

УДК 629.784.016

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ОРБИТЕ МКС ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ СТАНЦИИ

© 2025 г. Е. В. Шубралова*, А. В. Пеклевский, С. П. Прокопович,
Ф. А. Успенский, В. Н. Чикирев

АО “ЦНИИмаш”, Королёв, Россия

*e-mail: sev@tsniimash.ru

Поступила в редакцию 20.11.2023 г.

После доработки 11.04.2024 г.

Принята к публикации 17.04.2024 г.

В работе приведены результаты проведенных на борту *Российского сегмента Международной космической станции* экспериментов “Тест”, “БТН–Нейтрон”, “УФ–атмосфера” и “Матрешка Р”. Изложены различные аспекты микрометеороидной обстановки: источники мелкодисперсного осадка на поверхности МКС, его биохимический состав, физические характеристики частиц, факторы воздействия на конструктивные элементы и аппаратуру МКС. Исследование основано на результатах отдельных космических экспериментов (КЭ), проводившихся на борту *РС МКС*. На основе различных способов учета метеорной опасности и полученных данных в рассматриваемых КЭ предложено сформировать междисциплинарную единую модель окружающей среды пилотируемого космического комплекса. Взятие проб мелкодисперсного осадка с поверхности объектов в околоземном космическом пространстве является эффективной альтернативой запуску дорогостоящих специализированных межпланетных станций для изучения Вселенной.

DOI: 10.31857/S0023420625020035, EDN: GONWCX

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям, 0.05 % массы всей Галактики составляют микроскопические пылевые частицы. Информацию о химическом составе и структуре межзвездного вещества во Вселенной можно получить, анализируя кометную пыль. Хвост кометы до 100 млн км длиной, движущийся по траектории кометы, можно рассматривать как трал-сборщик и транспортировщик межзвездных пылевых частиц в околоземное пространство. Частицы пыли кометного хвоста могут содержать адсорбированные ими молекулы и частицы межзвездной среды. Эти частицы могут нести информацию о путях распространения химических элементов во всей Галактике от звезд и планет до комет в Солнечной системе. Мелкодисперсный осадок на внешней поверхности *Международной космической станции (МКС)* содержит составляющие элементы межзвездного и кометного вещества, осаждающиеся на ее поверхности в период нахождения МКС в зонах кометных хвостов.

Следует отметить, что измерение газопылевых параметров кометного вещества проводилось еще советскими автоматическими межпланетными станциями (АМС) серии “*Vega*”, оснащенными различными спектрометрами, анализаторами плазменных волн и пылеударным масс-спектрометром для исследования химического состава пылевых частиц. Была получена информация о пылевой обстановке внутри кометы Галлея, характеристиках плазмы, о темпе испарения льдов, обнаружено наличие сложных органических молекул [1]. Позднее был реализован ряд американских, европейских и японских проектов по исследованию комет с помощью АМС. Межпланетная станция НАСА “*Stardust*” (“звездная пыль”), предназначенная для исследования кометы 81Р/Вильда, остается пока единственной, обеспечившей в 2006 г. возврат образцов вещества хвоста кометы (30 крупных и мелких частиц) на Землю (<https://solarsystem.nasa.gov/stardust/news/news116.html>). В добытых зондом фрагментах пыли были обнаружены магний, алюминий, хром, никель, марганец, медь,

галлий и изотоп железа ^{60}Fe , а также глицин — простейшая аминокислота, выступающая основой для синтеза белков.

Внешняя поверхность *МКС* несет на себе уникальный материал для исследования кометного вещества, адсорбированный ее поверхностью в течение более чем двух десятилетий орбитального полета в околоземном космическом пространстве. Следует отметить, что орбита Земли охватывает существенную область Солнечной системы размером 2 а.е.

На материалы конструкций *МКС* действуют физические факторы среды. Помимо воздействий микрометеороидов и элементов космического мусора, влияние на станцию оказывают вакуум, радиация, ультрафиолетовое излучение, трехсотградусный перепад температуры элементов конструкции на каждом орбитальном полувитке в сочетании с агрессивной химической средой: атомарным кислородом, радиоактивными и другими элементами.

Источниками поступления микроорганизмов и мелкодисперсного осадка из межпланетного пространства могут быть частицы метеороидных потоков (роев) 36 кометных хвостов [2]. *МКС* на каждом витке полета пересекает потоки метеороидов (<https://www.imo.net/resources/calendar/>). Частицы кометного вещества, выброшенные в межпланетное пространство из ядра кометы, образуя ее хвост, проникают затем в атмосферу и сгорают на высоте 80–100 км над Землей. Анализ календарных данных метеороидных дождей и продолжительности пребывания *МКС* в зонах пересечения ими орбиты Земли показал, что станция находится в потоке мелкодисперсных частиц кометного вещества от 60 до 100 % эпохи их активности. Длительность пребывания *МКС* внутри потока зависит от угла между плоскостью ее орбиты и направлением потока, поэтому станция пребывает в различных состояниях по отношению к числу одновременно “бомбардирующих” ее метеороидных роев.

Таким образом, исследование микрометеороидной обстановки на орбите *МКС* является междисциплинарным проектом, включающим разделы ядерной физики, физики высоких энергий, геофизики, астрофизики, а также биологии и химии.

Полученные результаты отдельных космических экспериментов (КЭ), проведенных на *РС МКС* в рамках долгосрочной программы научно-прикладных исследований, позволяют реализовать междисциплинарный подход к изучению указанной темы. Примером такого исследования

выступает настоящая статья. В ряду рассматриваемых в настоящей работе КЭ можно выделить эксперимент “Тест” — его результаты относятся к различным разделам физики, химии и биологии.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА *РС МКС*

В ходе проведения КЭ “Тест” в период 2010–2019 гг. с поверхности *МКС* с помощью специального герметичного пробоотборника космонавтами во время внекорабельной деятельности (ВКД) были отобраны четыре десятка проб мелкодисперсного осадка [3, 4]. В наземной лаборатории тампон отделялся от пробоотборника в ламинарном шкафу 2-й степени биологической защиты (полная изоляция воздуха рабочей зоны) для проведения микробиологического и химического анализа. На другом этапе эксперимента культивированные в наземной лаборатории космические штаммы были экспонированы на внешней поверхности *МКС* на ватном тампоне [5]. Длительное экспонирование двух свертков хлопчатобумажной ткани на внешней поверхности *МКС* позволило исследовать сорбцию космозоля [6].

В результате биологического анализа полученных в ходе ВКД проб была установлена возможность сохранения жизнеспособности спор микроорганизмов на поверхности *МКС* в условиях агрессивного околообъектового пространства и воздействия различных скоплений метеороидов (роев) [3, 4], а также их состав. На рис. 1 показан состав жизнеспособных микроорганизмов в пробах, взятых в ходе различных ВКД во время нахождения *МКС* в различных роях с различной интенсивностью потоков частиц.

Наблюдение за изменчивостью отдельных микроорганизмов в открытом космосе вблизи *МКС* в результате двухлетнего экспонирования показало повышение их устойчивости к γ -излучению по сравнению с контрольным штаммом, а также понижение реакции на действие различных концентраций перекиси водорода и 1 % хлора у выживших штаммов [5]. Это указывает на принципиальную возможность существования жизнеспособных спор микроорганизмов в мелкодисперсном осадке кометного происхождения.

Результаты химического анализа проб мелкодисперсного осадка с поверхности модулей *Российского сегмента МКС* также показали, что орбитальная космическая пыль включает смесь морского и терригенного аэрозоля. Выявленные фрагменты ДНК *Mycobacteria* морского

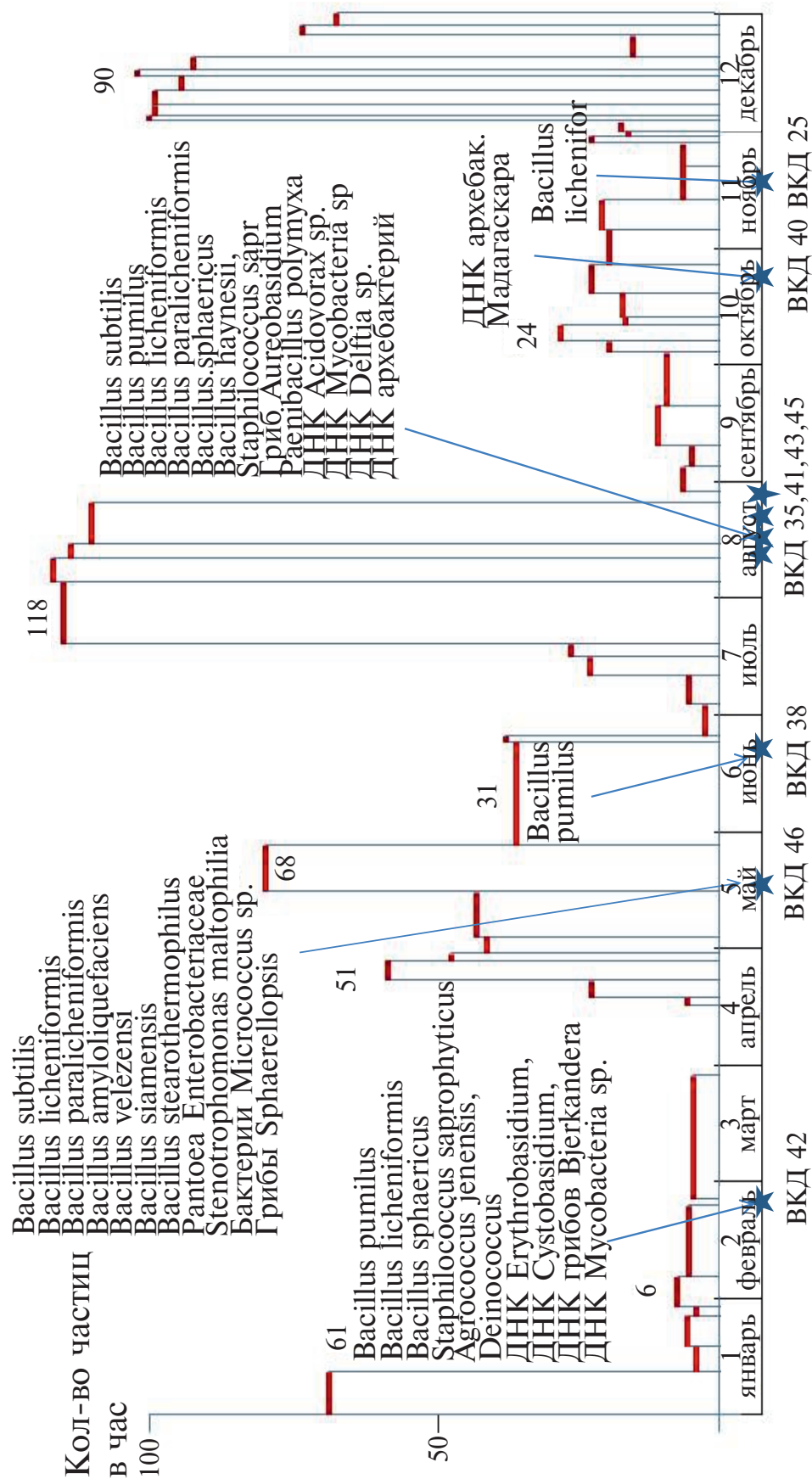


Рис. 1. Суммарное количество частиц в час (числа сверху) во время движения МКС через зону хвостов роя и состав жизнеспособных микроорганизмов в пробах, взятых в ходе различных ВКД (синие звездочки)

бактериопланктона, обитающего в Баренцевом море, и ДНК бактерий, найденных в почве Мадагаскара, а также бактерий *Acidovorax* sp., ранее выделенных из морской воды, и данные о химическом составе космической пыли на поверхности *МКС* подтверждают гипотезу о существовании механизма “ионосферного лифта”, осуществляющего перенос тропосферного аэрозоля с поверхности Земли в верхнюю ионосферу.

Источниками поступления земных микроорганизмов являются слой биосферы, пополняемый с помощью ионосферного лифта земными аэрозолями, пристыковывающиеся транспортные грузовые и пилотируемые корабли (внутренняя воздушная среда, контаминация внутренней и внешней поверхности доставляемых грузов; микрофлора членов экипажей и их экипировки; внутриобъектовая среда — при сбросе воздуха при шлюзовании и при работе систем жизнеобеспечения). Очевидно, что на поверхности станции возможно также нахождение микроорганизмов, оставшихся после сборки и выведения модулей на орбиту.

Учитывая сказанное выше, целесообразно формирование новой научной дисциплины — *внеатмосферной микробиологии*, основными задачами которой будут изучение микроорганизмов, существующих за пределами атмосферы, определение их земного или космического

происхождения, маршрутов переноса тропосферных лифтов, наблюдение за изменчивостью внеатмосферных штаммов.

При исследовании проб обнаружено 65 химических элементов, в том числе, имеющих радиоактивные изотопы (рис. 2). Согласно полученным результатам были обнаружены не только атомарный кислород, сера, фтор, хлор, но и радиоактивные элементы — уран, торий, радий, цезий и ряд других элементов. Были выявлены химические элементы, входящие в вулканические газы и в состав микрометеороидов в характерных соотношениях [6].

Расчеты, проведенные Центром управления полетами (ЦУП ЦНИИмаш) в рамках выполнения работ по КЭ “Тест” [2], показывают, что на интервале в один год возможны варианты, при которых *МКС* находится в зоне безопасности каждого из 36 роев метеороидов или подвергается одновременному воздействию от одного до восьми роев (<https://www.imo.net/resources/calendar/>). Общее время нахождения в защищаемой Землей области для *МКС* составляет 92.8 сут, или 25.4 % суммарного времени прогнозирования движения станции на год (таблица).

Для расчетов брали актуальные начальные условия (параметры движения *МКС*) и осуществляли прогноз движения на длительный интервал времени с некоторым шагом. На каждом

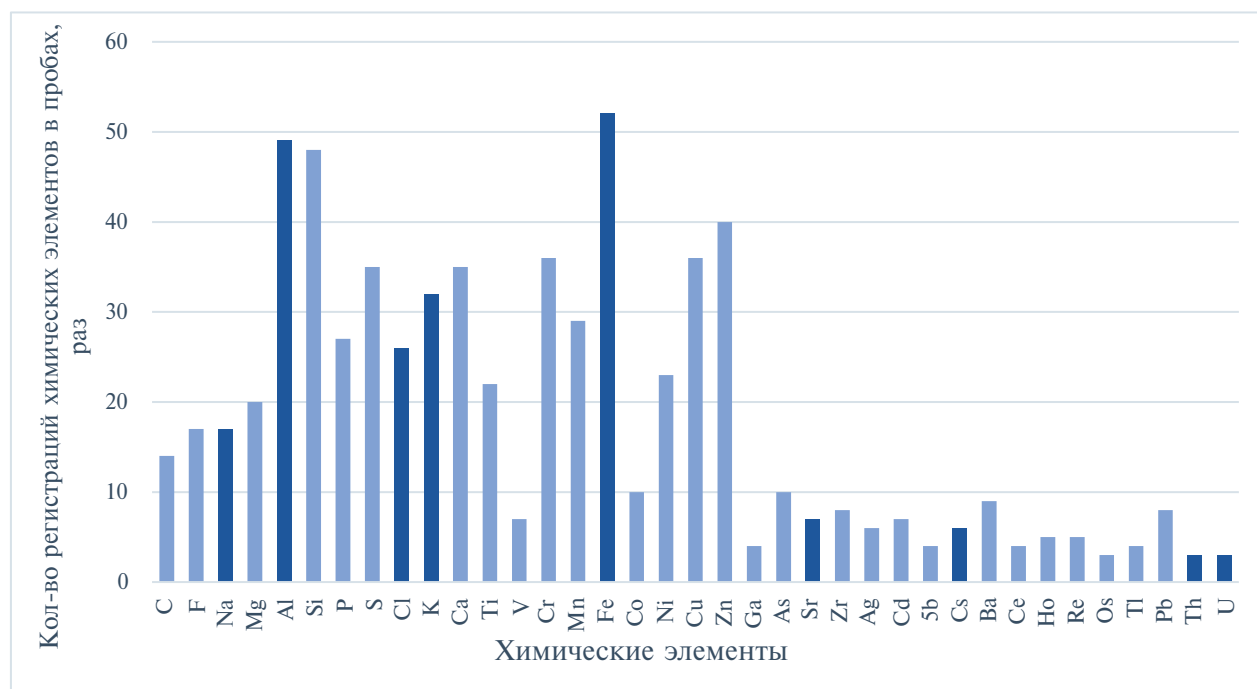


Рис. 2. Химические элементы, выявленные в пробах осадка на поверхности *РС МКС*, и количество их регистраций (темным цветом выделены элементы, имеющие радиоактивные изотопы)

Таблица. Результаты расчетов метеороидной обстановки на орбите *МКС* в 2018 г.

№	Наименование роя	Эпоха активности потока	Суммарное время <i>МКС</i> в роях, (% от эпохи / дни)	Зенитное число метеор. в час (ZHR)	Вероятное число частиц, падающих на <i>МКС</i> в час/ эпоху
1	Квадрантиды	28.XII – 12.I	48/7.72	120	57.6/22233
2	Гамма-Урса-Минориды	15.I – 25.I	56/6.16	3	1.7/446
3	Альфа-Центавриды	28.I – 21.II	69/16.54	6	4.14/2382
4	Гамма-Нормиды	25.II – 28.III	62/21.05	6	3.7/3031
5	Лириды	16.IV – 25.IV	88/8.76	18	15.8/3784
6	Пи-Пуппиды	15.IV – 28.IV	57/8.01	10	5.7/1922
7	Эта-Аквариды	19.IV – 28.V	73/28.6	50	36.5/34320
8	Эта-Лириды	03.V – 14.V	56/6.75	3	1.68/486
9	Дневные Ариетиды	14.V – 24.VI	62/25.52	50	31/30624
10	Июньские Боотиды	22.VI – 02.VII	80/8.79	2	1.6/422
11	Южные Писциды	15.VII – 10.VIII	66/17.17	5	3.3/2060
12	Альфа Каприкорниды	03.VII – 15.VIII	74/31.9	5	3.7/3828
13	Южные дельта Аквариды	12.VII – 23.VIII	66/26.22	25	16.5/15732
14	Персеиды	17.VII – 24.VIII	63/24.1	150	94.5/86760
15	Каппа-Цигниды	03.VIII – 25.VIII	82/18.96	3	2.46/1365
16	Ауригиды	28.VIII – 05.IX	63/5.04	6	3.78/726
17	Сентябрь эpsilon Персеиды	05.IX – 21.IX	57/9.75	5	2.85/1170
18	Дневные Секстантиды	09.IX – 09.X	61/18.99	5	3.05/1079
19	Дракониды	06.X – 10.X	49/2.46	15	7.35/886
20	Южные Тауриды	10.IX – 20.XI	68/48.07	5	3.4/5768
21	Дельта-Ауригиды	10.X – 18.X	55/4.98	2	1.1/239
22	Эпсилон-Геминиды	14.X – 27.X	58/8.1	3	1.74/583
23	Ориониды	02.X – 07.XI	69/24.9	15	10.35/8964
24	Лео Минориды	19.X – 27.X	57/5.1	2	1.14/245
25	Северные Тауриды	20.X – 10.XII	63/32.22	5	3.15/3866
26	Леониды	06.XI – 30.XI	62/15.6	15	9.3/5616
27	Альфа-Моноцеротиды	15.XI – 25.XI	75/8.28	6	4.5/1192
28	Ноябрьские Ориониды	13.XI – 06.XII	66/15.76	3	1.98/1134
29	Фенициды	28.XI – 09.XII	56/6.75	3	1.68/486
30	Пуппиды/Велиды	01.XII – 15.XII	57/8.6	10	5.7/ 2064
31	Моноцеротиды	05.XII – 20.XII	62/9.9	2	1.24/ 475
32	Сигма-Гидриды	03.XII – 15.XII	58/7.53	3	1.74/542
33	Геминиды	04.XII – 17.XII	60/8.37	120	72/24106
34	Кома Беренициды	12.XII – 23.XII	8/10.13	3	2.52/729
35	Декабрьские Лео Минориды	05.XII – 04.II	57/17.54	5	2.85/2105
36	Урсиды	17.XII – 26.XII	55/5.51	10	5.5/1322

шаге вычислялись углы, характеризующие положение аппарата относительно потока. Поток метеороидов (рой) характеризуется координатами положения радианта (обычно во время максимума), скоростью входа метеоров в атмосферу, временем прохождения мимо Земли и временем максимальной интенсивности, интенсивностью потока, выраженной в количестве элементов, пересекающих единичную поверхность за единицу времени. Полагалось, что диаметр роя больше диаметра Земли.

Таким образом, для получения фактического материала, содержащего кометное вещество, адсорбированное поверхностью орбитальной станции, при реализации КЭ “Тест” использовалась внешняя поверхность *МКС*. Отобранный при ВКД мелкодисперсный осадок доставлялся для исследования на Землю в естественном (вакуумированном) состоянии [7]. Информация, получаемая в ходе реализации КЭ “Тест”, демонстрирует возможности *МКС* как орбитальной исследовательской лаборатории для получения нативных данных и альтернативы весьма дорогостоящим вариантам их получения посредством отдельных целенаправленных запусков специализированных межпланетных станций к кометам.

В рамках космического эксперимента “Тест” в целях исследования сорбции космозоля, формирующего мелкодисперсную осадочную среду на поверхности *МКС*, на Землю были также доставлены хлопчатобумажные свертки ткани, размещенные на внешней поверхности *МКС* ранее в 2008–2009 гг., которые улавливали неадсорбированную металлической поверхностью мелкодисперсную пыль.

По результатам химического анализа было установлено, что элементному составу метеороидов соответствуют полученные результаты химического анализа мелкодисперсного осадка на свертке ткани, экспонировавшимся на внешней поверхности *РС МКС* более восьми лет. При анализе свертков ткани, экспонированной снаружи *МКС*, в значимых концентрациях обнаружен редкоземельный элемент гольмий, обладающий парамагнитными свойствами. Этот лантаноид находится на Земле в рассеянном состоянии. Его неожиданно высокое содержание может быть связано только с попаданием на поверхность *МКС* пыли из межпланетного пространства. Среди космических объектов с аномально высоким содержанием гольмия выделяется звезда Пшибыльского (по каталогу Дрепера № НТ 101065) из созвездия Центавра.

Установлено, что в состав химических элементов, содержащихся в осадочной среде,

отобранной на поверхности *МКС*, входят элементы, являющиеся постоянной составной частью железных и каменных метеоритов в характерных для них соотношениях [6]. Это свидетельствует о присутствии на поверхности станции мелкодисперсного осадка метеороидного вещества и указывает на возможность принадлежности его к каменным либо железным метеоритам.

Микрометеоритная пыль, содержащаяся в осадочной среде, отобранной на поверхности *МКС*, — уникальный материал для фундаментальных исследований, поскольку исключается неизбежная контаминация микрометеоритов при прохождении атмосферы и при падении на поверхность Земли.

Реализация КЭ “Тест” позволяет расценивать поверхность *МКС* как уникальный и доступный сборщик кометного вещества. Неоднократно выявленные в ходе эксперимента “Тест” частицы редкого металла рения можно рассматривать как маркер следов вулканических газов, достигших внешней поверхности *МКС*. Вулканическим газам присуще наличие в их составе радиоактивных изотопов, поэтому наличие в составе проб радиоактивных элементов (см. рис. 2, темные полосы) можно объяснить их вулканическим происхождением.

С такой версией происхождения рения согласуется практически постоянное обнаружение в составе проб осадка типичных составляющих вулканических газов — серы, фтора, хлора, калия. Газопылевые выбросы вулкана включают редкие металлы, такие как индий, кадмий, теллур, найденные одновременно с рением в пробах с поверхности *МКС* [8]. Кроме того, по результатам нейтронно-активационного анализа в пробах выявлены осмий, радий, торий, уран, цезий; на загрязненных участках анализируемых поверхностей концентрация этих элементов повышена в 3–4 раза.

Вулкан Кудрявый на острове Итуруп Курильской гряды представляет собой уникальный случай долговременной стационарной высокотемпературной магматической дегазации. В его газопылевых выбросах содержится много рения. Это единственное открытое месторождение рения, третье в мире по запасам этого металла.

На нашей планете насчитывается примерно 840 действующих вулканов, обычно за год происходит 20–30 извержений. В ходе КЭ “Тест” было установлено наличие следов вулканических газов на высоте 400 км над Землей.

Агрессивная химическая среда на поверхности *МКС* указывает на необходимость изучения воздействия адсорбированных поверхностью веществ, на важность контроля и нейтрализации их

механического и химического влияния на конструкционные материалы орбитальной станции.

Поток высокоэнергетических частиц и микрочастиц со скоростями в несколько десятков километров в секунду приводит к увеличению потока вторичных нейтронов, генерируемых в материалах поверхности *МКС*. В рамках выполнения КЭ “БТН-Нейтрон” проводились измерения вторичных нейтронов вблизи поверхности *МКС* и альbedo Земли [9].

Данные измерений пространственных и глубинных распределений радиационных характеристик космического ионизирующего излучения в гермоотсеках *РС МКС* в ходе проведения КЭ “Матрешка-Р” показывают влияние конструктивных особенностей и материалов на

защищенность от ионизирующего излучения внешней среды [10]. Представляет особый интерес комплексный анализ причин десятикратного всплеска дозы ионизирующего излучения, зарегистрированного прибором “Тритель” в ходе проведения 21.XII.2020 КЭ “Матрешка”.

С помощью научной аппаратуры в рамках КЭ “УФ атмосфера” проводится регистрация свечения входящих в атмосферу метеоров [11]. В ходе эксперимента зарегистрировано около 5 тыс. различных микрометеоров, частота наблюдения которых составляет около 0.4 метеора в минуту. На рис. 3 приводится распределение частоты регистрации метеороидов научной аппаратурой КЭ “УФ атмосфера” (верхний график) и распределение частиц роя (нижний график),

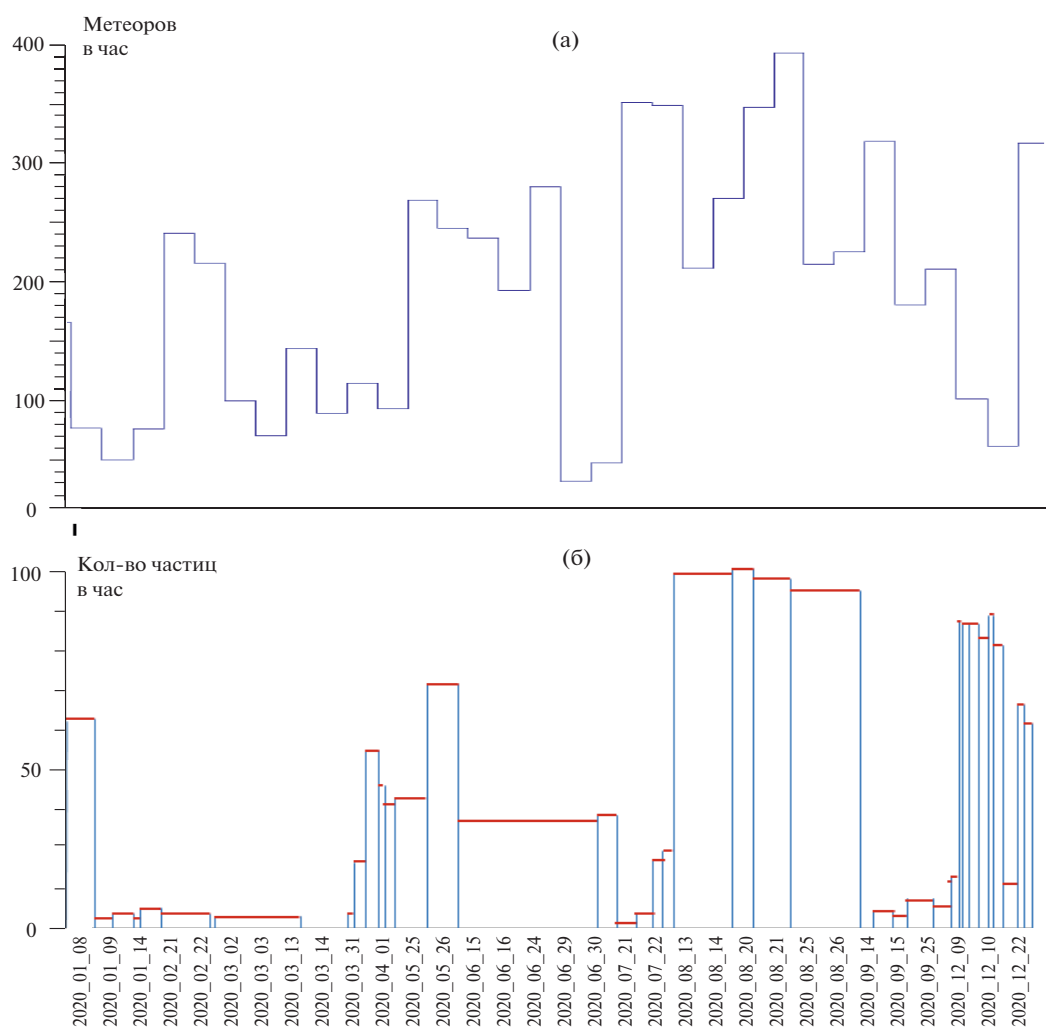


Рис. 3. Распределение по дням частоты регистрации метеоров научной аппаратурой КЭ “УФ атмосфера” (а) и количество частиц в час в период движения *МКС* через зону хвостов кометных частиц (рой) в соответствии с взаимным положением *МКС* и роя (б)

рассчитанных для КЭ “Тест”. На графике отражено, что 21.XII.2020 научной аппаратурой зарегистрированы свечения метеорных частиц (рис. 3, крайний правый всплеск на верхнем графике). В этот период 55 % полетного времени *МКС* находилась в зоне действия потока частиц кометных хвостов Уриды (10 частиц в час) и завершения действия потока частиц кометных хвостов “Геминиды” (до 120 частиц в максимум действия).

Известно по крайней мере о двух космических аппаратах, испытывавших электрические аномалии, которые потенциально могли быть вызваны ударами метеороидов во время усиления метеорного потока Персеид, — спутник *Olympus* в 1993 г. [12] и спутник *Landsat-5* в 2009 г. [13]. Касательно электрических эффектов следует отметить, что скорость метеорита является доминирующим фактором, при этом количество генерируемого заряда обычно масштабируется как масса, умноженная на скорость в четвертой степени [14].

Для оценки степени опасности, связанной с возможным электрическим повреждением, важно знать свойства материалов космического корабля, поверхностный потенциал, близость электрических компонентов и экранирования к месту удара. Важно отметить, что воздействие высокоскоростных частиц на космический объект может привести не только к механическому пробоя, но и к мощным электрическим импульсам, вызывающим отказ оборудования [14, 15].

Эти выводы целесообразно объединить в единую модель окружающей среды. В сочетании с моделью повреждения при ударе (моделью типа BUMPER [16]) это сможет обеспечить наиболее надежную вероятностную оценку повреждений космического средства с учетом его орбиты в процессе проектирования и разработки.

3. МОДЕЛИ МЕТЕОРОИДНОЙ ОБСТАНОВКИ И ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЫ

Для оценки рисков повреждения космических аппаратов метеороидами (М) и частицами космического мусора (КМ) разработаны специальные инструменты в виде моделей метеороидной обстановки и моделей техногенной среды [17]. К началу проекта *МКС* в НАСА была разработана модель техногенной среды и программа BUMPER [16] для расчета риска пробоя. В 2017 г. была зарегистрирована отечественная программа “Риск-удар”, созданная ЦНИИ-маш совместно с РКК “Энергия” на основе

разработанных в НАСА новых моделей метеороидной (MEM R2) и техногенной (ORDEM 3.0) сред [18].

В качестве показателя безопасности, связанной с воздействием метеороидно-техногенной среды, используется вероятность неprobоя (ВНП) гермооболочки модуля за проектное время его эксплуатации. Результаты расчетов вероятности неprobоя *РС МКС* за период 2016–2024 гг. приведены в публикации [18]. В этом исследовании учтены результаты ряда работ специалистов НАСА по защите от метеороидной и техногенной опасности. Обзор процесса анализа рисков, результаты исследований взаимодействий метеороидов и элементов космического мусора с корпусами Шаттла и *МКС*, применение защиты, а также описание окружающей среды, связанное с метеороидами и орбитальным мусором, приведено в статье [16].

Интенсивность потоков высокоскоростных частиц М и КМ определяется исходя из моделей плотности их потоков. Такие модели для метеороидов приведены в ГОСТ 25645.128-85 “Вещество метеорное. Модель пространственного распределения”, для космического мусора — в ГОСТ 25645.167-2005 “Космическая среда (естественная и искусственная). Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве”. За многие десятилетия, прошедшие с момента утверждения стандартов, появились новые экспериментальные данные, разработаны и предложены к использованию ряд моделей метеороидной и техногенной сред. Аналитический обзор различных метеороидных моделей представлен в работе [17].

Исходя из того, что подавляющее большинство космических аппаратов проектируются с большим сроком активного существования, целесообразно дополнить метеороидно-техногенную модель иными факторами. Следует учесть риски, связанные с продолжительным воздействием агрессивной космической среды, включая радиационное, электростатическое, химическое и термическое воздействия. Это в наибольшей степени относится к пилотируемым космическим комплексам, для которых нужно учитывать и бактериологический аспект.

4. ВЫВОДЫ

1. Результаты, полученные в ходе проведения космических экспериментов на *РС МКС*, показали целесообразность оценки стойкости

конструкционных материалов космических аппаратов в условиях осаждения на них агрессивных элементов среды и учета остаточной радиации на объектах, возвращаемых в гермоотсек после экспонирования в открытом космосе.

2. Космический эксперимент “Тест” подтвердил, что космический мусор и многотысячные орбитальные группировки являются сборщиками и носителями биообъектов, агрессивных химических элементов и радиоактивных частиц, не рассеиваемых в космическое пространство, а адсорбируемых поверхностью аппаратов.

3. Междисциплинарный подход к изучению космической среды подчеркивает целесообразность учета рисков, связанных с продолжительным воздействием агрессивной космической среды, и формирования междисциплинарной единой модели окружающей среды пилотируемого космического комплекса.

4. Полученные в ходе реализации КЭ “Тест” результаты демонстрируют возможность использования МКС как орбитальной исследовательской лаборатории для получения уникальных данных в качестве альтернативы весьма дорогостоящим способам их получения, таким как, например, организация специализированных миссий к кометам (миссия “Розетта” к комете Чуримова–Герасименко длилась 12 лет, миссия “Stardust” к комете Вильда — 7 лет). Исследование нативных образцов в лабораторных условиях дает несравненно более значимые научные результаты в сравнении с возможностями дистанционного исследования научной аппаратурой на автоматических межпланетных станциях.

5. Регулярное исследование образцов мелкодисперсного осадка на орбите МКС с учетом календаря метеороидных потоков и развития методов внеатмосферной микробиологии позволит получать значимые научные результаты о физических процессах во Вселенной, а также о физических и биологических процессах на нашей планете.

Исследование космической среды на орбите МКС на основе междисциплинарного подхода имеет высокий научный потенциал в области микробиологии, геофизики и астрофизики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аванесов Г.А., Мороз В.И.* Ядро кометы Галлея // Наука и человечество. М.: Знание, 1988. С. 214–231.
2. *Deshevaya E.A., Shubralova E.V., Fialkina S.V. et al.* Microbiological Investigation of the Space Dust Collected from the External Surfaces of the International Space Station // Intern. J. Biomedical Science and Engineering BioNanoScience. 2020. V. 10. P. 81–88. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00712-1>
3. *Цыганков О.С., Гребенникова Т.В., Дешева Е.А. и др.* Исследования мелкодисперсной среды на внешней поверхности международной космической станции в эксперименте “Тест”: обнаружены жизнеспособные микробиологические объекты // Косм. техника и технологии. 2015. № 1(8). С. 31–41.
4. *Grebennikova T.V., Syroeshkin A.V., Shubralova E.V. et al.* The DNA of Bacteria of the World Ocean and the Earth in Cosmic Dust at the International Space Station // Scientific World J. 2018. Art. ID. 7360147. P. 1–7.
5. *Deshevaya E.A., Fialkina S.V., Shubralova E.V. et al.* Survival of microorganisms during two-year exposure in outer space near the ISS // Scientific Reports. 2024. V. 14(1). Art. ID. 334. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49525-z>
6. *Zinivovskaia I., Grozdov D., Yushin N. et al.* Analysis of the rolled cotton cloth fixed on the outer surface of the International Space Station using neutron activation analysis and complementary techniques // Acta Astronautica. 2021. V. 189. P. 278–282.
7. *Цыганков О.С., Шубралова Е.В.* Способ обнаружения кометного вещества и идентификация его с источником происхождения. Пат. РФ № 2673128 // Б.И. 2018. № 33.
8. *Пономарев Г.П., Павлюков В.К., Абдурахманов А.И. и др.* Распределение радиоактивных изотопов в отложениях на фумарольных полях вулкана Кудрявый (остров Итуруп, Курильские острова) // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008.
9. *Литвак М.Л., Митрофанов И.Г., Головин Д.В. и др.* Долгопериодические вариации нейтронной компоненты радиационного фона в окрестности Международной космической станции по данным космического эксперимента “БТН-нейтрон” // Косм. исслед. 2022. Т. 60. № 3. С. 206–217.
10. *Лишневский А.Э., Шуришаков В.А., Карташов Д.А.* Предварительные результаты обработки данных дозиметра “Тритель” в составе космического эксперимента “Матрешка-Р” на борту Российского сегмента Международной космической станции // Косм. исслед. 2023. Т. 61. № 1. С. 78–88.
11. *Белов А.А., Климов П.А., Шаракин С.А.* Космический эксперимент “УФ атмосфера”: картография ночной атмосферы в УФ-диапазоне с высоким временным разрешением // Пилотируемые полеты в космос. 2022. № 3(44). С. 93–104.
12. *Cooke W.J.* The 2009 Perseid Meteoroid Environment and Landsat 5 / NASA MEO Internal Report. NASA Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama, 2009.

13. *McDonnell J., McBride N., Green S.* Near Earth environment // *Interplanetary Dust* / Eds. Grun E. et al.. New York: Springer, 2001. P. 161–231.
14. *Douglas Caswell R., McBride N., Taylor A.* Olympus end of life anomaly – A Perseid meteoroid impact event? // *Intern. J. Impact Engineering*. 1995. V. 17. P. 139–150. [https://doi.org/10.1016/0734-743X\(95\)99843-G](https://doi.org/10.1016/0734-743X(95)99843-G)
15. *Воронов К.Е., Телегин А.М., Пияков А.В. и др.* Физические эффекты при высокоскоростном соударении микрометеороидов и частиц космического мусора с поверхностью космического аппарата // *Успехи прикладной физики*. 2020. Т. 8. № 1. С. 3–20.
16. *Christiansen E.L.* Meteoroid/Debris Shielding. TP-2003-210788/ Houston, Texas: NASA Johnson Space Center, 2003. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20030068423>
17. *Миронов В.В., Толкач М.А.* Модели метеороидной среды в околоземном космическом пространстве и определение плотности потока метеороидов // *Косм. техника и технологии*. 2017. № 2. С. 49–62.
18. *Марков А.В., Коношенко В.П., Беглов Р.И. и др.* Основные направления и результаты работ по защите Российского сегмента МКС от метеороидов и космического мусора // *Косм. техника и технологии*. 2018. № 4. С. 16–28.

INVESTIGATION OF THE SPACE ENVIRONMENT IN THE *INTERNATIONAL SPACE STATION* ORBIT ACCORDING TO EXPERIMENTS ON THE RUSSIAN SEGMENT OF THE ISS

© 2025 E. V. Shubralova*, A. V. Peklevskiy, S. P. Prokopovich,
F. A. Uspenskiy, V. N. Chikirev

JSC “TsNIIMash”, Korolev, Russia

*e-mail: sev@tsniimash.ru

The paper presents the results of the space experiments “Test”, “BTN-Neutron”, “UV-atmosphere” and “Matryoshka R” carried out on board the *Russian Segment of the International Space Station* (RS ISS). Various aspects of the micrometeorite environment are described: sources of fine sediment on the ISS surface, its biochemical composition, physical characteristics of particles, factors affecting structural elements and equipment of the *ISS*. The study is based on the results of space experiments conducted on board the *RS ISS*. Basing on consideration of ways to account for meteor hazard and the data obtained in the considered space experiments, it is proposed to form a unified interdisciplinary model of the environment of a manned spacecraft. Taking samples of fine sediment from the surface of objects in near-Earth space is an effective alternative to launching expensive specialized missions to study the Universe.