

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

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

УДК 523.2 523.4 523.6

Номер государственной регистрации 01200602993

УТВЕРЖДАЮ

Директор

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



А.А. Петрукович

«21» декабря 2020 г.

М.П.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
Исследование атмосфер и поверхностей планет

Тема ПЛАНЕТА

0028-2019-0016





Научный руководитель  
чл.-корр. РАН

«28» декабря 2020 г. О.И. Корablёв

Москва

2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы		14.12.2020	Кораблёв О.И. зав. отд., д.ф.-м.н.
Наименования разделов:	Ответственные исполнители разделов темы:		
Раздел 1: Марс		14.12.2020	Кораблёв О.И. зав. отд., д.ф.-м.н.
Раздел 2: Венера		14.12.2020	Беляев Д. А. с.н.с., к.ф.-м.н.
Раздел 3: Ранняя эволюция планетных тел		14.12.2020	Герасимов М.В. зав. лаб., к.ф.-м.н.
Раздел 4: Малые тела Солнечной системы		14.12.2020	Захаров А.В. г.н.с., д.ф.-м.н.
Раздел 5: Внесолнечные планетные системы		14.12.2020	Тавров А.В. зав. лаб., д.т.н.
Раздел 6: Теоретические исследования		14.12.2020	Петросян А.С. зав. сект., д.ф.-м.н.

## РЕФЕРАТ

Отчет 30 стр., 7 рис., 91 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

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Раздел 1 Марс .....	7
2 Раздел 2 Венера .....	9
3 Раздел 3 Ранняя эволюция планетных тел.....	10
4 Раздел 4 Малые тела Солнечной системы.....	12
5 Раздел 5 Внесолнечные планетные системы .....	14
6 Раздел 6 Теоретические исследования.....	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	20

## ВВЕДЕНИЕ

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

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 16, 129)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 137, 138)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 21)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 16)

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

п/п	Направление фундаментальных исследований	Номер направления в «Программе»
1	Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач	16
2	Современные проблемы физики плазмы, включая физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы её применения в технологических процессах	14
3	Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.	129
4	Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии.	138

5	Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества	137
6	Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.	21

Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел проводятся по теме 0028-2019-0016 ПЛАНЕТА  
Тема 0028-2019-0016 ПЛАНЕТА является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2020г. по теме ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет

Тема ПЛАНЕТА. Исследование атмосфер и поверхностей планет

Гос.рег. № 01200602993

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

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

Раздел 1. МАРС

1.1 Многолетний мониторинг вертикального распределения водяного пара на Марсе по данным СПИКАМ на КА Марс-Экспресс

Распределение водяного пара с высотой долгое время оставалось недостающей частью наблюдений за водяным циклом на Марсе. В этой работе мы представляем первые многолетние измерения профилей водяного пара в диапазоне высот от 0 до 100 км, полученных методом солнечных затмений в эксперименте СПИКАМ ИК на КА Марс-Экспресс. В сезон афелия вода не поднимается выше 40–60 км в течение всех наблюдаемых марсианских лет. Наибольшая высота, на которой можно обнаружить водяной пар, составляет от 70 до 90 км южным летом ( $L_s = 240\text{--}300^\circ$ ; сезон перигелия). В этом сезоне годы без глобальной пыльной бури показывают значительное увлажнение верхних слоев атмосферы ( $\sim 100$  ppmv) в южном полушарии, подтверждая сезонное влияние на скорость диссипации водорода. Два наблюдаемых глобальных пылевых шторма, в марсианские годы 28 и 34, показывают расхождения в транспорте водяного пара. Буря в 28й год, которая совпадает с южным летним солнцестоянием, приводит к самому сильному увеличению воды в обоих полушариях на высотах до 80 км. Полученная климатология водяного пара обеспечит надежную статистическую основу для исследования долгосрочных процессов диссипации воды с Марса.

(Частично 075-15-2020-780 грант правительства Российской Федерации)

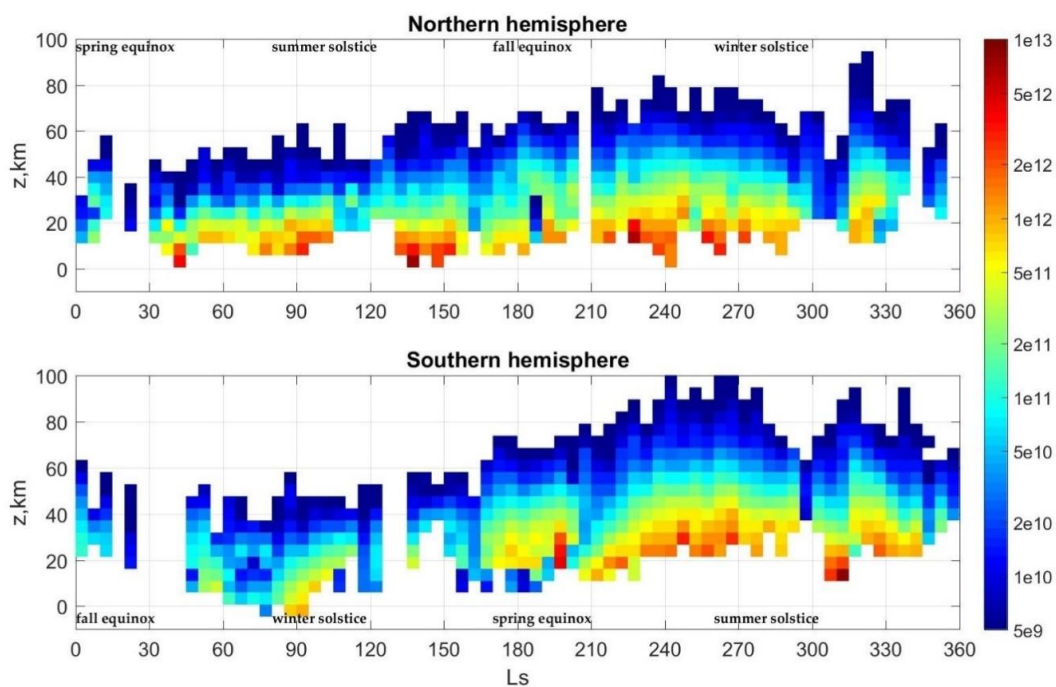


Рисунок 1. — Численная плотность  $H_2O$  (в  $cm^{-3}$ ) с высотой как функция  $L_s$  для северного и южного полушария. Высоты и  $L_s$  усреднены в диапазоне  $5\text{ km} \times 5^\circ$ . Две глобальные пылевые бури M $\Upsilon$ 28 и 34 исключены из рассмотрения в этом усреднении.

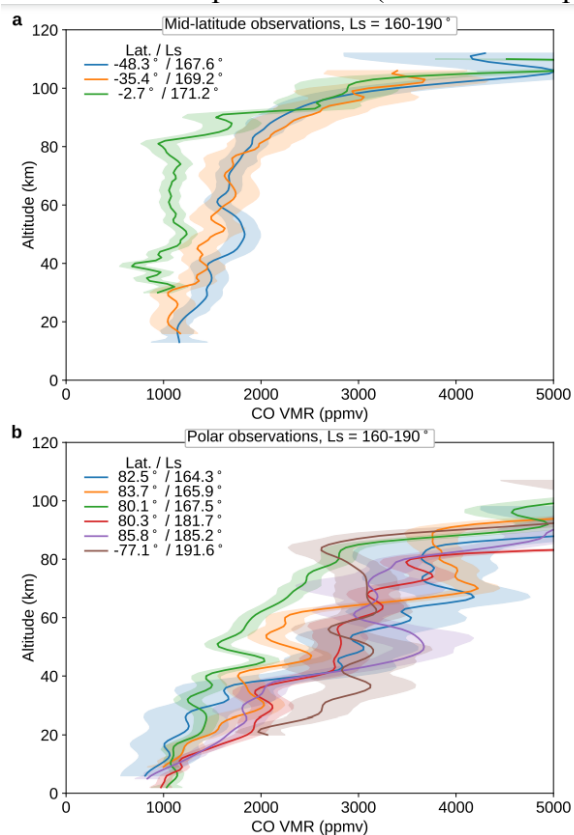
## 1.2. Картирование льдов на поверхности Марса по данным аппарата СПИКАМ-ИК

В 2020 году была продолжена работа по картированию CO<sub>2</sub> льда на поверхности Марса по данным аппарата СПИКАМ-ИК. СПИКАМ-ИК, находящийся на орбите Марса с 2004 года, обладает большим спектральным разрешением, позволяющим идентифицировать узкие полосы CO<sub>2</sub> льда в спектрах поверхности планеты. Долгое время нахождения на орбите дает возможность проводить межгодовой анализ, который позволяет расширить понимание климатических процессов Марса.

С помощью уже существующих алгоритмов был создан атмосферно скорректированный массив данных за 31 и 32 Марсианские годы и построены карты распределения CO<sub>2</sub> льда для этих лет.

## 1.3. Измерение вертикальных профилей CO в атмосфере Марса по первым наблюдениям ACS/TGO

Монооксид углерода CO один из основных компонентов марсианской атмосферы, содержание которого меняется в пространстве и в зависимости от сезона. До настоящей работы вертикальное распределение CO никогда не было измерено. В данной работе представлены первые результаты структуры CO в марсианской атмосфере, полученных инфракрасным каналом АЦС МИР на борту орбитального аппарата ExoMars Trace Gas Orbiter. Эти наблюдения дают первое прямое подтверждение окисления CO радикалами OH, высвобождаемыми водой. Профили CO были измерены для сезона между Ls 164 и 220 в широком диапазоне широт. Для средних широт содержание составляет порядка  $1260 \pm 30$  ppmv, что значительно выше прогнозируемых значений. Мы наблюдали существенное увеличение CO по направлению к полярным регионам, в то время как профили на средних широтах очень постоянны до высот 90–100 км, что предполагает сильное вертикальное перемешивание. Наблюдения также охватывают глобальную пыльную бурю 2018 г. во время которой было обнаружено заметное уменьшение объемного содержания CO (до  $1070 \pm 17$  ppmv).





#### 1.4 Первые наблюдения озона в ИК-диапазоне на Марсе

В работе представлены первые наблюдения полос поглощения озона ( $O_3$ ) в атмосфере Марса в среднем инфракрасном диапазоне по данным канала АЦС МИР (ACS MIR – middle infrared). Наблюдения проводились на высоких северных широтах ( $> 65^\circ$ ) до начала глобальной пыльной бури 2018 г. ( $L_s = 163\text{--}193^\circ$ ). В этом сезоне наблюдаемое содержание озона составляет 100–200 ppbv на высотах порядка 20 км. Эти концентрации согласуются с прошлыми наблюдениями, сделанными на краю южных полярных областей в ультрафиолетовом диапазоне другими приборами. Наблюдаемые линии озона в области 3000–3060 см<sup>-1</sup> непосредственно перекрываются с полосой поглощения метана ( $CH_4$ ). В работе также рассматривается возможное влияние озона на поиски метана по спектрам данных длин волн.

### Раздел 2. ВЕНЕРА

#### 2.1 Вертикальное распределение $O_3$ и $SO_2$ на высотах 85-105 км на ночной стороне Венеры

В 2020 году был проанализирован полный набор данных звездных просвечиваний, полученный УФ каналом спектрометра СПИКАВ космической миссии «Венера-Экспресс» в 2006-2014 годах [1]. Во время сеанса просвечивания инструмент наблюдал затмение звезды Венерой и измерял изменение её спектра из-за частичного поглощения излучения атмосферными компонентами (газами и аэрозолями). Этот набор данных позволил получить вертикальное распределение озона ( $O_3$ ) и диоксида серы ( $SO_2$ ) в ночной мезосфере Венеры на высотах 85-105 км.

За все 8 лет наблюдений  $O_3$  наблюдался в ~6% измерений, на основании полученной статистики было оценено относительное содержание озона в ночной мезосфере на высотах 85-105 км. Его значение варьируется в пределах от 1-2 ppbv до 10-30 ppbv на высотах 85-95 км. С увеличением высоты относительное содержание  $O_3$  растёт, и на 95-105 км его значение находится в интервале от 3-6 ppbv до 50-120 ppbv.

$SO_2$  наблюдался в ~380 сеансах просвечиваний, что дополняет исследование диоксида серы в работе Беляева и др. [2]. В среднем, относительное содержание  $SO_2$  постоянно в диапазоне высот 85-100 км и его значение составляет  $135 \pm 21$  ppbv.

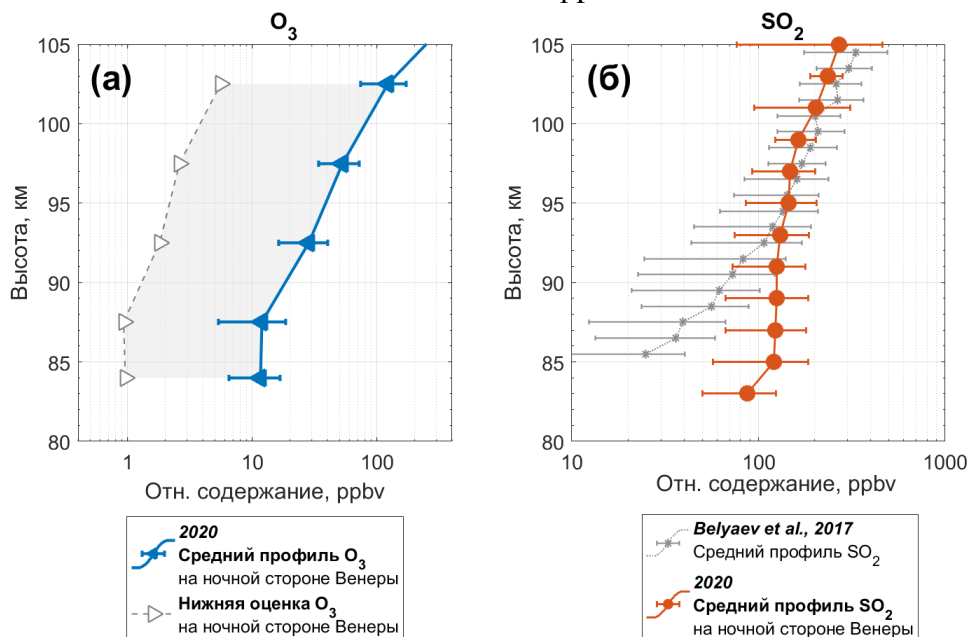


Рисунок 1. — (а) Оценка относительного содержания  $O_3$  в ночной мезосфере Венеры (серая область). Результаты обработки наблюдений звездных просвечиваний СПИКАВ-УФ показаны синей кривой. (б) Вертикальный профиль  $SO_2$  в ночной мезосфере Венеры по данным СПИКАВ-УФ, полученный за 2020 год и в работе Belyaev et al. (2017).

### Раздел 3. РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

#### 3.1 Ударно-иницированный синтез, как фактор, определяющий химический состав абиогенного органического вещества

Как известно, метеориты – объекты, дающие довольно ясное представление о составе внеземного вещества. В состав органического вещества – неотъемлемой составной части метеоритов, особенно углистых хондритов, входят химические соединения, важные с точки зрения предбиологической эволюции (аминокислоты, сахара, азотистые основания и т.д.). Также, как предполагается, органическое вещество астероидов и комет являлось одним из основных источников органики на ранней Земле (Chyba, Sagan). Однако вопрос о происхождении органического вещества метеоритов, имеющего весьма сложный химический состав, до сих пор остаётся открытым. С этой точки зрения важно иметь возможность соотносить как химический состав, так и особенности механической структуры органического вещества углистых хондритов с возможными механизмами его формирования на разных этапах: в условиях межзвёздной среды, протопланетной туманности и на родительских телах.

Поскольку углистые хондриты представляют собой брекчированный материал, а также, учитывая, что основная форма органического вещества в них – макромолекулярные включения – весьма схожа со структурами, получаемыми при лабораторном моделировании высокоскоростных ударов (как на двухступенчатой легкогазовой пушке, так и при помощи импульсного лазера), ударно-иницированный путь образования этих включений в частности и органического вещества метеоритов в целом следует рассматривать как один из основополагающих, что и было дополнительно продемонстрировано в ходе наших экспериментов.

Были продолжены модельные эксперименты по ударно-иницированному преобразованию углистых хондритов с помощью стандартной лазерной методики (лазер на неодимовом стекле,  $\lambda=1,06$  мкм, длительность импульса –  $10^{-3}$  с, энергия  $\sim 600\text{--}700$  Дж, плотность потока энергии  $\sim 10^6\text{--}10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, температура испарения –  $4000\text{--}5000$  К, что соответствует скоростям столкновения ударника и мишени  $\sim 10\text{--}15$  км/с). Лазерное испарение метеоритов проводили в газовой атмосфере ( $P = 1$  атм,  $T = 298$  К), содержащей чистый гелий (инертная атмосфера) и водород (восстановительная атмосфера) для изучения влияния окислительно-восстановительных условий на состав продуктов модельного синтеза. Для определения состава летучих органических соединений (ЛОС) в исходных хондритах и их твёрдых конденсатах применяли, как и ранее, метод пиролитической газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией.

Состав углеводородов в исходных метеоритах и их конденсатах, сформированных в атмосфере гелия, довольно схож для всех исследованных метеоритов, в то время как конденсаты, сформированные в атмосфере водорода, радикально отличаются в этом отношении от исходных углистых хондритов. То обстоятельство, что углеводороды из состава ЛОС, будучи довольно чувствительными к окислительно-восстановительным условиям среды, синтезируются при ударных событиях в аналогичном количественном соотношении, говорит о том, что исходные и вновь синтезированные углеводороды имеют сходное происхождение. Причём, углеводороды в частности и ЛОС в целом в составе углистых хондритов могут быть результатом синтеза, происходящего во время высокоскоростных ударных событий в космическом пространстве или на родительских телах в вакууме или в инертной атмосфере, но не в плотном облаке водорода.

Учитывая всё вышесказанное, можно заключить, что ударный тип метаморфизма мог быть важным фактором воспроизведения (и сохранения) абиогенным органическим веществом не только характерной механической структуры, но и химического состава на разных этапах эволюции Солнечной системы, в конечном итоге и обусловившим его современное состояние.

### 3.2 Предложена экспериментальная модель ударно-иницированного образования нанофазного металлического железа в лунном реголите

Значительное влияние на спектральные характеристики реголита Луны и других безатмосферных тел оказывает наличие в его минеральных частицах нанофазного металлического железа ( $\text{np-Fe}^0$ ), образующегося в процессе космического выветривания. Железо в такой форме повсеместно встречается в образцах реголита в виде глобул размером  $\sim 5\text{--}20$  нм. Особенно часто нанофазное железо ( $\text{np-Fe}^0$ ) наблюдается в тонкой аморфной пленке на поверхности минеральных частиц.

Предполагается, что при микрометеоритной бомбардировке глобулы железа образуются в результате конденсации пара, возникшего при ударном испарении лунных пород. Наноглобулы в виде отдельных образований или в виде цепочек наблюдаются также в стеклах агглютинатов, по-видимому, попав туда при захвате железа, первоначально сконденсированного на поверхности частиц реголита.

Как показали экспериментальные исследования, в образовании нанофазного железа на Луне, помимо солнечного ветра и конденсации железа из пара, образованного в результате удара, задействован еще один механизм, который может быть охарактеризован, как термовосстановление железа в расплаве. Кроме того, цепочечные структуры из  $\text{np-Fe}^0$ , наблюдаемые в импактном стекле лунного реголита, хорошо воспроизводятся в эксперименте.

В результате экспериментов на импульсном лазере ( $\lambda=1,06$  мкм, длительность импульса -  $10^{-3}$  с, энергия  $\sim 600\text{--}700$  Дж, плотность потока энергии  $\sim 10^6\text{--}10^7$  Вт/см<sup>2</sup>), имитирующем микрометеоритный “удар” по базальтовой мишени, в расплавных продуктах обнаружены наноглобулы железа, структурированные в цепочки, маркирующие, по всей видимости, фронт прохождения ударной волны (рис. 1). Эксперименты наглядно показали, что  $\text{np-Fe}^0$  может формироваться без участия восстановителя – имплантированных ионов водорода солнечного ветра, а также минуя процесс конденсации железа из ударно-образованного пара. Аналогичные цепочечные структуры из  $\text{np-Fe}^0$  наблюдались в импактном стекле лунного реголита.

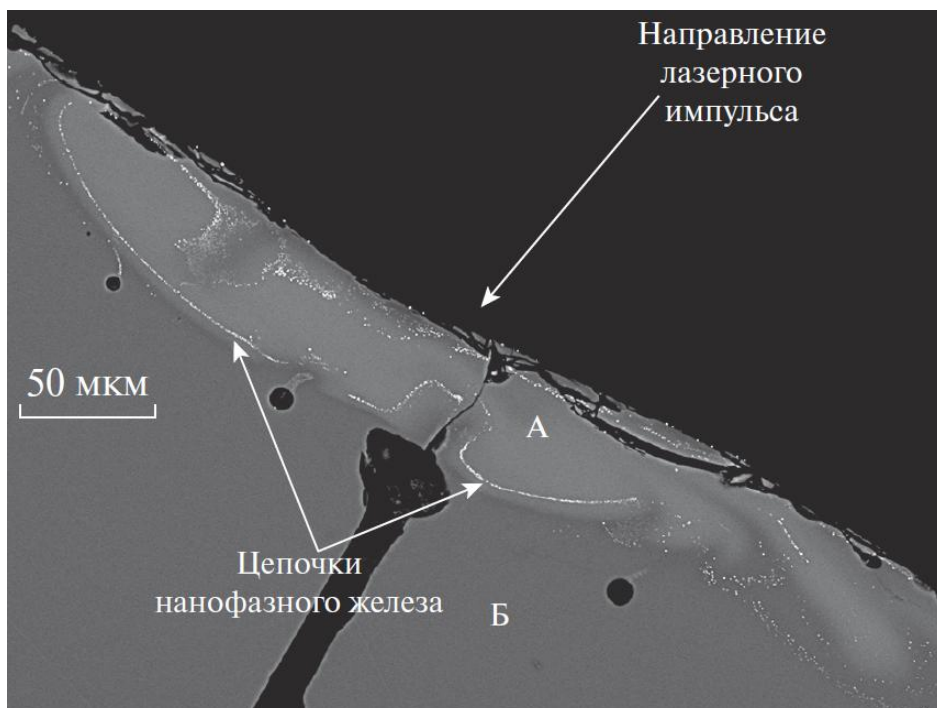


Рисунок 1. — Снимок со сканирующего электронного микроскопа. Цепочки нанофазного железа в стекле кратера. Светлые (А) и (Б) темные области стекла.

## **Раздел 4. МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

### **4.1 Методы детектирования межпланетных пылевых частиц**

1) Получены экспериментальные данные, подтверждающие работоспособность методов детектирования межпланетной пыли с помощью солнечных панелей космических аппаратов. Опыты проводились с помощью небольшого фрагмента ( $\sim 200 \text{ см}^2$ ) солнечной панели с приклеенными к его поверхности пьезоэлектрическими датчиками для регистрации механического импульса, подключаемых напрямую или через усилитель к осциллографу. На разные участки этой поверхности с высоты 10 см производилось сбрасывание одиночных сферических металлических частиц, при свободном падении приобретающих импульсы, предположительно, входящие в диапазон значений, характерных для межпланетной космической пыли субмикронного размера. Было показано, в частности, что сигнал от частицы размером 0,2 мм может быть зарегистрирован даже в отсутствие усиления, а использование системы регистрации из 3 датчиков позволяет при известной скорости распространения акустических волн в материале с хорошей точностью рассчитывать место попадания частицы в солнечную панель. Эти данные указывают на возможность использования метода для оценки одиночных или суммарных импульсов частиц, встречающихся на пути движения космического аппарата, а также для определения потоков таких частиц.

Метод позволяет производить наблюдения за межпланетной и орбитальной пылью с апертурой детектора более  $1 \text{ м}^2$ , достигаемой за счет использования элементов конструкции аппарата (солнечных панелей), т. е. при минимальных массовых потребностях (масса одного пьезодатчика не превышает 10 г). Также с помощью таких датчиков возможно наблюдать степень сохранности солнечной панели основываясь на регистрации частоты колебаний панели.

2) Разработан и проверен метод детектирования заряженных пылевых частиц при помощи геометрического форм-фактора, соответствующего цилиндру Фарадея. Предполагается, что такая конструкция датчика позволит улучшить чувствительность прибора при регистрации дрейфующих в приповерхностной экзосфере частиц в безатмосферных условиях.

Для регистрации частиц с помощью электрода цилиндра была выбрана схема регистрации с помощью зарядочувствительного усилителя.

Для подтверждения работоспособности такой датчик был установлен в вакуумную камеру с инжектором пылевых частиц. При проверке использовались частицы вольфрама диаметром 30 мкм. При попадании таких частиц в электрод датчика регистрировался сигнал со значительным превышением над уровнем шума, что подтверждает работоспособность метода.

### **4.2 Изучение особенностей и характеристик лабораторной установки при моделировании потока пылевых частиц и физических свойств аналогов межпланетной пыли**

1) Эксперименты с адсорбцией пыли

Опыты проводились с целью уточнения размерных характеристик образцов частиц, которые использовались при функциональных испытаниях и калибровке пьезодатчиков, а также с целью изучения особенностей поведения этих частиц в аэродинамическом потоке, создаваемом в испытательной установке.

В ходе эксперимента производился сбор частиц, налетающих в потоке на специально подготовленную клейкую поверхность, с последующим визуальным и компьютерным анализом картины адсорбированных частиц.

Использовались пробы частиц песка и андезита одинакового размерного диапазона 100-150 мкм, взятыми в количестве 0,1 и 1 г из сыпучих образцов, приготовленных мелкодисперсным дроблением с последующим размерным фракционированием с помощью вибрационной просеивающей машины Retsch AS 200 basic. Каждая из таких проб высыпалась через воронку за время  $\sim 1 \text{ с}$  в аэротрубу после установления в ней

стационарного состояния потока со скоростью  $\sim 4,5$  м/с в области центральной продольной оси рабочей области трубы.

Результаты эксперимента позволили скорректировать представления о картине движения частиц после вбрасывания их в потоки оценить распределение этих частиц по размерам, что важно для правильной интерпретации результатов, получаемых при проведении калибровки и функциональных испытаний пылеударных детекторов в аэродинамической трубе.

#### 2) Детектирование траекторий пылевых частиц в ветровых потоках

С целью наблюдения за траекториями пылевых частиц в аэродинамической установке и оценки их скоростей была создана система оптической регистрации, которая включает в себя блок подсветки частиц стробированным лазерным излучением и оптическую камеру, производящую видеосъемку со скоростью 100 кадров в секунду. С помощью данной системы были получены данные о характере потока пылевых частиц в аэродинамической установке, которые также необходимы при испытаниях пылеударных детекторов.

#### 3) Изучение и оценка морфологии аналогов лунного грунта

Для понимания морфологических свойств используемых в экспериментальной работе пылевых частиц и их аналогов были проведены работы совместно с ОИВТ РАН по получению изображений этих частиц с помощью электронного микроскопа.

В результате анализа изображений была составлена параметрическая модель для описания частиц по их сферичности, округлости и форме, которая может быть использована при интерпретации различий в результатах опытов с использованием отличающихся образцов пыли.

### 4.3 Метод оценки запыленности поверхностей КА

Предложен оптический метод оценки запыленности поверхностей КА. При этом происходит измерение отраженного от пылевого слоя света, излученного прибором. В настоящее время существует ряд решений формата System-On-a-Chip, позволяющих компактно размещать источник и приемник излучения. Такой метод был создан и проверен при различных условиях запыленности (как и при различных условиях внешней засветки). По результатам исследований сделан вывод о том, что при помощи подобных компактных систем на технологическом уровне можно контролировать покрытие слоем пыли поверхностей космических аппаратов.

### 4.4. Анализ процессов на поверхности реголита Луны и других безатмосферных тел, при которых под действием УФ солнечного излучения может происходить отрыв и левитация пылевых частиц

Наиболее вероятной причиной левитации пылевых частиц над освещенной поверхностью безвоздушных тел является электростатический механизм. Однако есть две существенные проблемы, возникающие при объяснении этого эффекта. Первая из них связана с вопросом о том, как большой электрический заряд (несколько единиц или даже десятков элементарных зарядов  $e^-$ ), необходимый для левитации в поле двойного электрического слоя, может накапливаться на пылинке, лежащей на поверхности. Вторая проблема связана с выяснением природы силы, которая отрывает частицу пыли от поверхности, преодолевая адгезионную силу Ван-дер-Ваальса. Анализ этих проблем показал, что плотность заряда, возникающая на освещенной поверхности в результате фотоэффекта, очень мала только при усреднении по областям макроскопического размера. В субмикронном масштабе поверхность представляет собой совокупность хаотических «зарядовых пятен», имеющих положительный или отрицательный заряды. Эти пятна возникают из-за флуктуаций потоков фотоэлектронов, вылетающих и падающих обратно на поверхность, а модуль плотности заряда внутри этих пятен в миллионы раз превышает значение плотности заряда, усредненное по макроскопическим областям. Число положительно заряженных пятен ненамного превышает число отрицательно заряженных пятен, что объясняет малость средней плотности заряда. Локальная плотность заряда внутри пятен достаточна для того, чтобы частицы размером около 0,1 мкм или менее

получили заряд, достаточный для их левитации в двойном электрическом слое на высоте около 1 мкм или более, где напряженность поля двойного слоя находится на уровне порядка  $10 \text{ Вм}^{-1}$ . Электростатическое поле непосредственно над центром пятна заряда пропорционально локальной, а не средней плотности заряда и, по-видимому, на несколько порядков больше. Следовательно, сила, действующая на пылинку, лежащую внутри пятна заряда непосредственно на поверхности, пропорциональна квадрату локальной плотности заряда, и ее величина может достигать десятых долей пиконьютона, что, вероятно, достаточно для частицы, чтобы преодолеть силу адгезии Ван-дер-Ваальса и совершить взлет.

Результаты проведенного анализа опубликованы в журнале *Icarus*.

## **Раздел 5. ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ**

### **5.1. Разработка методов прецизионной коррекции волнового фронта для звездного коронографа для задачи прямого детектирования экзопланет**

Метод прямого наблюдения экзопланет (*direct exoplanet imaging*) с помощью звездного коронографа увеличивает контраст изображения в дифракционной окрестности звезды. Недостаточное уменьшение фона звезды происходит вследствие требуемого качества волнового фронта, превосходящего возможности современных оптических и астрономических систем. Оценены достижимые коронографические контрасты для наземного и внеатмосферного телескопов без применения адаптивной оптики (АО) и в дальнейшем запланировано применение устройств АО: наклонного зеркала и *пиксельной* АО для коррекции зональной ошибки. Для практического тестирования перспективной многоконтурной системы телескопа с активной оптикой, корректирующей ВФ, сконструирован коронограф с малой апертурой телескопа, позволяющей наблюдать эффект коронографического ослабления звезды. Последнее важно для отработки прецизионного ведения (гидирования) звезды автоматизированным параллактическим приводом телескопа для построения практической циклограммы работы устройств адаптивной оптики. Оценены ошибки волнового фронта внутри интерференционного коронографа, начаты эксперименты, получено удержание линии визирования.

Результаты описаны в публикации, которая отправлена на рецензию в журнал «Астрономический Вестник».

### **5.2 Распределение экзопланет по массам и по периодам с учетом наблюдательной селекции**

Исследовано распределение транзитных экзопланет по массам с учетом эффектов наблюдательной селекции, вызванных главным образом разной долей планет с измеренной массой в зависимости от их радиуса среди транзитных планет, открытых Kepler ST, и уменьшающейся вероятностью транзитной конфигурации по мере увеличения расстояния между планетой и звездой. Коррекция произведена с помощью введения «коэффициента измеренности массы» и методики учета вероятности транзитной конфигурации. Результат исследования опубликован в *Icarus*. В частности, было показано, что распределение транзитных планет по массам следует степенному закону с показателем степени  $-2$ :  $dN/dm \propto m^{-2}$ . Однако при рассмотрении долгопериодических планет, открытых Kepler ST, на распределении возникала статистически значимая особенность («плато»), свидетельствующая о возможной зависимости массового распределения от орбитального периода. Скорректированное распределение сравнено с теоретическим распределением, полученным методом популяционного синтеза, и показано соответствие с учетом особенностей транзитного метода, наиболее чувствительного к планетам с короткими орбитальными периодами.

Данная закономерность (распределения экзопланет по массам) была изучена в зависимости от спектрального класса родительских звезд для классов F, G, K, M. Было показано, что статистически значимых различий в распределении по массам транзитных планет в зависимости от спектрального класса родительских звезд нет.

Похожий результат коррекции наблюдательных данных для учета факторов наблюдательной селекции для фотометрического транзитного метода был получен альтернативным методом, описанным в *Астрономическом Вестнике*. Поскольку масса большинства транзитных планет, открытых космическим телескопом Kepler, еще не измерена, было проведено моделирование среднестатистических масс экзопланет на основе теоретических соотношений масса-радиус, предложенных различными авторами, причем вместо построения гистограмм использовался метод максимального правдоподобия.

Другая группа экзопланет, открытых методом лучевых скоростей, имеет следующие основные факторы наблюдательной селекции: разные чувствительности спектрографов, разные уровни активности родительских звезд, разные продолжительности наблюдений и разные методы обработки данных. Возможность регуляризации наблюдательных данных RV экзопланет опубликована в *Письмах в Астрономический журнал* (принята в печать), где кратко описана методика «окна видимости» и основные результаты.

Подробно эта методика и результаты ее применения описаны в работе, готовящейся для публикации в *Icarus*.

## **Раздел 6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **6.1 Исследование механизмов рассеяния света агрегатными структурами и дискретными средами**

Анализ спектральной зависимости интенсивности света, рассеянного агрегатами субмикронных сферических частиц, показал, что, в отличие от однородных частиц, агрегатные структуры формируют спектр, содержащий интерференционные экстремумы, обусловленные рассеянием как на индивидуальных составляющих агрегата, так и на их группах. Их положение в спектре зависит главным образом от размеров составляющих частиц, но не агрегата в целом, и действительной части показателя преломления, что дает возможность оценки этих свойств агрегатов по спектрам интенсивности рассеянного ими света. Для расчета характеристик рассеяния дискретными случайными средами с учетом когерентного обратного рассеяния разработан и выложен в свободный доступ пакет программ. Он позволяет без использования свободных параметров частично учесть взаимодействие рассеивателей в ближнем поле и оценить ряд характеристик поверхности небесных тел из поляриметрических и фотометрических измерений.

### **6.2 Волны, турбулентность и зональные потоки в магнитоактивных атмосферах экзопланет в приближении мелкой воды**

В последние годы появился ряд новых приложений и наблюдений, которые актуализировали проблему изучения крупномасштабных магнитогидродинамических течений, например, динамику магнитоактивных атмосфер экзопланет, захваченных приливами несущей звезды. Изучены и описаны течения вращающейся плазмы с целью понять эволюцию магнитоактивных атмосфер экзопланет. Магнитная активность экзопланет вызвана близостью планеты к родительской звезде. Исследование направлено на обсуждение фундаментальной проблемы описания и исследования многомасштабных течений плазмы в атмосферах экзопланет путем изучения ее общих свойств, характеризующих различные объекты во Вселенной. Речь идет о развитии идей геофизической гидродинамики на случай существенных различий в поведении плазменных течений из-за наличия магнитных полей и стратификации. Обсуждаются уравнения магнитной гидродинамики мелкой воды (однослойные и двухслойные модели) и двумерные уравнения магнитной гидродинамики как основы для изучения крупномасштабных течений. Предложена новая система уравнений во внешнем магнитном поле. Исследованы различные виды течений, описываемых разработанными моделями мелкой воды: линейная теория волн магнито-Россби, трехволновые взаимодействия и связанные с ними параметрические неустойчивости, зональные течения и турбулентность. Рассматриваются эффекты стратификации в двухслойной МГД модели мелкой воды с вращением и внешним магнитным полем, разделяющей тонкий слой

плазмы на два слоя с разной плотностью. С помощью разработанной двухслойной модели получены модификации для волн магнито-Россби, связанные со стратификацией. Приближение мелкой воды (однослойная и двухслойная модели) использовано для развития слабонелинейной теории волн магнито-Россби как во внешнем вертикальном магнитном поле и в отсутствие магнитного поля, так и для стационарного состояния с наличием горизонтального поля (полоидальное, тороидальное и их сумма). Показано, что в трехволновых взаимодействиях волн магнито-Россби в однослойном и двухслойном приближениях могут развиваться два типа параметрической неустойчивости: параметрический распад и параметрическое усиление волн магнито-Россби. Численное моделирование турбулентности демонстрирует формирование зональных течений в МГД-турбулентности на бета-плоскости. Обратный энергетический каскад затухающей МГД-турбулентности на бета-плоскости заканчивается на масштабе, который отличается от шкалы Рейнса, но согласуется с найденным новым критерием границы между волновой динамикой и МГД-турбулентностью. Полученные результаты могут быть использованы также для изучения физических процессов на Солнце и звездах.

### **6.3 Волновые процессы в магнитоактивных атмосферах экзопланет в неупругом приближении**

Генерация, распространение и взаимодействие волн в магнитоактивных атмосферах играют важную роль в понимании свойств и явлений экзопланетных атмосфер, захваченных приливами несущей звезды, влияют на их динамику, формируют различные атмосферные течения, являются частью нелинейных процессов. Исследованы волновые процессы во вращающемся слое сжимаемой астрофизической плазмы с устойчивой стратификацией и линейным профилем энтропии. Мы используем неупругое приближение (anelastic approximation) в полных уравнениях магнитной гидродинамики сжимаемой плазмы для описания течений плазмы при наличии вращения. В таком приближении акустические волны отсутствуют, а градиент плотности зависит как от градиента давления, так и от градиента температуры. Магнитогидродинамическая система уравнений в неупругом приближении не содержит акустических волн и получается из полной системы сжимаемых уравнений магнитной гидродинамики в предположении малых возмущений плотности и описывает течения с малыми числами Маха. В этом приближении система содержит слагаемые с потенциальной температурой (энтропией), а уравнение непрерывности содержит исходный стратифицированный профиль плотности. Сила Кориолиса в магнитогидродинамических уравнениях сжимаемой астрофизической плазмы рассматривается в четырех различных приближениях: стандартной  $f$ -плоскости, нестандартной  $f$ -плоскости (с учетом горизонтальной компоненты силы Кориолиса), стандартной бета-плоскости и нестандартной бета-плоскости. Для каждого рассматриваемого приближения силы Кориолиса развита линейная и нелинейная теория волновых процессов. Найдены новые типы волн, восстанавливаемыми механизмами которых служат вращение, магнитное поле, гравитация и сжимаемость. Эффекты сжимаемости представлены в новых дисперсионных уравнениях частотой Брента-Вяйсяля для сжимаемых стратифицированных течений, зависящей как от исходного профиля плотности, так и от исходного профиля давления. Используя качественный анализ дисперсионных кривых, выявлены все реализующиеся типы трехволновых взаимодействий. Методом многомасштабных разложений получена система уравнений для амплитуд взаимодействующих волн и инкременты параметрических неустойчивостей. Эффекты сжимаемости в найденных коэффициентах взаимодействия, дифференциальных операторах и инкрементах содержатся в слагаемых с потенциальной температурой (энтропией) и в собственном векторе системы магнитогидродинамических уравнений вращающейся сжимаемой астрофизической плазмы в неупругом приближении. Полученные результаты могут быть использованы так же для изучения физических процессов на Солнце и звездах.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2020г. по теме ПЛАНЕТА. Проведение фундаментальных исследований планет и малых тел.

Важнейший(уникальный) результат исследований ИКИ РАН в 2020г.:

### **Распределение и перенасыщение атмосферной воды на Марсе в пылевой сезон**

Федорова А.А., Кораблев О.И., Лугинин М., Трохимовский А, Беляев Д., Игнатъев Н., Шакун А., Григорьев А., Патракеев А., Корса С., Коконков Н.

Институт Космических Исследований РАН

Считается, что потеря воды на Марсе — результат ее фотодиссоциации и последующей диссипации водорода в космос, причем чем выше поднимается молекула воды в атмосфере, тем эффективнее идет этот процесс. Наблюдения атмосферы Марса комплексом спектрометров ACS (Atmospheric Chemistry Suite) на орбитальном аппарате ExoMars Trace Gas Orbiter ACS во время глобальной пылевой бури в июне 2018 (марсианский год 34) позволили впервые детально исследовать распределение воды на средних и больших высотах (до 100 км). Одновременно получены профили температуры атмосферы, пыли и облаков. В южном полушарии атмосферная вода достигает больших высот во время всего сезона перигелия (лето в южном полушарии), включая глобальную пылевую бурю и региональный шторм. Кроме того, обнаружено перенасыщение водяного пара, часто наблюдаемое одновременно собаками. Повсеместное и глубокое перенасыщение означает, что холодная область тропопаузы, препятствующая проникновению воды в верхнюю атмосферу на Земле, не работает на Марсе, и диссипации воды с Марса идет легче, чем считалось ранее.



Схематичное представление «убегания» воды из атмосферы Марса. Солнечные лучи нагревают полярные шапки, увеличивая содержание атмосферной воды. Ветер переносит водяной пар в более высокие и холодные слои атмосферы. Здесь водяной пар может конденсироваться, образуя облака и остаться в атмосфере планеты. Обнаруженное перенасыщение означает, что часть молекул воды поднимается ещё выше, где они распадаются на атомы водорода и кислорода под действием солнечного ультрафиолета. Изображение ESA

Fedorova, A. A., Montmessin, F., Korablev, O., Luginin, M., Trokhimovskiy, A., Belyaev, D., Ignatiev, N. I., Lefèvre, F., Alday, J., Irwin, P. G. J., Olsen, K. S., Bertaux, J.-L., Millour, E., Määttänen, A., Shakun, A., Grigoriev, A. V., Patrakeeve, A., Korsas, S., Kokonkov, N., Baggio, L., Forget, F., Wilson, C. F.(2020). "Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season." *Science***367**(6475): 29

DOI: [10.1126/science.aay9522](https://doi.org/10.1126/science.aay9522)

-номер темы в системе ПАРУС: 0028-2014-0011

-номер научного направления ПФНИ ГАН: II. Физические науки, 16.

Наиболее значимый результат института, выполняемый в рамках государственного задания в 2020г.:

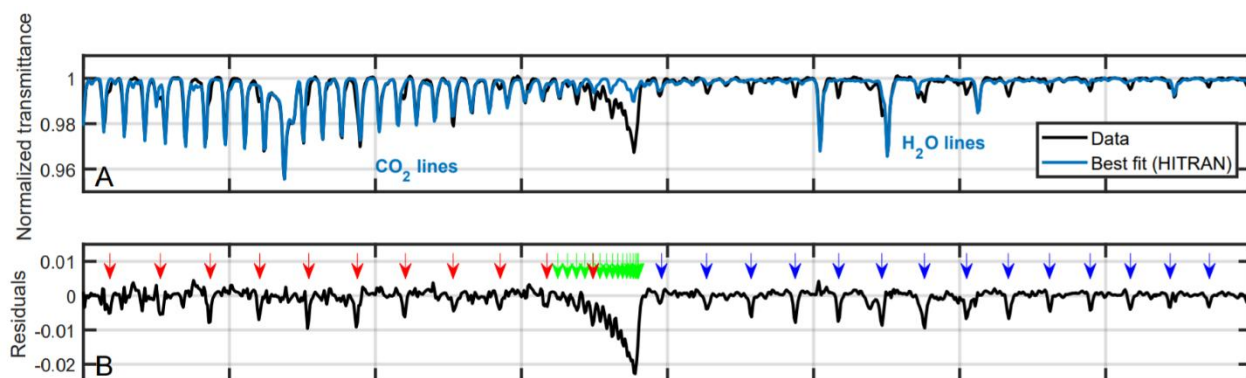
### Открытие магнитно-дипольной полосы поглощения основного изотопа углекислого газа

А.Ю. Трохимовский<sup>1</sup>, В.И. Перевалов<sup>2</sup>, О.И. Кораблев<sup>1</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Российский спектрометрический комплекс АЦС на борту космического аппарата TGO (российско-европейский проект «ЭкзоМарс») зарегистрировал ранее не наблюдавшиеся полосы поглощения углекислого газа. Обнаруженная структура совпадает с рассчитанными теоретически центрами линий магнитно-дипольной полосы 01111-00001 основного изотопа углекислого газа. Распределение интенсивности в линиях P-, Q- и R-ветвей также подтверждает обнаружение магнитно-дипольной полосы. Магнитно-дипольный момент перехода возникает при возбуждении двукратно вырожденного колебания второй моды. Обнаруженная магнитно-дипольная полоса углекислого газа является первой демонстрацией важности вклада ядерного движения в магнитно-дипольный момент молекулы.



А: Теоретическая модель (HITRAN) и наблюдаемый спектр. В: Разность между измерениями и моделью. P-, Q- и R-ветви новой магнитно-дипольной полосы обозначены красными, зелеными и синими стрелками.

Публикации:

Trokhimovskiy, A., Perevalov, V., Korablev, O., et al. 2020, A&A, 639, A142

<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038134>

Perevalov, V.I., Trokhimovskiy, A.Yu., Lukashevskaya, A.A. et al. 2021, JQSRT, 259, 107408 <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107408>

- номер темы в системе ПАРУС: 0028-2014-0011

-номер научного направления ПФНИ ГАН: II. Физические науки, 16.

Наиболее значимый результат института, готовый к практическому применению:

### Марсианский многоканальный диодно-лазерный спектрометр “М-ДЛС”

**Патент РФ № RU 2730405 С1** Марсианский многоканальный диодно-лазерный спектрометр “М-ДЛС”. Заявка: 2019121487, 09.07.2019. Регистрация: 21.08.2020. Авторы: Барке В.В., Виноградов И.И., Климчук А.Ю., Лебедев Ю.В. (ИКИ РАН); Зеневич С.Г., Родин А.В., Семенов В.М. (МФТИ); Спиридонов М.В. (ИОФ РАН им. А.М.Прохорова).

Патентообладатель: Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по космической деятельности “Роскосмос”.

Изобретение относится к области измерительной техники и касается марсианского многоканального диодно-лазерного спектрометра “М-ДЛС”, созданного

для прецизионного измерения химического и изотопного состава запыленной атмосферы Марса около его поверхности в рамках миссии “ЭкзоМарс-2022”.

Задачей изобретения является увеличение длины эффективного оптического пути в аналитической газовой кювете прибора для увеличения его чувствительности. Указанный технический результат достигается использованием аналитической оптической многопроходной газовой кюветы полного внутрирезонаторного выхода с частично проницаемыми зеркалами с отражением не менее 0,999, что обеспечивает реализацию эффективной длины оптического пути от 200 до 1000 м и более в пределах компактных габаритов бортового прибора.

Изобретение может быть использовано в исследованиях планет Солнечной системы на основе автоматических орбитальных и посадочных зондов, пилотируемых космических аппаратов, а также в решении актуальных задач мониторинга и разведки земных природных и техногенных сред, идентификации взрывчатых и отравляющих веществ, контроля производственных процессов, в медицинской диагностике и т.п.

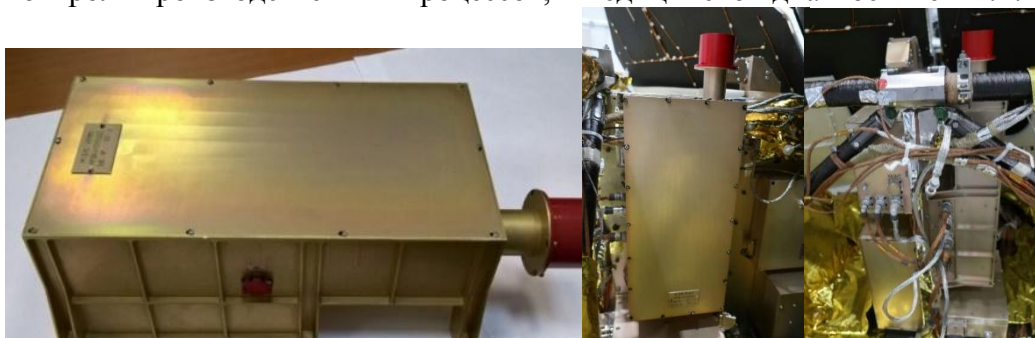


Рисунок 1. Внешний вид компактного прибора М-ДЛС и его размещения на борту стационарной посадочной платформы проекта “ЭкзоМарс-2022”

*I. Vinogradov, et al. The eleventh Moscow Solar System Symposium 11M-S3, presentation # 11MS3-MS-PS-11, October 5-9, 2020, IKI RAS, Moscow, Russia. ISBN- 978-5-00015-050-4. DOI: 0.21046/11MS3-2020.*

*I.I. Vinogradov, et al. 19th International Conference Laser Optics ICLO 2020, presentation # WeR6-02, November 2-6, 2020, Saint Petersburg, Russia.*

*I. Vinogradov, A. Rodin, M. Spiridonov, M-DLS team. 43rd COSPAR Scientific Assembly, presentation # B0.6-0005-21, 28 January – 4 February, 2021, Sydney, Australia.*

“II. Физические науки, направление 16”.

Госконтракт № 199/МВ-521-2017 от 30.06.2017 между АО «НПО Лавочкина» и ИКИ РАН на выполнение СЧ ОКР «Создание комплекса научной аппаратуры для посадочной платформы КА “ЭкзоМарс-2018”», контракт № 199/53-1 от 02.10.2017 между ИКИ РАН и МФТИ на выполнение СЧ ОКР «Разработка и изготовление электронных плат для рабочего места прибора М-ДЛС и прибора М-ДЛС в составе комплекса научной аппаратуры проекта “ЭкзоМарс-2018”».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Список публикаций:

Всего научных публикаций в 2020 г: **56**

Число опубликованных научных публикаций без РФ в 2020 г: **50**

Статьи в зарубежных изданиях: **44**

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах: **12**

Статьи в сборниках материалов конференций: **6**

Доклады, тезисы, циркуляры: **19**

Статьи в научно-популярных изданиях: **0**

Другие издания: **3**

Число публикаций работников в базе Web of Science: **39**

Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными: **23**

В печати: **7**

### Статьи в зарубежных изданиях:

1. Ananyeva V. I., A. E. Ivanova, A. A. Venkstern, A. V. Tavrov, O. I. Korablev, and J.-L. Bertaux, The Dependence of the Mass Distribution of Exoplanets on the Spectral Class of Host Stars, SOLAR SYSTEM RESEARCH, 2020, Vol. 54, No. 3, pp. 175–186. DOI: [10.1134/S0038094620030016](https://doi.org/10.1134/S0038094620030016). **Impact factor: 0.756, Q4**
2. Ananyeva V.I., A. E.Ivanova, A.A. Venkstern, I.A. Shashkova, A.V. Yudaev, A.V. Tavrov, O.I. Korablev, and J.-L. Bertaux, Mass distribution of exoplanets considering some observation selection effects in the transit detection technique, ICARUS, Volume 346, August 2020, 113773. DOI: [10.1016/j.icarus.2020.113773](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.113773), **Impact factor: 3.513, Q2**
3. Ananyeva V.I., A. E.Ivanova, I.A. Shashkova, A.V. Tavrov, O.I. Korablev, and J.-L. Bertaux, Distributions of RV exoplanets by mass and orbital period, taking into account observational selection. Primary (average) structure of planetary systems. (*Принята в печать*), **Q2**
4. Arnold G.E., Haus R., Mueller N., Kappel D., Shakun A., Grigoriev A., Ignatiev N., Korablev O. "Martian surface-atmosphere properties obtained with the ExoMars infrared instrument TIRVIM and HP3 on InSight," PROC. SPIE 11502, Infrared Remote Sensing and Instrumentation XXVIII, 1150207 (24 August 2020); doi: [10.1117/12.2568071](https://doi.org/10.1117/12.2568071)
5. Below, Andrey A.; Cheptsov, Vladimir S.; Manucharova, Natalia A.; Ezhelev, Zakhar S. Bacterial Communities of Novaya Zemlya Archipelago Ice and Permafrost. GEOSCIENCES, 2020, Том: 10, Выпуск: 2, №67, DOI: [10.3390/geosciences10020067](https://doi.org/10.3390/geosciences10020067), **Impact factor: 1.651**
6. Chumikov, A. E.; Cheptsov, V. S.; Managadze, N. G. Accuracy of Analysis of the Elemental and Isotopic Composition of Regolith by Laser Time-of-Flight Mass Spectrometry in the Future Luna-Glob and Luna-Resurs-1 Missions . SOLAR SYSTEM RESEARCH, 2020, Том: 54, Выпуск: 4, Стр.: 288-294, DOI: [10.1134/S0038094620030028](https://doi.org/10.1134/S0038094620030028) , **Impact factor: 0.756, Q4**
7. Dandouras I., Blanc M., Fossati L., **Gerasimov M.**, Guenther E.W., Kislyakova K.G., Lammer H., Lin Y., Marty B., Mazelle C., Rugheimer S., Scherf M., Sotin C., Sproß L., Tachibana S., Wurz P., Yamauchi M. (2020) Future Missions Related to the Determination of the Elemental and Isotopic Composition of Earth, Moon and the Terrestrial Planets. In: Reading Terrestrial Planet Evolution in Isotopes and Element Measurements. SPACE SCIENCE REVIEWS. V. 216, article 121, <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00736-0>. **Impact factor: 6.125, Q1**
8. Dolnikov G. G., A. A. Kartasheva, A. S. Bychkova, I. A. Shashkova, I. A. Kuznetsov, A. N. Lyash, A. E. Dubov, S. I. Popelanda V. Zakharov. Dusty plasma environment near lunar surface. // JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES – (*Принята в печать*)

9. Evdokimova D., Belyaev, D; Montmessin, F; Bertaux, JL; Korablev, O. Improved calibrations of the stellar occultation data accumulated by the SPICAV UV onboard Venus Express // PLANETARY AND . SPACE SCIENCE., 2020. Vol. 184. P. 104868. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.104868> (PHФ №16-12-10453), **Impact factor: 1.782, Q3**
10. Fedorova A.(2020b) Water vapor on Mars from SPICAM IR occultations(MY27-34), Mendeley Data, v1, DOI: [10.17632/vx4gks6bx7.1](https://doi.org/10.17632/vx4gks6bx7.1)
11. Fedorova A., Montmessin F., Korablev O., Lefevre F., Trokhimovskiy A., Bertaux J.-L., Multi-annual monitoring of the water vapor vertical distribution on Mars by SPICAM on Mars Express, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, 125,e2020JE006616, <https://doi.org/10.1029/2020JE006616>, **Impact factor: 3.72, Q1**
12. Fedorova, A. A., Montmessin, F., Korablev, O., Luginin, M., Trokhimovskiy, A., Belyaev, D., Ignatiev, N. I., Lefèvre, F., Alday, J., Irwin, P. G. J., Olsen, K. S., Bertaux, J.-L., Millour, E., Määttänen, A., Shakun, A., Grigoriev, A. V., Patrakeev, A., Korsas, S., Kokonkov, N., Baggio, L., Forget, F., Wilson, C. F. (2020). "Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season." SCIENCE 367(6475): 29. DOI: [10.1126/science.aay9522](https://doi.org/10.1126/science.aay9522) . **Impact factor: 41.845, Q1**
13. Fedotova M. A. & Petrosyana A. S. (2020). Wave Processes in Rotating Compressible Astrophysical Plasma Flows with Stable Stratification, Journal of Experimental and Theoretical Physics, 131(6), 1032 DOI: [10.1134/S106377612012002X](https://doi.org/10.1134/S106377612012002X) (IF 1.119 Q2)
14. Guzewich, S. D., Fedorova, A. A., Kahre, M. A., & Toigo, A. D.. (2020). Studies of the 2018/Mars Year 34 Planet-Encircling Dust Storm. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: PLANETS, 125, e2020JE006700. <https://doi.org/10.1029/2020JE006700>, **Impact factor: 3.72, Q1**
15. Imamura, T; Mitchell, J; Lebonnois, S; Kaspi, Y; Showman, AP; Korablev, O. Superrotation in Planetary Atmospheres. SPACE SCIENCE REVIEWS, Том: 216 , Выпуск: 5, N: 87, DOI: [10.1007/s11214-020-00703-9](https://doi.org/10.1007/s11214-020-00703-9), **Impact factor: 6.125, Q1**
16. Korablev O. Studies of Planetary Atmospheres in Russia (2015-2018). IZVESTIYA ATMOSPHERIC AND OCEANIC PHYSICS, Том: 56 , Выпуск: 2 , Стр.: 130-140, MAR 2020 , DOI: [10.1134/S0001433820020061](https://doi.org/10.1134/S0001433820020061), **Impact factor: 0.725, Q4**
17. Krasilnikov S.S., R.O. Kuzmin, Y. Bühler, E.V. Zabalueva. Formation of long-distance water ice avalanches on Mars. PLANETARY AND SPACE SCIENCE 186 (2020) 104917, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.104917>, **Impact factor: 1.782, Q3**
18. Ksanfomaliti L.V. Some features of comet Hale-Bopp (according to the observations of 1995-1998), SOLAR SYSTEM RESEARCH, Vol:54, N:2, 2020. DOI: [10.1134/S0038094620020057](https://doi.org/10.1134/S0038094620020057), **Impact factor: 0.756, Q4**
19. Luginin, M., Fedorova, A., Ignatiev, N., Trokhimovskiy, A., Shakun, A., & Grigoriev, A., et al. (2020). Properties of water ice and dust particles in the atmosphere of Mars during the 2018 global dust storm as inferred from the Atmospheric Chemistry Suite. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: PLANETS, 125 e2020JE006419. <https://doi.org/10.1029/2020JE006419>, (PHФ № 20-42-09035), **Impact factor: 3.72, Q1**
20. Mantsevich, S ; Kostyleva, E . Shear acoustic wave attenuation influence on acousto-optic diffraction in tellurium dioxide crystal. APPLIED OPTICS, 2020, Том: 59, Выпуск: 22, Стр.: 6796-6802 , DOI: [10.1364/AO.399409](https://doi.org/10.1364/AO.399409) , (PHФ 19-12-00072), **Impact factor: 1.961, Q3**
21. Marcq, E., Lea Jessup, K., Baggio, L., Encrenaz, T., Lee, Y.J., Montmessin, F., Belyaev, D., Korablev, O., Bertaux, J.-L. Climatology of SO2 and UV absorber at Venus' cloud top from SPICAV-UV nadir dataset. ICARUS. Volume 335, 1 January 2020, Номер статьи 113368. DOI: [10.1016/j.icarus.2019.07.002](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.07.002), **Impact factor: 3.565, Q2**
22. Meshcherinov V.V., M.V. Spiridonov, V.A. Kazakov, A.V. Rodin // Lidar-based remote infrared gas sensor for monitoring anthropogenic pollution: a proof of concept //

- QUANTUM ELECTRONICS: Laser applications and other topics in quantum electronics, v. 50, Num 11, 2020, Moscow. <https://doi.org/10.1070/QEL17398>, **Impact factor:1.184, Q4**
23. Milillo, A; Fujimoto, M; Murakami, G; Benkhoff, J; Zender, J; Aizawa, S; Dosa, M; Griton, L; Heyner, D; Ho, G; Imber, SM; Jia, X; Karlsson, T; Killen, RM ; Laurenza, M; Lindsay, ST; McKenna-Lawlor, S; Mura, A; Raines, JM; Rothery, DA; Andre, N; Baumjohann, W; Berezhnoy, A; Bourdin, PA; Bunce, EJ; Califano, F;; de la Fuente, S; Dong, C; Grava, C; Fatemi, S; Henri, P; Ivanovski, SL; Jackson, BV; James, M; Kallio, E; Kasaba, Y;; Kobayashi, M; Langlais, B; Leblanc, F; Lhotka, C ; Mangano, V; Martindale, A; Massetti, S; Masters, A; Morooka, M; Narita, Y; Oliveira, JS; Odstrcil, D ; Orsini, S; Pelizzo, MG; Plainaki, C; Plaschke, F; Sahraoui, F; Seki, K; Slavin, JA; Vainio, R; Wurz, P; Barabash, S; Carr, CM; Delcourt, D; Glassmeier, KH; Grande, M; Hirahara, M; Huovelin, J; **Korablev, O**; Kojima, H; Lichtenegger, H; Livi, S; Matsuoka, A; Moissl, R; Moncuquet, M; Muinonen, K; Quemerais, E; Saito, Y; Yagitani, S ; Yoshikawa, I; Wahlund, JE. Investigating Mercury's Environment with the Two-Spacecraft BepiColombo Mission. SPACE SCIENCE REVIEWS , Том: 216, Выпуск: 5, №93, DOI: [10.1007/s11214-020-00712-8](https://doi.org/10.1007/s11214-020-00712-8), **Impact factor: 6.125, Q1**
24. Murakami Go, Hajime Hayakawa, Hiroyuki Ogawa, Shoya Matsuda, Taeko Seki, Yasumasa Kasaba, Yoshifumi Saito, Ichiro Yoshikawa, Masanori Kobayashi, Wolfgang Baumjohann, Ayako Matsuoka, Hirotsugu Kojima, Satoshi Yagitani, Michel Moncuquet, Jan-Erik Wahlund, Dominique Delcourt, Masafumi Hirahara, Stas Barabash, **Oleg Korablev**, Masaki Fujimoto. Mio—First Comprehensive Exploration of Mercury’s Space Environment: Mission Overview. Space Science Reviews, 216, Article number: 113 (2020), DOI: [10.1007/s11214-020-00733-3](https://doi.org/10.1007/s11214-020-00733-3), **Impact factor: 6.125, Q1**
25. Olsen K. S. , F. Lefèvre, F. Montmessin, A. Trokhimovskiy, L. Baggio, A. Fedorova, J. Alday, A. Lomakin, D. A. Belyaev, A. Patrakeev, A. Shakun, O. Korablev, First detection of ozone in the mid-infrared at Mars: implications for methane detection, ASTRONOMY&ASTROPHYSICS , 639 A141 (2020), DOI: [10.1051/0004-6361/202038125](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038125), **Impact factor: 5.636, Q1**
26. Olsen Kevin, Franck Lefèvre, Franck Montmessin, Anna Fedorova, Alexander Trokhimovsky, Lucio Baggio, Oleg Korablev, Juan Alday, Colin Wilson, François Forget, Denis Belyaev, Andrey Patrakeev, Alexey Grigoriev, and Alexey Shakun, The vertical structure of CO in the Martian atmosphere from the ExoMars Trace Gas Orbiter, NATURE GEOSCIENCE, (*Принята в печать*). **Impact factor: 13.566**
27. Perevalov V.I., A Yu. Trokhimovskiy, A.A. Lukashevskaya, O.I. Korablev, A. Fedorova, F. Montmessin, Magnetic dipole and electric quadrupole absorption in carbon dioxide, JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY AND RADIATIVE TRANSFER, Volume 259, 2021, 107408, ISSN 0022-4073, <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107408>, **Impact factor: 3.047, Q1**
28. Pershin Sergey M, Alexey L Sobisevich, Mikhail Y Grishin, Valentin V Gravirov, Vladimir A Zavozin, Valeriy V Kuzminov, Vasily N Lednev, Dmitry V Likhodeev, **Vladislav S Makarov**, Andrey V Myasnikov and Alexander N Fedorov .Volcanic activity monitoring by unique LIDAR based on a diode laser Published 23 October 2020 • © 2020 Astro Ltd LASER PHYSICS LETTERS, Volume 17, Number 11, Online ISSN: 1612-202X, Print ISSN: 1612-2011, doi:[10.1088/issn.1612-202X](https://doi.org/10.1088/issn.1612-202X), **Impact factor: 1.884, Q3**
29. Petrosyan, A., Klimachkov, D., Fedotova, M., & Zinyakov, T. (2020). Shallow Water Magnetohydrodynamics in Plasma Astrophysics. Waves, Turbulence, and Zonal Flows. ATMOSPHERE, 11(4), 314.DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11040314>, **Impact factor:2.397, Q3**

30. Popel S. I., A. P. Golub', A. V. Zakharov, and L. M. Zelenyi, Formation of Microspherules of Lunar Regolith in Plasma-Dust Processes Initiated by Meteoroid Impacts, *PLASMA PHYSICS REPORTS* 46, No. 3 (2020), 265-272 (*FizikaPlazmy* 46, No. 3 (2020), 219-226). [Doi: 10.1134/S1063780X20030101](https://doi.org/10.1134/S1063780X20030101). **Impact factor: 0.832, Q3**
31. Popel S. I., A. P. Golub', G. G. Dol'nikov, A. V. Zakharov, and A. A. Kartasheva. Fluxes of Dust Particles in the Martian System. *TECHNICAL PHYSICS LETTERS*, 2020, Vol. 46, No. 8, pp. 812–814. [Doi:10.1134/S106378502008026X](https://doi.org/10.1134/S106378502008026X), **Impact factor: 3.597, Q4**
32. Quemerais, E; Chaufray, JY ; Koutroumpa, D; Leblanc, F; Reberac, A; Lustrement, B ; Montaron, C; Mariscal, JF; Rouanet, N; Yoshikawa, I; Murakami, G; Yoshioka, K; **Korablev, O; Belyaev, D**; Pelizzo, MG; Corso, A; Zuppella, P. PHEBUS on Bepi-Colombo: Post-launch Update and Instrument Performance. *SPACE SCIENCE REVIEWS*, 216:67, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00695-6>, **Impact factor: 6.125, Q1**
33. Razumovskiy, M. V.; **Rodin, A. V.** Modeling the Atmospheres of Tidally Locked Super-Earths Orbiting Low-Mass Host Stars Using a Nonhydrostatic General Circulation Model. *ASTRONOMY LETTERS-A JOURNAL OF ASTRONOMY AND SPACE ASTROPHYSICS*, 2020, Том: 46, Выпуск: 6, Стр.: 400-406, [DOI: 10.1134/S1063773720060080](https://doi.org/10.1134/S1063773720060080), **Impact factor: 1.489, Q3**
34. Rodin Alexander, Imant Vinogradov, Sergei Zenevich, Maxim Spiridonov, Iskander Gazizov, Viktor Kazakov, Vyacheslav Meshcherinov, Ilya Golovin, Tatyana Kozlova, Yuri Lebedev, Svetlana Malashevich, Artem Nosov, Oksana Roste, Alla Venkstern, Artem Klimchuk, Vladimir Semenov, Viktor Barke, Elena Tepteeva, Georges Durry, Mélanie Ghysels-Dubois, Oleg Korablev, Martian Multichannel Diode Laser Spectrometer (M-DLS) for In-situ Atmospheric Composition Measurements on Mars onboard ExoMars-2022 Landing Platform. *APPLIED SCIENCES*, 09 Dec 2020, 10(24), 8805; <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/8805>; <https://doi.org/10.3390/app10248805>, **Impact factor: 2.474, Q2**
35. **Rodin, Alexander, V**; Churbanov, Dmitry, V; Zenevich, Sergei G.; Klimchuk, Artem Y.; Semenov, Vladimir M.; Spiridonov, Maxim, V; Gazizov, Iskander S. Vertical wind profiling from the troposphere to the lower mesosphere based on high-resolution heterodyne near-infrared spectroradiometry. *ATMOSPHERIC MEASUREMENT TECHNIQUES*, 2020, Том: 13, Выпуск: 5, Стр.: 2299-2308, [DOI: 10.5194/amt-13-2299-2020](https://doi.org/10.5194/amt-13-2299-2020), **Impact factor: 1.525, Q2**
36. Rosenfeld E.V. and A.V. Zakharov, Charge fluctuations on the sunlit surface of airless bodies and their role in dust levitation (2020), *ICARUS*, 338, 113538, 2020. [doi: https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113538](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113538), **Impact factor: 3.513, Q2**
37. Sorokin E.G., Yakovlev O.I., Slyuta E.N., Gerasimov M.V., Zaitsev M.A., Shcherbakov V.D., Ryazantsev K.M., and Krashennnikov S.P. (2020) Experimental Modeling of a Micrometeorite Impact on the Moon. *GEOCHEMISTRY INTERNATIONAL*. V. 58, No 2, P. 113–127. [DOI: 10.1134/S0016702920020111](https://doi.org/10.1134/S0016702920020111), (**PHФ № 17-17-01279**), **Impact factor: 0.688, Q4**
38. Sorokin E.M., Yakovlev O.I., Slyuta E.N., Gerasimov M.V., Zaitsev M.A., Shcherbakov V.D., Ryazantsev K.M. & Krashennnikov S.P. (2020) Experimental Model of the Formation of Nanophase Metallic Iron in the Lunar Regolith. *DOKLADY EARTH SCIENCES*. V. 492. Part 2. P. 431–433, [DOI: 10.1134/S1028334X20060203](https://doi.org/10.1134/S1028334X20060203), **Impact factor: 0.594, Q4**
39. Stcherbinine, A., Vincendon, M., Montmessin, F., Wolff, M. J., Korablev, O., Fedorova, A., et al. (2020). Martian water ice clouds during the 2018 global dust storm as observed by the ACS mid-infrared channel onboard the Trace Gas Orbiter. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: PLANETS*, 125, e2019JE006300. <https://doi.org/10.1029/2019JE006300>, **Impact factor: 3.72, Q1**

40. Tishkovets Victor P. and Petrova Elena V.. An algorithm and codes for fast computations of the opposition effects in a semi-infinite discrete random medium. JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY AND RADIATIVE TRANSFER 2020, 255,107252. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107252>, **Impact factor: 3.047, Q1**
41. Tishkovets Victor P. and Petrova Elena V.. Spectra of light reflected by aggregate structures of submicron particles. JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY AND RADIATIVE TRANSFER 2020, 252, 107116. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107116>, **Impact factor: 3.047, Q1**
42. Trokhimovskiy A., V. Perevalov, O. Korablev, A. F. Fedorova, K. S. Olsen, J.-L. Bertaux, A. Patrakeev, A. Shakun, F. Montmessin, F. Lefèvre and A. Lukashevskaya. First observation of the magnetic dipole CO<sub>2</sub> absorption band at 3.3 μm in the atmosphere of Mars by the ExoMars Trace Gas Orbiter ACS instrument, ASTRONOMY&ASTROPHYSICS, 639 (2020) A142, DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038134> (**PHΦ 20-42-09035**), **Impact factor: 5.636, Q1**
43. Valyavin, GG; Musaev, FA; Perkov, AV; Aitov, VN; Bychkov, VD; Drabek, SV; Shergin, VS; Sazonenko, DA; Kukushkin, DE; Galazutdinov, GA; Emelyanov, EV; Yakopov, GV; Burlakova, TE; Bertaux, JL; **Tavrov, AV; Korablev, OI**; Yushkin, MV; Valeev, AF; Gadelshin, DR; Kim, KM; Han, IW; Lee, BC. High-Resolution Fiber-Fed Spectrograph for the 6-m Telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences: Assessment of Efficiency. ASTROPHYSICAL BULLETIN, Том: 75 , Выпуск: 2 , Стр.: 191-197 , APR 2020 , DOI: [10.1134/S1990341320020157](https://doi.org/10.1134/S1990341320020157),(**PHΦ 14-5000043, РФФИ 18-29-21030**), **Impact factor: 1.191, Q4**
44. Zakharov A.V., L.M. Zelenyi, S.I.Popel, Lunar Dust: Properties and Potential Hazards. SOLAR SYSTEM RESEARCH, 2020, Vol. 54, No. 6, pp. 455–476. DOI: [10.1134/S0038094620060076](https://doi.org/10.1134/S0038094620060076), **Impact factor: 0.756, Q4**
45. Zakharov A.V., L.M. Zelenyi, S.I.Popel, Lunar Dust: Properties and Potential Hazards. SOLAR SYSTEM RESEARCH, 2020, Vol. 54, No. 6, pp. 455–476. 2020. DOI: [10.1134/S0038094620060076](https://doi.org/10.1134/S0038094620060076), **Impact factor: 0.756, Q4**
46. Zelenyi L. M., S. I. Popel, and A. V. Zakharov. Dusty Plasma at the Moon. Challenges of Modeling and Measurements. PLASMA PHYSICS REPORTS, 2020, Vol. 46, No. 5, pp. 527–540, DOI: [10.1134/S1063780X20050104](https://doi.org/10.1134/S1063780X20050104), **Impact factor: 0.832, Q3**
47. **Zenevich, Sergei; Gazizov, Iskander**; Churbanov, Dmitry; **Spiridonov, Maxim ; Rodin, Alexander**. Improvement of dark signal evaluation and signal-to-noise ratio of multichannel receivers in NIR heterodyne spectroscopy application for simultaneous CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> atmospheric measurements. OSA CONTINUUM , JUL 15 2020 , Том: 3, Выпуск: 7, Стр.: 1801-1810, DOI: [10.1364/OSAC.395094](https://doi.org/10.1364/OSAC.395094), **Impact factor: 2.5**



## Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:

1. Ананьева В. И., А. Е. Иванова, А. А. Векстерн, А. В. Тавров, О. И. Кораблев, Ж.-Л. Берто, Распределение экзопланет по массам в зависимости от спектрального класса родительских звезд, АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 2020, том 54, № 3, с. 195–207. DOI: [10.31857/S0320930X20030019](https://doi.org/10.31857/S0320930X20030019), Impact factor: **1.412**
2. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А. Алгоритм начального определения по звёздным конфигурациям не требующий перебора. Вариант реализации. ГИРОСКОПИЯ И НАВИГАЦИЯ, (*Принята в печать*).
3. Захаров А.В., Л.М. Зеленый, С.И. Попель, Лунная пыль: свойства, потенциальная опасность, АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 2020, 54, №6, 1-24. DOI: [10.31857/S0320930X20060079](https://doi.org/10.31857/S0320930X20060079), Impact factor: **1.412**
4. Зеленый Л.М., Попель С.И., Захаров А.В. Пылевая плазма на Луне. Проблемы моделирования и измерений. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, 2020, т.46, №5, стр. 441-455. DOI: [10.31857/S0367292120050108](https://doi.org/10.31857/S0367292120050108), Impact factor: **1.014**
5. Иванова А.Е., О.Я. Яковлев, В.И. Ананьева, И. А. Шашкова, А.В. Тавров, О.И. Кораблев, Ж.-Л. Берто, Метод регуляризации данных при помощи «окна видимости» для учета наблюдательной селекции в статистике экзопланет, открытых методом лучевых скоростей, ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, том 47, № 1, 2021 г. (*Принята в печать*) Impact factor: **1.412**
6. Кораблев. Российские исследования планетных атмосфер в 2015-2018гг. ИЗВЕСТИЯ РАН. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА. 2020, Т.56, №2, стр.158-169, DOI: [10.31857/S0002351520020066](https://doi.org/10.31857/S0002351520020066), Impact factor: **1.916**
7. Котцов В.А., Котцов П.В. Оперативное определение изменений наблюдаемой сцены логическим вычитанием цифровых изображений. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, №1, 2020. С. 49-52
8. Ксанфомалити. Некоторые свойства кометы хейла-боппа (по наблюдениям 1995-1998 гг.). АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, том:54, №2, 2020. DOI: [10.31857/S0320930X2002005X](https://doi.org/10.31857/S0320930X2002005X), Impact factor: **1.412**
9. Попель С.И., А.П. Голубь, А.В. Захаров, Л.М. Зеленый. "Формирование микросферул лунного реголита в инициированных ударами метеороидов плазменно-пылевых процессах". ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, 2020. т. 46. № 3, стр. 1-8 DOI: [10.31857/S0367292120030105](https://doi.org/10.31857/S0367292120030105), Impact factor: **1.014**
10. Попель С.И., А.П. Голубь, Г.Г. Дольников, А.В. Захаров, А.А. Карташева. Потоки пылевых частиц в системе Марса. ПИСЬМА В ЖТФ, 2020, том 46, вып. 16, 32-34. Doi: [10.21883/PJTF.2020.16.49851.18264](https://doi.org/10.21883/PJTF.2020.16.49851.18264), Impact factor: **1.399**
11. Сорокин Е.М., Яковлев О.И., Слюта Е.Н., Герасимов М.В., Зайцев М.А., Щербаков В.Д., Рязанцев К.М., Крашенинников С.П. (2020) Экспериментальная модель образования нанофазного металлического железа в лунном реголите. ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. Т. 492. № 2. С. 49-52. DOI: [10.31857/S2686739720060201](https://doi.org/10.31857/S2686739720060201), Impact factor: **0.594**
12. Сорокин Е.М., Яковлев О.И., Слюта Е.Н., Герасимов М.В., Зайцев М.А., Щербаков В.Д., Рязанцев К.М., Крашенинников С.П. (2020) Экспериментальное моделирование микрометеоритного удара на Луне. ГЕОХИМИЯ. Т. 65. № 2. С. 107-122. DOI: [10.31857/S0016752520020119](https://doi.org/10.31857/S0016752520020119) (грант РНФ № 17-17-01279), Impact factor: **1.607**
13. Федотова, М. А., & Петросян, А. С. (2020). Волновые процессы во вращающихся сжимаемых течениях астрофизической плазмы с устойчивой стратификацией, ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ, 158(6), 1188. DOI: [10.31857/S0044451020120172](https://doi.org/10.31857/S0044451020120172), Impact factor: **0.931**
14. Чумиков А.Е., Чепцов В.С., Манагадзе Н.Г. Точность анализа элементного изотопного состава реголита методом лазерной времяпролетной масс-

- спектрометрии в ходе планируемых миссий Луна-Глоб и Луна-Ресурс-1. АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, том:54, №4, 2020. DOI: [10.31857/S0320930X20030020](https://doi.org/10.31857/S0320930X20030020), **Impact factor: 1.412**
15. Юдаев А. В., Яковлев О. Я., Киселев А. В., Барке В. В., Венкстерн А. А., Шашкова И. А., Тавров А. В., Тестирование звездного интерференционного коронографа в составе наземного телескопа, АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 2021г (*Принята в печать*), **Impact factor: 1.412**
  16. Яковлев О., А. Иванова, В. Ананьева, И. Шашкова, А. Юдаев, О. Кораблев, Ж.-Л. Берто, А. Тавров, Распределение транзитных экзопланет по массе с использованием зависимостей масса-радиус. Структурирование внутри планетных систем, АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, (*Принята в печать*). **Impact factor: 1.412**

### Статьи в сборниках материалов конференций:

1. Беляев и др., 2020. Водяной пар в верхней мезосфере Марса по данным солнечного просвечивания ACS-MIR. XVIII Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", секция Дистанционное зондирование планет Солнечной системы, XVIII.Р.517, стр. 265 (2020). <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=174&thesis=8361>. (РНФ №20-42-09035).
2. Евдокимова Д. Г., Беляев Д.А., Монтмессан Ф., Кораблев О.И., Берто Ж.-Л., Вердье Л., Lefevre F., Марк Э. Наблюдения озона и диоксида серы в ночной атмосфере Венеры в диапазоне 85-105 км по данным СПИКАВ-УФ/"Венера-Экспресс". XVIII Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 16–20 ноября 2020 г., ИКИ РАН, Москва. <http://conf.rse.geosmis.ru/>
3. Жарикова М.С., Федорова А.А., Lefevre F., Montmessin F., Кораблев О.И., Lacombe G., Bertaux J.-L.: Вариации ночного свечения O<sub>2</sub> в атмосфере Марса по данным эксперимента SPICAM/MEX, Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, 16 – 20 ноября 2020 г., XVIII.Р.509 <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=174>
4. Котцов В.А. Неожиданные проблемы и решения в приборах, создаваемых совместно с зарубежными партнерами. Сборник докладов конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2020). (Номер регистрации 59 по секции «Пленарное».) 2020
5. Ломакин А. А., Федорова А.А., Montmessin F., Кораблев О.И.: Восстановление параметров льда на полярных шапках Марса по данным ИК-наблюдений SPICAM/MEX, Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, 16 – 20 ноября 2020 г., XVIII.Р.562, <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=174>
6. Федорова А.А., Montmessin F., Кораблев О.И., Lefevre F., Трохимовский А.Ю., Bertaux J.-L., Многолетний мониторинг вертикального распределения водяного пара на Марсе по данным СПИКАМ на КА Марс-Экспресс, Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16 - 20 ноября 2020 г. Москва, ИКИ РАН, XVIII.Р.479

### Доклады, тезисы, циркуляры:

1. Belyaev et al., 2020. Mesospheric/Thermospheric temperatures and high altitude water on Mars in the MY34. Europlanet Science Congress 2020, EPSC Abstracts, Vol.14, EPSC2020-980, 2020. <https://doi.org/10.5194/epsc2020-980> (PHФ №20-42-09035).
2. Belyaev et al., 2020. Temperature and CO<sub>2</sub> density distribution in Mars upper atmosphere from the ACS-MIR / TGO solar occultations at 2.7 μm absorption band. EGU General Assembly 2020, EGU2020-18371, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-18371>, 2020. (PHФ №20-42-09035).
3. Belyaev et al., 2020. Upper mesospheric water on Mars as measured by ACS TGO solar occultations, The 11th Moscow Solar System Symposium 2020, Abstract book, 11MS3-MS-15, p. 40 (2020). [https://ms2020.cosmos.ru/docs/Abstract\\_book\\_full\\_version\\_05.pdf](https://ms2020.cosmos.ru/docs/Abstract_book_full_version_05.pdf). (PHФ №20-42-09035).
4. Busarev V.V., E.V. Petrova, M.P. Shcherbina, N.P. Ikonnikova, M.A. Burlak, A.A. Belinski. Interstellar comet 2IBorisov: The dust composition estimation. The Eleventh Moscow International Solar System Symposium (11M-S3), October 5-9, 2020. Abstract No. 11MS3- SB-08. [https://ms2020.cosmos.ru/docs/Abstract\\_book\\_full\\_version\\_05.pdf](https://ms2020.cosmos.ru/docs/Abstract_book_full_version_05.pdf)
5. Busarev V.V., L.F. Golubeva, E.V. Petrova, D.I. Shestopalov. Variability of the reflectance spectra of (1) Ceres and solar activity. The Eleventh Moscow International Solar System Symposium (11M-S3), October 5-9, 2020. Abstract No. 11MS3- SB-09
6. Fedorova Anna, Franck Montmessin, Oleg Korablev, Franck Lefevre, Gaetan Lacombe, and Jean-Loup Bertaux, Multi-annual monitoring of the water vapor vertical distribution on Mars by SPICAM on Mars Express, EPSC Abstracts, Vol.14, EPSC2020-742, 2020, <https://doi.org/10.5194/epsc2020-742>, Europlanet Science Congress 2020
7. Lomakin, A., Fedorova, A., Berdis, J., Korablev, O. and Montmessin, F.: CO<sub>2</sub> ice grain size retrievals from SPICAM IR/MEX spectra, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-16604, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-16604>, 2020
8. Meshcherinov V.V., M.V. Spiridonov, V.A. Kazakov, I.S. Gazizov, Lidar infrared remote monitoring of atmosphere anthropogenic pollution. 19th International Conference Laser Optics ICLO 2020, presentation # ThR8-p47, November 2-6, 2020, Saint Petersburg, Russia.
9. Starichenko E. et al., 2020. Characterization of the atmospheric gravity waves on Mars at altitudes 10-180 km as measured by the ACS/TGO solar occultations. EGU General Assembly 2020. EGU2020-18609, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-18609>, 2020. (PHФ №20-42-09035).
10. Starichenko E. et al., 2020. Gravity wave activity in the martian atmosphere at altitudes 10–160 km from ACS/TGO solar occultations .The 11th Moscow Solar System Symposium/ Abstract book, 11MS3-MS-PS-02, p. 67. doi: 10.21046/11MS3-2020. (PHФ №20-42-09035).
11. Vinogradov I. , A. Rodin, M. Spiridonov, M-DLS team: V. Barke, A. Budovaya, I. Gazizov, I. Golovnin, V. Kazakov, T. Kozlova, Yu. Lebedev, S. Malashevich, V. Meshcherinov, A. Nosov, O. Roste, A. Venkstern, S. Zenevich, M. Ghysels-Dubois, G. Durry, Martian multichannel diode laser spectrometer experiment: M-DLS instrument design, fabrication and calibration for the ExoMars-2020 mission. 43rd COSPAR Scientific Assembly, scheduled oral presentation # B0.6-0005-21, 28 January – 4 February, 2021, Sydney, Australia.
12. Vinogradov I. , V. Barke, A. Budovaya, I. Gazizov, I. Golovnin, V. Kazakov, T. Kozlova, Yu. Lebedev, S. Malashevich, V. Meshcherinov, A. Nosov, A. Rodin, O. Roste, M. Spiridonov, E. Tepteeva, A. Venkstern, S. Zenevich, M. Ghysels-Dubois, G. Durry, L. Bizien, Martian multichannel diode laser spectrometer experiment for the ExoMars-2022 lander mission: M-DLS instrument fabrication and laboratory calibration results.

- The eleventh Moscow Solar System Symposium 11M-S3, presentation # 11MS3- MS-PS-11, October 5-9, 2020, IKI RAS, Moscow, Russia. ISBN- 978-5-00015-050-4. DOI: [0.21046/11MS3-2020](https://doi.org/10.21046/11MS3-2020).
13. Vinogradov I., V. Barke, I. Gazizov, V. Kazakov, T. Kozlova, Yu. Lebedev, V. Meshcherinov, A. Nosov, A. Rodin, O. Roste, M. Spiridonov, A. Stepanov, E. Tepteeva, A. Venkstern, S. Zenevich, M. Ghysels-Dubois, G. Durry, L. Bizien. // Diode laser spectroscopy sensor DLS-L of the GC-L instrument for the Luna-Resource (Luna-27) mission: scientific targets, design options and future perspectives. // The eleventh Moscow Solar System symposium, 2020, Moscow.
  14. Vinogradov I.I. , V.V. Barke, I.Sh. Gazizov, I.V. Golovnin, V.A. Kazakov, T.O. Kozlova, Yu.V. Lebedev, S.V. Malashevich, V.V. Meshcherinov, A.V. Nosov, A.V. Rodin, O.Z. Roste, M.V. Spiridonov, A.A. Venkstern, S.G. Zenevich, J. Cousin, G. Durry, M. Ghysels-Dubois, Diode laser spectroscopy instrument M-DLS for in situ study of atmosphere near the Martian surface: design, assembly, alignment and calibration. 19th International Conference Laser Optics ICLO 2020, presentation # WeR6-02, November 2-6, 2020, Saint Petersburg, Russia.
  15. Zaitsev M.A., Gerasimov M.V. On the formation and transformation of organic matter in the Solar system. In: The Eleventh Moscow Solar System Symposium (11M-S<sup>3</sup>). IKI RAS, Moscow, 5-9 October, 2020, Abs. # 11MS3-AB-02 (ORAL).
  16. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А. Компактное представление разреженной видеоинформации на примере бортового каталога звездного датчика ориентации. Сборник тезисов конференции Техническое зрение в системах управления – 2020
  17. Жарикова М.С., Федорова А.А., Lefevre F., Montmessin F., Кораблев О.И., Lacombe G., Bertaux J.-L.: Картирование и межгодовые вариации ночного свечения O<sub>2</sub> в атмосфере Марса по данным прибора SPICAM/MEX за пять марсианских лет, XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования". 30 сентября - 2 октября 2020 г., ИКИ РАН, Сборник тезисов докладов, стр. 75 [https://kmu.cosmos.ru/docs/2020/Tezisi\\_KMU\\_end\\_01.pdf](https://kmu.cosmos.ru/docs/2020/Tezisi_KMU_end_01.pdf)
  18. Золотарев В.В., Котцов В.А. Алгебраический подход к восстановлению изображения получаемого с ошибками в системах технического зрения. Сборник тезисов конференции Техническое зрение в системах управления – 2020
  19. Ломакин А.А., Федорова А.А., Бердис Д., Кораблев О. И., Монтмессан Ф.: Сравнение разных моделей отражательной способности снега для Марсианских условий, XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования". 30 сентября - 2 октября 2020 г., ИКИ РАН, Сборник тезисов докладов, стр. 87, [https://kmu.cosmos.ru/docs/2020/Tezisi\\_KMU\\_end\\_01.pdf](https://kmu.cosmos.ru/docs/2020/Tezisi_KMU_end_01.pdf)

### **Другие издания:**

1. Патент РФ № RU 2730405 С1 Марсианский многоканальный диодно-лазерный спектрометр "М-ДЛС". Заявка: 2019121487, 09.07.2019. Регистрация: 21.08.2020. Авторы: Барке В.В., Виноградов И.И., Климчук А.Ю., Лебедев Ю.В. (ИКИ РАН); Зеневич С.Г., Родин А.В., Семенов В.М. (МФТИ); Спиридонов М.В. (ИОФ РАН им. А.М.Прохорова). Патентообладатель: Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по космической деятельности "Роскосмос".
2. Барке В.В., Венкстерн А.А., Котцов В.А. Способ определения ориентации по изображениям участков звездного неба. Заявка на получение патента. 2020
3. Котцов В.А. Способ умножения чисел в позиционном коде. Заявка на получение патента. 2020