

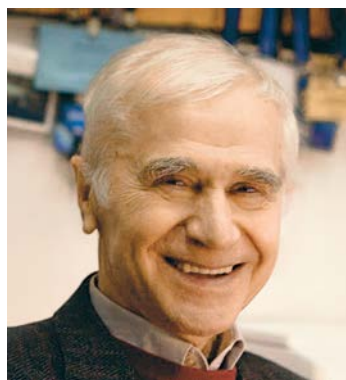
## Лунная пыль

Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,  
академик  
директор Института космических исследований РАН  
Вице-президент Российской академии наук

А.В. ЗАХАРОВ,  
доктор физико-математических наук  
Институт космических исследований РАН

Т.А. БОРИСОВА,  
доктор биологических наук  
Институт биохимии им. А.В. Палладина  
Национальной академии наук Украины

---



*“Море Жажды заполнено не водой, а пылью. Вот почему оно кажется людям таким необычным, так привлекает и завораживает. Мелкая, как тальк; суше, чем прокаленные пески Сахары, лунная пыль ведет себя в здешнем вакууме словно самая текучая*

*жидкость. Урони тяжелый предмет, он тотчас исчезнет – ни следа, ни всплеска... Передвигаться по этой коварной поверхности нельзя, разве что на двухместных пылекатах, специально созданных для этого”, – так писал английский писатель Артур Кларк*

*в своей повести “Лунная пыль”, опубликованной в 1961 г., еще до триумфальных экспедиций советских автоматических станций серии “Луна” и американской программы “Аполлон” (Земля и Вселенная, 1998, № 4; 1989, № 5; 2009, № 5).*



Обложки книг А. Кларка “Лунная пыль”, изданных в США (1974 г.) и в России (2012 г.).

первых посадочных лунных станций. Некоторые специалисты полагали, что естественный спутник Земли за миллиарды лет своего существования покрылся мощным слоем пыли, и аппарат после посадки, не почувствовав опоры, утонет в этой пыли. Приблизительно так развивается сюжет экспедиции пылеката “Селена” по поверхности Луны в фантастической повести Артура Кларка. Очевидно, от свойств поверхности, на которую должен сесть посадочный аппарат, зависит его конструкция. Вопрос стоял критически, и С.П. Королёв со свойственной ему решимостью принял волевое решение: “Луна – твердая”.

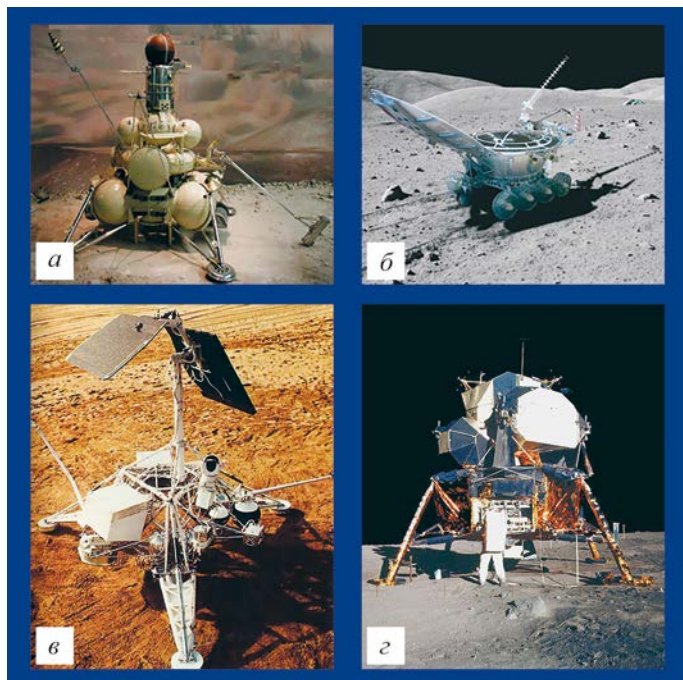
В 1966 г. советская автоматическая станция “Луна-9” впервые совершила мягкую посадку на лунную поверхность (Земля и Вселенная, 2006, № 2). Станция передала снимки рельефа

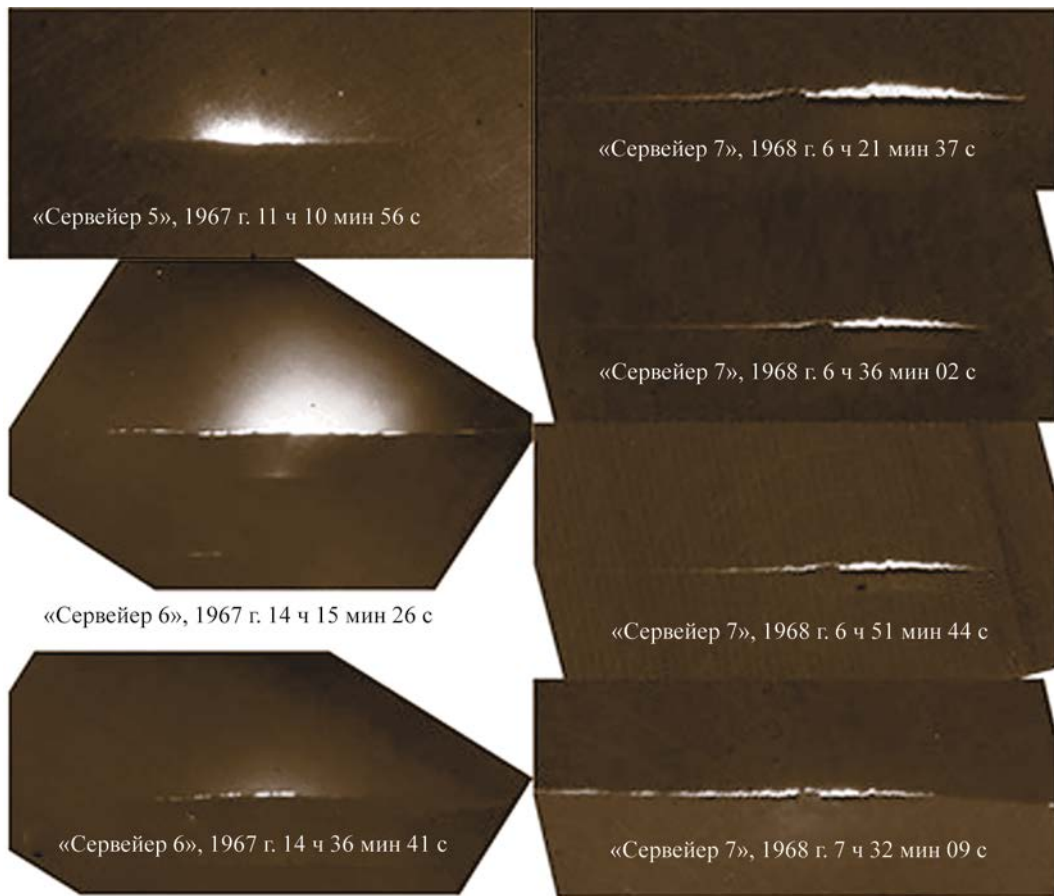
Советские автоматические станции “Луна-16” – а) и “Луноход-1” – б), американская АМС “Сервейер” – в) и лунный модуль КК “Аполлон-11” – г). Рисунки, фото ИКИ РАН и NASA.

ЧТО ЖЕ ТАКОЕ  
ЛУННАЯ ПЫЛЬ?

По-видимому, впервые этот вопрос в практическом его значении

стоял перед Главным конструктором академиком С.П. Королёвым и советскими конструкторами, когда они начали проектирование





*Свечение вблизи поверхности Луны, зафиксированное телевизионными камерами посадочных аппаратов АМС «Сервейер-5, -6 и -7». Фото NASA.*

поверхности Луны, по которым оценена толщина пылевого слоя в месте посадки. С тех пор, в 1960-х – 1970-х гг. в СССР и США выполнили серию блестящих исследований Луны. Пожалуй, наиболее продуктивными для ранних исследований Луны и свойств ее реголита стали советские

«Луноход-1» («Луна-17») и «Луноход-2» («Луна-21»); АМС «Луна-16, -20 и -24» по доставке на Землю образцов грунта; американские автоматические посадочные аппараты «Сервейер» («Surveyor») и пилотируемые экспедиции по программе «Аполлон» (Земля и Вселенная, 1966, № 6; 1968, № 2; 1973, № 5; 1975, № 3; 2005, № 2). Именно эти исследования заложили основу современных представлений о Луне, лунной пыли и ее особенностях, которые

до сих пор полностью не раскрыты.

НАБЛЮДЕНИЯ ПЫЛИ  
НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЛУНЫ

Впервые пылевые частицы, поднимающиеся над поверхностью Луны, были зарегистрированы в 1967–1968 гг. американскими лунными посадочными аппаратами «Сервейер-5, -6 и -7». Сразу после захода Солнца телевизионные камеры станций сфотографировали на лунном горизонте свечение вблизи поверхности



Американский ИСЛ “Клементина”. Рисунок NASA.

Луны (low altitude horizon glow – свечение невысоко над горизонтом) на высоте 10–30 см, которое наблюдалось в течение нескольких часов после захода Солнца. Проанализировав эти фотографии и условия съемки, ученые сделали заключение о том, что наблюдаемое свечение вызвано рассеянием солнечного света на частицах 5–10 мкм, парящими над лунной поверхностью. В ходе полетов кораблей “Аполлон” астронавты обнаружили, что солнечный свет рассеивается около лунного терминатора, вызывая “свечение над горизонтом”. Этот феномен наблюдался с темной стороны Луны во время закатов и рассветов с посадочных аппаратов, такое же явление наблюдали астронавты на лунной орбите. Рассеяние явилось

неожиданностью, так как до этого считалось, что Луна практически не обладает атмосферой.

Признаки рассеяния света на пылевых частицах над лунной поверхностью обнаружены также по данным астрофотометра самоходного аппарата “Луноход-2” в 1973 г. Измерения выполнялись в тени, когда Солнце находилось на 1 градус ниже горизонта. Астрофотометр был направлен в зенит, и оценки показали, что облако пыли, которое рассеивало солнечный свет, находилось на высоте примерно 260 м от поверхности Луны.

Кроме того, астронавты командного отсека КК “Аполлон-17” с лунной орбиты в декабре 1972 г. также получили изображения свечения над лунным горизонтом, это подтвердили показания звездного датчика

американского ИСЛ “Клементина” (“Clementine”; Земля и Вселенная, 1997, № 5) в 1994 г.

Регистрация пылевых частиц в экзосфере Луны была впервые выполнена с помощью прибора LEAM (Lunar Ejecta and Meteorite – лунные выбросы и метеориты), развернутого на ее поверхности астронавтами экспедиции “Аполлон-17”. Прибор LEAM создан для регистрации высокоскоростных (1–25 км/с) микрометеоритов, но один из детекторов имел возможность фиксировать низкоскоростные частицы. Именно данные этого детектора дали неожиданные результаты о достаточно высоких потоках низкоскоростных частиц, летящих со скоростью 100–1000 м/с, не связанных с потоками микрометеоритов. Заряд этих частиц обычно составлял  $10^{-12}$  Кл (что соответствует заряду нескольких миллионов электронов). За время работы прибора (в течение 2 лунных суток) максимальная скорость счета детекторов наблюдалась в районе терминатора, причем наиболее значительное увеличение потоков низкоскоростных частиц происходило в районе восхода

*Прибор LEAM на лунной поверхности (на первом плане), установленный в декабре 1972 г. астронавтами КК "Аполлон-17". Фото NASA.*

Солнца (до 110 пылинок в интервале 3 ч). В районе захода Солнца также наблюдалось увеличение скорости счета, но значительно меньше (10–15 событий за 3 ч).

Для регистрации пылевых частиц на высотах в несколько десятков километров над поверхностью Луны в 2013 г. был выполнен эксперимент LDEX (The Lunar Dust Experiment – лунный пылевой эксперимент) на американском лунном спутнике "LADEE" (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer – исследователь лунной атмосферы и пылевого окружения; Земля и Вселенная, 2014, № 1, с. 106–107). Близкая к экваториальной орбита автоматической станции располагалась на высотах 20–100 км. Прибор LDEX представлял собой ударный детектор, регистрирующий частицы, образовавшиеся в результате ионизации мишени. В результате выполнения эксперимента регистрировалась приблизительно 1 частица в минуту.

*Космический аппарат "LADEE" (США) на орбите Луны. Рисунок NASA.*



Размер частиц соответствовал в среднем 0,3 мкм. Сделано заключение о том, что находящиеся на орбите Луны пылевые частицы представляют собой микрометеорные потоки, обычно появляющиеся вблизи орбиты Земли.

Во многом именно наблюдения при поверхностных свечениях и результаты эксперимента с помощью прибора LEAM явились толчком для развития теоретических основ динамики пылевых частиц вблизи лунной поверхности.

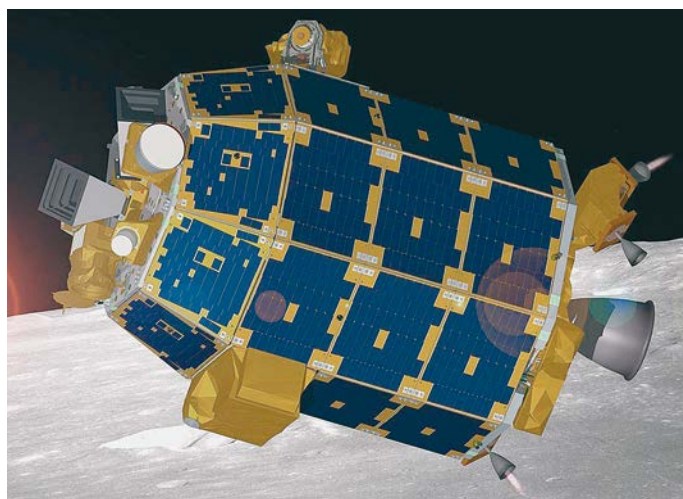




График регистрации пылевых частиц в трехчасовом интервале над поверхностью Луны прибором LEAM за период 22 лунных суток. Значительное увеличение скорости счета пылинок зарегистрировано за несколько часов до и после пересечения терминатора, особенно при восходе Солнца. По данным NASA.

Оказалось, что приповерхностное свечение может стать результатом левитации пылевых частиц, поднимающихся с поверхности Луны под действием электростатических полей; они особенно сильны в районах терминатора.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ЛУННОГО РЕГОЛИТА

Лунный грунт (реголит) – рыхлый, разнотельный обломочно-пылевой слой, достигающий толщины от сантиметров до нескольких десятков метров; состоит из обломков пород ударно-взрывного происхождения, минералов, стекла (Земля и Вселенная, 1969, № 4; 1972, № 2). Реголит сформировался (и постоянно модифицируется) в результате переработки магматических пород под действием факторов кос-

мического пространства – интенсивной метеорной бомбардировки, постоянного солнечного и космического излучений. Микрометеорная бомбардировка, длившаяся на протяжении всей геологической истории Луны, в результате высокоскоростных ударных процессов разрушает кристаллические горные породы. Каждый год на Луну попадает около  $10^6$  кг метеороидов кометного и астероидного происхождения. Скорость падения на Луну большинства частиц составляет 10–72 км/с, они имеют размеры от 10 нм до 1 мм. Эти параметры микрометеороидов определяются по характеристикам микрократеров, которые они формируют на поверхности Луны. Поток микрометеороидов на 1 а.е. (у Луны) оценивается приблизительно в 100 частиц/м<sup>2</sup> в

сутки. Значительная доля вещества, выбрасываемого с поверхности Луны в результате высокоскоростного удара о ее поверхность, падает обратно на лунную поверхность, формируя слой реголита, толщина которого варьируется от 5 м на лунных морях до порядка 10 м на материковых областях. Микронные и субмикронные частицы реголита, выброшенные в результате высокоскоростных ударов микрометеороидов и имеющие скорость, превышающую первую космическую – для Луны (~ 1,7 км/с), формируют пылевое облако вокруг нее.

В результате бомбардировки лунной поверхности высокоскоростными метеорными потоками происходит интенсивное механическое дробление коренной породы Луны, силикатов (основу которых составляет

кремний), их плавление; частичное испарение вещества, спекание фрагментов дробления и образование стеклянных частиц в результате этих процессов. Отдельные частицы тонкой фракции лунного реголита представляют собой спекшиеся фрагменты расплава после высокоскоростного удара микрометеорита.

Воздействие солнечного ветра и высокоэнергичных частиц солнечного и космического происхождения приводит к тому, что в реголит имплантируются ионы водорода и гелия ( $H^+$ ,  $He^{++}$ ) и множество редких элементов. Постоянная переработка частиц реголита микрометеоритами, обогащенными водородом, приводит к плавлению вещества и химическим реакциям. В частности, водород соединяется с окислами железа, в результате образуются пары воды и субмикронные частицы металлического железа, спекающиеся в силикатную основу – стекло. Все эти процессы происходят до тех пор, пока переработанный реголит не покрывается слоем выбросов породы из рядом образовавшихся кратеров; затем процесс переработки новых порций реголита в тонкую фракцию продолжается. Плотность реголита, по данным “Луны-20”, составляет

от 1,04 до 1,8 г/см<sup>3</sup> для различных образцов.

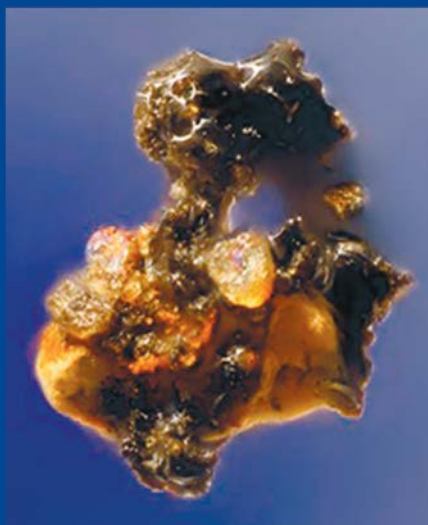
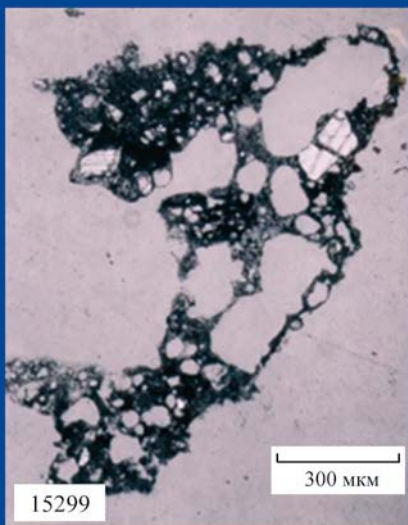
Верхний слой реголита можно рассматривать как хороший изолятор, который на освещенной части поверхности заряжается положительно в результате фотоэмиссии под действием солнечного ультрафиолетового излучения, в результате чего создается приповерхностное электрическое поле. Окружающая космическая плазма, солнечный ветер и возникающая в результате этих процессов динамика заряженных пылевых частиц верхнего слоя реголита образуют плазменно-пылевую экзосферу вблизи поверхности Луны. Высота подъема пылевых частиц зависит от многих факторов и может достигать десятков километров. В областях лунного терминатора и/или нерегулярностей поверхности (кратеры, камни), с резкими границами света и тени, могут возникать динамически нестабильные пылевые образования, контролируемые сильными электрическими полями, появляющимися из-за разницы потенциалов между соседними освещенными и теневыми областями поверхности.

свойства лунной пыли

Процессы переработки лунного реголита под действием разных фак-

торов космического пространства (в частности, в процессе выветривания – space weathering) не только сформировали лунный реголит, но и постоянно модифицируют его физические и оптические свойства. Частицы реголита размером менее десяти доли миллиметра определяются как лунная пыль, которая по массе составляет подавляющую его часть – 60–80%. Конечно, образцы, взятые из разных мест, отличаются. Частицы с характерными размерами (20–80 мкм) составляют по массе приблизительно половину всей лунной пыли. Исследования таких частиц – задача очень сложная, требующая разработки комплекса научных приборов, в том числе электронных и оптических микроскопов, микроанализаторов, позволяющих изучать их структуру и химический состав.

Формы отдельных частиц лунного реголита очень различаются друг от друга и могут иметь как сферическую, так и неправильную форму с ярко выраженными заостренными краями, что очень отличает их от земных аналогов. Для несферических частиц под “размером” обычно понимают диаметр эквивалентной сферы, или окружности. Плотность отдельных частиц обычно составляет 2,7–3,0 г/см<sup>3</sup>. К типичным образцам



агглютината относят пористое стекло с вплавленными частицами силикатной породы и железа.

Электрические свойства пылевых частиц характеризуются чрезвычайно низкой электрической проводимостью, порядка  $10^{-14}$  Ом/м. При солнечном освещении электрическая проводимость увеличивается приблизительно в  $10^6$  раз. Эти характеристики лунного материала указывают на отсутствие воды в исследуемых образцах. Однако еще в 1970-х гг. в образце реголита, доставленном АМС «Луна-24», методом ИК-спектроскопии обнаружены следы воды – около 0,1%. В то время существовало устойчивое представление о Луне как об абсолютно безводном теле, крайне обедненном летучими компонентами... но тогда на это не

обратили внимания. Недавно по данным российского прибора LEND (The Lunar Exploration Neutron Detector – лунный исследовательский нейтронный детектор), установленного на американском ИСЛ «Лунный орбитальный разведчик» («Lunar Reconnaissance Orbiter», «LRO»; Земля и Вселенная, 2009, № 6, с. 99–102), запущенном в 2009 г., стало известно, что в полярных областях реголит может содержать заметное количество воды. Поэтому следует осторожней относиться к величине диэлектрической проницаемости, полученной по образцам, взятым в низко- и среднеширотных областях аппаратами «Луна-16, -20 и -24» и астронавтами КК «Аполлон».

Чрезвычайно низкая электрическая проводимость указывает на то, что лунный реголит слабо

*Частицы лунной пыли, состоящие из агглютината – пористого стекла с вкраплениями частиц силикатной породы и железа. Справа – образец, привезенный в июле 1969 г. астронавтами КК «Аполлон-11». Фото NASA.*

поглощает электромагнитную энергию. Кроме того, это указывает на тот факт, что лунный материал способен заряжаться и сохранять заряд в течение длительного времени. Низкая величина электрической проводимости может приводить к существенному фотоиндуцированному заряду лунной поверхности.

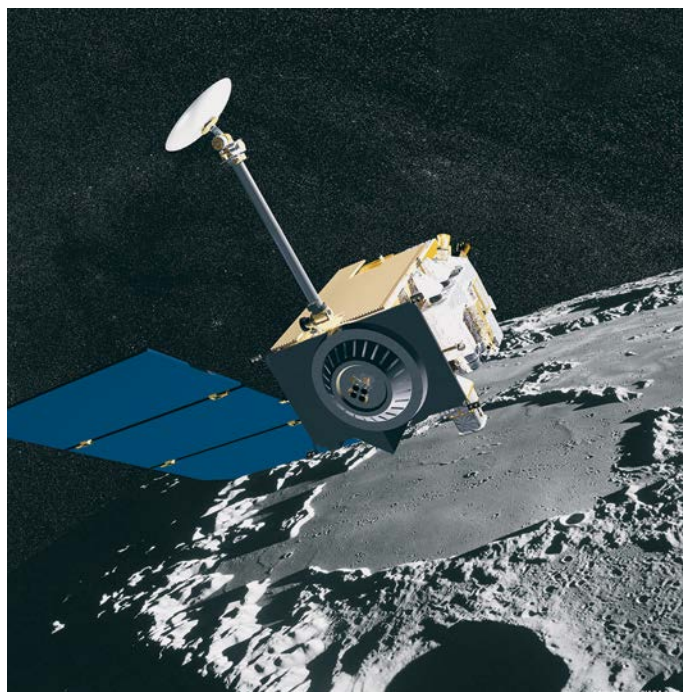
#### СВОЙСТВА ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ

Низкая электрическая проводимость лунного реголита и его способность



*ИСЛ “Лунный орбитальный разведчик” исследует Луну. Рисунок NASA.*

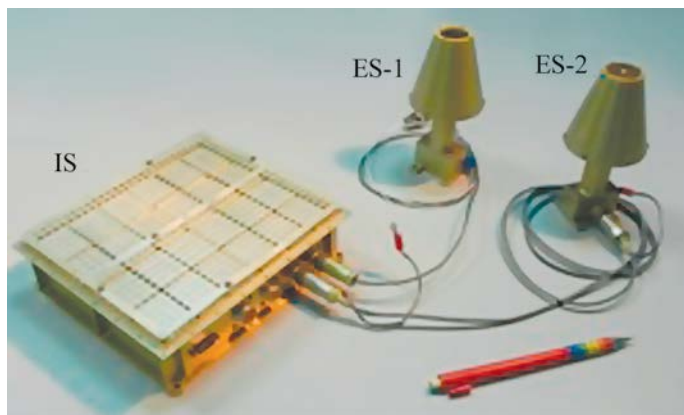
заряжаться под действием солнечного излучения – солнечного ветра (в основном, протоны и электроны) и ультрафиолетовой радиации (длины волн 10–400 нм, интенсивность – 125 Вт/м<sup>2</sup>), вызывающих фотоэмиссию, – может создавать эффективный электростатический заряд пылевых частиц верхнего слоя поверхности Луны. Измерения фотоэлектрических свойств образцов реголита, доставленных в 1969–1972 г. на Землю в результате выполнения программы “Аполлон”, показали, что поток фотоэлектронов с освещенной поверхности Луны в солнечном ветре (вне хвоста магнитосферы) составляет 4,5 мкА/м<sup>2</sup>, а средняя кинетическая энергия фотоэлектронов – около 2 эВ. Эти параметры фототока позволили оценить плотность фотоэлектронов над поверхностью Луны приблизительно в 100 частиц/см<sup>3</sup>, а напряженность электрического поля – около 5 В/м. Плотность солнечного ветра в районе Земли (Луны) составляет менее 10 частиц/см<sup>3</sup>, то есть на порядок меньше плотности фотоэлектронов. Влияние электронов солнечного ветра на заряд освещенной части



поверхности Луны значительно меньше, чем фотоэмиссия. Результаты эксперимента SIDE, выполненного на поверхности Луны по программе “Аполлон”, позволили получить величину потенциала освещенной поверхности Луны вне магнитосферы Земли – она порядка 10 В, но этот параметр может достигать и значительно больших величин – до 200 В (в периоды, когда Луна пересекает “хвост” магнитосферы Земли).

Исследования, выполненные “Лунным орбитальным разведчиком”, на борту которого установлен российский прибор для регистрации потоков нейтронов от поверхности Луны LEND, выявили присутствие

областей, обогащенных водородом в приповерхностной зоне Луны на широтах выше 70° (Земля и Вселенная, 2010, № 3, с. 73; 2011, № 2, с. 107–108). Такие результаты могут быть обусловлены присутствием льда в приповерхностных областях Луны (Земля и Вселенная, 2010, № 4). Водород в виде атомарного, молекулярного водорода или водяного пара в лунном грунте может в значительной степени изменить характер процессов динамики пылевых частиц у поверхности Луны. Чувствительность участков поверхности Луны, обогащенных водородом, к фотоэмиссии оказывается значительно более высокой, чем



*Блоки IS, ES-1 и ES-2 прибора, созданного в ИКИ РАН для регистрации пылевых частиц и измерений электростатического поля вблизи поверхности Луны. Фото ИКИ РАН.*

у окружающих участков, что сказывается в конечном итоге и на процессе зарядки пылевых частиц и их динамике. С другой стороны, водород на поверхности реголита может значительно увеличивать его проводимость и таким образом влиять на величину заряда поверхности.

Заряженные пылевые частицы, находящиеся на поверхности Луны, под действием приповерхностного электрического поля могут подниматься, и облако таких частиц может левитировать – “парить” над ней. В данном случае это не совсем точно. Каждая частица определенной массы и заряда движется по своей траектории, определяемой соотношением электростатической и гравитационной сил. При этом даже во время полета заряд частиц может меняться из-за потери фотоэлектрона, или, наоборот, с приобретением заряженной частицы. Высота

подъема частиц зависит от их размеров, от положения Солнца, физических и химических свойств пылевых частиц. Именно множество таких заряженных частиц над поверхностью Луны создают пылевое облако, способное рассеивать солнечный свет и формировать приповерхностную экзосферу Луны. Она представляет собой плазменно-пылевую среду, нейтральные атомы, молекулы, приповерхностное электростатическое поле.

токсичность лунной пыли

Опыт выполнения программ исследования Луны автоматическими аппаратами (и в особенности в результате выполнения программы “Аполлон”) показал, что частицы лунной пыли обладают способностью активно воздействовать на их элементы и системы, что может приводить к неожиданным

технологическим проблемам. Пылевые микро- и наночастицы проникали в блоки приборов, в скафандры астронавтов, вызывали изменение тепловых режимов аппаратуры (перегрев), изменяли ее тепловые свойства, снижали эффективность тепловых радиаторов, оседали на солнечных батареях и оптике, попадали в движущиеся узлы механизмов, тем самым сокращая время работы и программу исследований. Известно, что лунная пыль затрудняла работу робототехнических систем, бурение грунта и другие механизированные работы. Уже после первой пилотируемой экспедиции (“Аполлон-11”) было обнаружено, что образцы лунной породы, собранные Нейлом Армстронгом и Эдвином Олдрином и герметично упакованные в алюминированном контейнере, разгерметизировались (Земля и Вселенная, 2014, № 3, с. 70).

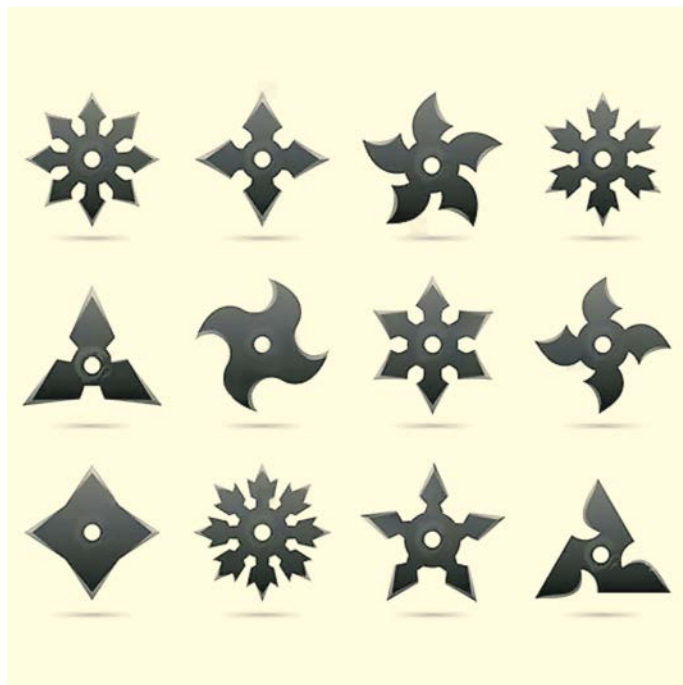
Выяснилось, что лунная пыль воздействует на материалы как хороший режущий инструмент. При высокоскоростном ударе микро-

*Образцы звездочек ниндзя, очень похожие по виду на лунные пылинки. Рисунок из сети интернет.*

метеоритов о поверхность Луны образуются частицы, чрезвычайно отличающиеся, к примеру, от пыли, с которой мы постоянно встречаемся на Земле. На безатмосферной Луне, где нет ни ветра, ни жидкой воды, под воздействием которых частицы постоянно взаимодействовали бы друг с другом, сглаживая свои острые грани, как это происходит в земных условиях, мельчайшие частицы остаются острыми, неровными и способны цепляться почти за любую поверхность.

Расчеты показывают, что на дневной стороне Луны агрессивные свойства пыли могут быть связаны с ее вращением, скорость которой зависит не только от их температуры и электростатического заряда, но и в существенной степени от их размеров, и может достигать десятков

*Астронавт Юджин Сернан (командир корабля "Аполлон-17") в кабине посадочного модуля сразу после его возвращения с прогулки по поверхности Луны. Видны пятна пыли на его теле и на нижнем белье. Декабрь 1972 г. Фото NASA.*



и сотен тысяч оборотов в секунду. Это напоминает звездочки ниндзя (сюрикен) – метательное оружие, распространенное в некоторых азиатских странах. При таком

сравнении следует, конечно, помнить, что частицы лунной пыли на много порядков меньше таких звездочек, да и форма пылинок неправильная.





*Астронавт-геолог экспедиции "Аполлон-17" Харрисон Шмитт на лунной поверхности за работой. Первоначально белый скафандр покрылся пылью. Декабрь 1972 г. Фото NASA.*

основе железа, кальция, магния – хризолит, пироксен. По-видимому, сухая пыль, оказавшись в контакте с влажным воздухом атмосферы посадочного аппарата, выделяет летучие вещества, имплантированные в течение многих миллиардов лет в верхние слои лунного реголита, а это – ионы солнечного ветра, в основном, водород и гелий. Кроме того, при высокоскоростной бомбардировке поверхности Луны микрометеоритами, молекулы пыли разрушаются и могут образовывать "свободные связи", становясь химически активными. Оказавшись в атмосфере кабины корабля, эти связи "находят активных партнеров" – прежде всего, атмосферный кислород, образующий вещества с запахом – которые напоминают порошок. Через некоторое время после контакта с атмосферой во взлетной ступени лунного модуля запах пыли, по свидетельству астронавтов, уже не чувствовался. Его не обнаружили и в земных лабораториях, так как герметичность

Наиболее удивительными оказались впечатления самих астронавтов, побывавших на поверхности Луны. Астронавт экспедиции "Аполлон-17" профессиональный геолог Харрисон Шмитт рассказал: «...это поразительная вещь. Она мягкая, как снег, но, в то же время напоминает абразив. По запаху напоминает "отработанный порошок». Конечно, астронавты в скафандрах не могли чувствовать запах лунной пыли на поверхности Луны. Но лунная пыль оказалась необычайно липкой, она цеплялась к скафандрам, перчаткам, прилипала к ботинкам, ко всем открытым поверхностям и даже проникала в закрытые герметически

отсеки. После работы астронавтов на Луне – несмотря на то, что они пытались тщательно очистить свои скафандры перед тем, как войти в посадочный модуль – пыль попадала внутрь, и они чувствовали ее присутствие. Жалобы были не только на запах пыли, но и на раздражение дыхательных путей и кожи после того, как они возвращались в посадочный модуль.

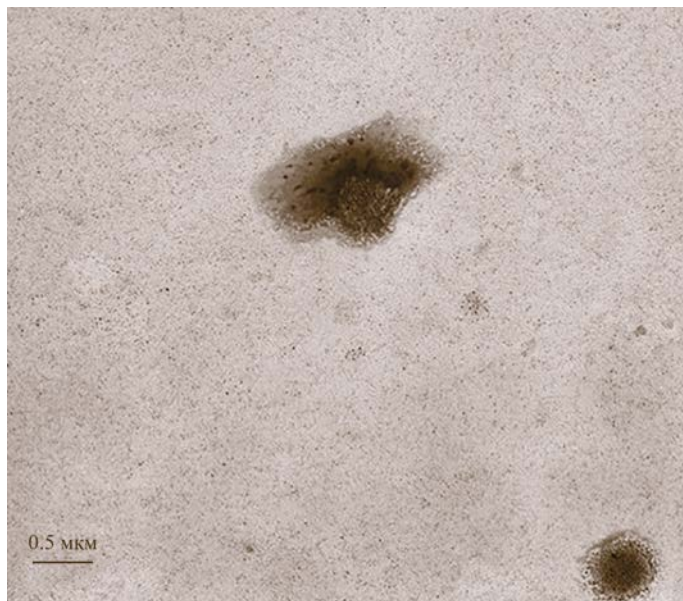
Что же касается запаха пыли (по впечатлениям астронавтов, напоминающей отработанный порошок), то, конечно, состав лунной пыли не имеет ничего общего с порошком. Основной состав лунной пыли – силикатное стекло, разнообразные минералы на

*Электронная фотография аналога пыли JSC-1a, полученной в лаборатории.*

контейнеров за время перелета к Земле была нарушена из-за воздействия той же пыли.

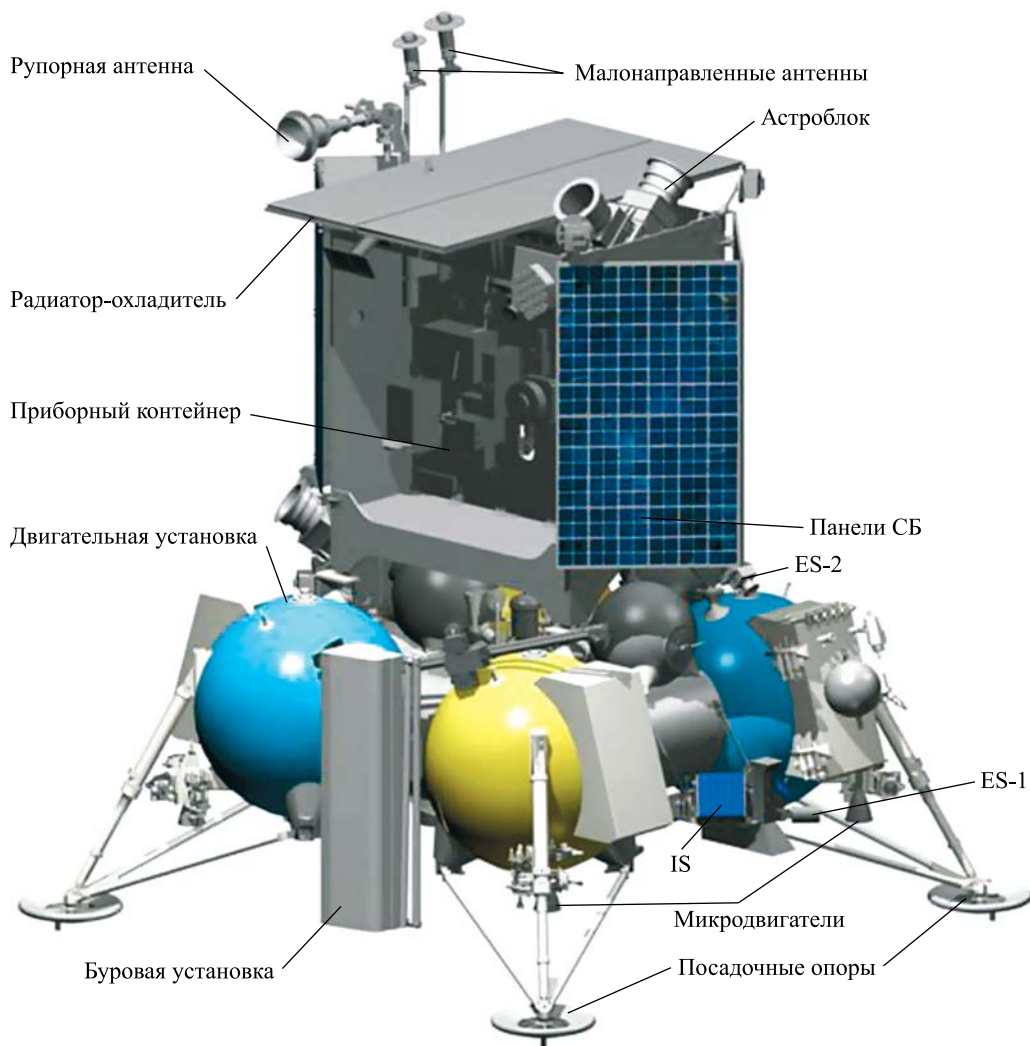
Молекулярные механизмы токсического влияния пыли на биологические объекты (и, в частности, на организм человека) до сих пор детально не изучены. Такого рода биологические исследования проводятся с использованием аналогов пыли – с образцами земного грунта, содержащего частицы, близкие к лунным по химическому составу и размеру. Например, много работ проведено с использованием американского аналога пыли JSC-1a, который получают путем специальной обработки вулканического пепла.

Биологические исследования в этой области можно подразделить на два направления. Первое – изучение воздействия частиц лунной пыли на ткани и органы человека и животных, которые испытывают на себе ее прямое воздействие (кожа, слизистые оболочки, легкие). Второе направление – изучение их катастрофического воздействия (несмотря на отсутствие непосредственного контакта частиц с органами



человека) на здоровье человека, его нервную и сердечно-сосудистую системы, почки, печень. В организме млекопитающих ультрадисперсные частицы могут длительное время сохраняться в носовой полости, бронхах и в альвеолах легких, а также транспортироваться вдоль сенсорных аксонов обонятельного нерва в центральную нервную систему. Кроме головного мозга, ультрадисперсные частицы могут накапливаться и в печени. Аналог пыли взаимодействует с плазматической мембраной нервных окончаний, однако тип такого взаимодействия не ясен. Острые зубчатые края пыли могут эффективно воздействовать на поверхность мембраны, вызывая патологические изменения в клетках:

ведь пыль имеет большую площадь поверхности за счет пористости. Сложность исследования ее токсического влияния заключается в том, что пыль состоит из смеси различных частиц, каждая из которых может действовать на клетки согласно собственному механизму. Основные компоненты пыли: в частности,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , и  $\text{MnO}$  являются, с одной стороны, микроэлементами, необходимыми для роста и функционирования организма, а, с другой (в больших концентрациях), – токсичными соединениями. Попадая в организм человека, они приводят к тяжелым последствиям для здоровья. Стресс, микрогравитация, ультрафиолетовое излучение и радиация могут усилить вредное воздействие



пыли на организм млекопитающих. Химические свойства пыли, взятые из разных регионов Луны, отличаются, поэтому полное понимание ее биологической активности еще предстоит выяснить.

“Обитающую” в вакууме лунную пыль нельзя считать подобной земной пыли. Принципиальным отличием лунной пыли от земной считаются

механизм ее формирования и среда обитания. На дневной стороне Луны, благодаря фотоэффекту, как правило, пыль приобретает положительный заряд. На ночной стороне Луны (либо в кратерах или других неровностях рельефа, куда не попадает солнечный свет) частицы пыли получают отрицательный заряд благодаря потокам электронов. Если на

*Российский лунный посадочный аппарат АМС “Луна-25”. Указаны места установки блоков IS, ES-1 и ES-2 – прибора для регистрации пылевых частиц, созданного в ИКИ РАН. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина.*

Земле динамика пыли определяется потоками воздуха, то на Луне, в вакууме основным механизмом движения

пыли являются электростатические силы.

Изучение и мониторинг свойств и динамики лунной пыли важны как с научной точки зрения (из-за ее существенного влияния на лунную экзосферу), так и в целях технологической

и биологической безопасности будущих лунных робототехнических и пилотируемых экспедиций. Планируемые на ближайшие годы запуски АМС “Луна-25” (“Луна-Глоб”) и “Луна-27” (“Луна-Ресурс”; Земля и Вселенная, 2014, № 3) имеют в своем

составе приборы для изучения динамики и свойств лунной пыли, для измерения электростатических полей. Можно надеяться, что эти исследования помогут продвинуться в понимании загадочных свойств лунной пыли.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Новая книга о С.П. Королёве

К 110-летию со дня рождения выдающегося ученого, Главного конструктора ракетно-космической техники академика С.П. Королёва вышла книга-альбом, подготовленная к печати его дочерью Н.С. Королёвой, – “Жить надо с увлечением!” (М., 2017). Она издана при поддержке Российского исторического общества и представляет собой уникальное издание – биографию Сергея Павловича в фотографиях, письмах, документах и воспоминаниях его коллег, родных и друзей.

Автором использованы материалы из домашнего архива, а также заимствованные у многих людей, кто знал Сергея Павловича



или работал с ним. С.П. Королёв запечатлен на снимках с учеными, космонавтами, специалистами ракетно-космической техники, с друзьями; в кругу родных и близких в разные периоды своей жизни – в тяжелые и победные дни. Многие фотографии публикуются впервые. Наталья Сергеевна проделала значительную работу по сбору огромного материала: «Я назвала свою книгу “Жить

*надо с увлечением”.* Эта фраза всегда была девизом моего отца. В ней много фотографий, я постаралась сделать так, чтобы она рассказывала обо всех сферах жизни Сергея Королёва и ее читатели могли “увидеть” жизнь легендарного конструктора».

Книга позволит читателю узнать больше фактов из жизни замечательного человека. Первые экземпляры своего издания она вручила Гендиректору РКК “Энергия” В.Л. Солнцеву, главе города Королёва А.Н. Ходыреву и молодым ученым на торжественном собрании, которое прошло 12 января 2017 г. в день 110-летия со дня рождения С.П. Королёва. Презентацию книги-альбома Н.С. Королёва она сделала 24 января 2017 г. на 41-х Академических чтениях по космонавтике в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Издание будет полезно всем интересующимся историей космонавтики.