

## Доклад на Совете по теме 4.2

В отделе исследований Луны и планет работают 11 сотрудников: 3 доктора, 5 кандидатов и 3 ведущих инженера и программиста.

В отчете приводятся результаты исследований по теме НИР госзадания «4.2. Изучение последствий космогенной переработки вещества безатмосферных тел Солнечной системы» (ЦИТИС 115021270029) этапа 2023 г. Основным содержанием проведенных исследований являются разработки, соответствующие этапам выполнения Федеральной космической программы России на 2016 – 2025 годы в части изучения и освоения Луны.

Бережным А.А., Феоктистовой Е.А. и Шевченко В.В. проведен сравнительный анализ результатов орбитальных исследований кратерного поля Луны. Определения химического состава сближающихся с Землей астероидов показывают, что наиболее обогащенные металлической фракцией объекты являются астероидами *S*-типа (каменные) и *M*-типа (металлические). Астероиды *S*-типа в популяции тел, сближающихся с Землей, составляют 17%. Вещество металлической фазы, поступившее на лунную поверхность в результате падения «медленных» астероидов *S*-типа размером около метра, может составлять: железо 536 - 6 079 кг; никель 95 - 1 081 кг; кобальт 5 - 51 кг; платина и платиноиды 0,02 - 0,26 кг. Для случая падения «медленных» астероидов *M*-типа окончательные расчеты дают следующие значения массы астероидного вещества, сохранившегося в ударных кратерах в виде донных отложений: железо 775 - 12 503 кг; никель 138 - 2 228 кг; кобальт 7 - 110 кг; платина и платиноиды 0,03 - 0,56 кг. Суммарное количество доступного астероидного вещества на 1 км<sup>2</sup> лунной поверхности в типичном случае может составить: никель — до 12 т; кобальт — до 585 кг; платина и платиноиды — до 3 кг.

Возможности изучения характеристик отдельных объектов и ударников, их образовавших, позволяют выделить **детали искусственного происхождения**. Новый кратер, образовавшийся в результате падения КА «Луна 25» имеет около 10 метров в диаметре. Точка столкновения находилась на крутом внутреннем склоне кратера Понтекулан G, примерно в 400 километрах от предполагаемой точки посадки «Луны 25».

Бережной А.А. участвовал в разработке эксперимента по изучению реголита Меркурия. Идея КА «Меркурианский ударник» состоит в запуске массивного и высокоскоростного ударника, способного испарить слой вещества на поверхности Меркурия и образовать кратер размером до 100 м. Представлено два сценария реализации этой миссии, один из которых заключается в организации падения КА «Меркурианский ударник» на Меркурий во время миссии КА «БегиКоломбо».

Бусарев В.В. разработал применение многополосной фотометрии для поиска признаков пылевой активности астероидов. Проанализирована возможность применения метода *UBVRI*-фотометрии астероидов для упрощенной аппроксимации формы их спектров отражения в видимом и ближнем ИК диапазонах. Сделан вывод, что это обеспечивает выполнение обзора значительного числа астероидов за ограниченное наблюдательное время и оперативную оценку формы их спектров отражения для поиска признаков пылевой активности.

Бусарев В.В. с сотрудниками провел оценку состава вещества астероидов по спектрам отражения с использованием метеоритных аналогов. Представлена разработанная в среде MATLAB программа для оценки состава вещества астероидов на основе моделирования 10 спектров отражения с использованием данных об их метеоритных

аналогах. Удалось получить хорошее согласие между модельными и наблюдаемыми спектрами отражения для пяти из этих астероидов (1 Цереры, 4 Весты, 51 Немаузы, 250 Беттины и 704 Интерамнии) и в первом приближении оценить состав их вещества.

Бусарев В.В. с сотрудниками провел поиск признаков сублимационно-пылевой активности астероидов примитивных типов вблизи перигелия. На 0.6-м телескопе RC600 проведена UBVR-I-фотометрия доступных для наблюдений 29 астероидов Главного пояса примитивных типов, находившихся вблизи перигелийных расстояний. Основным результатом является обнаружение значительных спектральных признаков квазисовременной сублимационно-пылевой активности шести астероидов примитивных типов Главного пояса.

Родионовой Ж.Ф., Феоктистовой Е.А. и Шевченко В.В. совместно с сотрудниками ГЕОХИ РАН составлена «Карта приполярных областей Луны от параллелей +/- 60°» масштаба 1:10 000 000, подготовленной для нанесения места посадки КА «Луна 25». Условным знаком показано место мягкой посадки индийского космического аппарата «Chandrayaan 3», осуществленной 23 августа 2023 г.

Позже Родионовой Ж.Ф., Феоктистовой Е.А. и Шевченко В.В. совместно с сотрудниками ГЕОХИ РАН была составлена «Карта приполярных областей Луны от параллелей +/- 55°» в масштабах 1:6 000 000 и 1:11 500 000, чтобы показать место жесткой посадки КА «Луна 25» и других аппаратов. Использована цифровая модель рельефа Луны, построенная по данным лазерного высотомера (LOLA) КА LRO с разрешением 0,5 км на пиксель. Высоты на карте отсчитаны от сферы со средним радиусом 1737,4 км. Трехмерное отображение рельефа поверхностей северной и южной полярных областей Луны выполнено методом многоцветной «отмывки». Использовано программное обеспечение ESRI ArcGIS 10.1. На карте подписаны собственные наименования основных лунных образований на латыни в соответствии с решениями IACG и на русском языке (использовалась монография «Наименования форм рельефа Луны» под общей редакцией В.В. Шевченко, 2022 г.). Условными знаками в виде ромбиков на карте показаны места жестких посадок КА «GRAIL A» и «GRAIL B» в северном полярном регионе, и зондов «Kaguya», «Lunar Prospector», «Chandrayaan 1, 2», «LCROSS», «Луна-25» в южном. Место мягкой посадки индийского КА «Chandrayaan 3» отмечено флажком.

Родионовой Ж.Ф., Феоктистовой Е.А. и Шевченко В.В. совместно с сотрудниками ГЕОХИ РАН проведены картометрические исследования кратеров, расположенных в северной и южной полярных областях Луны. Показано, что кратеры в южной полярной области в среднем на 1,5 км глубже, чем в северной полярной области. Выполнено сравнение 40 самых глубоких кратеров (от 7 до 10 км). Оказалось, что перепады высот гребней кратеров, измеренных в разных направлениях, иногда отличаются на 2 км. Построены гистограммы зависимости количества кратеров от отношения глубины к диаметру. Характер распределения кратеров в целом похож для обеих полярных областей, но различается по количеству. В северной области кратеров диаметром 10 км и более оказалось больше, чем в южной области на 1000 кратеров.

Родионовой Ж.Ф. и Феоктистовой Е.А. подготовлена статья о создании «Морфологического каталога кратеров Меркурия» по данным КА MESSENGER. В настоящее время статья находится на рецензии в журнале Earth, Moon and Planets.

Чуйковой Н.А., Насоновой Л.П., Максимовой Т.Г. определены топография лунной поверхности и возможное распределение аномалий плотности в недрах Луны для раннего этапа развития. Найдено распределение аномалий силы притяжения и гравитационного

потенциала в различных слоях верхней мантии. Построенные карты аномалий силы притяжения и потенциала на различных глубинах приводят к выводу о возможности конвективных движений в мантии в ранние периоды истории Луны, когда большая часть Луны была в расплавленном состоянии.

Чуйковой Н.А., Насоновой Л.П., Максимовой Т.Г. рассмотрена роль Луны в динамике системы Земля-Луна. Проведен анализ изменения климата на Земле с наличием Луны и с динамикой системы Земля-Луна. Сделан вывод о возможной тектонической пассивности Земли при отсутствии Луны. Проведен анализ современных данных о движении земной коры, найдены глобальные характеристики вертикальных движений для всей Земли и для отдельных регионов.

Шевченко В.В. в соавторстве с Зеленым Л.М. (ИКИ РАН) продолжил исследования перспективных ресурсов редких и редкоземельных металлов в ближнем космосе. Оценки показывают, что потребление РМ и РЗМ металлов в период 2021-2030 гг. будет увеличиваться в среднем на 9,7% в год, что заставляет искать перспективные источники этих ресурсов в ближнем космосе. Значительная часть астероидов, сближающихся с Землей, падает на лунную поверхность. При скорости падения меньше 12 км/с, в поверхностном слое лунного реголита сохраняется от 20 до 50% массы вещества ударника. Астероид М-типа, размером 1 км образует кратер диаметром 20-25 км и глубиной 0,7 км. Согласно расчетным данным в донных отложениях кратеров сохраняется 915 млн. т железа, 6,6 млн. т никеля, 0,3 млн. т кобальта и 1650 т платины и платиноидов. Общее число падений «медленных астероидов» данного размера и массы составляет ~ 854 события. В этом случае общая масса платины и платиноидов на поверхности Луны в результате падения только ударников с указанными параметрами составит 14 млн. т. Содержащиеся в «Федеральной космической программе» проекты «Луна – Ресурс» и «Луна – Грунт» предполагают выполнение начальных стадий по освоению лунных ресурсов.

Бусарев В.В. читал учебные курсы для студентов Физического факультета МГУ и Факультета космических исследований МГУ.

**Результаты научных работ опубликованы в 11 статьях в зарубежных и отечественных журналах и сборниках, на 2 картах, а также представлены в 6 докладах на международных и российских научных конференциях.**