

### *1. Список авторов–сотрудников ИКИ РАН:*

С. И. Попель, Л. М. Зеленый, И. А. Кузнецов, А. П. Голубь, А. В. Захаров, А. Ю. Дубинский, Г. Г. Дольников, С. И. Копнин

### *2. Название:*

**Цикл работ о пыли и пылевой плазме у Луны**

### *3. Ссылки на публикации:*

а) S. I. Popel, A. P. Golub', L. M. Zelenyi, and M. Horányi, Dusty plasmas in the lunar exosphere: Effects of meteoroids, *Journal of Physics: Conference Series* **946** (2018) 012142, 9 pages; <http://stacks.iop.org/1742-6596/946/i=1/a=012142>;

б) S. I. Popel, A. P. Golub', L. M. Zelenyi, and A. Yu. Dubinskii, Lunar Dust and Dusty Plasmas: Recent Developments, Advances, and Unsolved Problems, *Planetary and Space Science* **156** (2018), 71-84, doi: 10.1016/j.pss.2018.02.010;

в) С. И. Попель, Лунная пыль // *Химия и жизнь*. 2018. № 5. С. 5-9; <https://www.hij.ru/read/issues/2018/may/13493/>;

г) С. И. Попель, А. П. Голубь, А. В. Захаров, Л. М. Зеленый, А. А. Бережной, Е. С. Зубко, М. Итен, Р. Лена, С. Спозетти, Ю. И. Великодский, А. А. Терещенко, Б. Атаманюк, Формирование плазменно-пылевых облаков при ударе метеороида о поверхность Луны // *Письма в ЖЭТФ*. 2018. Т. 108. № 6. С. 379-387.

д) С. И. Попель, А. Ю. Дубинский, К вопросу об образовании воды в лунном реголите // *Космические исследования*. 2019. Т. 57, в печати;

е) I. A. Kuznetsov, S. L. G. Hess, A. V. Zakharov, F. Cipriani, E. Seran, S. I. Popel, E. A. Lisin, O. F. Petrov, G. G. Dolnikov, A. N. Lyash, and S. I. Kopnin, Numerical modelling of the Luna-Glob lander electric charging on the lunar surface with SPIS-DUST, *Planetary and Space Science* **156** (2018), 62-70, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pss.2018.03.004>.

### *4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность:*

**Проблема изучения мелкодисперсных пылевых частиц пыли и пылевой плазмы в окрестности Луны.** Актуальность данной научной проблемы обусловлена необходимостью создания целостной картины, характеризующей роль мелкодисперсных частиц и пылевой плазмы в окрестности Луны, что, в частности, необходимо для развития экспериментальных методов сбора и анализа частиц пыли, исследования свойств пылевой плазмы и электрофизических свойств поверхности, измерения электрических полей на спускаемых модулях будущих космических аппаратов (в том числе, «Луна-25», «Луна-27»), а также анализа результатов имеющихся и будущих наблюдений.

### *5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение:*

а) **Описание лунной пыли и основных свойств пылевой плазмы над Луной;**

б) **Объяснение природы возникновения двух плазменно-пылевых облаков в результате удара метеороида о поверхность Луны и численное моделирование динамики указанных облаков;**

в) **Изучение возможности образования молекул воды, инкорпорированных в приповерхностный лунный грунт, за счет химических процессов.**

г) **Рассмотрение вопроса о взаимовлиянии лунного посадочного аппарата (на примере миссии «Луна-25») и приповерхностной лунной экзосферы.**

Значимость задач обусловлена тем, что их решение позволяет углубить современные представления о процессах, происходящих над Луной и в приповерхностном слое лунного реголита, влияющих на свойства пылевых частиц и формирование плазменно-пылевой системы над Луной. Данные исследования необходимы также с точки зрения будущих экспериментальных методов сбора и анализа частиц пыли, исследования

свойств пылевой плазмы и электрофизических свойств поверхности, измерения электрических полей на спускаемых модулях будущих космических аппаратов (в том числе, «Луна-25», «Луна-27»), а также анализа результатов имеющихся и будущих наблюдений.

**Работы представленного цикла включают в себя статьи, содержащие полностью новые оригинальные результаты (Journal of Physics: Conference Series, Письма в ЖЭТФ, Космические исследования), элементы обзора, но с включением новых оригинальных результатов (Planetary and Space Science), а также научно-популярную статью, описывающую пылевую плазму над Луной на популярном уровне (Химия и жизнь). Такой состав цикла работ обусловлен новыми правилами Конкурса, согласно которым в общее число (~ 15) отмеченных работ входят и оригинальные и обзорные и научно-популярные работы.**

#### *6. Используемый подход, его новизна и оригинальность:*

Теоретические исследования и численное моделирование с опорой на данные наблюдений. Применялись методы магнитной гидродинамики, физической кинетики, нелинейной и химической физики, теории пылевой плазмы, физики взрыва и ударных явлений, геологии и геофизики.

Методы наблюдений за вспышками на поверхности Луны (Письма в ЖЭТФ в части, в которой описываются результаты наблюдений).

Методы современной химии (Planetary and Space Science в части, в которой описываются возможности образования молекул воды, инкорпорированных в приповерхностный лунный грунт, за счет химических процессов; Космические исследования).

#### *7. Полученные результаты и их значимость:*

а) Определена природа возникновения двух плазменно-пылевых облаков в результате удара метеороида о поверхность Луны. Показано, что одно из облаков сформировано частицами (или обломками) реголита, выбрасываемого ударной волной метеороидного удара с лунной поверхности в свободное пространство, тогда как второе – затвердевшими каплями расплава. Проведены вычисления основных характеристик этих облаков: скоростей расширения облаков, характерных размеров частиц в каждом из облаков, концентраций частиц, их зарядов и т.д. Получено качественное соответствие данным наблюдений полученных в расчетах скоростей расширения облаков.

б) Показана возможность высвобождения из кристаллической решетки диоксида кремния в лунном реголите атомов кислорода как частей молекул гидроксида серебра. Гидроксид серебра, в свою очередь, может относительно легко вступать в реакцию с водородом, что приводит к образованию воды и серебра. Тем самым показана возможность образования молекул воды, включенных в приповерхностный лунный грунт. Присутствие молекул воды в лунном грунте влияет на фотоэлектрические свойства лунного реголита и параметры плазменно-пылевой системы над Луной.

в) Рассмотрен вопрос о взаимовлиянии лунного посадочного аппарата (на примере будущей миссии «Луна-25») и приповерхностной лунной экзосферы. Проведено численное моделирование такого взаимовлияния. По результатам проведенных исследований принято решение об усовершенствовании прибора ПмЛ миссии «Луна-Ресурс» с целью получения наиболее полной информации о динамике приповерхностной пылевой лунной экзосферы. Предложено оснастить спускаемый аппарат штангой с расположенными на ней датчиками параметров плазмы, а также осуществлять контроль за потоками солнечного ветра и отраженных ионов у поверхности Луны.

Кроме того, в данном цикле работ представлены статьи, дающие достаточно детальное описание пыли и пылевой плазмы у Луны как на научном, так и на научно-популярном уровнях. Результаты, представленные в данном цикле работ, позволяют углубить современные представления о процессах, происходящих над Луной и в

приповерхностном слое лунного реголита, о мелкодисперсных нано- и микромасштабных пылевых частицах в природе, о свойствах пылевой плазмы. В частности, решение представленных в работах задач весьма существенно для создания целостной картины, характеризующей роль мелкодисперсных пылевых частиц и пылевой плазмы у Луны, для понимания процессов формирования пылевой плазмы у Луны, а также для объяснения ряда наблюдений.