8, August 2022, Номер статьи e2022JE007192, <https://doi.org/10.1029/2022JE007192>, **IF 4.43, Q1**
  36. Valyavin G., G. Beskin, A. Valeev, G. Galazutdinov, S. Fabrika, I. Romanyuk, V. Aitov, O. Yakovlev, A. Ivanova, R. Baluev, V. Vlasyuk, I. Han, S. Karpov, V. Sasyuk, A. Perkov, S. Bondar, F. Musaev, E. Emelianov, T. Fatkhullin, S. Drabek, V. Shergin, B. Lee, G. Mitiani, T. Burlakova, M. Yushkin, E. Sendzikas, D. Gadelshin, L. Chmyreva, A. Beskakotov 1, V. Dyachenko 1, D. Rastegaev, A. Mitrofanova, I.

- Yakunin, K. Antonyuk, V. Plokhotnichenko 1, A. Gutaev, N. Lyapsina, V. Chernenkov, A. Biryukov, E. Ivanov, E. Katkova, A. Belinski, E. Sokov, A. Tavrov, O. Korablev, M. Park, V. Stolyarov, V. Bychkov, S. Gorda, A. Popov and A. Sobolev. Explanation: Exoplanet and Transient Event Investigation Project—Optical Facilities and Solutions. *Photonics* 2022, 9, 950.  
<https://doi.org/10.3390/photonics9120950> , **IF 2.536, Q2**
37. Vlasov P., N. Ignatiev, S. Guerlet, D. Grassi, O. Korablev, A. Grigoriev, A. Shakun, D. Patsaev, I. Maslov, L. Zasova, M. Luginin, A. Trokhimovskiy, E. Millour, F. Forget, R. Haus, G. Arnold, F. Montmessin, Martian Atmospheric Thermal Structure and Dust Distribution During the MY 34 Global Dust Storm From ACS TIRVIM Nadir Observations. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 9 September 2022 Номер статьи e2022JE007272, <https://doi.org/10.1029/2022JE007272>, **IF 4.43, Q1, РНФ 20-42-09035**
38. Vlasov, Pavel (2022), “Thermal structure of the Martian atmosphere and dust content from ACS TIRVIM nadir measurements during the GDS of MY34”, *Mendeley Data*, V1, doi: 10.17632/35y8775x5z.1
39. Vlasov, Pavel (2022), “Thermal structure of the Martian atmosphere and dust content from ACS TIRVIM nadir measurements during the GDS of MY 34”, *Mendeley Data*, V2, doi: 10.17632/35y8775x5z.2
40. Yakovlev Oleg Ya, V I Ananyeva, A E Ivanova, A V Tavrov. Comparison of the mass distributions of short-period exoplanets detected by transit and RV methods. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Том 509, Выпуск 1, Страницы L17 - L201 January 2022, DOI: 10.1093/mnras/lsab115, **IF 5.235, Q1**
41. Yakovlev Oleg Ya., Azamat F. Valeev, Gennady G. Valyavin, Alexander V. Tavrov, Vitaly N. Aitov, Guram Sh. Mitiani, Oleg I. Korablev, Gazinur A. Galazutdinov, Grigory M. Beskin, Eduard V. Emelianov, Timur A. Fatkhullin, Valery V. Vlasyuk, Vyacheslav V. Sasyuk, Alexei V. Perkov, Sergei Bondar, Tatyana E. Burlakova, Sergei N. Fabrika and Iosif I. Romanyuk. Exoplanet Two-Square Degree Survey With SAO RAS Robotic Facilities. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, Том 922 June 2022 Номер статьи 903429, <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.903429>, Ministry of Education and Science of the Russian Federation N13.1902.21.0039, **IF 4.055, Q1, РНФ 19-72-10023**
42. Young Roland M. B., Ehouarn Millour, Sandrine Guerlet, François Forget, Nikolay Ignatiev, Alexey V. Grigoriev, Alexey V. Shakun, Alexander Trokhimovskiy, Franck Montmessin, Oleg Korablev . Assimilation of Temperatures and Column Dust Opacities Measured by ExoMars TGO-ACS-TIRVIM During the MY34 Global Dust Storm. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Том 127, Выпуск 9 September 2022 Номер статьи e2022JE007312, DOI: 10.1029/2022JE007312, **IF 4.43, Q1**
43. Yudenkova M.A., Petrosyan A.S., Klimachkov D.A. Poincare waves and Rossby waves in compressible shallow water flows. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 2022. T. 134. № 3. С. 327-339, DOI: 10.1134/S1063776122020091, **IF 1.29, Q3**
44. Zenevich Sergei, Iskander Sh. Gazizov, Maxim V. Spiridonov, Alexander V Rodin . IVOLGA: a high-resolution heterodyne near-infrared spectroradiometer for Doppler studies of Venus atmospheric dynamics. Proceedings Volume 12138, *Optics, Photonics and Digital Technologies for Imaging Applications VII*; 1213811 (2022), Event: SPIE Photonics Europe, 2022, Strasbourg, France, <https://doi.org/10.1117/12.2632630>, **РНФ И 19-29-06104**
45. Zorzano Mier María Paz, Karen Olsson-Francis, Peter T. Doran, Petra Rettberg, Athena Coustenis, Vyacheslav Ilyin, Francois Raulin, Gerhard Kminek, Niklas Hedman, Omar Al Shehhi, Eleonora Ammannito, Masaki Fujimoto, Olivier Grasset, Frank Groen, Alex Hayes, Sarah Gallagher, Praveen Kumar, Christian Mustin, Akiko

Nakamura, Yohey Suzuki, Jing Peng, Olga Prieto Ballesteros, Silvio Sinibaldi, Kanyan Xu, Maxim Zaitsev. The COSPAR Planetary Protection Requirements for Space Missions to Venus. (2023) *Life Sciences in Space Research. B neyamu*

## Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:

1. Ананьева В. И., А. Е. Иванова, И. А. Шашкова, О. Я. Яковлев, А. В. Тавров, О. И. Кораблев, Ж.-Л. Берто, Распределения экзопланет по массе и орбитальному периоду с учетом наблюдательной селекции метода измерения лучевых скоростей. Доминирующая (усредненная) структура планетных систем, *Астрономический журнал*, 2022, том 99, № 10, с. 847–880. DOI: 10.31857/S0004629922100024, **IF 1.369**
2. Арумов Г. П., А. В. Бухарин, В. С. Макаров. Трёхмерные отражающие объекты в задаче моделирования лидарного сигнала от рассеивающего слоя. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. № 4. С. 328–334, DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-328-334, **IF 1.07**
3. Захаров А. В., Г. Г. Дольников, И. А. Кузнецов, А. Н. Ляш, F. Esposito, C. Molfese, I. ArruegoRodríguez, E. Seran, M. Gaudefroy, А. Е. Дубов, И. В. Докучаев, М. Г. Князев, А. В. Бондаренко, В. М. Готлиб, В. Н. Каредин, И. А. Шашкова, М. Е. Абделаал, А. А. Карташева, А. В. Шеховцова, С. А. Бедняков, В. В. Барке, А. В. Яковлев, В. А. Грушин, С. И. Попель, О. И. Кораблев, Д. С. Родионов, Н. С. Даксбери, О. Ф. Петров, Е. А. Лисин, М. М. Васильев, А. Ю. Поройков, Н. Д. Борисов, F. Cortecchia, B. Saggin, F. Cozzolino, D. Brienza, D. Scaccabarozzi, G. Mongelluzzo, G. Franzese, C. Porto, A. MartínOrtegaRico, N. AndrésSantiuste, J. R. deMingo, C. I. Popa, S. Silvestro, J. R. Brucato. Пылевой комплекс для исследований динамики пылевых частиц в приповерхностной атмосфере Марса. *Астрономический вестник*, 2022, том 56, № 6, с. 371–38. DOI: [10.31857/S0320930X22060068](https://doi.org/10.31857/S0320930X22060068), **IF 1.266**
4. Першин С.М., А.Л.Собисевич, В.А.Завозин, М.Я.Гришин, В.Н.Леднев, В.С.Макаров, В.Б.Петков, Я.Я.Понуровский, А.Н.Фёдоров, Д.Г. Артёмова. Лидарное детектирование аэрозолей в тоннеле над очагом вулкана Эльбрус. *Краткие сообщения по физике ФИАН*. Т. 49, № 2, С. 10-19, 2022, DOI Eng: 10.3103/S1068335622020063, **IF 0.438, РНФ 19-19-00712**
5. Першин С.М., В.С.Макаров, М.Я.Гришин, В.А.Завозин, А.Л.Коромыслов, В.Н.Леднев, П.А.Сдвиженский, И.Прохазка, И.М.Тупицын, Е.А.Чешев. Новый режим генерации диодного лазера: 200-пикосекундный фронт наносекундного импульса. *Квантовая электроника*, 52, № 11, 2022, РНФ №19-19-00712, **РНФ 19-19-00712**
6. Петрова Е. В. и В. В. Бусарев. О возможностях оценки свойств частиц в экзосфере активного астероида по деталям в УФ и видимом диапазонах спектров отражения. *Астрономический вестник*, принято к публикации 12.10.2022. *В печати*
7. Трохимовский А.Ю., О.И. Кораблев, Ю.С. Иванов, А.С. Патракеев, А.А. Федорова, И.А. Дзюбан, В.В. Дружин, М.А. Полуаршинов, Ю.В. Смирнов. Инфракрасный канал научной аппаратуры “Дриада” для измерения содержания парниковых газов из космоса. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, том 19, номер 6, 2022.
8. Харин С.А., Зайцев М.А., Гуридов А.А., Поддубко С.В., Петропавловский А.П., Черничкин Р.В., Головин Д.В., Сычев В.Н. (2023) Применение метода газовой стерилизации оксидом этилена для обеспечения планетарной защиты Марса. *Космическая биология и медицина*. *В печати*
9. Чепцов В.С., Белов А.А., Сотников И.В. Разнообразие бактерий, культивируемых из аридных почв и пород в условиях дефицита доступной воды. *Почвоведение*, №5, 2023. *В печати*
10. Шапошников Д.С., Медведев А.С., Родин А.В. Моделирование фотодиссоциации водяного пара в сезон пылевых бурь на Марсе//*Астрономический Вестник*. 2022, Т. 56, № 1 Стр. 27-35, DOI: [10.31857/S0320930X22010054](https://doi.org/10.31857/S0320930X22010054)
11. Юдаев А. В., И. А. Шашкова, А. В. Киселев, А. А. Комарова, А. В. Тавров // Коррекция волнового фронта для наблюдения экзопланеты на фоне дифракционной окрестности звезды. *Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики*, 2022 г, *В печати*
12. Юденкова М. А., Климачков Д. А., Петросян А. С. Волны Пуанкаре и волны Россби в сжимаемых течениях мелкой воды // *Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики*. – 2022. – Т. 161. – №. 3. – С. 388-402. DOI: [10.31857/S0044451022030099](https://doi.org/10.31857/S0044451022030099), **IF 1.125**



## Статьи в сборниках материалов конференций:

1. Franzese Gabriele, Nuria Andrés Santiuste, Carmen Porto, Giuseppe Mongelluzzo, Fabio Cozzolino, Francesca Esposito, Ignacio Arruego, Joaquín Rivas, José Ramon De Mingo, Alan Cosimo Ruggeri, Alberto Martín-Ortega, Fausto Cortecchia, Ciprian Ionut Popa, Simone Silvestro, Daniele Brienza, Iliia Kuznetsov, Alexander Zakharov, Gennady Dolnikov, Andrew Lyash, Igor Dokuchaev. Analysis and management algorithms of the noise level for the ExoMars MicroMED instrument. 2022 IEEE 9th International Workshop on Metrology for AeroSpace, MetroAeroSpace 2022 - Proceedings, Страницы 225 - 2302022 9th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace, MetroAeroSpace 2022Pisa27 June 2022до 29 June 2022Код 182210, DOI: 10.1109/MetroAeroSpace54187.2022.9856236
2. Kuznetsov I., I. Shashkova, A. Poroykov, A. Zakharov, S. Bednyakov, A. Bychkova, G. Dolnikov, A. Dubov, A. Kartasheva, A. Lyash, A. Shehovtsova. Experimental evidence of the dust particles detachment possibility in the E-field. Proceedings of the VAK-2021 conference, Aug 23–28, 2021, Astronomy at the epoch of multimessenger studies, 2022, DOI: 10.51194/VAK2021.2022.1.1.08
3. Meshcherinov V.V. I.I. Vinogradov, V.A. Kazakov, Yu.V. Lebedev, M.V. Spiridonov, G. Durry, M. Ghysels-Dubois. Multichannel diode laser spectrometer DLS-L for in-situ study of samples pyrolytically evolved from lunar regolith onboard «LUNA-27» mission. 1Moscow Inst. of Physics and Technology, Russia; 2Space Research Inst. RAS, Russia; 3Univ. of Reims Champagne Ardenne, France. Proceedings 2022 International Conference Laser Optics, ICLO, St. Petersburg 20 June 2022- 24 June 2022
4. Meshcherinov V.V. , M.V. Spiridonov, V.A. Kazakov, A.V. Rodin. Lidar-based infrared remote gas sensor for atmosphere anthropogenic pollution and natural emissions monitoring. 1Moscow Inst. of Physics and Technology, Russia; 2Space Research Inst. RAS, Russia. Proceedings 2022 International Conference Laser Optics, ICLO, St. Petersburg 20 June 2022- 24 June 2022.
5. Pershin S. M.; V. A. Zavozin; D. G. Artemova; M. Ya. Grishin; K. Kh. Kanonidi, V.N. Lednev, V. S. , Makarov, Ya. Ya. Ponurovskii. Improving magmatic aerosol detection by LIDAR above the Elbrus magma chamber. Proceedings 2022 International Conference Laser Optics, ICLO, St. Petersburg 20 June 2022- 24 June 2022. Код 181770, DOI: 10.1109/ICLO54117.2022.9839805, **РНФ 19-19-00712**
6. Vinogradov I. and Work team of the ISCRA-V experiment. Investigation of sulphurous components of rarefied atmosphere of Venus: ISCRA-V experiment at the Venera-D lander. Proceedings of the VAK-2021 conference, Aug 23–28, 2021, Astronomy at the epoch of multimessenger studies, 2022, DOI: 10.51194/VAK2021.2022.1.1.096
7. Абделаал М. Е., Захаров А.В., Докучаев И. В., Ляш А.Н., Кузнецов И. А., Дубов А.Е., Дольников Г.Г., Бедняков С.А. Анализ низкочастотных электромагнитных шумов для оценки пылевой динамики атмосфера Марса. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
8. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А. Перспективные решения основных проблем определения ориентации по снимкам звезд. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
9. Беляев Д.А., Федорова А.А., Кораблев О.И., Трохимовский А.Ю., Стариченко Е.С., Патракеев А.В. Вариации мезопаузы и гомопаузы атмосферы Марса по

- данным ACS/TGO за два марсианских года. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
10. Власов П.В., Игнатъев Н.И., Кораблёв О.И., Григорьев А.В., Шакун А.В., Пацаев Д.В., Маслов И.А., Засова Л.В., Лугинин М.С., Трохимовский А.Ю. Общий обзор почти полного марсианского года по данным наблюдений спектрометра ACS TIRVIM в надир на борту КА EхоMars TGO. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  11. Дейчули В. М., Петрова Т.М., Солодов А. А., Солодов А. М., Федорова А.А. Параметры линий поглощения молекулы воды, индуцированных давлением углекислого газа, в ИК спектральной области. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  12. Евдокимова Д. Г., Игнатъев Н.И., Власов П.В., Трохимовский А.Ю., Григорьев А.В., Шакун А.В., Кораблев О.И. Пределы обнаружения малых газовых составляющих атмосферы Марса по данным TIRVIM-ACS/EхоMars. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a **РНФ 20-42-09035**
  13. Котцов В.А. Новая технология логической обработки цифровой видеоинформации. Пленарный доклад на 77-й Всероссийской конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий», РНТОРЭС имени А.С. Попова. (REDS-2022) ISBN 978-5-905278-50-1 [http://rntores.ru/REDS/2022-REDS-77\\_Sbornik\\_dokladov\\_konferencii.pdf](http://rntores.ru/REDS/2022-REDS-77_Sbornik_dokladov_konferencii.pdf)
  14. Котцов В.А. Потокоевое решение видеоинформационных задач логическими операциями. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.42 (<http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=224&thesis=9139>), DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  15. Ломакин А. А., Федорова А.А., Кораблев О.И., Montmessin F. Сравнение моделей спектрального отражения Марсианского CO<sub>2</sub> льда в ближнем ИК диапазоне. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  16. Лугинин М.С., Игнатъев Н.И., Федорова А.А., Трохимовский А.Ю., Беляев Д.А., Григорьев А.В., Шакун А.В., Монмессан Ф., Кораблев О.И. Наблюдение CO<sub>2</sub> облаков на Марсе в полосе 2.7 мкм по данным солнечного просвечивания научного комплекса АЦС. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических

- исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
17. Стариченко Е.С., Беляев Д.А., Медведев А.С., Федорова А.А., Кораблев О.И., Трохимовский А.Ю., Montmessin F. Исследование активности гравитационных волн в атмосфере Марса по результатам эксперимента по солнечному просвечиванию аппарата ACS/TGO. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  18. Федорова А.А., Lefevre F., Трохимовский А.Ю., Кораблев О.И., Montmessin F., Патракеев А.В. Содержание кислорода и отношение O<sub>2</sub>/CO в атмосфере Марса. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  19. Федорова Е.С., Беляев Д.А., Федорова А.А. Исследование изотопного соотношения HDO/H<sub>2</sub>O в мезосфере Венеры по наблюдениям SOIR за 2006-2014 годы. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a
  20. Хоркин В.С., Федорова А.А., Доброленский Ю.С., Дзюбан И.А., Вязоветский Н.А., Сапгир А.Г., Титов А.Ю., Кораблев О.И. Прибор ODS миссии ЭкзоМарс: результаты наземных полевых верификационных измерений. Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2022. С.хх. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a

## Доклады, тезисы, циркуляры:

1. Abdelaal M E , A V Zakharov , G GDolnikov , I A Kuznetsov , A Shekhovtsova , A N Lyash, I A Shashkova, A Y Poroykov , A E Dubov , A Kartasheva "Dust particle dynamics and electromagnetic phenomena", тезисыдоклада, XIX конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», Москва,13-15 апреля 2022г.
2. Abdelaal, M. E., Zakharov, A. V., Kuznetsov, I, Lyash, A. et al Investigate the Dynamics of Dust Particles Under the Airless Bodies' Conditions to Study the Lunar Horizon Glow, abstract 53rd Lunar and Planetary Science Conference, March, 2022, Texas. LPI Contribution No. 2678, 2022, id.1260  
<https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2022/pdf/1260.pdf>
3. Alemanno Giulia; Mario D'Amore; Alessandro Maturilli; Jörn Helbert; Gabriele Arnold; Oleg Korablev; Nikolay Ignatiev; Alexey Grigoriev; Alexey Shakun; Alexander Trokhimovskiy. Particulate atmospheric endmembers retrieval from ExoMars Thermal Infrared (TIRVIM) spectral data. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-862, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-862>
4. Angel Lopez-Valverde Miguel, Bernd Funke, Adrian Brines, Aurélien Stolzenbach, Ashimananda Modak, Francisco Gonzalez-Galindo, Shohei Aoki, Loic Trompet, Ian Thomas, Gerónimo Villanueva, Giuliano Liuzzi, Denis Belyaev, Kevin Olsen, Alexander Trokhimovsky, Jose Juan Lopez-Moreno, Ann Carine Vandaele, Manish Patel, Giancarlo Bellucci, Oleg Korablev, and Franck Montmessin. Vertical distribution of atmospheric temperature and density from the solar occultation instruments NOMAD and ACS on board the Trace Gas Orbiter. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-779, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-779>
5. Barbashin D. D., V. S. Cheptsov, and A. A. Belov. Tolerance of arid ecosystems bacteria to sodium perchlorate: implications for mars' habitability. In The Thirteenth Moscow Solar System Symposium 13M-S3. 2022, p. 240–241.
6. Belov A.A., V.S. Cheptsov . Biodiversity of drought-tolerant bacteria: Astrobiological concern. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
7. Belyaev D.A., A.A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, J. Alday, O.I. Korablev, F. Montmessin, A.S. Patrakeev. Thermal structure of the middle and upper atmosphere of Mars as seen by ACS MIR spectroscopy. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
8. Belyaev D.A., O.I. Korablev, F. Montmessin, A.V. Rodin, A. Trokhimovskiy, A.A. Fedorova, A.S. Patrakeev. Venus Infrared Atmospheric Gases Linker (VIRAL): scientific concept for solar occultation experiment on board Venus Orbiter Mission. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, Abstract book, 13MS3-VN-16, p. 334.2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
9. Belyaev, D.G. Evdokimova, N.I. Ignatiev, N.A. Vyazovetskiy, I.A. Dzuban, M.V. Spiridonov, I.I. Vinogradov. Descent in the atmosphere of Venus with the Ultraviolet Spectrometer (DAVUS): scientific concept for a landing mission. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
10. Braude Ashwin, Franck Montmessin, Kevin Olsen, Margaux Vals, Juan Alday, Loïc Rossi, Alexander Trokhimovskiy, Anna Fedorova, Frédéric Schmidt, Oleg Korablev, Franck Lefèvre, Lucio Baggio, Abdanour Irbah, Gaetan Lacombe1, Andrey Patrakeev, and Alexey Shakun. Measurements of HDO and the D/H ratio in the Martian atmosphere from ACS MIR. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-696, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-696>

11. Braude Ashwin; Franck Montmessin; Kevin Olsen; Alexander Trokhimovskiy; Oleg Korablev; Franck Lefèvre; Anna Fedorova; Juan Alday; Lucio Baggio; Abdanour Irbah, Lacombe, G., Forget, F., Millour, E., Wilson, C., Patrakeev, A., and Shakun, A. Upper limits on volcanic gases in the Martian atmosphere from the ACS MIR instrument. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-642, DOI: [10.5194/epsc2022-642](https://doi.org/10.5194/epsc2022-642)
12. Cheptsov V. S., A. K. Pavlov, D. V. Belousov, and V. N. Lomasov. Peptides preservation under high-dose irradiation with accelerated electrons. In The Thirteenth Moscow Solar System Symposium 13M-S3. 2022, p. 234–235.
13. Cheptsov V.S., A.E. Chumikov, N.G. Managadze . Applicability of LASMA-LR mass-spectrometer for the water ice detection within lunar regolith. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
14. Evdokimova D., N. Ignatiev, P. Vlasov, A. Trokhimovskiy, A. Grigoriev, A. Shakun, O. Korablev. Upper limits of Mars atmospheric trace gases from the thermal spectra by ACS-TIRVIM/ExoMars. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. 13MS3-MS-PS-05, P. 61–62. DOI: 10.21046/13MS3-2022, **PHΦ 20-42-09035**
15. Fedorova A.A., F. Montmessin, A. Trokhimovskiy, M. Luginin, O. Korablev, J. Alday, D. Belyaev, J. Holmes, F. Lefevre, K. Olsen, A. Patrakeev, A. Shakun. A two-Martian year survey of the water vapor saturation state on Mars based on ACS NIR/TGO occultations. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
16. Gerasimov M.V. and JSDTeam (2022) Scientific Goals of the Venera-D Lander. In: The Thirteenth Moscow Solar System Symposium (13M-S3). IKI RAS, Moscow, 10-14 October, 2022, Abs. # 13MS3-VN-14 ORAL.
17. Guerlet Sandrine, Siteng Fan, François Forget, Ehouarn Millour, Nikolay Ignatiev, Pavel Vlasov, Alex Shakun, Alexander Trokhimovskiy, Oleg Korablev, Alexey Grigoriev, and Franck Montmessin. Migrating Thermal Tides in the Martian Atmosphere from TIRVIM-ACS onboard TGO. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-113, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-113>
18. Irbah Abdanour; Jean-Loup Bertaux; Franck Montmessin; Léa Scheveiler; Gaetan Lacombe; Alexander Trokhimovskiy; Oleg Korablev; Anna Fedorova; Andrey Patrakeev; Alexei Shakun. The 0.7-1.7 nm spectral range of the solar spectrum obtained from Mars thanks to TGO-ACS observations. Preprint, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-4103, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-4103>
19. Kuznetsov I., I. Shashkova, A. Poroykov, A. Zakharov, A. Lyash, S. Bednyakov, G. Dolnikov, A. Dubov, A. Kartasheva, A. Shehovtsova, M. Essam, E. Kronrod. "Experimental investigation of the dust particles lofting processes", 13MS3-SB-15, in abstract book of The thirteenth Moscow Solar System Symposium 2022, p.271, IKI RAN 2022.
20. Kuznetsov I.A., A.V. Zakharov, G.G. Dolnikov, A.N. Lyash, S.A. Bednyakov, A.E. Dubov, A.A. Kartasheva, I.A. Shashkova. Investigation of the lunar dusty plasma and electric field dynamics with lunar dust monitoring instrument. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
21. Kuznetsov I.A., A.V. Zakharov, G.G. Dolnikov, A.N. Lyash, S.A. Bednyakov, A.E. Dubov, M. Essam, A.A. Kartasheva, A.Yu. Poroikov, I.A. Shashkova, A.V. Shekhovtsova, S.I. Popel. Lunar dusty plasma investigation instruments onboard “Luna-25” and “Luna-27” spacecrafts. In abstract book of The 9th international conference on the physics of dusty plasmas, p.73, Moscow, May, 2022.

22. Luginin M., N. Ignatiev, A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, D. Belyaev, A. Grigoriev, A. Shakun, F. Montmessin, O. Korablev. Observations of 2.7 micrometer CO<sub>2</sub> ice band on Mars from ACS solar occultations onboard TGO/ExoMars. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
23. Manukin A.B, Kalinnikov I.I., Sayakina N.F., Tonshev A.K., Chernogorova N.A. The SEISMO-LR is a three-coordinate seismometer for measurements on the Moon. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
24. Montmessin Franck; Denis Belyaev; Franck Lefevre; Juan Alday; Anna Fedorova; Oleg Korablev; Alexander Trokhimovskiy; Mike Chaffin; Nick Schneider. Reappraising the Production and Transfer of Hydrogen to the Upper Atmosphere at Times of Elevated Water Vapor. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-436, DOI: [10.5194/epsc2022-436](https://doi.org/10.5194/epsc2022-436)
25. Montmessin Franck; Oleg Korablev; Alexander Trokhimovskiy; Kevin Olsen; Franck Lefèvre; Lucio Baggio; Ashwin Braude; Anna Fedorova; Elise Knutsen; Abdanour Irbah, Gaétan Lacombe, Andrey Patrakev, Alexey Shakun. A Four-Year Search of Methane on Mars with ACS onboard ExoMars TGO. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022,, EPSC2022-409, DOI: [10.5194/epsc2022-409](https://doi.org/10.5194/epsc2022-409)
26. Petrova E.V., V.V. Busarev. Properties of particles in the exospheres of active asteroids: estimates based on the spectral features in the UV-Visible range. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
27. Popel S. I., L. M. Zelenyi, and A. V. Zakharov. Dust and Dusty Plasmas at the Moon: Current Research and New Vistas, 44th COSPAR Scientific Assembly (Athens, Greece, 2022), July 16-24, 2022, C3.2-0032-22.
28. Popel S. I., L. M. Zelenyi, and A. V. Zakharov. Dusty Plasmas at the Moon: Current Research and New Vistas, 18th International Workshop “Complex Systems of Charged Particles and their Interactions with Electromagnetic Radiation” (Moscow, Russia, 2022), Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, 2022.
29. Starichenko E.D., D.A. Belyaev, A.S. Medvedev, A.A. Fedorova, O.I. Korablev, F. Montmessin, A. Trokhimovskiy. Gravity wave statistics in the Martian atmosphere from the ACS/TGO solar occultation experiment. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
30. Stcherbinine Aurélien; Franck Montmessin; Mathieu Vincendon; Michael Wolff; Oleg Korablev; Anna Fedorova; Alexander Trokhimovskiy; Gaetan Lacombe; Lucio Baggio; Abdenour Irbah, Ashwin Braude. Monitoring of Martian water ice clouds over one Martian Year with TGO/ACS-MIR. Preprint, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-1114, DOI: [10.5194/egusphere-egu22-1114](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1114)
31. Stolzenbach Aurélien, Miguel-Angel López Valverde, Adrian Brines, Ashimananda Modak, Bernd Funke, Francisco González-Galindo, Ian Thomas, Giuliano Liuzzi, Geronimo Villanueva, Mikhail Luginin, and Shohei Aoki. Composition and size of Martian aerosols as seen in the IR from solar occultation measurements by NOMAD onboard TGO. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-922, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-922>
32. Vals Margaux, Franck Montmessin, Loïc Rossi, Ashwin Braude, Franck Lefèvre, Francisco Gonzalez-Galindo, Jean-Yves Chaufray, Anna Fedorova, Juan Alday, François Forget, Ehouarn Millour, Oleg Korablev, Alexander Trokhimovskiy, and Alexey Shakun. Modeling the Martian HDO cycle with a Global Climate Model during the “dusty” season. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-451, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-451>

33. Vedenev D. A., Z. S. Ejelev, V. S. Cheptsov, and A. A. Belov. Influence of perchlorates on water crystallization temperature and bacterial survivability in mechanical simulants of mars regolith. In The Thirteenth Moscow Solar System Symposium 13M-S3. 2022, p. 238–239.
34. Vinogradov I.I., V.V. Barke, D.A. Belyaev, D.G. Evdokimova, V.A. Kazakov, Yu.V. Lebedev, V.V. Meshcherinov, O.Z. Roste, M.V. Spiridonov, A.A. Venkstern, P.A. Volkov. Study of sulphurous and other components of the Venus atmosphere by laser absorption spectroscopy at the Venera-D mission. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
35. Vlasov P., N. Ignatiev, S. Guerlet, D. Grassi, O. Korablev, A. Grigoriev, A. Shakun, D. Patsaev, I. Maslov, L. Zasova, M. Luginin, A. Trokhimovskiy, E. Millour, F. Forget, R. Haus, G. Arnold, F. Montmessin. Overview of Martian Year 34 atmospheric thermal structure and dust distribution from ACS TIRVIM nadir observations onboard ExoMars TGO. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. [https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3\\_BOOK\\_18-10-221.pdf](https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3_BOOK_18-10-221.pdf), P. 25–26. DOI: 10.21046/13MS3-2022
36. Wilson Colin, Dmitri Titov, Patrick Martin, Alejandro Cardesin Moinelo, David Frew, John Carter, Marco Giuranna, Mats Holmstrom, Franck Montmessin, Roberto Orosei, Martin Paetzold, Thomas Roatsch, Agustin Sanchez-Lavega, Oleg Korablev, Igor Mitrofanov, Nicolas Thomas, and Ann Carine Vandaele. Mars Express and Trace Gas Orbiter – status, science highlights, plans. Europlanet Science Congress 2022, Granada, Spain, 18–23 Sep 2022, EPSC2022-1136, <https://doi.org/10.5194/epsc2022-1136>
37. Yakovlev O.Ya., A.F. Valeev, A.V. Tavrov. Transiting exoplanet detection project at SAO RAS. The Thirteenth Moscow International Solar System Symposium (13M-S3), October 10-14, 2022. DOI: 10.21046/13MS3-2022
38. Zakharov A. V., S. I. Popel, and L. M. Zelenyi. Dusty Plasmas in the Vicinity of the Moon: Current Research and New Vistas, 9 ICPDP. 9th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas. Space Research Institute (IKI). Moscow. Russia. May 23-27, 2022, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow (2022), p. 127
39. Zakharov A. V., G.G. Dolnikov, A. Kuznetsov, A.N. Lyash, M. Essam, A.A. Kartasheva, A.Yu. Poroikov, A.V. Shekhovtsova, S.I. Popel Investigation of lunar dusty exosphere with future Russian lunar missions: Development of the Instrument & Simulation Control publication: 44th COSPAR Scientific Assembly. Held 16-24 July, 2022. Online at <https://www.cosparathens2022.org/>. Abstract B3.1-0021-22.
40. Ананьева В.И., И.А. Шашкова, А.В. Тавров, Анализ каталогов экзопланет: распределение экзопланет по массам и орбитальным периодам с учетом наблюдательной селекции, доклад на Всероссийской астрономической конференции «Исследования звезд с экзопланетами-2022», г. Суздаль, 23-27 ноября 2022 г.
41. Барбашин Д.Д., В.С. Чепцов, А.А. Белов. Устойчивость бактерий из аридных экосистем к воздействию перхлората натрия. В сборнике: «Шестая конференция молодых ученых «Почвоведение: Горизонты будущего. 2022». Сборник тезисов докладов». 2022, с. 22-23.
42. Белов А.А., В.С. Чепцов. Биоразнообразие почвенных культивируемых бактерий, устойчивых к дефициту доступной влаги. В сборнике: «Шестая конференция молодых ученых «Почвоведение: Горизонты будущего. 2022». Сборник тезисов докладов». 2022, с. 32-33.
43. Бондаренко М. А., Бондаренко А. В., Князев М. Г., Котцов В. А., Ядчук К. А. Универсальный микроскоп-спектрометр на основе цифровой камеры RT1280 LYNX расширенного спектрального диапазона. 26-й Международная научно-

- техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения – АО «НПО «Орион», г. Москва 2022(<http://conference.orion-ir.ru>)
44. Василенков Н.А., Грабчиков С.С., Котцов В.А., Шведов С.В. Разработка новых материалов и технологий для защиты электронных компонентов, радиоэлектронного и информационного оборудования от электромагнитного и радиационного воздействий. Пленарный доклад. II международная научно-техническая конференция «Опто-, микро- и свч-электроника – 2022» 21–23 сентября 2022 г., г. Минск, Беларусь.
  45. Веденев Д.А., З.С. Ежелев, В.С. Чепцов, А.А. Белов. Влияние перхлоратов на температуру кристаллизации воды и выживаемость бактерий в механических аналогах реголита Марса. В сборнике: «Шестая конференция молодых ученых «Почвоведение: Горизонты будущего. 2022». Сборник тезисов докладов». 2022, с. 63-64.
  46. Волков П.А., Виноградов И.И., Спиридонов М.В. Моделирование многопроходной оптической кюветы ИК спектрометра высокого разрешения ИСКРА-В для посадочного аппарата миссии Венера-Д. XIX конференции молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» 13-15 апреля 2022:<https://kmu.cosmos.ru/docs/2022/Program-KMU-2022-0412.pdf>

## Препринты:

1. Belyaev D. A., A. A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, J. Alday, O. I. Korablev, F. Montmessin, E. D. Starichenko, K. S. Olsen, and A. S. Patrakeev. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars From ACS/TGO CO<sub>2</sub> Spectroscopy. 2022-03-12 | Preprint, DOI: [10.1002/essoar.10510820.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10510820.1)
2. Belyaev D. A., A. A. Fedorova, A. Trokhimovskiy, J. Alday, O. I. Korablev, F. Montmessin, E. D. Starichenko, K. S. Olsen, and A. S. Patrakeev. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars From ACS/TGO CO<sub>2</sub> Spectroscopy. JGR, Planets, Preprint, 2022-08-22, DOI: <https://doi.org/10.1002/essoar.10510820.2>
3. Fedorova Anna A.; Franck Montmessin; Alexander Trokhimovskiy; Mikhail Luginin; Oleg I Korablev; Juan Alday; Denis A. Belyaev; James Andrew Holmes; Franck Lefèvre; Kevin Sutherland Olsen, Andrey Patrakeev, Alexey Shakun. A two-Martian year survey of the water vapor saturation state on Mars based on ACS NIR/TGO occultations. Preprint JGR, Wed, 4 May 2022, DOI: <https://doi.org/10.1002/essoar.10511229.1>
4. Fedorova Anna, Alexander Trokhimovskiy, Franck Lefèvre, Kevin S. Olsen, Oleg Korablev, Franck Montmessin, Nikolay Ignatiev, Alexander Lomakin, Francois Forget, Denis Belyaev, Juan Alday, Mikhail Luginin, Michael Smith, Andrey Patrakeev, Alexey Shakun, Alexey Grigoriev. Climatology of the CO Vertical Distribution on Mars Based on ACS TGO Measurements. 2022-02-02 | Preprint, DOI: [10.1002/essoar.10510332.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10510332.1)
5. Lomakin Alexander A.; Anna A. Fedorova; Jodi R. Berdis; Oleg I Korablev; Jean-Loup Bertaux; Franck Lefèvre; Gaetan Lacombe; Franck Montmessin. Nine Martian Years of polar caps observations by SPICAM-IR. JGR, Planets, 2022-11-07 | Preprint, DOI: [10.1002/essoar.10512788.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10512788.1)
6. Montmessin Franck; Denis Belyaev; Franck Lefevre; Juan Alday; Anna Fedorova; Oleg Korablev; Alexander Trokhimovskiy; Mike Chaffin; Nick Schneider. Reappraising the Production and Transfer of Hydrogen to the Upper Atmosphere at Times of Elevated Water Vapor. 2022-02-02 | Preprint, DOI: [10.1002/essoar.10510333.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10510333.1)
7. Olsen K. S , A. A. Fedorova , A. Trokhimovskiy , F. Montmessin , F. Lefèvre , O. Korablev , L. Baggio , F. Forget , E. Millour , A. Bierjon , J. Alday , C. F. Wilson , P. G. J. Irwin , D. A. Belyaev , A. Patrakeev , and A. Shakun. Seasonal Changes in the Vertical Structure of Ozone in the Martian Lower Atmosphere and Its Relationship to Water Vapor. 2022-03-22 | Preprint , DOI: [10.1002/essoar.10510518.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10510518.1)
8. O'Rourke Joseph; Colin Wilson; Madison Borrelli; Paul K. Byrne; Caroline Dumoulin; Richard Ghail; Anna Gülcher; Seth Jacobson; Oleg Korablev; Tilman Spohn, Michael Way, Matt Weller, Frances Westall. Venus, the Planet: Introduction to the Evolution of Earth's Sister Planet. 2022-07-20 Preprint under consideration at Space Science Reviews, DOI: [10.1002/essoar.10511847.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10511847.1)
9. Vals Margaux, Loïc Rossi, Franck Montmessin, Franck Lefèvre, Francisco Gonzalez-Galindo, Anna Fedorova, Mikhail Luginin, François Forget, Ehouarn Millour, Oleg Korablev, Alexander Trokhimovskiy, Alexey Shakun, Antoine Bierjon, Luca Montabone. Improved Modeling of Mars' HDO Cycle Using a Mars' Global Climate Model. 2022-02-12 | Preprint, DOI: [10.1002/essoar.10510380.1](https://doi.org/10.1002/essoar.10510380.1)
10. Young Roland M. B., Ehouarn Millour, Sandrine Guerlet, François Forget, Nikolay Ignatiev, Alexey V. Grigoriev (IKI!), Alexey V. Shakun, Alexander Trokhimovskiy, Franck Montmessin, Oleg Korablev. Assimilation of Temperatures and Column Dust Opacities Measured by ExoMars TGO-ACS-TIRVIM During the MY34 Global Dust Storm. Preprint under JGR, Thu, 19 May 2022, DOI: <https://doi.org/10.1002/essoar.10511381.1>

**Другие издания:**

1. Л.Зеленый, А.Захаров. Загадки лунной пыли. Русский Космос, 2022, №2, стр. 42-49.
2. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А. Способ определения ориентации по изображениям участков звездного неба. Заявка на изобретение. 2022 г
3. Dehant V, M Blanc, S Mackwell, K M Soderlund, P Beck, E Bunce, S Charnoz, B Foing, V Filice, L N Fletcher, F Forget, L Griton, H Hammel, D Höning, T Imamura, C Jackman, Y Kaspi, O Korablev, J Leconte, E Lellouch, B Marty, N Mangold, P Michel, A Morbidelli, O Mousis, O Prieto-Ballesteros, T Spohn, J Schmidt, V J Sterken, N Tosi, A C Vandaele, P Vernazza, A Vazan, F Westall. Planetary Exploration Horizon 2061. A Long-Term Perspective for Planetary Exploration. Chapter 3: From science questions to Solar System exploration. Elsevier 2022, ISBN: 978-0-323-90226-76  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90226-7.00006-4>