

НАПРАВЛЕНИЕ 5: АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТ ПЛАНЕТ*Координаторы: О.И. Кораблев (ИКИ), В.И. Шематович (ИНАСАН)*

5.1.	ПРОЕКТ 5.1. АТМОСФЕРА МАРСА		
	Тема 5.1.1. Исследование динамики и основных атмосферных циклов	ИКИ РАН	Кораблев О.И. Фёдорова А.А
	Тема 5.1.2. Разработка мезомасштабной модели нижней тропосферы	ИКИ РАН	Петросян А.С.
	Тема 5.1.3. Исследование процессов выноса аэрозоля с поверхности	ИФА РАН	Чхетиани О.Г.
5.2	ПРОЕКТ 5.2. АТМОСФЕРА ВЕНЕРЫ		
	Тема 5.2.1. Исследование структуры, состава и динамики атмосферы	ИКИ РАН	Засова Л.В.
	Тема 5.2.2. Распределение малых составляющих в мезосфере	ИКИ РАН	Беляев Д.А.
5.3	ПРОЕКТ 5.3. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ		
	Тема 5.3.1. Сравнительный анализ горячих корон планет земной группы	ИНАСАН	Шематович В.И.
	Тема 5.3.2. Электрическое динамо в атмосферах планет Солнечной системы	ИПФ РАН	Мареев Е.А.
	Тема 5.3.3. Модели общей циркуляции атмосфер Венеры и Титана.	ПГИ КНЦ РАН	Мингалев И.В.
	Тема 5.3.4. Волновые процессы в атмосферах планет земной группы по радиозатменным данным	ФИРЭ РАН	Губенко В.Н.
	Тема 5.3.5. Воздействие на атмосферы и климат солнечных вспышек, КЛ и космической пыли	ФТИ РАН	Павлов А.К.
	Тема 5.3.6. Оценки возраста атмосферы. Эволюция потоков летучих из мантии в атмосферу и обратно	ГИ КНЦ РАН	Толстихин И.Н.
5.4	ПРОЕКТ 5.4. СПЕКТРОСКОПИЯ		
	Тема 5.4.1. Кинетика электронно-возбужденных молекул в атмосферах Венеры и Марса	ПГИ КНЦ РАН	Кириллов А.С.
	Тема 5.4.2. Моделирование спектров молекулярных пар и ассоциаций молекул	ИФА РАН	Вигасин А.А.
	Тема 5.4.3. Создание спектроскопической базы данных NO ₂ , исследование спектров и уширения молекул CO ₂ , CO, SO ₂	ИОА СО РАН	Перевалов В.И. Пономарев Ю.Н.
	Проектов 4, Тем 13		

ПРОЕКТ 5.1. АТМОСФЕРА МАРСА (ИФА РАН, ИКИ РАН)

Исследование динамики и основных атмосферных циклов. Разработка мезомасштабной модели нижней тропосферы. Исследование процессов выноса аэрозоля с поверхности.

5.1.1 Исследование водяного и пылевого циклов Марса по данным наблюдений Марс-Экспресс (А.А. Федорова)

5 марсианских лет непрерывного наблюдения водяного пара в атмосфере Марса. Начиная с 2004 года спектрометр СПИКАМ ИК проводит непрерывные наблюдения водяного пара в атмосфере Марса по полосе 1.38-мкм. В работе представлено интегральное содержание водяного пара в период времени с 2004 по 2013 (марсианские годы 27-31) на сетке 2° Ls x 2° широты, а также средняя карта содержания водяного пара, усредненная за все годы наблюдения Марс-Экспресс. Восстановленные значения концентрации H_2O показывают номинальный годовой цикл около 60-70 осаж.мкм для северного лета и ~ 20 осаж. мкм для южного лета. Среднегодовое содержание воды оценивается от 10 до 20 осаж.мкм в согласие с другими экспериментами. Из года в год сезонный цикл показал высокую стабильность. Наблюдаемое уменьшение количества водяного пара во время глобальной пылевой бури MY 28 нельзя полностью объяснить маскирующим влиянием пыли на наблюдения, что указывает на действительное уменьшение количества воды около или над поверхностью. Суточных вариаций в интегральном содержании воды в атмосфере найдено не было, хотя полоса 1.38- μ m чувствительна к количеству воды в нижней шкале высот атмосферы.

Многолетние наблюдения дневного свечения $O_2(a^1\Delta_g)$ в атмосфере Марса по данным СПИКАМ. На основе данных надирных наблюдений SPICAM-IR свечения молекулярного кислорода $O_2(a^1\Delta_g)$ в полосе 1.27 мкм за 6 марсианских лет с 2004 по 2014 г. проведено исследование по поиску его межгодовых вариаций. При этом использованы данные общей циркуляции атмосферы Марса для устранения ложных вариаций, связанных с разным местным временем проведения наблюдений в разные марсианские годы. Выявлены участки максимальных межгодовых вариаций. Например, в Южном полушарии в сезон Ls = 280-320 $^\circ$ относительное отклонение свечения O_2 от среднего составляет 80%. Сравнение с данными по распределению водяного пара подтверждает теорию об антикорреляции свечения кислорода и концентрации воды в атмосфере Марса. Получен коэффициент столкновительной дезактивации возбужденного состояния $O_2(a^1\Delta_g)$ углекислым газом, равный $(0.75 \pm 0.5) \times 10^{-20}$ см/молек/сек.

Исследование вертикального распределения пыли и водяного пара в атмосфере Марса по наблюдениям под разными фазовыми углами на «Марс-Экспресс». Ведется работа по обработке EPF (emission phase function) наблюдений прибора SPICAM. Данные измерения позволяют исследовать как свойства атмосферного аэрозоля и малых составляющих, так и их вертикальное распределение. Для анализа используются полосы поглощения углекислого газа 1.43 мкм и водяного пара 1.38 мкм. Глубина первой определяется свойствами и распределением аэрозоля в атмосфере, и по наблюдениям под многими фазовыми углами эти параметры могут быть фитированны. Данная работа проведена для наблюдений 27-го марсианского года. Полоса поглощения водяного пара определяется помимо аэрозоля собственно содержанием и вертикальным распределением воды. На низких высотах это распределение плохо изучено и обычно считается постоянным с высотой до уровня насыщения.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. Fedorova A., F. Montmessin, A.V. Rodin, O.I. Korablev, A. Määttänen, L. Maltagliati, J.-L. Bertaux Evidence for a bimodal size distribution for the suspended aerosol particles on Mars, *Icarus*, Volume 231, 239–260, 2014.
2. Guslyakova S., A. A. Fedorova, F. Lefèvre, O. I. Korablev, F. Montmessin, J.-L. Bertaux, O₂(a1Δg) dayglow limb observations on Mars by SPICAM IR on Mars-Express and connection to water vapor distribution, *Icarus*, Volume 239, Pages 131–140, 2014.
3. Trokhimovskiy, A., A.A. Fedorova, O.I. Korablev, F. Montmessin, J.-L. Bertaux, A. Rodin, M.D. Smith. Mars' water vapor mapping by the SPICAM IR spectrometer: Five martian years of observations *Icarus*, in press, 2014, doi: 10.1016/j.icarus.2014.10.007

1 доклад на российской и 2 доклада на международных конференциях.

Руководитель темы: зав.лаб. к.ф.-м.н. Федорова А.А. ИКИ РАН, fedorova@iki.rssi.ru

Состав группы: Гусякова С.А., Трохимовский А.Ю., Дзюбан И.А.

5.1.2 Разработка мезомасштабной модели нижней тропосферы (А.С. Петросян)

Предложен алгоритм для изучения явлений в планетных атмосферах на неровной границе. Метод основан на представлении произвольной границы ступенчатой поверхностью и использовании традиционного метода Годунова в областях однородной горизонтальной поверхности и специальным способом расчеты потоковых величин в областях примыкающих к вертикальным особенностям рельефа дна. Расчет соответствующих потоков ведется на основе квазидвухслойной модели мелкой воды, являющейся уточнением классической однослойной модели по отношению к исходной

системе уравнений Эйлера. Предложенный численный метод позволяет вести расчет гидродинамических течений тяжелой невязкой жидкости со свободной поверхностью над произвольным профилем дна. Метод обеспечивает единообразие построения решения как в областях со сложной геометрией подстилающей поверхности, так и в областях ровного дна, экономичность при работе с большими расчетными областями по пространству, учет диссипации поступательной кинетической энергии у ступеньки и возможность добавления разнообразных стоков, массовых источников, трения.

Предложена конечно-разностная модель, позволяющая описать силу Кориолиса в численных методах годуновского типа для мезомасштабных течений вращающейся мелкой воды. На основе предложенного представления разработан конечно-объемный алгоритм, как для ровной границы, так и для границы произвольного вида. Метод основан на представлении произвольной подстилающей поверхности и силы Кориолиса комплексной нестационарной ступенчатой границей. Предложенное представление адекватно описывает особенности нелинейных процессов, вызванные силой Кориолиса в численных методах годуновского типа, поскольку корректно отражает нелинейную структуру течений вблизи особенностей, возникающих после дискретизации эффективной границы. Выявлено основное преимущество предлагаемого метода, позволяющее точнее описывать трансверсальную составляющую вектора скорости и тем самым минимизировать погрешность вычислений, индуцированных существенной двумерностью постановок задач для вращающейся жидкости. Работоспособность мезомасштабной модели подтверждена проведенным численным экспериментом по моделированию классической задачи геострофической адаптации планетной атмосферы, известной как задача Россби, и расчетом вращающейся планетной атмосферы над подстилающей поверхностью параболического профиля.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. K.V. Karelsky, A.S. Petrosyan, A.G. Slavin Quasi-two-layer finite-volume scheme for modeling shallow water flows over an arbitrary bed in the presence of external force. I. Algorithm development and validation. // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modeling, V.29, N.1, P.25-46, 2014
2. K.V. Karelsky, A.S. Petrosyan, A.G. Slavin Quasi-two-layer finite-volume scheme for modeling shallow water flows over an arbitrary bed in the presence of external force. II. Algorithm applications and numerical results. // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modeling, V.29, N.3, P.179-195, 2014

3. А.А. Чернышов, К.В. Карельский, А.С. Петросян, Подсеточное моделирование для исследования сжимаемой магнитогидродинамической турбулентности космической плазмы, Успехи физических наук, том 184, выпуск 5, стр. 457-492, 2014

4. Karelsky K.V., Petrosyan A.S., Tarasevich S.V., Nonlinear dynamics of magnetohydrodynamic flows of heavy fluid on slope in shallow water approximation, Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики, том 146, вып. 2, стр. 352-367, 2014

Руководитель темы: д.ф.м.н., проф. Петросян А.С. ИКИ РАН, apetrosy@iki.rssi.ru

Состав группы: К.В. Карельский, Климачков Д.А., Сафонов С.И., Тарасевич С.В., ИКИ РАН

5.1.3 Исследование выноса аэрозоля с поверхности (*Чхетиани О.Г., ИФА РАН*)

1. Предложена модель, которая объясняет функциональную зависимость плотности вертикального потока массы песка (пыли) Q в конвективном пограничном слое атмосферы от плотности числа конвективных элементов (включая вихри) N , скорости трения u_* и вертикального (турбулентного) потока плавучести B . Показано, что поток Q пропорционален произведению корня квадратного из B на шестую степень u_* . Этот результат не противоречит приведенным в литературе эмпирически найденным зависимостям $Q(u_*)$. Обсуждаются два метода экспериментального определения плотности N , когда вертикальный вынос пыли в основном определяется (земными и марсианскими) пыльными вихрями. Первый метод основан на оптических наблюдениях за пыльными вихрями, производимых из некоторой точки на поверхности, подобно тому, как наблюдались навигационной камерой Mars Exploration Rover (MER) Spirit пыльные вихри в кратере Гусева на Марсе. Используется, что число n наблюдаемых вихрей с видимым угловым диаметром бóльшим, чем заданный угол α удовлетворительно описывается зависимостью $n \propto \alpha^{-4/3}$, а не $n \propto \alpha^{-2}$, как следовало бы ожидать из геометрических соображений (Kurgansky M.V., 2012: Statistical distribution of atmospheric dust devils. *Icarus*, **219**, 556-560). Это связано с тем, что вихри с меньшим диаметром обладают меньшей оптической толщиной и потому оптически менее контрастны, в то время как разрешающая способность прибора обратно пропорциональна контрастности объекта. Эта методика применена для независимой оценки плотности вихрей N в районе кратера Гусева и выноса ими пыли в марсианскую атмосферу. Второй метод в принципе позволяет оценить как плотность распределения числа вихрей N , так и истинную плотность вероятности распределения диаметров вихрей $p(D)$. Для набора метеостанций,

установленных на поверхности поперек господствующего ветра, дана формула, связывающая количество вихрей n , зафиксированных датчиками за определенный период времени, с плотностью числа вихрей N и их средним размером. Эта формула применена для апостериорной оценки плотности вихрей N и выноса ими пыли в атмосферу в пустыне Мохаве в Калифорнии.

2. Проведена систематизация результатов полевых измерений аэрозоля, в степных районах Ростовской области и в полупустынных районах Прикаспийской низменности (в Республике Калмыкия) в летний период в 2007-2013 гг. В дневные часы в жаркую сухую погоду наблюдается интенсивный конвективный подъем субмикронного аэрозоля с песчаных массивов и сухих суглинистых почв. При слабом ветре поток субмикронного аэрозоля растёт пропорционально градиенту температуры в приповерхностном слое воздуха. С увеличением скорости ветра, когда начинается вынос более крупных фракций аэрозоля, поток уменьшается. Для частиц размера 2-15 мкм показатель наклона спектра распределения частиц по размерам близок к значениям -3 , что близко к предлагаемой в последнее время концепции дробления частиц Д. Кокса. В то же время для субмикронных частиц (<1 мкм) значения наклона спектра распределения близки к значениям -5 ÷ -6 . Приведены расчеты величины конвективного потока аэрозоля в атмосферу в дневные часы при слабом ветре и при отсутствии сальтации для данных 2009-2011, 2013 годов. Рассмотрена связь эмиссии аэрозоля с параметрами статистической устойчивости атмосферного пограничного слоя. Наблюдается повторяемость значений массовой концентрации за 2007-2013 гг. Массовая концентрация в различные периоды наблюдений составила от нескольких десятков до нескольких сотен мг/м^3 . Предлагаются оценки возможных потоков для условий Марса. Результаты исследований предполагается использовать для учета несальтационного подъема аэрозоля в мезомасштабных атмосферных моделях. В 2014 г. проведены экспедиционные измерения выноса аэрозоля и его вертикальных профилей на основе новых оптических счетчиков. Начата подготовка лабораторного эксперимента по исследованию механизмов конвективного подъема пыли.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. М.В.Курганский *О вертикальном выносе пыли в конвективно-неустойчивом пограничном слое атмосферы*, Известия академии наук, Физика атмосферы и океана, 2014, Т. 50, № 4, с. 383-389.

1 доклад на EGU и 1 на российской конференции.

Руководитель темы: Чхетиани Отто Гурамович, заведующий лабораторией, доктор физ.-мат. наук, Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, e-мейл: ochkhetai@rssi.ru

Состав группы: Курганский Михаил Васильевич, доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН

ПРОЕКТ 5.2. АТМОСФЕРА ВЕНЕРЫ

Исследование структуры, состава и динамики атмосферы. Изучение распределения малых составляющих в мезосфере

5.2.1 Исследование структуры, состава и динамики атмосферы (Л.В.Засова, ИКИ РАН)

Исследование надоблачной дымки по данным лимбовых наблюдений на ночной стороне Венеры в эксперименте VIRTIS на КА VenusExpress. Излучение, наблюдаемое на ночной стороне Венеры в окнах прозрачности между сильными полосами поглощения углекислого газа, рассеивается облаками Венеры, и таким образом, оказывается возможным восстановление плотности аэрозольных частиц верхней части облачного слоя и надоблачной дымки по лимбовым наблюдениям. Разработан метод восстановления плотности аэрозольных частиц в интервале высот 80-90 км по измерениям в окнах прозрачности 1.1, 1.18, 1.74 и 2.3 мкм. Для всех имеющихся лимбовых сеансов измерений, выполненных картирующим спектрометром VIRTIS на КА Venus Express (89 сеансов с 44 орбит), усредненных с шагом 5 градусов по широте, восстановлены профили логарифма плотности аэрозольных частиц при априорном предположении о распределении по размерам, соответствующем субмикронным частицам ("мода 1") и микронным частицам ("мода 2"). Так, например, величина коэффициента полного ослабления на высоте 85 км находится в интервале (3σ) от 10^{-4} до 10^{-2} км⁻¹ при средней величине $\approx 10^{-3}$ км⁻¹. Эквивалентная средняя плотность аэрозольных частиц моды 2 на высоте 85 км составляет ≈ 0.1 см⁻³, а субмикронных частиц ≈ 10 см⁻³, что согласуется с результатами измерений методом солнечных затмений в эксперименте SPICAV/SOIR. Плотность дымки подвержена вариациям (\pm) на порядок величины, при этом она снижается в высоких широтах и меньше на утренней стороне, чем на ночной, что объясняется фотохимическим образованием сернокислотной дымки в дневное время.

Гравитационные волны в верхней атмосфере Венеры, моделирование на основе данных эксперимента ВИРТИС на Венере Экспресс. Обнаружены гравитационные волны в переходной области 95-105 км, где происходит смена режима циркуляции атмосферы:

зональная суперротация в мезосфере и поток от подсолнечной точки к антисолнечной в термосфере. Было показано, что наблюдавшиеся двойные пики в вертикальных профилях ночного свечения O₂ 1.27 мкм на высоте 95- 105 км являются следствием действия гравитационных волн. Для моделирования использовалась теория, применявшаяся для изучения флуктуаций плотности в земной атмосфере, вызванных распространением ГВ. В результате получены параметры гравитационных волн, которые могли бы объяснить наблюдаемые вертикальные профили свечения O₂, состоящих из двух пиков: вертикальная длина волны и амплитуда составляют соответственно 7 – 16 км и 3-14%

Свечение O₂ 1.27 мкм на ночной стороне Венеры. Метод восстановления абсолютной интенсивности свечения по надирным измерениям ВИРТИС-М. Описан метод восстановления абсолютной интенсивности свечения O₂ по надирным спектрам ВИРТИС. Показано, что не учет высоты поверхности приводит к артефактам в поле свечения O₂. Полученные глобальные карты свечения O₂ по 718 орбитам показывают распределения свечения более сложное, отличное от приведенных ранее (Piccioni et al., 2009, Gerard et al. 2009). Максимальное значение составляет 6MR, тогда как средняя величина 0.35±0.3MR. Среднее значение интенсивности на утренней стороне составляет 0.26MR, тогда как на вечерней 0.43MR.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. F. Altieri, A. Migliorini, **L. Zasova, A. Shakun**, G. Piccioni, and G. Bellucci. Modeling VIRTIS/VEX O₂(a1Δg) nightglow profiles affected by the propagation of gravity waves in the Venus upper mesosphere. J. Geophys. Res. 2014, 10.1002/2013JE004585
 2. A. Shakun, **L. Zasova**, N. Ignatiev, D. Gorinov, G. Piccioni, P. Drossart. The O₂ 1.27 μm nightglow emission in Venus atmosphere from nadir measurements. Method of the airglow absolute intensity retrieval. PSS, 2014, (направлена в печать).
- 6 докладов на международных конференциях (COSPAR-2014, 5M-S3) и 1 доклад на российской конференции.

Руководитель темы: д.ф.-м.н. Л.В. Засова, ИКИ РАН, zasova@iki.rssi.ru

Участники работы: к.ф.-м.н. И.В. Хатунцев, к.ф.-м.н. Н.И. Игнатьев, к.ф.-м.н. А.Ю. Шакун

5.2.2 Распределение малых составляющих (Д.А. Беляев, ИКИ РАН)

В 2014 году были проведены исследования содержания двуокиси серы на ночной стороне Венеры в области высот мезопаузы-криосферы (85-110 км). Исследование проводится на основе орбитальных измерений УФ спектрометра SPICAV аппарата «Венера-Экспресс» в режиме звездного просвечивания. Кроме того, по данным ИК канала

SPICAV в режиме звездного просвечивания изучались свойства аэрозольных частиц мезосферы (надоблачная дымка, 70-90 км). Получены следующие результаты:

1) Впервые получено высотное распределение содержания SO₂ на ночной стороне мезосферы Венеры (высоты 85-100 км) [K1, K3]. Помимо этого, по тем же УФ спектрам восстановлены поля температур в данной области высот [K4, C1].

2) Определены экстинкция и распределение аэрозольных частиц по размеру на высотах 70-90 км. Выявлены две моды частиц: размерами ~0.2 и 1.0 мкм [K2, K5].

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. Piccialli A., ... , Belyaev D., Korablev O. Thermal structure of Venus nightside upper atmosphere measured by stellar occultations with SPICAV/Venus Express. Planetary and Space Science. 2014б (в печати).

3 доклада на международных конференциях (COSPAR-2014, EPSC)+ДЗ в ИКИ.

Руководитель темы: к.ф.-м.н. Д.А.Беляев, ИКИ РАН, dbelyaev@iki.rssi.ru

Состав группы: д.ф.-м.н. О.И.Кораблев, к.ф.-м.н. А.А.Федорова, Д.Г. Евдокимова, М.С. Лугинин, ИКИ РАН

ПРОЕКТ 5.3. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ (ФИРЭ РАН, ФТИ РАН, ИНАСАН, ИПФ РАН, ПГИ КНЦ РАН, ГИ КНЦ РАН)

Сравнительный анализ горячих корон планет земной группы. Исследование электрического динамо в атмосферах планет Солнечной системы. Развитие модели общей циркуляции атмосфер Венеры и Титана. Исследование волновых процессов в атмосферах планет земной группы по радиозатменным данным. Изучение воздействия на атмосферы и климат солнечных вспышек, КЛ и космической пыли. Оценки возраста атмосферы. Изучение эволюция потоков летучих из мантии в атмосферу и обратно.

Тема 5.3.1 Сравнительный анализ горячих корон планет земной группы (Шематович В.И., ИНАСАН)

Исследовано взаимодействие плазмы солнечного ветра с верхней атмосферой Венеры при помощи модели Монте-Карло. С использованием детектора ASPERA-4 на борту космического аппарата ESA Venus Express были зарегистрированы единичные случаи выпадения протонов и альфа-частиц в атмосферу Венеры. При помощи разработанной модели Монте-Карло для расчета выпадений протонов и альфа-частиц в нейтральную атмосферу Венеры определены величины отраженных и направленных вверх потоков частиц. Установлено, что в верхней атмосфере Венеры без учета индуцированного магнитного поля и в условиях минимума солнечной активности лишь

исчезающее малый процент протонов и альфа-частиц отражается обратно в экзосферу. Учет индуцированного поля кардинально меняет ситуацию: для измеренных на Венере значений горизонтального магнитного поля $B=20$ нТ отраженные атмосферой потоки энергии возрастают до 44% для случая высыпавшихся протонов, и до 64% - для высыпавшихся альфа-частиц. С ростом поля до 40 нТ и для протонов и для альфа-частиц отраженные потоки энергии увеличиваются практически до 100%, т.е. атмосфера защищена от проникновения частиц солнечного ветра.

Оценки нетепловой диссипации нейтральной верхней атмосферы Марса за счет фотохимических процессов. Проведены оценки нетепловых потерь тяжелых атомов - углерода и кислорода - современной атмосферой Марса и выполнен анализ основных физических и химических процессов, ответственных за нетепловую диссипацию углерода и кислорода. Установлено, что полная плотность экзосферы регулируется главным образом диссоциативной рекомбинацией молекулярных ионов O_2^+ , CO_2^+ , приводя к потоку убегания около 3×10^7 см⁻²с⁻¹ и полной скорости потери около 3×10^{25} с⁻¹ атомов кислорода из современной атмосферы Марса в условиях низкой и высокой солнечной активности. Расчеты также показывают, в согласии с предыдущими исследованиями, что основным каналом потери атомарного углерода из атмосферы Марса в настоящее время является фотодиссоциация СО. Актуальность этих исследований особенно велика в связи с запуском американского спутника Марса MAVEN для изучения эволюции атмосферы Марса, что открывает возможность сопоставления результатов моделирования с данными измерений.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. Шематович В.И., Бисикало Д.В., Барабаш С., Стенберг Г. «Исследование взаимодействия плазмы солнечного ветра с верхней атмосферой Венеры при помощи модели Монте-Карло». Астроном. Вестник, **48**, №5, 343-350, (2014).
2. Шематович В.И., Маров М.Я. «О нетепловой диссипации нейтральной верхней атмосферы Марса». Доклады Академии наук, (2014), (направлено в печать).

3 доклада на международных конференциях

Руководитель темы: Шематович В.И., Институт астрономии РАН, shematov@inasan.ru

Состав группы: Бисикало Д.В., Ионов Д.Э., Институт астрономии РАН

5.3.2 Электрическое динамо в атмосферах планет Солнечной системы (Мареев Е.А., ИПФ)

Проект посвящен исследованию фундаментальной проблемы генерации квазистатического электрического поля в атмосферах планет Солнечной системы (электрического динамо). Главное внимание уделено сравнительному анализу особенностей молниевой активности и формирования глобальных электрических цепей (ГЭЦ) планет. ГЭЦ формируются под влиянием факторов как «планетарной» (состав и циркуляция атмосфер, радиационный режим, гидрологические циклы планет), так и космической погоды (потoki космических лучей, солнечная активность), поэтому их исследование важно для понимания роли этих факторов и их диагностики.

В 2014 г. было продолжено исследование основных критериев существования ГЭЦ планет на основе разработанной участниками проекта сферической модели, дополненной моделями формирования профилей проводимости и сторонних токов, обусловленных атмосферными электрическими генераторами. Подведены итоги работы по моделированию глобальной электрической цепи на Марсе. Расчеты показали, что ГЭЦ на Марсе может существовать только во время работы очень мощного и протяженного (вертикальные размеры не менее 5 км) генератора, связанного с масштабными пылевыми бурями. Дан обзор данных по молниевой активности в атмосфере Сатурна. Сделан предварительный вывод о возможности существования ГЭЦ на планетах-гигантах. Развита аксиально-симметричная самосогласованная плазмохимическая модель генерации высотных разрядов - спрайтов и гало в планетных атмосферах. На следующем этапе работы предполагается разработать количественные сферические модели ГЭЦ Сатурна и Юпитера, а также исследовать проблему турбулентного электрического динамо применительно к пылевым бурям в атмосфере Марса. Плазмохимическая модель генерации высотных разрядов будет применена к атмосферам Венеры и планет-гигантов.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. А.А. Евтушенко, Н.В. Ильин, Ф.А. Кутерин. О существовании глобальной электрической цепи в атмосфере Марса, Вестник МГУ, 2015 (принята в печать).
2. N.N. Slyunyaev, E. A. Mareev, A. V. Kalinin, A. A. Zhidkov. Influence of large-scale conductivity inhomogeneities in the atmosphere on the global electric circuit, Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 71, №11, p. 4382–4396, 2014.
3. A.A. Evtushenko, Kuterin F. A. One-Dimensional Self-Consistent Model of the Sprite/Halo Influence on the Mesosphere Chemistry, Radiophys. Quantum Electr., V. 56. P. 853-871, 2014.

Руководитель темы: Зав. отделом геофизической электродинамики чл.-корр. РАН Е.А. Мареев, Институт прикладной физики РАН, mareev@appl.sci-nnov.ru

Состав группы: А.А.Евтушенко, Н.В. Ильин, Ф.А. Кутерин, А.А. Жидков, Н.Н. Слюняев (ИПФ РАН).

5.3.3 Модели общей циркуляции атмосфер Венеры и Титана (И.В. Мингалев ПГИ КНЦ РАН)

Основные результаты работ:

- 1) Усовершенствованы модели общей циркуляции атмосфер Венеры и Титана и улучшено их горизонтальное разрешение с 1.40625 градуса до 0.9375 градуса.
- 2) Удалось подобрать модельный режим нагрева излучением атмосферы Венеры, при котором полученные при моделировании поле температуры и поле горизонтального ветра хорошо согласуются с данными наблюдений. В частности по сравнению с результатами прошлого года удалось улучшить соответствие с данными наблюдений о скорости суперротации на верхней границе облачного слоя и о температуре в диапазоне высот 70-120 км.
- 3) Промоделированы изменения в общей циркуляции атмосферы Титана на высотах ниже 560 км при переходе от условий равновесия к условиям лета в северном полушарии. Получена общая циркуляция атмосферы Титана для нескольких модельных режимов нагрева атмосферы излучением в релаксационном приближении для условий равновесия и для условий, когда подсолнечная точка находится в северном полушарии на широтах 5, 10, 15 и 20 градусов. Выявлены новые важные особенности циркуляции атмосферы Титана в разные сезоны.
- 4) Увеличено быстродействие созданной в прошлом году программы для расчета поля излучения в горизонтально однородной атмосфере, использующей новый вариант метода дискретных ординат. Быстродействие нашей программы в 2-8 раз выше (в зависимости от размерности сетки по зенитным углам), чем у программы DISORT. Наша программа оформлена в виде подпрограммы функции на языке FORTRAN с интерфейсом подобным программе DISORT и подробными комментариями на русском языке и предоставлена для использования коллегам в ИКИ РАН.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. Мингалев И.В., Родин А.В., Орлов К.Г. Численное моделирование общей циркуляции атмосферы Венеры. Влияние рельефа поверхности и режима нагрева излучением // *Астрономический вестник*. 2014. том 48, № 6, стр. ?? (в печати).

2. Мингалев И.В., Федотова Е.А., Родин А.В., Игнатьев Н.И. Новый вариант метода дискретных ординат для расчета собственного излучения в горизонтально однородной атмосфере // Журнал вычислительной математики и математической физики. Принята в печать.

3 доклада на международных и 1 доклад на российской и конференциях.

Руководитель темы: Мингалев Игорь Викторович, Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН, mingalev_i@pgia.ru

Состав группы: Орлов К.Г., Федотова Е.А., ПГИ КНЦ РАН.

5.3.4 Волновые процессы в атмосферах планет земной группы по радиозатменным данным (Губенко В.Н. ФИРЭ РАН)

Разработана методика определения параметров внутренней гравитационной волны (ВГВ) по результатам анализа индивидуального вертикального профиля температуры, плотности или квадрата частоты плавучести в атмосфере планеты. Эта методика может быть использована при анализе профилей, полученных любыми способами, в которых точность позволяет измерения амплитуд малых (~1%) вариаций температуры или плотности в атмосфере. Сформулирован и обоснован критерий идентификации ВГВ, при выполнении которого наблюдаемые вариации могут рассматриваться как волновые проявления. Методика базируется на анализе относительных амплитуд волнового поля температуры или плотности, а также на линейной теории насыщенных ВГВ, в которой эти амплитуды ограничиваются пороговыми величинами, обусловленными процессами динамической (сдвиговой) неустойчивости в атмосфере. Для апробации методики были использованы результаты анализа высокоточных одновременных радиозондовых измерений температуры и скорости ветра в стратосфере Земли. Применение методики к радиозатменным данным дало возможность идентифицировать «дискретные» (узко спектральные) волновые события в атмосферах Земли, Венеры и Марса и реконструировать ключевые характеристики идентифицированных ВГВ. В настоящее время, разработанные нами критерии и методики анализа волновых явлений в атмосферах планет признаны научным сообществом и успешно применяются при исследовании волновых процессов.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. В.Н. Губенко, И.А. Кириллович, А.Г. Павельев (2015). Характеристики внутренних волн в атмосфере Марса, полученные на основе анализа вертикальных профилей

температуры миссии Mars Global Surveyor // Космич. исслед. 2015. т. 53. №2 (принято в печать).

2. A.G. Pavelyev, Y.A. Liou, A.A. Pavelyev, S.S. Matyugov, V.N. Gubenko, K. Zhang, and Yu. Kuleshov (2014). Application of locality principle to radio occultation studies of the Earth's atmosphere and ionosphere // Atmos. Meas. Tech. 2014 (submitted).

Статьи в электронных изданиях

1. Павельев А.Г., Матюгов С.С., Яковлев О.И., Павельев А.А., Губенко В.Н., Ануфриев В.А. (2014). Исследование воздействия солнечной активности и солнечного ветра на ионосферу Земли с помощью сигналов навигационных систем, зарегистрированных на трассах спутник-спутник // Электронный ресурс «Современные достижения в плазменной гелиогеофизике». Под редакцией акад. Л.М. Зеленого и проф. И.С. Веселовского, Раздел 4 – «Ионосфера и верхняя атмосфера», Глава 4.4, <http://sdpg.cosmos.ru/>.

2. Губенко В.Н., Павельев А. Г., Андреев В. Е., Кириллович И.А., Салимзянов Р.Р. (2014). Радиозатменные исследования внутренних волн и слоистых структур в атмосферах Земли, Марса и Венеры // Электронный ресурс «Современные достижения в плазменной гелиогеофизике». Под редакцией акад. Л.М. Зеленого и проф. И.С. Веселовского, Раздел 4 – «Ионосфера и верхняя атмосфера», Глава 4.7, <http://sdpg.cosmos.ru/>.

4 доклада (3 COSPAR-2014, 1 -5M-S3 в ИКИ) на международных и 3 доклада на российских конференциях.

Руководитель темы: Губенко Владимир Николаевич, ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, vnubenko@gmail.com.

Состав группы: Кириллович И.А., Павельев А.Г., ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

5.3.5 Влияние космических лучей и межпланетной пыли на химию атмосфер и климат Земли и Марса (А.К. Павлов, ФТИ РАН)

В 2014 году в рамках проекта были проведены модельные расчеты ионизации атмосферы и образования радионуклидов в атмосфере Земли под действием сверхмощных солнечных вспышек с использованием последней версии численного кода GEANT4. Работа продолжает начатые в 2013 году исследования природы открытого в 2012 году по измерениям космогенного радиоизотопа ^{14}C в кольцах деревьев «следа» необычно мощного импульсного воздействия на атмосферу Земли высокоэнергичного космического излучения в 775 году (Miyake et al., Nature, 2012). Впервые проведены детальные расчеты образования долгоживущих радионуклидов (^{14}C , ^{10}Be , ^{36}Cl) в атмосфере Земли и ионизации верхней атмосферы Земли под действием сверхмощных вспышек с

различными типами спектров. В качестве аналогов использованы спектры наиболее мощных событий измеренные с помощью космических аппаратов и нейтронных мониторов (события 1956, 1972, 1989 годов и т.п.). Результаты расчетов показали, что событие 775 года должно было, в зависимости от «жесткости» спектра, в 50-160 раз превосходить по мощности вспышки 1956 и 1972 года. Показано, что «изотопный след» (отношения произведенных изотопов) значительно отличается для «жестких» (аналог 1956г.) и «мягких» (аналог 1972г.) протонных событий. На основе имеющихся данных по содержанию изотопов в кольцах деревьев и кернах льдов Антарктики и Гренландии сделан вывод, что наименее вероятной причиной события 775 года является «жесткая» супервспышка, которая рассматривалась ранее в большинстве статей, как наиболее предпочтительная гипотеза. Объяснение события 775 года с помощью «мягкой» супервспышки, также сталкивается с большими трудностями и не может объяснить наблюдаемую асимметрию сигнала в Северном и Южном полушарии и отсутствия наблюдений полярных сияний. Сделан вывод, что предложенная ранее авторами гипотеза Галактического гамма-всплеска значительно лучше объясняет наблюдаемую картину события 775 года. В 2014 году продолжены работы по воздействию космических лучей на атмосферу и поверхностный слой марсианского грунта.

Другим направлением работ выполнявшихся в 2014 году, являлось проведение работ по моделированию воздействия столкновений Солнечной системы с малоразмерными плотными межзвездными облаками на атмосферы Земли и Марса. В частности были проведены расчеты увеличения скорости ионизации атмосфер за счет повышения потоков космических лучей, а также получен высотный и широтный профиль ионизации в такие периоды.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. Павлов А.К. и др. “Изотопные следы” гамма- и протонных событий и аномальный сигнал в радиоуглероде в 775 г.н.э. 2014, Письма астроном. ж., т.40, 706-713.
 2. Pavlov et al., Alteration of the carbon and nitrogen isotopic composition in the Martian surface rocks due to cosmic ray exposure 2014, J. Geophys. Res. E, v.119, 1390-1402.
- 2 доклада на российских конференциях.

Руководитель темы: А.К. Павлов, Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, anatoli.pavlov@mail.ioffe.ru

Состав группы: Вдовина М.А., ФТИ РАН

5.3.6 Дегазация Земли, формирование и эволюция атмосферы и взаимодействие атмосферы и мантии Земли (Толстихин И.Н., ГИ КНЦ РАН)

Ранее в рамках данной темы был исследован процесс дегазации мантии Земли в предположении, что мантия является единым достаточно хорошо перемешиваемым резервуаром. Модель процесса дегазации (модель-1) была основана на отношениях радиогенных изотопов ксенона в современной мантии и на содержаниях родительских изотопов в земных резервуарах. Получена надежная количественная оценка параметра дегазации, - отношения концентрации стабильного изотопа ^{130}Xe в резервуаре в данный момент времени к его начальной концентрации. Для современной мантии параметр дегазации, полученный из решения модели-1, оказался $\leq 10^{-3}$ (TOLSTIKHIN et al., 2014). Следует подчеркнуть, что темп дегазации определяется скоростью конвекции в мантии и в принципе позволяет восстановить эволюцию этого важнейшего показателя динамики планеты.

Однако некоторые геохимические данные, прежде всего изотопные составы гелия и неона в породах и флюидах мантийного происхождения, находятся в противоречии с моделью-1 и свидетельствуют о нахождении в мантии Земли древнего, менее дегазированного (богатого солнечными газами), не участвующего в мантийной конвекции резервуара. Решения модели-2, полученные в ходе работы по проекту, дают исключительно малое значение параметра дегазации, $\approx 10^{-11}$. Пока этот результат нельзя считать надежным: (весьма трудоемкий) анализ параметров модели-2 должен быть продолжен и является целью дальнейших исследований. Если столь низкие значения параметра дегазации подтвердятся, - необходимый темп дегазации может быть обеспечен только конвекцией расплавов на ранних этапах эволюции Земли, поскольку кинематическая вязкость пород современной мантии превышает вязкость силикатных расплавов $\approx 10^{20}$. При такой вязкости скорость конвекции мантии Земли достигала \approx метр / сек, превышая современную скорость в $\approx 10^9$ раз.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

I. Tolstikhin, I., Marty, B., Porcelli, D., and Hofmann, A., 2014. Evolution of volatile species in the earth's mantle: A view from xenology. *Geochim. Cosmochim. Acta* **136**, 229–246.

Руководитель темы: Толстихин И.Н., Геологический Институт, Кольский Научный Центр РАН, igor.tolstikhin@gmail.com

Состав группы: В.Э.Асминг, КФГС РАН

ПРОЕКТ 5.4. СПЕКТРОСКОПИЯ (ИФА РАН, ПГИ КНЦ РАН, ИОА СО РАН)

Кинетика электронно-возбужденных молекул в атмосферах Венеры и Марса
Моделирование спектров молекулярных пар и ассоциаций молекул. Моделирование спектров молекулярных пар и ассоциаций молекул. Создание спектроскопической базы данных NO₂, исследование спектров и уширения молекул CO₂, CO, SO₂.

5.4.1 Кинетика электронно-возбужденных молекул в атмосферах Венеры и Марса (А.С.Кириллов, ПГИ КНЦ РАН)

В 2014 году основное внимание было уделено исследованию кинетики электронно-возбужденных состояний Герцберга молекулярного кислорода $c^1\Sigma_u^-$, $A^3\Delta_u$, $A^3\Sigma_u^+$, ответственных за свечение полос Герцберга I, II, III и Чемберлена, в смеси с газами CO₂, CO, N₂. Основные результаты работы сводятся к следующему:

1) Проведены расчеты колебательных населенностей Герцберга $c^1\Sigma_u^-$, $A^3\Delta_u$, $A^3\Sigma_u^+$ в атмосфере Венеры на высотах свечения ночного неба с учетом тройных столкновений и релаксации в результате неупругих молекулярных столкновений. Впервые указаны кинетические процессы с участием электронно-возбужденного молекулярного кислорода, которые приводят к принципиальному различию свечения ночного неба Венеры и Земли.

2) Исследованы основные механизмы гашения состояний Герцберга $c^1\Sigma_u^-$, $A^3\Delta_u$, $A^3\Sigma_u^+$ молекулами CO₂, CO, N₂, O₂ при неупругих взаимодействиях. Впервые показано, что EV-процессы вносят значительный вклад в гашение состояний Герцберга и могут быть доминирующими для ряда колебательных уровней указанных состояний по сравнению с E- и EE-процессами переноса электронного возбуждения.

3) Исследованы особенности образования и гашения триплетных состояний угарного газа CO в атмосфере Марса при вторжении в атмосферу авроральных электронов и при диссоциации молекул углекислого газа CO₂. Проведены расчеты констант гашения триплетного состояния угарного газа молекулами CO₂, CO, N₂.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. Kirillov A.S. The calculations of quenching rate coefficients of O₂ Herzberg states in collisions with CO₂, CO, N₂, O₂ molecules. // Chemical Physics Letters, 2014, v.593, p.103-108.
2. Kirillov A.S. Calculated vibrational populations of O₂ Herzberg states in the mixture of CO₂, CO, N₂, O₂ gases. // Chemical Physics Letters, 2014, v.603, p.89-94.
3. Kirillov A.S. Kinetics of Herzberg states of molecular oxygen in the mixture of CO₂, CO, N₂, O₂ gases. // Сборник материалов Всероссийской (с международным участием) конференции «Физика низкотемпературной плазмы» ФНТП-2014, Казань, 20-23 мая 2014 г., издательство КНИТУ, том 2, с.106-108.

4. Kirillov A.S. Kinetics of CO triplet states in the mixture of CO₂, CO, N₂, O₂ gases. // Physical Chemistry Chemical Physics, 2014, (направлено в печать).

1 доклад (COSPAR-2014) на международных и 3 доклада на российских конференциях.

Руководитель темы: Кириллов А.С., ПГИ КНЦ РАН, kirillov@pgia.ru

5.4.2 Теоретическое моделирование индуцированных и континуальных спектров молекулярных пар и ван-дер-ваальсовской ассоциации молекул в атмосфере (А.А. Вигасин ИФА РАН)

С помощью квантовых и полуклассических траекторных методов проведены расчеты столкновительно-индуцированных спектров поглощения, представляющих интерес для исследования планетных атмосфер. Выполнены теоретические оценки относительных вкладов, которые вносят различные типы межмолекулярных взаимодействий в формирование континуального поглощения водяного пара.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. I.A. Buryak, L. Frommhold, and A.A. Vigasin. Far-infrared collision-induced absorption in rare gas mixtures: Quantum and semiclassical calculations // Journal of Chemical Physics 140 (2014) 154302; doi: 10.1063/1.4870716

2. A.A.Vigasin. Water vapor continuum: Whether collision-induced absorption is involved? // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 148 (2014) 58–64.

3. Y. N. Kalugina, I. A. Buryak, Yosra Ajili, A. A. Vigasin, Nejmi Eddine Jaidane, and Majdi Hochlaf. Explicit correlation treatment of the potential energy surface of CO₂ dimer // Journal of Chemical Physics 140, 234310 (2014); doi: 10.1063/1.4882900

1 доклад на международных конференциях.

Руководитель темы: Вигасин Андрей Алексеевич, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, vigasin@ifaran.ru

5.4.3 Создание спектроскопической базы данных NO₂, исследование спектров и уширения молекул CO₂, CO, SO₂ (Перевалов В.И., Пономарев Ю.Н.; ИОА СО РАН) -общая тема СО РАН

Создание спектроскопического банка данных NOSD (Nitrous Oxide Spectroscopic Databank) для молекулы N₂O в диапазоне 0-8000 см⁻¹. Создана первая версия банка параметров спектральных линий молекулы закиси азота NOSD (Nitrous Oxide Spectroscopic Databank), ориентированная на высокие температуры. В нем представлены следующие параметры спектральных линий: центры, интенсивности, коэффициенты Эйнштейна, коэффициенты самоуширения и энергии нижних состояний. Банк сгенерирован для опорной температуры 1000 К и отсечки по интенсивности 10⁻²⁵ cm/molecule, охватывает спектральный диапазон 477.77 - 7231.88 см⁻¹ и содержит около 11799000 спектральных линий.

Банк базируется на расчетах, выполненных в рамках метода эффективных операторов. Параметры моделей эффективных гамильтонианов и эффективных дипольных моментов подогнаны к экспериментальным значениям центров и интенсивностей спектральных линий, соответственно. Точность представленных в нем центров спектральных линий лежит в пределах от долей МГц до 0.01 см⁻¹ в зависимости от диапазона длин волн, а неопределенность представленных интенсивностей спектральных линий составляет единицы процентов.

Экспериментальные исследования и теоретическое моделирование спектров высокого разрешения молекулы углекислого газа в диапазоне 10500–14000 см⁻¹. На Фурье спектрометре Bruker IFS 125 HR Института оптики атмосферы СО РАН, сопряженным с 30 метровой кюветой, зарегистрированы спектры углекислого газа в диапазоне 10700-10860 см⁻¹ при комнатной температуре, длине оптического пути 728 м и четырех давлениях 187, 297, 469 и 674 мбар. Параметры спектральных линий определены их одновременной подгонкой ко всем четырем спектрам. Профиль линии моделировался контуром Фойгта с расчетным значением доплеровской полуширины. Полученные значения центров и интенсивностей спектральных линий были использованы для уточнения параметров эффективного гамильтониана и эффективного дипольного момента, глобально описывающих спектры высокого разрешения этой молекулы. В результате это дало возможность уточнить и расширить банк параметров спектральных линий CDSD-296 (S.A. Tashkun, V.I. Perevalov, JQSRT <http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2014.10.017>).

Исследование уширения спектральных линий CO давлением CO₂. В рамках полуэмпирического метода, основанного на параметрической модификации ударной полуклассической модели, были проведены расчеты коэффициентов уширения спектральных линий вращательной полосы угарного газа давлением углекислого газа. Вычисления проведены для значений квантового числа полного углового момента от 0 до 100. На рисунке 4 приведено сравнение рассчитанных значений полуширин с измеренными значениями, взятыми из литературы. Как следует из приведенного рисунка, наилучшее совпадение наблюдается с последними измерениями Sung_2005 (K. Sung, P. Varanasi. JQSRT, 91 (2005) 319–332).

Создание банков спектроскопической информации для приложений в области исследования химического состава атмосфер и климата планет. Выполнено исследование спектров поглощения SO₂ в воздухе и бинарных смесях в диапазоне 300–400 нм на Фурье-спектрометре высокого разрешения. Проведены измерения спектра поглощения SO₂ на Фурье-спектрометре при различных давлениях смеси SO₂ с азотом в диапазоне 260–400 нм с высоким спектральным разрешением. Определены сечения поглощения SO₂ и сделано сравнение с результатами измерений других авторов. Показано, что имеется хорошее согласие полученных сечений поглощения с данными Vandaele, et al., 2009, Hicks et al., 1979. Экспериментальные данные Rufus et al., 2003 имеют несколько более высокие значения сечений поглощения по сравнению с нашими результатами.

Список опубликованных статей (либо направленных на публикацию) работ:

1. S.A. Tashkun, V.I. Perevalov. NOSD-1000: Nitrous Oxide Spectroscopic Databank. Version for high temperatures applications. JQSRT (подготовлена к печати).
2. T.M. Petrova, A.M. Solodov, A.A. Solodov, O.M. Lyulin, Yu.G. Borkov, S.A. Tashkun, V.I. Perevalov. Measurements of CO₂ line parameters in the 9250–9500 cm⁻¹ and 10700–10860 cm⁻¹ regions. JQSRT (направлена в печать).
3. Лаврентьева Н.Н., Воронин Б.А. Расчёт коэффициентов уширения и температурных показателей линий CO-CO₂ // "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Новосибирск. 2014, 23–27 июня. Материалы XX Международного симпозиума [Электронный ресурс]. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2014. С.А31–А34.
4. А.А.Солодов, Т.Ю. Чеснокова, Ю.Н.Пономарев, А.М. Солодов, А.В. Ченцов Измерения спектра поглощения SO₂ в диапазоне 260–330 нм// Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XX Международного симпозиума [Электронный ресурс]. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2014. С. А35–А38

5. A.A. Solodov, T.Yu. Chesnokova, Yu.N. Ponomarev, A.M. Solodov, A.V. Chentsov. Measurement of SO₂ absorption spectra in the UV spectral region// Proceeding of SPIE. 2014. V. 9292

1 доклад на международных и 2 доклада на российских конференциях.

Руководители темы: д.ф.-м.н. Перевалов В.И., д.ф.-м.н. Ю.Н. Пономарев, ИОА СО РАН, vip@iao.ru, yuron@iao.ru

Состав группы: Ташкун С.А., Петрова Т.М., Солодов А.М., Солодов А.А., Борков Ю.Г., Люлин О.М., Воронин Б.А., Лаврентьева Н.Н., Воронина Ю.В., Тихомиров Б.А., Куряк А.Н., ИОА СО РАН

Статистика 2014 года работ по темам направления 5 Программы 22:

- опубликовано 20 статей (7 – в отечественных и 13 - в зарубежных) рецензируемых изданиях;
- находятся в печати 6 статей (4 – в отечественных и 2 - в зарубежных) рецензируемых изданиях;
- Сдано в печать 6 статей (1 – в отечественные и 5 - в зарубежные) рецензируемые издания;
- 19 выступлений на отечественных и 17 докладов на международных конференциях.