

ЗЕМЛЯ И

№ 5 (347)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2022

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

ВСЕЛЕННАЯ

К ЭКЗОПЛАНЕТАМ ИЗ МОСКВЫ: ЛЕТНЯЯ КОСМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

ЧТО ТАКОЕ МЕЖДУНАРОДНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРАВО
И ДЛЯ ЧЕГО ОНО НУЖНО

ПОЧЕМУ СЕГОДНЯ НЕВОЗМОЖНА МАРСИАНСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ?



ВУЛКАНЫ И КОСМОС

КОСМАТЫЕ ПРИШЕЛЬЦЫ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2022 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу
в магазинах «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 295 руб.

«Природа» — 340 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 340 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**



СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2022 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	229	79
«Природа»	286	79
«Энергия: экономика, техника, экология»	286	79

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.
Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГБУ «Издательство «Наука»:**
Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)
E-mail: journals@naukaran.com

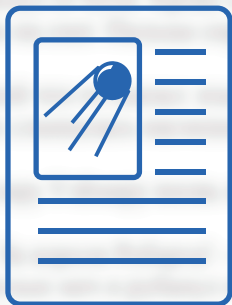


Издательство «Наука» оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ «АКАДЕМКНИГА»

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№5 (347)

СЕНТЯБРЬ-ОКТЯБРЬ, 2022

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На обложке:

Вулкан Ключевской:
боковой прорыв имени
члена-корреспондента АН СССР
Г.С. Горшкова 16 марта 2021 г.
(см. стр. 15). Фото Д. Будькова

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора 3

ГИРИНА О.А., ЛУПЯН Е.А., СОРОКИН А.А.,
КРАМАРЕВА Л.С. Вулканы и космос 5

БАЗИЛЕВСКИЙ А.Т. Косматые пришельцы 19

Космическое образование

ЛЕМЕЩЕНКО С.А. Летняя Космическая Школа –
среда для научной коммуникации и гражданской
науки 30

ЛОМАКИН А.А. Секция астрофизики и геофизики
на Летней Космической Школе 40

БЕЛОУСОВА М.Д., ГАСАНОВ А.А.,
ПРОСКУРЯКОВА Е.М. Применение VR-технологий
в образовательных задачах на примере создания
симулятора добычи, обработки и анализа ледяного
керна 48

Космонавтика XXI века

АБАШИДЗЕ А.Х., ЧЕРНЫХ И.А. Что такое
международное космическое право и для чего
оно нужно 57

Гипотезы, дискуссии, предложения

ГЕРАСЮТИН С.А. Почему сегодня невозможна
марсианская экспедиция 65

История космонавтики

ВЕДЕШИН Л.А., ГЕРАСЮТИН С.А. Россия – США:
50 лет сотрудничества в космосе. Часть 1 88

История науки

КУЗЬМИН А.В. Космос Архимеда 104

Table of Content and Selected Abstracts 110

© Российская академия наук, 2022

© Редколлегия журнала «Земля и Вселенная» (составитель), 2022

© ФГБУ «Издательство «Наука», 2022

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.

Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

На обложке этого номера ЗиВ – вулкан Ключевской, и первая статья посвящена изучению земных вулканов наземными и космическими средствами. Сегодня в России работает мощная информационная система дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил – той части «огненного пояса» Земли, которая находится в нашей стране. Тема представляет не только громадный академический интерес, но и важна практически: продукты «жизнедеятельности» вулканов (пепловые и аэрозольные облака) очень опасны для реактивных лайнеров даже на расстояниях в сотни и тысячи километров от извергающего их активного вулкана.

В этом номере мы также впервые, на моей памяти, обращаемся к становящейся все более актуальной теме космической дипломатии. Начало становления принципов космического права связано с датой исторического запуска Первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 года (в этом году мы отметили 65-летие этого замечательного события). Тогда сразу же возник сакраментальный вопрос: где кончается суверенное воздушное пространство государств и начинается общий космос? Сегодня все ближе начало практической деятельности по освоению полезных ископаемых и других ресурсов Луны, и только международные правовые соглашения позволят избежать превращения Луны в Дикий Запад времен золотой лихорадки.

К сожалению, прошедшие месяцы принесли и немало тяжелых потерь. Ушел из жизни академик Альберт Абубакирович Галеев (1940–2022), один из основателей современной физики высокотемпературной плазмы. Своеобразной «библией» этой науки стала его совместная с академиком Роальдом

Зиннуровичем Сагдеевым монография «Нелинейная теория плазмы». Неоценимый вклад внес он и в решение целого ряда важнейших задач космической физики. Развил детальные теории таких фундаментальных процессов в космической плазме, как взрывное пересоединение магнитных полей, ионизация разреженного газа быстрыми потоками замагниченной плазмы, нагружение солнечного ветра кометными ионами, ускорение быстрого солнечного ветра альвеновскими волнами из корональных дыр. Внес заметный вклад и в плазменную астрофизику – разработал теорию короны аккреционного диска черной дыры. Эта работа сегодня стала одной из самых цитируемых в астрофизике.

В преклонном возрасте ушел из жизни и выдающийся астроном Фрэнк Дрейк (1930-2022). Профессор Дрейк был чрезвычайно популярен в СССР своей неутомимой активностью в организации работ по программе SETI – «поиск внеземного разума». Почти 20 лет он был директором управляющего совета института SETI и инициатором знаменитого «Послания Аресибо», отправленного в глубины космоса в 1974 году.

Благодаря его усилиям к дальним миссиям NASA «Пионер-10 и -11» и «Вояджерам» были прикреплены «золотые диски» с информацией о земной цивилизации на случай, если эти аппараты обнаружат инопланетный разум.

Дрейк первым предложил использовать для программы SETI радиочастоту 1420 мГц – близкую к частоте излучения нейтрального водорода, считая, что эта естественно возникающая линия будет известна любой технически развитой цивилизации.

В 1961 году на первой конференции по SETI в Грин Бэнк в качестве заправки Дрейк написал свое знаменитое уравнение, состоящее из 7 мно-

жителей, произведение которых должно было дать число N – оценку числа галактических цивилизаций, способных послать сигналы, которые, в принципе, возможно зарегистрировать на Земле.

Это уравнение по своей цитируемости уступает только эйнштейновскому $E = mc^2$. Нужно признаться, что и автор этих строк почти всегда свои лекции по экзопланетам начинает с уравнения Дрейка. Число N , получаемое по формуле Дрейка, будь $N \gg 1$, должно было бы оправдать затраты на поиск инопланетных сигналов, но в отличие от большинства уравнений в физике, значение и даже смысл большинства множителей в уравнении Дрейка постоянно меняются со временем.

Некоторые из них в принципе измеримы – такие как число потенциально обитаемых планет в нашей Галактике. Другие параметры – такие, например, как доля цивилизаций, развивающихся до уровня, способного обеспечить посылку мощных радиосигналов в космос, – можно взять только из научно-фантастической литературы.

Уязвимость представлений Дрейка, о которых стали много говорить позже, это неявное предположение о сходности эволюционных путей земной и инопланетной цивилизаций. Разумный океан Солярис, придуманный Станиславом Лемом, никак не вписывается в эту концепцию. С другой стороны, сегодняшние предположения о возможности зарождения жизни гораздо шире, чем в 1970-е годы. По современным представлениям, жизнь может зародиться не на самих планетах (которые вовсе не будут «землеподобными»), а в озерах и океанах их спутников, таких как Европа, Ганимед, Титан, Энцелад. До сих пор уравнение Дрейка содержит больше вопросов, чем может дать ответов. Пожалуй, только один из его семи коэффициентов – доля звезд, обладающих планетными системами, стал нам сейчас до-

статочно понятен благодаря исследованиям экзопланет.

Интересно, что еще один сторонник (первоначально) SETI, выдающийся советский астроном Иосиф Самуилович Шкловский, оценил N в формуле Дрейка как $N = 1$ и написал свою знаменитую работу «О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной». Думается, что не только научные соображения привели И.С. к этому выводу. Работа публиковалась в разгар «холодной войны», которая вполне могла стать горячей, и Иосиф Самуилович счел долгом ученого напомнить, каким уникальным и хрупким чудом является во Вселенной наша цивилизация. Его предостережение остается не менее актуальным и в наше сложное время.

Коллеги вспоминают Фрэнка Дрейка как замечательного человека, яркого ученого, способного вдохновить многочисленных учеников. Помимо SETI он занимался и многими «серьезными», лучше сказать, классическими проблемами – участвовал в открытии радиационных поясов Юпитера, много сделал на первых стадиях изучения радиопульсаров.

Последние месяцы, конечно, принесли не только горечь потерь, но и увлекательные результаты. В июле на расстоянии 1.5 млн км от Земли начал свою «штатную» работу американско-европейско-канадский телескоп им. Джеймса Уэбба JWST, работающий в ближнем и дальнем инфракрасном диапазоне. Для начала исследований было выбрано пять объектов. Такая тактика измерений была нацелена на то, чтобы испытать все четыре прибора, стоящие на космическом аппарате, и проверить возможности миссии по исследованию ключевых стоящих перед ней проблем (звздообразование, экзопланеты, далекие галактики, излучение которых за счет ускоренного расширения Вселенной сдвигается в инфракрасную область).

→
Продолжение см. на стр. 18

ВУЛКАНЫ И КОСМОС



ГИРИНА Ольга Алексеевна,

кандидат геолого-минералогических наук
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН



ЛУПЯН Евгений Аркадьевич,

доктор технических наук
Институт космических исследований РАН

СОРОКИН Алексей Анатольевич,

кандидат технических наук
Вычислительный центр ДВО РАН



КРАМАРЕВА Любовь Сергеевна,

директор Дальневосточного центра
НИЦ «Планета»

DOI: 10.7868/50044394822050012

Вулканы – грандиозные создания Природы, никогда не оставляющие равнодушным человечество. Они существуют на всех планетах Солнечной системы. Возможно, именно благодаря вулканам появилась жизнь на планете Земля. Для одних вулканы – страх и ужас, для других – бесконечный восторг... Изучению вулканов на планете Земля наземными и космическими методами и необходимости ведения таких исследований посвящена эта статья.

ВУЛКАНЫ – ИХ МЕСТО В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ И В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Вулканы на планетах Земной группы

Известно, что вулканы имеются на всех планетах Земной группы Солнечной

системы. Например, в области Фарсида Марса расположены вулкан Арсия с диаметром кальдеры 130 км и вулкан Олимп с несколькими наложенными друг на друга кальдерами общим диаметром до 90 км. Оба вулкана образованы относительно жидкими лавами, вероятно, базальтового состава, в плане вулканы похожи на щит воина, поэтому



Рис. 1. Вулкан Олимп в области Фарсида планеты Марс. Фото с Viking-1*

постройки¹ таких вулканов называют щитовыми или щитообразными. Например, диаметр постройки вулкана Олимп достигает 550 км, он поднимается на 25–27 км над поверхностью планеты.

На Венере кроме щитовых вулканов, например, вулкан Тейя с кальдерой диаметром до 90 км и лавовыми потоками до 800 км в области Бета, обнаружены экструзивные куполы (выжимки вязкой лавы, вероятно, андезитового или дацитового состава) диаметром 25 км в области Альфа.

Если на Марсе активный вулканизм в настоящее время не отмечен, то на Венере, судя по свежести лавовых куполов в области Альфа и присутствию электрических разрядов низко в атмосфере в области Бета, он вероятен. На спутнике Юпитера Ио активный

вулканизм самый интенсивный в Солнечной системе. На Ио насчитывается более 400 действующих вулканов, и во время их извержений эруптивные продукты поднимаются до 500 км, засыпая пеплом две трети его поверхности.

Можно сказать, что вулканы являются необходимым условием развития любой из планет.

Вулканы и возникновение жизни на Земле

Возраст планеты Земля составляет 4.5–4.6 млрд лет, и почти все это время на ее поверхности существуют вулканы. Вероятно, в начале формирования нашей планеты повсеместно наблюдались фонтаны и излияния жидкой лавы основного состава (базальты). Благодаря вулканической деятельности на поверхности Земли постепенно образовались гидросфера и атмосфера, процессы в недрах планеты усложнялись, появились вулканы, извергавшие лаву более кислого состава (андезиты и дациты).

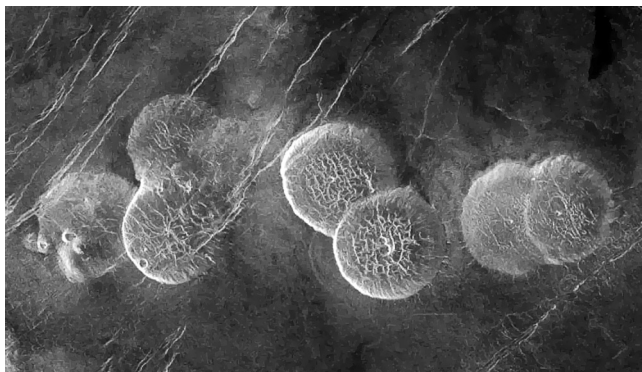


Рис. 2. Экструзивные куполы в области Альфа на планете Венере. Фото с Magellan**

¹ Постройка вулканическая – название, применяемое к любому вулканическому сооружению – щитообразному вулкану, конусу, куполу, потоку и т. д. (см.: Влодавев В.И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.).

* NASA, http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-mars.html#features

** NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia00215-venus-alpha-regio>



Рис. 3. Бог Гефест в Греции*

Вулканы продолжают оказывать влияние на изменения состава гидросферы и атмосферы и в настоящее время. Например, после катастрофических извержений вулканов с выносом в атмосферу до 20 км³ материала ее прозрачность снижается, в течение нескольких лет наблюдается ослабление интенсивности солнечной радиации, поверхность планеты «остужается» на 1–2 градуса, наблюдаются явления, названные «год без лета».

О происхождении жизни на планете ученые до сих пор спорят, но одна из гипотез, принадлежащая вулканологу Евгению Константиновичу Мархинину, гласит:

*Не из ребра Адама,
Из пепла изверженья
Возникла Пра-пра-дама
В Великий день творенья.*

Под Пра-пра-дамой подразумевалась некая совокупность органических соединений, критических для возникновения жизни. В самом свежем пепле, собранном им во время извержения 1973 г. вулкана Тятя (о. Кунашир, Южные Курилы), Мархинин обнаружил первичные аминокислоты – своеобразные кирпичики для построения

белка. Во время знаменитого Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) в 1975 г. в свежем пепле он снова нашел такие аминокислоты и обосновал теорию происхождения жизни, непосредственно связанную с вулканизмом.

Вулканы и мифология

Вулканы сопровождают человечество на протяжении всей его истории: у разных народов существует множество мифов о вулканических явлениях. В Малой Азии извержения вулканов и излияния лавы связывали со странствиями Солнца по подземному миру. Славяне создали былины и сказки о змее Горыныче, испепеляющем деревни и посевы. Вулканизм обожествлялся людьми,

Рис. 4. Богиня Пеле на Гавайских островах**



* <https://thisgreece.ru/images/850x414x8/gefest.jpg>

** https://litlife.club/storage/155/107/_i/pele1.jpeg

вулканам поклонялись и приносили жертвы: бог Гефест в Греции, бог Вулкан на территории Римской империи, богиня Пеле на Гавайских островах.

Многие вулканы, например, Везувий, Этна, Гекла, – считались у христиан-католиков местами Чистилища, преддверием ада.

Вулканы на службе человека

Но как бы ни были страшны вулканы, люди продолжали селиться на их склонах. Свежий тонкий вулканический пепел является своеобразным минеральным удобрением, и на полях вблизи вулканов крестьяне получают несколько урожаев в год, разводят виноградники. Из вулканического камня строятся города, создаются шедевры архитектуры и искусства.

Вулканы в хрониках

Одно из первых известных описаний эруптивных событий, которое до сих

пор не потеряло своего значения, принадлежит Плинию Младшему, наблюдавшему извержение вулкана Везувий (Италия) в 79 г. н.э.

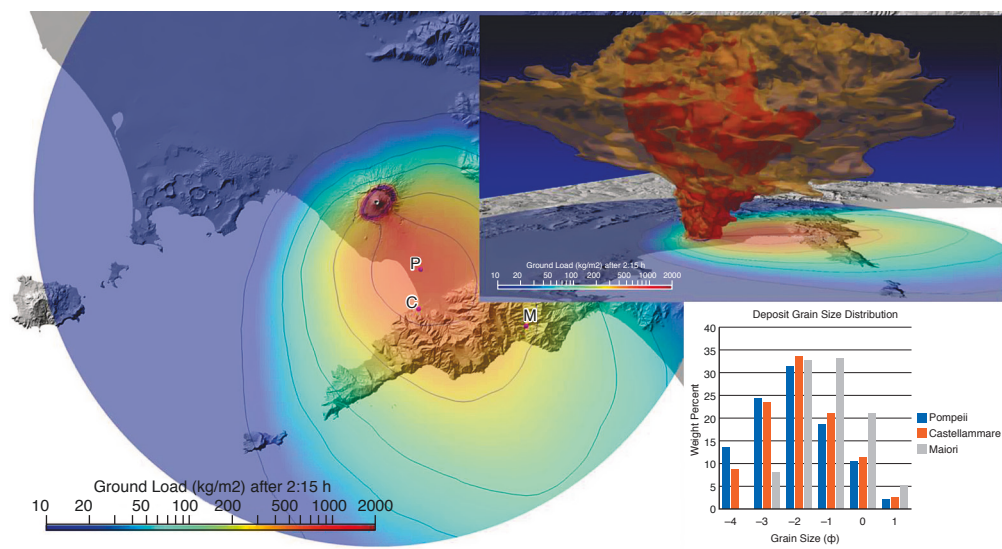
Его внимательный взгляд отметил и пепловое облако в виде пинии, и многочисленные молнии в нем, и пористость обломков, падающих из пепловой тучи на землю, и подготовку цунами.

Острый интерес ученых к вулканам отмечался после мощных катастрофических извержений, уносивших порой десятки тысяч жизней: например, Тамбора (о. Сумбава, Индонезия) в 1815 г., Кракатау (Зондский пролив в Океании) в 1883 г., Мон-Пеле (о. Мартиника, Малые Антильские о-ва) в 1902 г., Катмаи (п-ов Аляска) в 1912 г.

Наземные исследования вулканов

Первая научная обсерватория для постоянных наблюдений за активностью вулкана Везувий была организована на

Рис. 5. Реконструкция событий извержения вулкана Везувий в 79 г. н.э. Показаны: эруптивная колонна; изолинии отложений лапилли размером 16 мм (красный) и пепла размером 1 мм (желтый) в районах Везувия и Неаполитанского залива через 2 ч 15 мин после начала извержения; гранулометрический состав отложений в Помпеях (P), Кастелламаре (C) и Майори (M) (<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104072>)



его склоне в 1841 г. Сегодня в мире существует более ста обсерваторий, станций и институтов, сотрудники которых изучают вулканизм, используя различные методы слежения за вулканами. К таким методам относятся: видео и визуальный, геофизический (анализ сейсмических, электрических, магнитных, гравитационных и других явлений), гидрологический, газовый и спутниковый. В России в 1935 г. на склоне действующего вулкана Ключевской появилась Камчатская вулканологическая станция им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга АН СССР, в 1962 г. в Петропавловске-Камчатском был создан Институт вулканологии АН СССР.

Космические исследования вулканов

С запуском первого спутника Земли 4 октября 1957 г. началась новая эра в наблюдениях космоса. С помощью многочисленных миссий спутников, запущенных в разных странах мира, вулканизм был обнаружен на всех планетах Земной группы Солнечной системы. В настоящее время Земля окутана облаком из тысяч спутников различного назначения, с помощью которых изучаются атмосфера, объекты на поверхности планеты, и в том числе вулканы. Согласно спутниковым данным, действующих вулканов на Земле насчитывается около тысячи на суше и более 10 тысяч на дне океанов.

Современные исследования вулканов

С развитием реактивного самолетостроения в 70–80-е гг. XX века обнаружилось, что вулканические пепловые и аэрозольные облака очень опасны для таких лайнеров даже в сотнях и тысячах километров от извергнувшего их вулкана. Главные опасности для самолетов – это налипание и плавление

тонких пепловых частиц на лопатках турбин моторов, которое может приводить к их остановке, а также повреждение электронных приборов тонкими пепловыми частицами, несущими электрический заряд.

Для объединения усилий различных служб (вулканологических, метеорологических и др.) по обнаружению вулканического пепла в атмосфере и непрерывному слежению за его перемещением для снижения опасности для авиатранспорта Международная организация гражданской авиации (ИКАО²) назначила девять специализированных метеорологических центров в качестве консультационных центров по вулканическому пеплу (ВААС³): Анкоридж, Буэнос-Айрес, Вашингтон, Веллингтон, Дарвин, Лондон, Монреаль, Токио, Тулуза. Организация определила границы ответственности каждого центра. Страны, на территории которых имеются действующие вулканы, обязали создать обсерватории для мониторинга их активности.

В XXI веке продолжают интенсивно развиваться космические и информационные технологии обработки и анализа данных, телекоммуникационная инфраструктура и программы создания космических аппаратов нового уровня. В рамках глобального спутникового мониторинга вулканов созданы веб-порталы, представляющие отдельные направления исследований. Например, система детектирования вулканических горячих точек в режиме почти реального времени⁴, мониторинг вулканических облаков⁵ и система оповещения о вулканиче-

² ICAO – International Civil Aviation Organization, <http://www.icao.int>

³ VAAC – Volcanic Ash Advisory Center

⁴ Near Real Time Volcanic HotSpot Detection System, <http://www.mirovaweb.it/>

⁵ NOAA/CIMSS Volcanic Cloud Monitoring Web Portal, <https://volcano.ssec.wisc.edu/>

ском пепле и SO₂ в рамках Службы поддержки авиации⁶.

В Курило-Камчатском регионе России находится более 8 тысяч вулкано-генных структур, среди которых 68 относятся к действующим вулканам. Ежегодно в России происходит до 8 извержений с подъемом пепловых облаков до 10–15 км над уровнем моря и их перемещением на тысячи километров от вулканов. Для снижения вулканоопасности для авиации в северо-западном секторе Северной Пацифики в 1993 г. создана Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT⁷), которая в составе Института вуканологии и сейсмологии (ИВиС) Дальневосточного отделения (ДВО) Российской академии наук (РАН) выполняет функции Вулканологической обсерватории Российской Федерации по ежедневному мониторингу вулканов Дальнего Востока и обеспечению экспертной информацией о вулканической деятельности международного аэронавигационного сообщества. В случае подготовки или же начала эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Курильских островов KVERT выпускает сообщение VONA⁸, пересылает его в Метеоцентр аэропорта Елизово и Токио VAAC, в зону ответственности которого входит Курило-Камчатский регион, и публикует на сайте ИВиС ДВО РАН⁹.

Расстояние между северным активным вулканом Шивелуч на Камчатке и южным активным вулканом Головин на о. Кунашир Южных Курил велико, оно составляет 1800 км. Кроме того, большая часть из 68 действу-

ющих вулканов находится в труднодоступных незаселенных местах. Оценивать состояния этих вулканов, а также безопасность авиатрасс, пролегающих в Курило-Камчатском регионе (имеется ли угроза перемещения пепловых облаков или шлейфов в зоны расположения международных и местных авиалиний), необходимо непрерывно. В связи с вышесказанным главным видом наблюдений KVERT за вулканами Дальнего Востока с 2002 г. является регулярный спутниковый мониторинг. Основными направлениями применения спутниковых данных для изучения вулканов Камчатки и Курил являются следующие. Во-первых, ежедневный оперативный мониторинг действующих вулканов с помощью спутниковых данных низкого и среднего разрешения, включающий:

- 1) детектирование термальных аномалий в районах вулканов в инфракрасном канале 3.7 мкм, определение их параметров (размер, температура аномалии и фона) и природы (газовая, эффузивная, экструзивная и др. активность), прогноз извержений;

- 2) обнаружение пепловых облаков и шлейфов по разности инфракрасных каналов 11–12 мкм, определение их параметров (высота, длина, азимут распространения, площадь) и отслеживание до полного рассеяния пеплов.

Во-вторых, спутниковые данные среднего и высокого разрешения применяются для ретроспективного анализа активности вулканов. Здесь важны следующие аспекты:

- 1) детальные исследования вулкано-генных продуктов (тефра, лавовые и пирокластические потоки) после конкретного извержения вулкана и определение их параметров (структура, протяженность, площадь и объем отложений) для оценки геологического и экологического эффектов;

⁶ Support Aviation Control Service (SACS) SO₂ & Ash Notification System, <http://sacs.aeronomie.be/>

⁷ KVERT – Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team

⁸ VONA – Volcano Observatory Notice for Aviation

⁹ <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>

KVERT
Камчатская группа реагирования на вулканические извержения

ИВиС ДВО РАН Главная Активные вулканы ▾ О нас ▾ 🔍 EN

Авиационные цветные коды

Активность вулканов в фотографиях

Прогноз для авиации опасности вулканов

РПЦ/ИАФ

KVERT-сообщения о вулканической активности (in English)

- 🔴 VONA/KVERT об изменении активности вулканов
- 🟢 Ежедневные KVERT-сообщения
- 🟡 Ежедневные KVERT-сообщения
- 🔴 KVERT-рапорты о пепловых выбросах и шлейфах

Информационные системы

VOKKA – Вулканы Курило-Камчатской островной дуги

VolSatView – Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил

Вулканы Камчатки и Курил в состоянии извержения или активизации

Шивелуч	Карымский	Безымянный	Эбеко
19/6/2022	16/6/2022	20/4/2022	12/6/2022

KVERT Information Release

(1) **VOLCANO OBSERVATORY NOTICE FOR AVIATION (VONA)**

(2) Issued: 20220619/2152Z

(3) Volcano: Sheveluch (CAVW #300270)

(4) Current aviation colour code: **ORANGE**

(5) Previous aviation colour code: orange

(6) Source: KVERT

(7) Notice Number: 2022-52

(8) Volcano Location: N 56 deg 38 min E 161 deg 18 min

(9) Area: Kamchatka, Russia

(10) Summit Elevation: 3283 m (10768.24 ft), the dome elevation ~2500 m (8200 ft)

(11) Volcanic Activity Summary: A growth of the lava dome continues, a strong fumarolic activity, and an incandescence of the lava dome, explosions, and hot avalanches accompanies this process. Video data by KVERT showed an ash plume up to 7 km a.s.l. extending to the from the volcano.

The extrusive eruption of the volcano continues. Ash explosions up to 10-15 km (32,800-49,200 ft) a.s.l. could occur at any time. Ongoing

Любопытно!

19/4/2022

Больше >

Внимание, пепел!

Памятка населению Камчатки

Видеонаблюдение за вулканами в реальном времени

- Вулкан Шивелуч
- Вулкан Ключевской
- Вулкан Безымянный
- Вулкан Глоский
- Вулкан Толбачик
- Вулкан Кизимен
- Вулкан Корякский
- Вулкан Авачинский
- Вулкан Горелый
- Все веб-камеры

Карта активных вулканов

Рис. 6. Главная веб-страница KVERT ИВиС ДВО РАН

2) комплексный анализ динамики активности вулкана с течением времени для прогноза его будущей опасности для населения. Определяются следующие параметры:

- 2.1. изменение размера и температуры термальных аномалий,
- 2.2. частота эксплозивных событий вулкана,
- 2.3. скорость приращения площади лавовых или пирокластических потоков,
- 2.4. изменение количества энергии, поступающей на поверхность земли при извержениях вулканов с течением времени, косвенным показателем которой являются объемы изверженных продуктов.

Информационная система VolSatView

В 2011–2012 гг. специалистами Института космических исследований (ИКИ) РАН, ИВиС ДВО РАН, Вычислительного Центра (ВЦ) ДВО РАН и Дальневосточного центра (ДЦ) НИЦ «Планета» была создана информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил»¹⁰.

Эта уникальная российская разработка основана на современных возможностях дистанционного зондирования Земли и компьютерного моделирования. Она позволяет комплексно работать со спутниковыми данными

¹⁰ VolSatView, <http://volcanoes.smislab.ru>



Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView

[Главная](#) | [Публикации](#) | [Контакты](#)

Вход в систему

Login пользователя:

Пароль:

Незарегистрированные пользователи могут оценить возможности системы в демонстрационном режиме с использованием логина *demo* и пароля *demo*.

Созданная информационная система (ИС) VolSatView обеспечивает специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными среднего разрешения и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил. Кроме этого, в ИС создан и постоянно пополняется архив спутниковых данных высокого разрешения, позволяющий анализировать различные продукты извержений вулканов (отложения лавовых и пирокластических потоков и др.)

ИС VolSatView создана и поддерживается специалистами:

[Институт Космических Исследований РАН \(ИКИ РАН\)](#)

[Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН \(ИВиС ДВО РАН\)](#)

[Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН \(ВЦ ДВО РАН\)](#)

[Дальневосточный Центр НИЦ "Планета" \(ДЦ НИЦ "Планета"\)](#)

ИС VolSatView развивается на основе многолетнего опыта мониторинга вулканической активности, накопленного в ИВиС ДВО РАН. В ИС используются технологии автоматической обработки данных, созданные в ИКИ РАН и НИЦ "Планета". Картографический интерфейс работы с данными реализован на основе технологии [GEOSMIS](#).

В настоящее время в ИС возможна работа с данными, поступающими со спутников: серии NOAA, серии Landsat, серии Метеор М; серии Ресурс П, а также Terra, Aqua, EO-1, Канопус-В №1.

Система позволяет работать как с оперативными, так и с архивными данными, накапливаемыми в VolSatView, а также с данными [ЦКП "ИКИ-Мониторинг"](#), [Объединенной системы работы с данными центров НИЦ "Планета"](#), [геопортала "Роскосмоса"](#), [АИС "Сигнал"](#).

Для работы с данными организованы информационные серверы в ВЦ ДВО РАН, ИВиС ДВО РАН и ИКИ РАН. Оперативный обмен данными между центрами сбора информации и базовыми серверами в ИС обеспечивают телекоммуникационные ресурсы Региональной компьютерной сети ДВО РАН и ИКИ РАН.

Рис. 7. Главная веб-страница информационной системы VolSatView

низкого, среднего и высокого разрешения, метео- и инструментальной информацией наземных сетей наблюдений, проводить совместный анализ различных данных для непрерывного мониторинга и исследования активности вулканов Курило-Камчатского региона, а также моделирования распространения пепловых облаков и шлейфов от вулканов. Другими словами, в единой информационной системе можно проводить ежедневный оперативный мониторинг и ретроспективный анализ активности вулканов Камчатки и Курил. С созданием информационной системы VolSatView эффективность спутникового мониторинга вулканов Дальнего Востока выросла на несколько порядков.

Следует отметить, что получение, обработка и хранение больших объемов

архивных и оперативных спутниковых и метеорологических данных для информационной системы VolSatView организованы на базе инфраструктуры пяти организаций, расположенных в городах Москва, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский.

Технологическое сопровождение входящих в состав VolSatView многочисленных компьютерных сервисов и подсистем осуществляется Центром коллективного пользования ИКИ РАН (системы архивации, обработки и анализа различных спутниковых данных) (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») и Центром коллективного пользования научным оборудованием ВЦ ДВО РАН Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН (ЦКП «Центр данных ДВО РАН»).

Информационная система VolSatView реализована на осно-

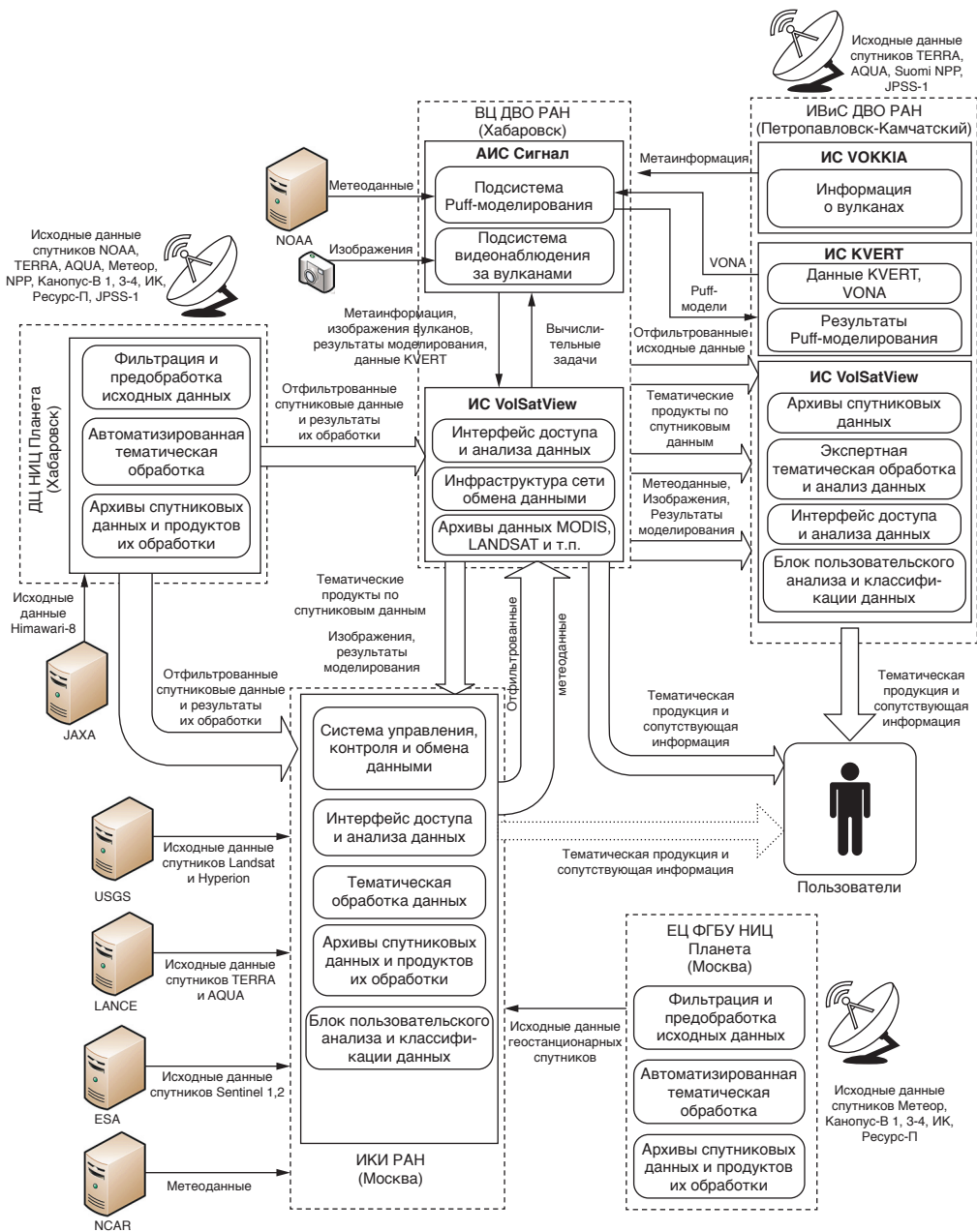


Рис. 8. Архитектура построения информационной системы VolSatView (<https://elibrary.ru/item.asp?id=37061627>)

ве разработанных в ИКИ РАН технологий работы со спутниковыми данными, она обладает возможностями автоматизированного сбора

различных спутниковых данных низкого, среднего и высокого разрешения с максимальной частотой их поступления в систему и удаленной

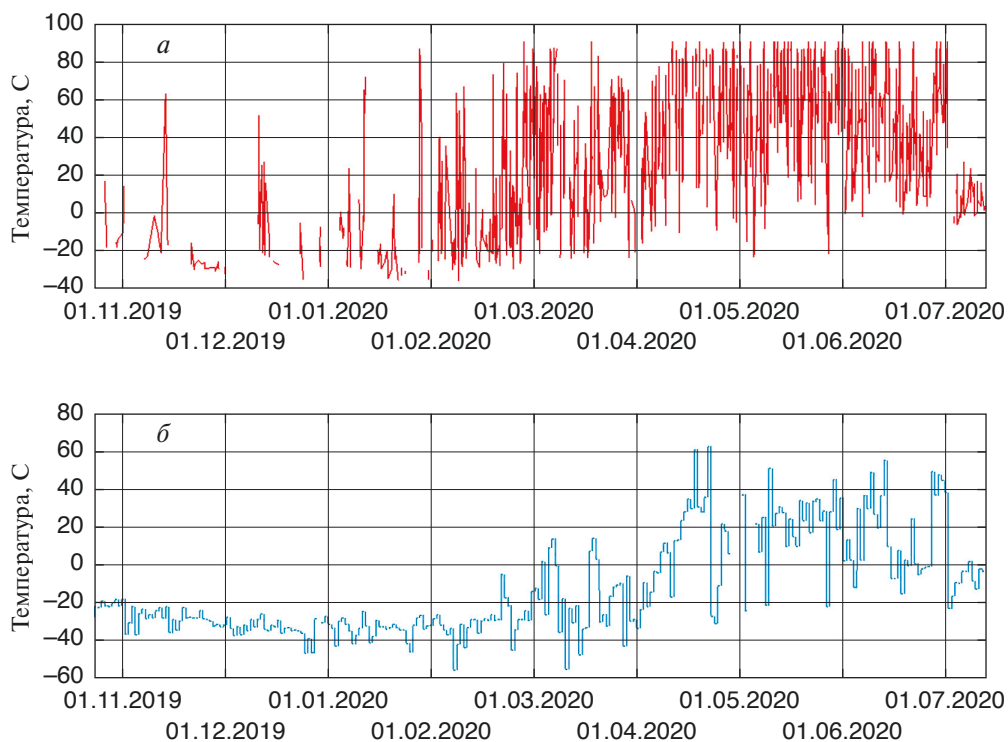


Рис. 9. Температура термальной аномалии вулкана Ключевской в период извержения в 2019–2020 гг. по информации из ИС VolSatView: а) по данным приборов AVHRR, MODIS, VIIRS (спутники NOAA, Terra, Aqua, NPP, JPSS-1); б) в точке постоянных наблюдений в районе кратера по данным прибора AHI (спутник Himawari-8) (<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-1-81-91>)

работы с ними. VolSatView ориентирована на свободно распространяемые некоммерческие спутниковые продукты, например, данные со спутников российских серий «Метеор-М», «Ресурс-П», «Канопус-В» и зарубежных: NOAA, Landsat, Sentinel, а также аппаратов Terra, Aqua, Suomi NPP, EO-1. С 2016 г. в VolSatView поступают данные с геостационарного японского спутника Himawari-8, благодаря которым информация о территории Курило-Камчатского региона обновляется каждые 10 минут, а в некоторых случаях каждые 2.5 минуты. Это позволяет проводить оперативный анализ состояния вулканов или их извержений с за-

держкой не более 30 минут с момента регистрации. В сутки в систему поступает до 144 снимков со спутника.

С 2022 г. в VolSatView поступают данные с российского высокоэллиптического спутника «Арктика-М № 1», с обновлением информации о территории Камчатки и Курил каждые 15–30 минут. С помощью данных со спутников «Арктика-М № 1»¹¹ и Himawari-8 было изучено появление и перемещение в районы Чукотки и Арктики пепловых облаков, образовавшихся при мощном эксплозивном извержении вулкана Карымский 19 апреля 2022 г.¹²

Созданный в информационной системе VolSatView картографический

¹¹ <http://moscow.planeta.smlab.ru/animation/1650871646.gif>

¹² <http://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-2-255-260>

веб-интерфейс дает возможность в режиме реального времени работать с различными информационными продуктами, в том числе с виртуальными – формируемыми «на лету» по запросу. Хранение данных и работу инструментов для их анализа обеспечивают аппаратно-программные комплексы организаций-разработчиков системы, что позволяет

сократить на порядки локальные вычислительные мощности, необходимые для работы со спутниковыми данными, а также использовать дорогостоящее специализированное программное обеспечение на коллективной основе.

Благодаря созданным совместными усилиями ученых возможностям сегодня в информационной системе VolSatView на основе данных приборов AVHRR, MODIS, VIIRS осуществляется ежедневный анализ температуры термальных аномалий в районах вулканов Курило-Камчатского региона как в автоматизированном (по алгоритмам MOD14¹³ и MODVOLC¹⁴), так и в интерактивном режимах. Интенсивность термальной аномалии оценивается следующими параметрами: величиной разности температур аномалии и фона и нормализованным тепловым индексом. Кроме этого, на основе информации со спутника Himawari-8 в автоматическом режиме накапливаются данные временных рядов яркостной температуры термальных аномалий в районах вулканов.

Например, их анализ позволил обнаружить в феврале 2021 г. новый боковой прорыв на склоне вулкана Ключевской¹⁵.



Рис. 10. Вулкан Ключевской: боковой прорыв имени члена-корреспондента АН СССР Г.С. Горшкова 16 марта 2021 г. Фото Д. Будькова

Специально для работы с данными Himawari-8 в VolSatView созданы инструменты, с помощью которых можно строить анимированные изображения процесса развития извержения вулкана в течение нескольких дней. Это дает возможность определять начало эксплозивного события и наблюдать за динамикой распространения пепловых облаков от вулкана. Например, с помощью VolSatView 14–18 июня 2017 г. было отслежено уникальное явление извержений сразу трех вулканов Северной группы Камчатки. На фоне продолжающегося непрерывно с 1 июня умеренного эксплозивного извержения вулкана Ключевской с выносом пепла до 7–7.5 км над уровнем моря произошло два мощных пароксизмальных извержения вулканов Шивелуч (14 июня в 16:20 UTC) и Безымянный (16 июня в 04:53 UTC) с подъемом пепловых облаков до 12 км над уровнем моря. По данным со спутника

¹³ <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MOD14#overview>

¹⁴ <http://modis.higp.hawaii.edu>

¹⁵ <http://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-1-261-267>

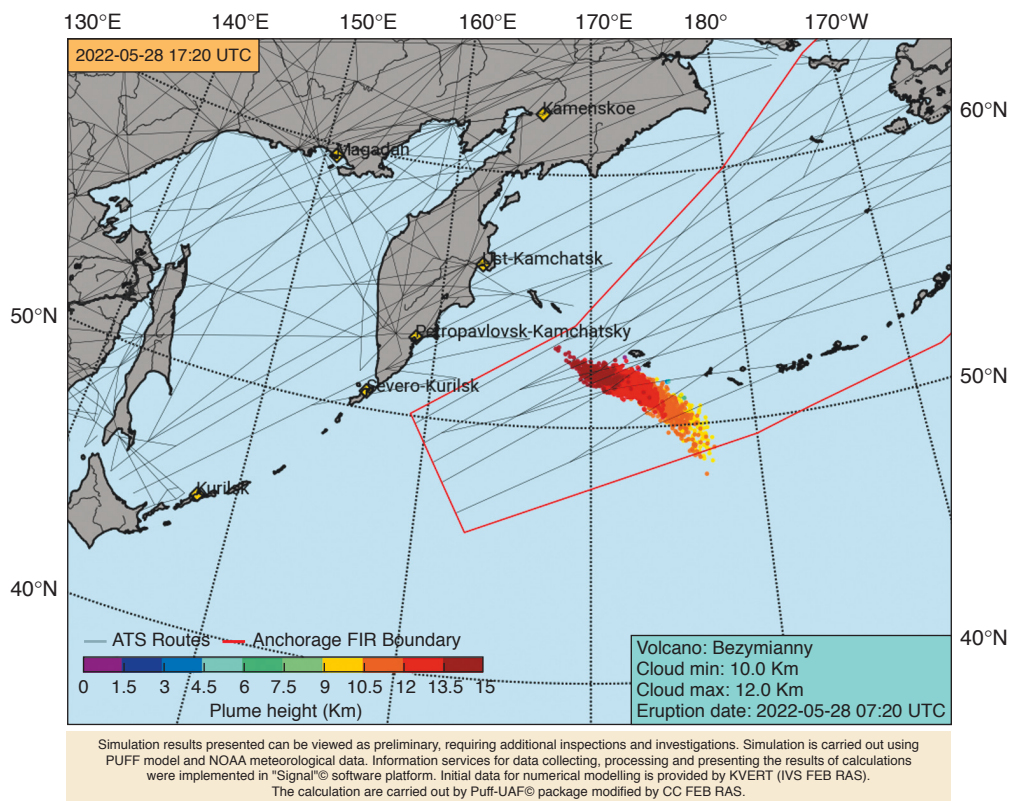


Рис. 11. Прогноз перемещения пеплового облака вулкана Безымянный во время эксплозивного извержения 28 мая 2022 г. Моделирование выполнено в автоматизированной информационной системе «Сигнал» в Вычислительном центре ДВО РАН

Himawari-8 создана анимационная картина этих событий, наглядно иллюстрирующая скоротечность мощных эксплозивных извержений и долговременность существования в атмосфере пепловых облаков, представляющих реальную опасность для авиатранспорта¹¹.

Коллегами из ВЦ ДВО РАН были разработаны алгоритмы организации вычислений на основе математических моделей распространения пепловых облаков в атмосфере, созданы алгоритмическое обеспечение и компьютерная система для моделирования и визуализации перемещения пепловых облаков

во время эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Курил. Интеграция с тематическими подсистемами VolSatView позволяет за 10–15 минут получить в автоматическом режиме суточный прогноз движения пепловых облаков в атмосфере, а также совместно анализировать эти результаты с оперативными данными спутника Himawari-8.

Сегодня ученые KVERT с помощью информационной системы VolSatView практически в реальном времени отслеживают активность вулканов, оценивают степень опасности эксплозивных извержений для авиации и информируют об этом международное аэронавигационное сообщество.

¹¹ <http://geoportal.ksnet.ru/volcanoes/imgs/2286.gif>

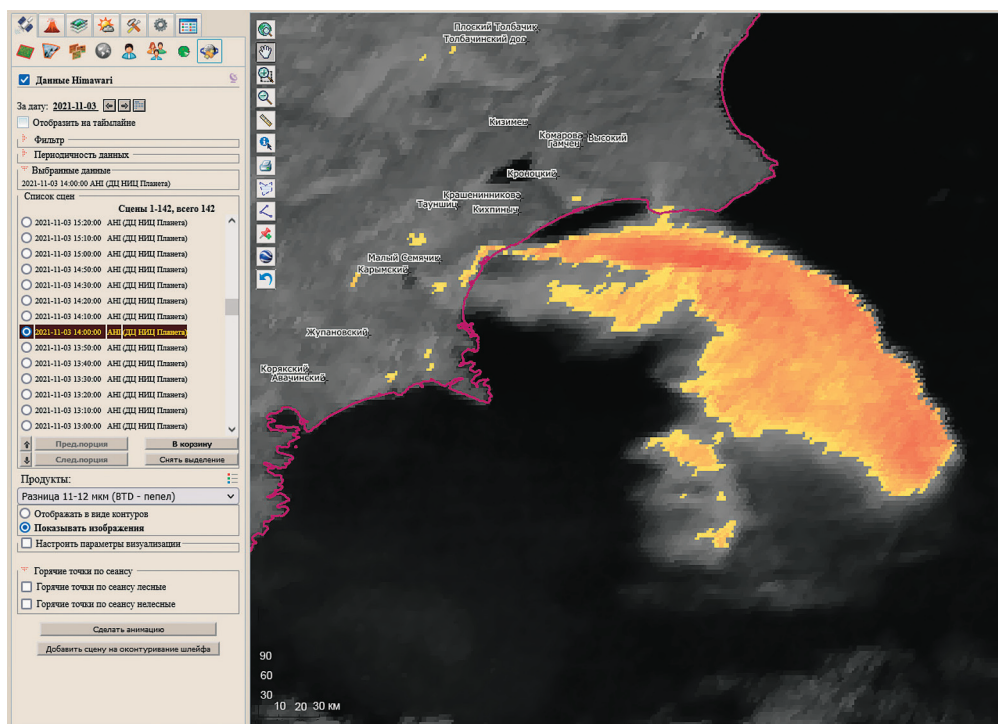


Рис. 12. Пример экранной формы интерфейса информационной системы VolSatView: пепловый шлейф вулкана Карымский по состоянию на 14:00 UTC 3 ноября 2021 г. на спутниковом снимке Himawari-8 (14m15)

VolSatView позволяет определять скорость движения пепловых облаков и вовремя предупреждать службы МЧС о возможных пеплопадах в населенных пунктах.

Важно отметить, что решение прикладных задач неразрывно связано с фундаментальными исследованиями вулканизма Камчатки и Курил. Так, с помощью информационной системы VolSatView за прошедшие 10 лет учеными KVERT было всесторонне изучено 40 извержений 15 вулканов и более 1500 отдельных эксплозивных событий.

Работа по созданию, развитию и поддержке VolSatView – это пример плодотворной совместной работы организаций РАН и Росгидромета. Именно объединение передовых научных знаний участников проекта в различных

областях позволило создать достаточно эффективную систему, которая сегодня обеспечивает решения различных задач комплексного научного мониторинга вулканов Камчатки и Курил. Особую роль в создании системы сыграли специалисты ИВиС ДВО РАН, которые сформулировали основные задачи и требования к инструментам работы с данными. Именно их опыт по использованию системы позволяет вести ее постоянное совершенствование и развитие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в разных странах мира исследования вулканизма продолжают активно развиваться. Это

связано в первую очередь с высокой опасностью извержений вулканов для всего живого. Кроме того, вулканизм является ключом к решению одной из основных планетарных научных проблем: как менялась Земля в течение своего развития (например, сколько магматического вещества поступало на ее поверхность в различные геологические эпохи; как наращивание земной коры влияло на соотношение объемов мантии и ядра, как изменялись ее геофизические характеристики) и что ее ждет в будущем. Комплексное применение современных наземных и космических технологий сможет помочь решению этой проблемы.

Литература

1. Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Романова И.М., Кашицкий А.В., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П., Маневич А.Г., Крамарева Л.С. Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37061627>
2. Кирьянов В.Ю. Вулканы и мифология. СПб.: Петербург – XXI век, 2021. 248 с.
3. Ксанфомалити Л.В. Планета Венера. М.: Наука, 1985. 376 с.
4. Макдональд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.
5. Мархинин Е.К. Вулканизм. М.: Недра, 1985. 288 с.
6. Письма Плиния Младшего: Книги I–X. М.: Наука, 1982. 408 с.

Колонка главного редактора

Продолжение. Начало см. на стр. 3–4

Одним из пяти объектов для JWST стала экзопланета WASP-96b. Она интересна не сама по себе (это хорошо известный тип горячего юпитера), но ее наблюдения использовались для отработки методов получения спектров различных соединений при просвечивании планетных атмосфер. И действительно, в атмосфере WASP-96b были обнаружены несомненные следы углекислого газа.

Второй эксперимент, который завершился в конце сентября 2022 г., – DART (Double Asteroid Redirection Test), проведенный NASA для отработки технологий защиты Земли от потенциальных столкновений с астероидами и кометами. В ночь с 26 на 27 сентября зонд DART протаранил астероид Диморф (спутник астероида Дидим). В результате удара период обращения Диморфа вокруг Дидима уменьшился примерно на 32 минуты и теперь

составляет 11 часов и 23 минуты. Первоначально конструкторы миссии рассчитывали, что изменение периода составит примерно 73 секунды, поэтому получившийся результат оказался настоящим неожиданностью. Двойная пара астероидов была выбрана потому, что в такой двойной системе изменение скорости объекта после соударения можно определить гораздо точнее, чем для обычного астероида, вращающегося вокруг Солнца.

О подобном космическом бильярде уже давно говорят российские ученые (Р.Р. Назиров и Н.А. Эйсмонт), и надеюсь, вскоре они поделятся своими идеями и мнением об эксперименте DART на страницах журнала.

*Главный редактор журнала
«Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*

КОСМАТЫЕ ПРИШЕЛЬЦЫ



БАЗИЛЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР ТИХОНОВИЧ,

доктор геолого-минералогических наук

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

DOI: 10.7868/50044394822050024

Кометы – это небольшие небесные тела, обращающиеся вокруг Солнца по сильно вытянутым орбитам. Они разделяются на короткопериодические (период обращения вокруг Солнца менее 200 лет) и долгопериодические (период более 200 лет). У кометы есть твердое ядро, обычно поперечником от сотен метров до нескольких десятков километров, содержащее водяной лед и другие летучие компоненты. При приближении к Солнцу летучие компоненты ядра испаряются и устремляются от поверхности «вверх», увлекая твердые частицы, в результате чего образуется окружающая ядро газопылевая кома, а давление солнечных лучей приводит к образованию у кометы газопылевого хвоста. Материал ядра кометы твердый, но сильно пористый и непрочный. На его поверхности видны трещины, впадины неправильной формы и разнообразные возвышенности. При всей необычности, с точки зрения земного геолога, условий на поверхности ядра кометы там «работают» обычные геологические процессы. Так, твердый материал ядра с поверхности превращается в рыхлый покров, на крутых склонах материал сползает и ссыпается вниз, а также формируются рельеф и микрорельеф, облики которых определяются степенью устойчивости к разрушению. Подробному описанию этих процессов и посвящена статья.

ЧТО ТАКОЕ КОМЕТА?

Кометы (от др.-греч. – волосатый, косматый) – это небольшие небесные тела, которые обращаются вокруг Солнца по сильно вытянутым орбитам. У кометы есть твердое ядро, содержащее водяной лед (H_2O) и другие летучие компоненты. При приближении к Солнцу входящие в состав ядра летучие компоненты испаряются и устремляются от поверх-

ности «вверх», увлекая твердые частицы (пыль), в результате чего образуется окружающая ядро газопылевая кома. Ее компоненты «сдуваются» излучением Солнца в сторону от Солнца, образуя хвост из газа и пыли. Ионизированные солнечным излучением газы комы тоже сдуваются в сторону от Солнца, образуя ионный хвост. При этом молекулы угарного газа, соединяясь с электронами, придают ионному хвосту характерный голубой цвет.

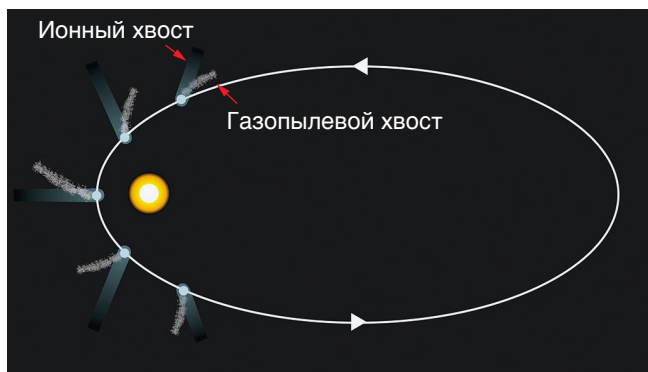


Рис. 1. Схема орбиты кометы и развития газопылевого и ионного хвостов кометы. (Источник: <https://ru.wikipedia.org/wiki/:Cometorbit-ru.svg>, с изменениями)



Рис. 2. Фото кометы Хейла – Боппа (C/1995 O1), сделанное 29 марта 1997 г. накануне ее прохождения через перигелий. На снимке видна яркая голова кометы, желтоватый газопылевой хвост и направленный под углом к нему голубоватый ионный хвост. (Источник: https://ru.m.wikipedia.org/wiki:Comet-Hale-Bopp-29-03-1997_hires_adj.jpg)

ОПАСНОСТЬ КОМЕТ И АСТЕРОИДОВ ДЛЯ ЗЕМЛИ

Удары комет и астероидов по Земле могут представлять серьезную опасность. Напомним, что астероиды – это существенно каменные тела, в основном происходящие из области между орбитами Марса и Юпитера. Тунгусская катастрофа 30 июня 1908 г., по-видимому, была взрывом в атмосфере Земли небольшой кометы (Фесенков, 1961; Флоренский, 1963). Мощность этого взрыва была в тысячи раз больше мощности взрыва атомных бомб, взорванных над Хиросимой и Нагасаки. Если бы Тунгусская комета на пути к Земле задержалась примерно на 5 часов, этот взрыв в атмосфере случился бы не в безлюдном районе Сибири, а над Санкт-Петербургом, и город с двухмиллионным населением был бы уничтожен. Подобная катастрофа, по-видимому, произошла около 3600 лет назад в долине реки Иордан, когда кометным взрывом в атмосфере был уничтожен библейский город Содом (по данным Vunch и 21 соавтор, 2021). Для предотвращения таких ударов надо знать не только траектории, но и строение, и состав приходящих из космоса тел, в данном случае комет.

ТИПЫ И СЕМЕЙСТВА КОМЕТ

Среди комет выделяют короткопериодические (период обращения вокруг Солнца менее 200 лет) и долгопериодические (период более 200 лет). Первые приходят из района внешних планет, вторые – из области, лежащей за орбитой Нептуна, вплоть до 300 а.е. и дальше. Напомним читателю, что 1 а.е. (астрономическая единица) – это среднее расстояние Земли от Солнца. Орбиты у большинства комет эллиптические, поэтому они принадлежат Солнечной системе. Правда, у многих комет это очень вытянутые эллипсы, близкие к параболе; по ним кометы уходят от Солнца очень далеко и надолго.

Многие короткопериодические кометы входят в так называемые семейства. Например, большинство самых короткопериодических комет (их полный оборот вокруг Солнца составляет 3–10 лет) образуют семейство Юпитера. Немного малочисленнее семейства Сатурна, Урана и Нептуна. К последнему, в частности, относится знаменитая комета Галлея. На 1 сентября 2021 г. известно 6996 комет, из них более 400 короткопериодических (<http://www.johnstonsarchive.net/astro/sslistnew.html>).

ФОРМЫ КОМЕТНЫХ ЯДЕР

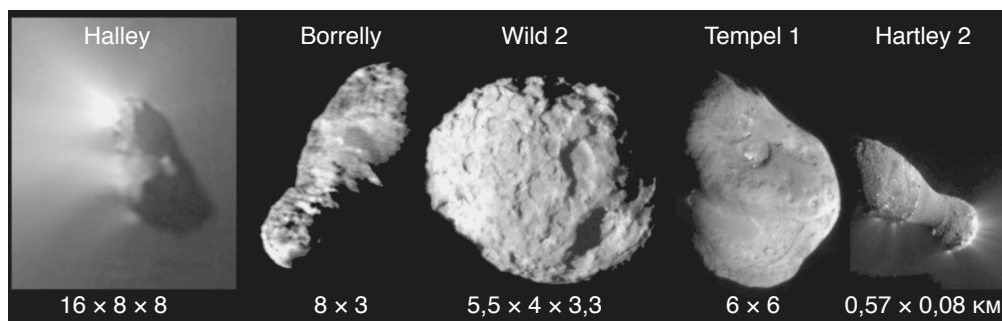
Ядра комет, наблюдавшиеся на космических снимках, имеют неправильную форму.

Средний диаметр ядер комет находится в пределах от нескольких сотен метров до десятков километров (https://star-wiki.ru/wiki/Comet_nucleus). Диаметры ядра нескольких комет, по-видимому, достигают 100 км, например, C/2002 VQ94 (LINEAR) и C/1729 P1 (по данным Korsun et al., 2014). Заметим, что для наиболее крупных ядер это оценки, основанные только на измерениях яркости отраженного солнечного света, и при допущении, что величина отражательной способности поверхности конкретно этих комет известна.

Массы кометных ядер очень малы, что приводит к очень низким величинам ускорения свободного падения на их поверхности (менее мм/с^2). В связи же с тем, что форма ядер далека от шарообразной, величина ускорения от места к месту заметно меняется.

Температуры поверхности большинства комет на преобладающей части их траектории очень низкие, примерно от $-200\text{ }^\circ\text{C}$ и ниже. Однако с приближением к Солнцу температура сильно

Рис. 3. Изображения ядер комет, около которых пролетали космические аппараты, и их размеры в километрах. Комета Halley (комета Галлея) – миссия Giotto, комета Borelly – миссия Deep Space 1, комета Wild 2 – миссия Stardust, комета Tempel 1 – миссия Deep Impact, комета Hartley 2 – миссия EPOXI. (Фото EKA и NASA)



повышается. Так, температура поверхности кометы Галлея в перигелии на расстоянии от Солнца 0.59 а.е. составляла от +30 до +130 °С (по данным Keller et al., 2004).

ПОВЕРХНОСТИ КОМЕТ

На снимках высокого разрешения на поверхности ядер комет видны выступы различной формы и впадины как неправильной в плане формы, так и округлые – похожие на ударные кратеры. На выступах и во впадинах поверхность иногда выглядит сравнительно гладкой. Материал кометных ядер содержит значительное количество замерзших летучих компонентов (или просто летучих), прежде всего льда воды (см. далее). При приближении к Солнцу летучие испаряются, увлекая «вверх» твердые частицы, что приводит не только к образованию упомянутой выше газопылевой комы, но также инициирует ряд геологических процессов на поверхности ядра. К последним относятся, например, образование обедненного летучими поверхностного слоя – реголита, а также движение материала этого и более глубоких слоев вниз по склонам под действием

силы тяжести и вызванное эти движением отступление склонов с обнажением еще не дегазированного материала. Некоторые округлые впадины, вероятно, есть деградированные ударные кратеры. Изредка наблюдаются и вновь образованные ударные кратеры. Более подробное описание упомянутых форм рельефа и вероятных процессов их образования можно найти в работе Базилевского и Келлера (2007).

КОМЕТА ЧУРЮМОВА–ГЕРАСИМЕНКО

В настоящее время наиболее хорошо изучена комета 67P/Чурюмова–Герасименко.

К этой комете Европейским космическим агентством (ESA) была организована специальная миссия «Розетта». Стартовал в марте 2004 г., «Розетта» по сложной траектории в августе 2014 г. долетела до этой кометы и вышла на орбиту наблюдения. С близкого расстояния было выполнено изучение характеристик поверхности ядра и выбрано место посадки спускаемого аппарата «Филы». 14 ноября 2014 г. этот аппарат совершил посадку. При касании поверхности ядра не сработали удерживающие гарпуны и отказал прижимной ракетный двигатель. В результате после нескольких незапланированных подпрыгиваний длиной в сотни метров аппарат «успокоился» в затененном месте, поэтому программа научных наблюдений вы-

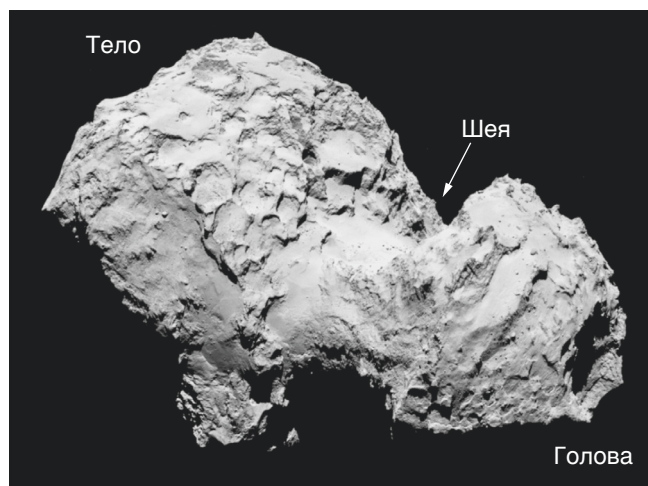


Рис. 4. Изображение ядра кометы Чурюмова–Герасименко, полученное камерой NavCam аппарата «Розетта» 3 августа 2014 г.

полнена им лишь частично. Орбитальный аппарат то сближался с ядром до расстояния в несколько километров (когда газовыделение было относительно слабым), то удалялся на сотни километров (когда поток газов усиливался и захваченные им крупные пылинки могли повредить аппарату космического корабля). Миссия продолжалась до 30 сентября 2016 г., затем аппарат направили на сближение с ядром. Аппарат столкнулся с поверхностью ядра, передавая по мере снижения снимки все более высокого разрешения.

Ядро кометы Чурюмова–Герасименко ($4.1 \times 3.2 \times 2.5$ км) состоит из трех частей, неофициально называемых Тело, Голова и Шея между ними (Sierks et al., 2015). Измеренная масса кометы Чурюмова–Герасименко составляет 10^{10} кг (по данным Varucci and Fulchignoni, 2017). Это приводит к величине средней плотности вещества ядра 530 кг/м^3 , его пористости 70–80% и ускорению свободного падения на расстоянии 2 км от центра ядра (это средний радиус ядра), равному 0.16 мм/с^2 . Среднее геометрическое альbedo материала поверхности ядра на длине волны 649 нм составляет $0.65 \pm 0.2\%$.

На снимках высокого разрешения можно различить трещиноватый консолидированный (твердый) материал ядра и местами перекрывающий его рыхлый грунт, который планетологи часто называют «реголит».

Наличие трещиноватости говорит о том, что консолидированный материал обладает определенной связностью (прочностью), хотя, по земным меркам, небольшой. По геометрии нависающих уступов и отсутствию видимых

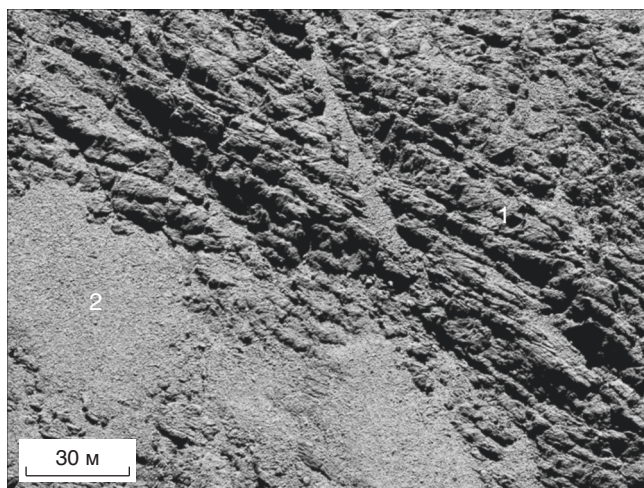


Рис. 5. Консолидированный материал ядра (1) и рыхлый кометный реголит (2) в юго-восточной части Головы ядра. Часть снимка, полученного камерой OSIRIS, с разрешением 9 см на элемент изображения

деформаций в основании крутых уступов были оценены прочности этого материала на разрыв, сдвиг и сжатие, которые оказались близкими к таковым для сухого свежевыпавшего снега при температуре -10°C (Базилевский и др., 2016). Однако в условиях очень низкой силы тяжести на поверхности ядра кометы блоки консолидированного материала, не разрушаясь, выдерживают падение с высоких уступов, поскольку падение очень медленное. Рыхлый реголит нередко ссыпается вниз и накапливается в основании склонов. По глубине ямок от удара опорами аппарата «Филы» и измеренной динамике удара были сделаны следующие выводы. Во-первых, по крайней мере до глубины порядка 20 см материал реголита зернистый, и размер зерен не превышает 1 см. Во-вторых, материал зерен сравнительно мягкий с прочностью на сжатие еще меньшей, чем в случае консолидированного материала.

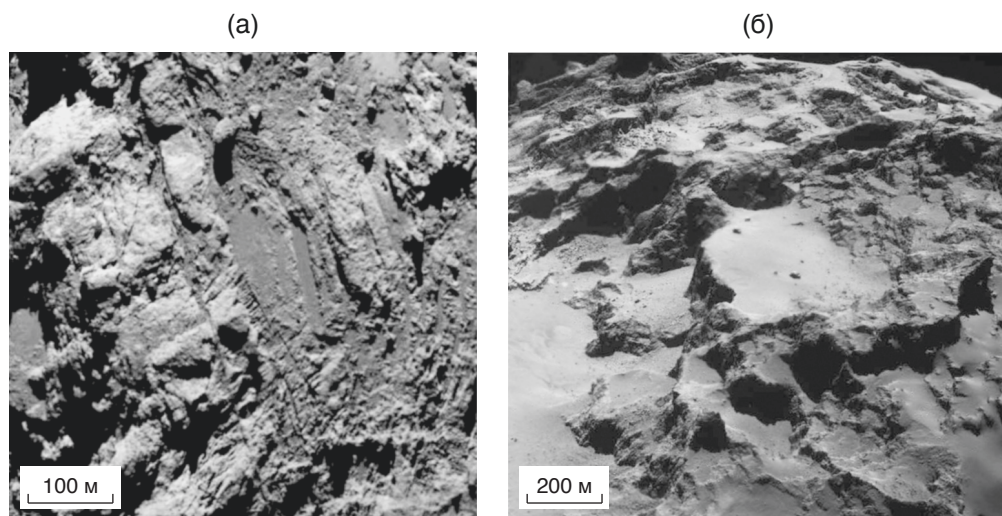


Рис. 6. а – Структуры типа пластовой отдельности, часть снимка, полученного камерой OSIRIS; б – террасы на склоне от Тела к Шее (см. изображение кометы Чюрюмов–Герасименко), часть снимка, полученного камерой NavCam

На многих снимках видны структуры, напоминающие слои в земных осадочных породах или так называемую пластовую отдельность, например, в гранитах.

Видны структуры типа пластов, «уходящих» вглубь ядра, а также многочисленные террасы, которые могут быть поверхностным выражением примерно горизонтальных пластов. При прослеживании ориентировки таких террас по поверхности всего ядра было обнаружено (Massironi et al., 2015), что пласты как бы «облекают» отдельно Тело и отдельно Голову ядра. Этот факт позволил предположить, что две части ядра когда-то были независимо существовавшими телами, которые затем встретились и при низкоскоростном столкновении слились в одно тело. Следует сказать, что не все пластовые структуры ядра укладываются в облекающие образования. Таким образом, внешне привлекательная гипотеза двух изначально независимо существовавших частей ядра этой кометы требует дальнейшей проработки.

На поверхности консолидированного материала ядра практически повсеместно видны бугры поперечником в несколько метров до нескольких десятков метров и меньшие по диаметру бугорки.

Очевидно, они образовались в результате сублимационной эрозии материала ядра. Так, при нагреве летучие сублимируют, то есть переходят из твердого состояния в газ, который, расширяясь, увлекает за собой твердые частицы. Другими словами, наличие бугорков свидетельствуют о неоднородностях в материале ядра. Участки материала, которые эродируются труднее, становятся буграми, а окружающая их поверхность сложена материалом, который более податлив такой эрозии.

На поверхности ядра в ряде мест видны выступы консолидированного материала высотой в десятки метров и даже 100–200 м. Это так называемые «пиннаклы».

Пиннаклы впервые были замечены на поверхности ядра кометы *Wild 2* (по данным Brownlee et al., 2004), но

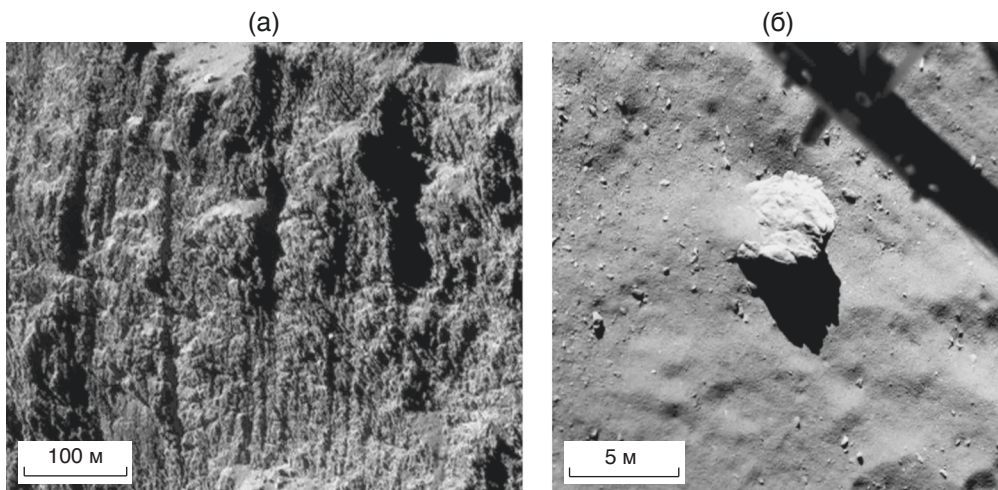


Рис. 7. а – Бугристая текстура поверхности в верхней части уступа от Головы к Шею, снимок камеры OSIRIS; б – мелкобугристая текстура в блоке консолидированного материала в южной части Головы, снимок камеры ROLLIS

там они были на грани видимости. На поверхности ядра кометы Чурюмова–Герасименко пиннаклы уже хорошо видны, а их геометрические характеристики надежно измерены. Считается, что кометные пиннаклы, как и бугры, – это останцы, то есть изолированные массивы более устойчивого к сублимационной эрозии вещества, которое находится в виде включений в материале ядра. Менее устойчивое к эрозии вещество покидает ядро, а участки более устойчивого остаются – поэтому это «останцы». Максимальная высота пиннаклов соответствует минимальной толщине эродированного слоя. Для ядра кометы Чурюмова–Герасименко максимальная высота пиннаклов есть 100–200 м (Krasilnikov et al., 2020), что предполагает, что ядро потеряло слой толщиной, как минимум, 100–200 м.

На ядре кометы Чурюмова–Герасименко довольно много крутых уступов и в этих местах хорошо заметны следы движения вещества вниз по склонам рельефа.

По крайней мере, часть блоков консолидированного материала метрового размера и крупнее при падении с уступов не разрушается. Очевидно, что причина этого кроется в очень низкой силе тяжести на поверхности ядра. Простой расчет показывает, что свободное падение с высоты 200 м займет около 5 мин, а падающий блок наберет скорость всего около 30 см/с.

В нескольких местах на поверхности ядра видны образования типа эоловых дюн – образованных ветром холмов или гряд.

Типичная длина этих дюнных гряд – десятки метров, ширина – несколько метров. Они очень похожи на эоловые дюны Земли и Марса. Механизм их образования не очень понятен. Для образования эоловых дюн должен быть ветровой поток и, как возможность такого, можно было бы рассматривать поток газа из трещины растяжения. Однако дюнных полей на ядре 67P несколько и только одно из них находится вблизи такой трещины. Нужно какое-то более универсальное объясне-

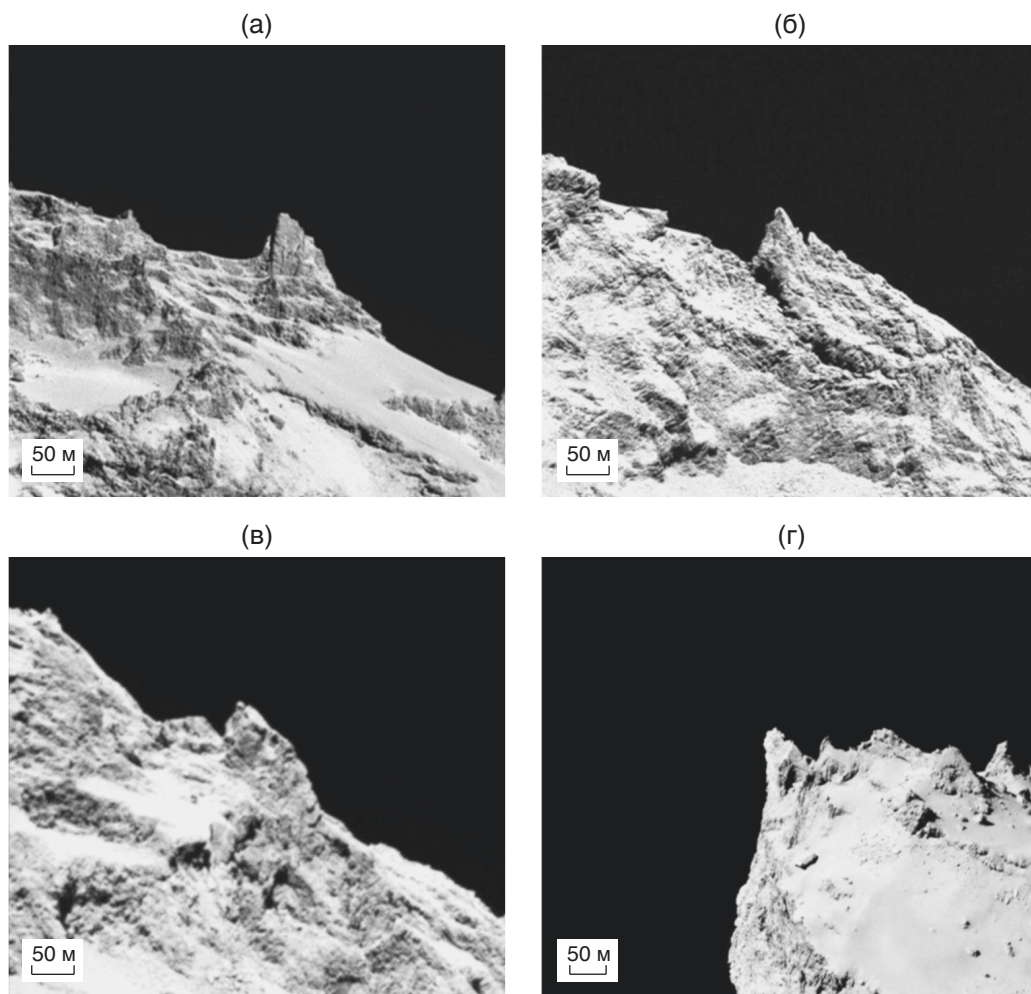


Рис. 8. Примеры пиннаклов на поверхности ядра кометы:
 а – пиннакл Ash 1; б – пиннакл Seth 1; в – пиннакл Seth 3; г – пиннакл Hathor 1. Снимки камеры OSIRIS

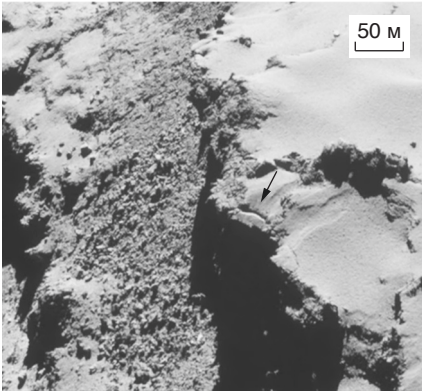
ние. Например, обсуждалась возможность образования дюн направленными потоками газа комы между освещенными и неосвещенными в данный момент частями ядра (Jia et al., 2017).

СОСТАВ ЯДРА КОМЕТЫ ЧЮРЮМОВА–ГЕРАСИМЕНКО И ЯДЕР ДРУГИХ КОМЕТ

Ядра комет – это каменно-ледяные тела, состоящие из минеральной пыли и туго-

плавких органических соединений и смеси льдов. Их соотношения определены не очень уверенно. Данные прибора GIADA на аппарате «Розетта» указывают, что соотношение масс пылевой (каменной) и ледяной компонент в ядре кометы 67P/Чурюмова–Герасименко может быть близко к 7.5 (Fulle et al., 2017). Состав льдов определен для многих комет при спектроскопическом анализе состава их ком (лед H_2O составляет 80–85%, остальное – льды CO_2 , CO , CH_4 , CH_3OH , NH_3 и др.). Надежно проанализи-

(а)



(б)

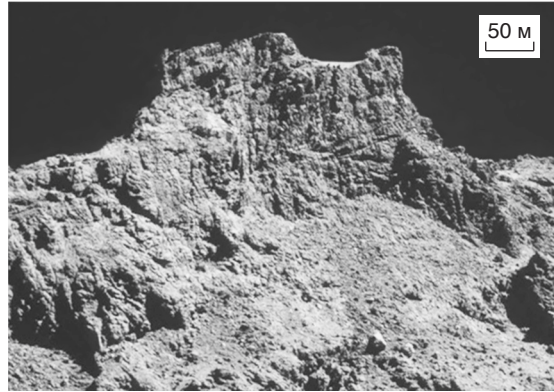
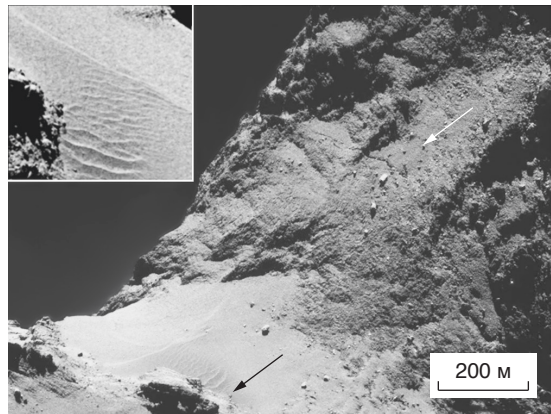


Рис. 9. а – Крутой уступ и осыпь обвалившихся обломков под ним; стрелка указывает на зияющую трещину отрыва – предвестник нового обвала, снимок камеры OSIRIS; б – высокий (около 200 м) уступ с обнажающимся консолидированным материалом и осыпь обломков этого материала в основании уступа, снимок камеры NavCam

Рис. 10. Дюны (черная стрелка) на Шее ядра, белая стрелка указывает на трещину разрыва; снимок камеры NavCam. На врезке то же дюнное поле на снимке камеры OSIRIS



зировать состав каменной компоненты оказалось возможным только для трех комет. Во-первых, *in situ* для кометы *1P/Halley* в ходе миссии «Vega 1». Во-вторых, в лабораторных условиях, когда была исследована пыль кометы *81P/Wild 2*, собранная и доставленная на Землю в ходе миссии *Stardust*. В-третьих, для кометы *67P/Чурюмова–Герасименко* в ходе миссии «Розетта». В последнем случае удалось уловить из комы около 35 тыс. пылевых частиц размером от 10 до 1000 мкм и проанализировать около 250 из них.

Полученные результаты показали, что тугоплавкая компонента ядра кометы *67P* примерно на 55% от общей массы состоит из минеральной пыли и на 45% – из сложных органических соединений. Минеральная пыль представляет собой смесь безводных силикатов – оливинов ($(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$) и пироксенов ($(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$), сульфида железа и аморфного углерода (по данным Rotundi et al., 2015; Bardyn et al., 2017; Wooden et al., 2017). Этот состав близок к составу межзвездной пыли, а соотношения обилий основных породобра-

зующих элементов (Fe, Mg, Si, Al, Na, K, Ca, а также Cr и Mn) близки к таковым в хондритовых метеоритах, что также было найдено для ранее исследованных комет *1P/Halley* и *81P/Wild 2*.

В составе минеральной фракции кометы *67P* было найдено одно зерно, подобное по составу CAIs – обогащенным кальцием и алюминием тугоплавким включениям, входящим в состав некоторых углистых хондритов (по данным Raquette et al., 2016). Ранее CAI-включения были обнаружены в пылевой компоненте кометы *Wild 2*, доставленной на Землю в ходе эксперимента *Stardust* (Simon et al., 2008). Это наиболее древние объекты Солнечной системы, вероятнее всего образовавшиеся вблизи Солнца в результате высокотемпературной конденсации газовой фазы протопланетного диска. Их присутствие в веществе комет свидетельствует о том, что в околосолнечном газопылевом диске существовал эффективный перенос вещества из внутренних горячих зон наружу, на десятки астрономических единиц, во внешние холодные области, где формировались кометные ядра.

Из двух сотен частиц, проанализированных инструментом COSIMA, в семи пылинках комы кометы *67P* Чурюмова–Герасименко были обнаружены сложные органические вещества (Fray et al., 2016). Они представляют собой смесь высокомолекулярных алифатических и ароматических углеводородов, состоящих в основном из C, H, O, N и аналогичных нерастворимому органическому остатку углистых хондритов, но содержащих значительно большее количество водорода. Последнее может свидетельствовать о том, что в отличие от вещества астероидов, вероятно потерявших свой водород при нагревании, кометное вещество никогда не подвергалось сильному нагреву и сохранило водород, а потому

представляет собой наиболее примитивное вещество, сохранившее свой состав с момента образования Солнечной системы.

Состав ледяной компоненты ядра кометы *67P* изучался по составу газов ее комы с помощью прибора ROSINA. Было определено, что основными газами комы этой кометы, как и ком большинства других комет, являются H_2O , CO_2 и CO. В качестве компонентов-примесей в ней присутствуют CH_4 , C_2H_4 , CH_3OH , C_2H_3 и другие легкие углеводороды, а также соединения азота (HCN, NH_3 и N_2) и серы (H_2S , SO_2 , COS). Помимо этого, были идентифицированы инертные газы (Ar, Kr, Xe) и определен их изотопный состав. В молекулах воды в комах 15 комет было измерено отношение дейтерия к водороду (D/H). Оно оказалось различным для разных комет и в основном превышающим это отношение в воде мирового океана Земли.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОМЕТ

Описанные выше результаты исследования кометы Чурюмова–Герасименко и других комет сильно продвинули наше понимание строения и состава данных тел Солнечной системы. Но эти же результаты ставят перед нами и новые задачи. Так, без конкретизации названий комет были в целом сформулированы касающиеся их задачи и предлагаемые методы решения (Thomas et al., 2019). В том числе предлагается запуск нескольких маленьких аппаратов, способных совершать полет и маневрирование в газопылевой коме кометы для изучения пространственных и временных вариаций содержания пыли и газа. Также предлагается размещение множества маленьких аппаратов в разных местах поверхности ядра для изучения тонких деталей строения ядра

с помощью электромагнитного и сейсмического зондирования. Кроме того, предлагается посадить на поверхность ядра подвижный аппарат для исследовательских маршрутов. Предлагается использовать множественные быстрые пролеты исследовательского зонда около изучаемой кометы. Предлагается улучшенная версия эксперимента с высокоскоростным ударником и сбором выброшенного его ударом вещества. И, наконец, предлагается доставка кометного материала для его исследования в земных лабораториях.

Следует отметить, что до настоящего времени во всех космических полетах к кометам изучали только короткопериодические кометы. В то же время ясно, что характеристики долгопериодических комет могут нести новую неизвестную до сих пор информацию. Сейчас в ESA идет работа над миссией *Comet Interceptor* (Кометный Перехватчик), которая должна стартовать с Земли в 2028 г. (<https://www.cosmos.esa.int/web/comet-interceptor/home>). Комета, к которой должна направиться эта миссия, еще не выбрана.

Благодарности

Работа выполнена по Госзаданию ГЕОХИ РАН.

Литература

1. *Базилевский А.Т., Келлер Х.У.* Кратеры, участки гладкой поверхности, потоки и слоистость на ядрах комет // *Астрономический вестник*. 2007. Т. 41. № 2. С. 1–10.
2. *Базилевский А.Т., Красильников С.С., Ширяев А.А., Маль У., Келлер Х.У., Скоров Ю.В., Моттола С., Хвид Ш.Ф.* Оценка прочности материала ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко // *Астрономический вестник*. 2016. Т. 50, № 4. С. 241–251.
3. *Фесенков В.Г.* О природе Тунгусского метеорита // *Метеоритика*. 1961. Вып. XX. С. 27–31.
4. *Флоренский К.П.* Проблема космической пыли и современное состояние изучения Тунгусского метеорита // *Геохимия*. 1963. № 3. С. 284–296.
5. *Fulle M., Corte D.V., Rotundi A., Green S.F., Accolla M., Colangeli L., Ferrari M., Ivanovski S., Sordini R., Zakharov V.* The dust-to-ices ratio in comets and Kuiper belt objects // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2017. V. 469. P. S45–S49.
6. *Krasilnikov S.S., Skorov Y.V., Basilevsky A.T., Hvid S.F., Mall U. and Keller H.U.* Pinnacles on the surface of the comet 67P/Churyumov–Gerasimenko: Regional distribution and morphology // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2020. V. 491. P. 2664–2673.
7. *Sierks H., Barbieri C., Lamy P.L. et al.* On the nucleus structure and activity of comet 67P/Churyumov–Gerasimenko // *Science*. 2015. V. 347 (6220).
8. *Thomas N., Ulamec S., Kührt E., Ciarletti V., Gundlach B., Yoldi Z. Schwehm G., Snodgrass C., Green S.F.* Towards new comet missions // *Space Science Reviews*. 2019. V. 215 (8). P. 1–35.

Реклама

Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

Издательство «Наука» готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-зале и на экспозиционных площадках издательства по адресу:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735
Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ЛЕТНЯЯ КОСМИЧЕСКАЯ ШКОЛА – СРЕДА ДЛЯ НАУЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ И ГРАЖДАНСКОЙ НАУКИ

ЛЕМЕЩЕНКО Сергей Александрович

DOI: 10.7868/50044394822050036

ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

Летняя Космическая Школа (ЛКШ) началась в 2015 году как проект энтузиастов космонавтики Александр Шаенко и Анастасии Ильиной. С самого начала ЛКШ была многодневным мероприятием на тему космонавтики. В таком формате Школа просуществовала до 2019 года, и масштаб мероприятия был достаточно скромным – порядка 50 человек. До 2019 года ЛКШ проходила в разных форматах: это была и комбинация лекций и активностей на космическую тему, лекционный марафон, технический хакатон, конкурс проектных работ. В 2020 году проект был перезапущен в виде междисциплинарной программы: к теме космонавтики добавились еще два направления – астрофизика и космическая медицина. С 2021 года Школа получила два направления – секции космической связи и дистанционного зондирования Земли и научной журналистики. В 2022 году добавилась еще одна гуманитарная секция – космического права и экономики космической деятельности.

ЧТО ТАКОЕ ЛЕТНЯЯ КОСМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

ЛКШ – это многодневная очная научно-просветительская программа для разновозрастной аудитории, исполь-

зующая подходы виртуальной обсерватории и симуляции космического полета и ЦУПа для глубокого погружения в актуальные темы космонавтики, астрофизики, космической инженерии, космической медицины и научной журналистики.

ЛКШ служит пространством, где взаимодействуют энтузиасты космонавтики, ученые, популяризаторы, журналисты, школьники старших классов, студенты, взрослые и все желающие.

Организаторы Школы ставят перед собой следующие цели:

- популяризация космонавтики, связанных с ней научных и технических дисциплин и научных знаний в целом;
- стимулирование научной коммуникации и междисциплинарного сотрудничества;
- создание условий для взаимодействия ученых и энтузиастов в парадигме гражданской науки;
- способствование формированию сообщества любителей космонавтики в России.

Сама Школа является некоммерческим мероприятием. Ее бюджет формируется из добровольных пожертвований и организационного взноса, который оплачивают участники.

Кроме больших ежегодных мероприятий, методика и элементы программы ЛКШ используются при проведении профильных смен, фестивалей, интенсивов в школах и учреждениях

дополнительного образования и онлайн курсов. Так же в Москве на нескольких площадках действует организованный совместно с сообществом «Твой сектор космоса лекторий» и проводятся экскурсии в музеи связанных с космонавтикой организаций ГК Роскосмос и научных учреждений РАН.

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШКОЛЫ

Ключевой особенностью Школы является использование подходов виртуальной обсерватории и симуляции космического полета.

Виртуальная обсерватория. Это использование открытых баз данных различной природы, генераторов синтетических научных данных и технологии виртуальной и дополненной реальности для создания окружения, в котором участники Школы могут работать в условиях предельно близких к работе настоящих ученых, без необходимости наличия собственно сложного научного оборудования и инструментов прямо на площадке проведения.

Симуляция космического полета. Это практика без наставников, которая проводится в завершающей части Школы и которая предназначена для максимально эффективного закрепления знаний, полученных в лекционно-практической части. Симуляция проходит в виртуальной среде, в которой задаются начальные условия и подготавливаются инструменты с помощью которых осуществляется взаимодействие с виртуальной обсерваторией. Взаимодействуя с симуляцией, участники должны выполнить задачи, которые требуют для решения применения знаний и навыков, полученных на Школе. Участники сами принимают решения о том, как и когда им действовать. В отличие от обычной практики

участники не застрахованы от совершения ошибок. Например, в части симуляции, связанной с космонавтикой, участники управляют космическими аппаратами, планируют орбитальные маневры, перемещаются между планетами и осуществляет посадку на небесные тела. Ошибка в расчете маневра может привести к перерасходу топлива или к аварии при приземлении. По опыту нескольких Школ, даже такая виртуальная и совершенно не представляющая реальной угрозы опасность стимулирует участников к максимально ответственному подходу при выполнении заданий.

Этот подход позволяет сложить вместе теорию и практику с использованием реальных научных данных, дополнить их симуляцией и в результате сформировать у участников знания и умения и самое главное – дать им некий личный опыт, полученный пусть и в виртуальной среде, но позволяющий серьезно относиться к приобретенным знаниям и умениям.

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ЛКШ

Программа Школы разрабатывается для разновозрастной аудитории, начиная с 14 лет и без ограничения верхнего возраста участия. Основная задача – сделать ее доступной и при этом интересной как специалистам, так и тем, кто о вопросах, затрагиваемых на Школе, узнал на самой ЛКШ.

Процесс формирования программы состоит из следующих этапов:

1. Выбираются основные темы Школы (одна или несколько на секцию);
2. Для каждой темы определяется то, что узнают и чему научатся участники;
3. Под каждый набор знаний формулируется тема одной или нескольких лекций;

4. Под каждый из навыков подбиралась практическая активность (мастер-класс, практикум или лабораторная работа), которые осваиваются на практических занятиях;

5. Составляется сценарий симуляции, который охватывает темы всех секций Школы и связывает воедино все навыки и умения, которые участники освоят на мероприятии.

Примером такого подхода к формированию программы является Летняя Космическая Школа – 2021.

Школа проходила 31 июля – 8 августа 2021 года в Сколковском институте науки и технологий.

Школа привлекла 75 участников, 27 волонтеров и наставников, 50 лекторов и гостей школы. Также на Школе выступили в дистанционном режиме директор Роскосмоса Дмитрий Олегович Рогозин, который рассказал участникам об основных задачах госкорпорации, и космонавт Иван Викторович Вагнер.

География участников школы была достаточно разнообразна: треть участников – это Москва и Московская область, ~20% – это Санкт-Петербург, а остальная часть достаточно равномерно распределена по остальным регионам: есть участники из Крыма, Калининграда, Сибири, Иркутска и Амурской области.

Основными темами Школы были выбраны:

- орбитальная механика и планирование космических миссий,
- изучение экзопланет, космическая погода, методы моделирования и изучения планетарного климата и его истории,
- низкоорбитальные группировки спутников связи и ДЗЗ, научные и практические применения геоинформационных данных,
- человек в космосе, изучение влияния факторов космического полета на организм и психику человека.

В процессе освоения этих тем участники приобрели бы следующие знания и умения:

- По космонавтике:
 - представление об элементах орбиты и орбитальных маневрах
 - освоить использование специального ПО для планирования и оптимизации траекторий космических аппаратов
 - освоить ручную стыковку на симуляторе космического корабля
 - По астрофизике и геофизике:
 - научиться анализировать ИК-спектры планетных атмосфер и извлекать из них информацию о составе атмосфер и условиях на поверхности
 - познакомиться с моделями планетарного климата и климатическими изменениями
 - познакомиться с методами, с помощью которых климатологи изучают историю климата
 - По космической связи и ДЗЗ:
 - научиться собирать антенны нескольких типов для приема спутниковых сигналов
 - изучить системы космического аппарата на примере конструктора спутников формата кубсат
 - познакомиться с методами дистанционного зондирования Земли и способами обработки спутниковых данных
 - По космической медицине:
 - познакомиться с программой медицинских экспериментов на отечественном сегменте МКС и освоить проведение некоторых экспериментов на оригинальном оборудовании
 - научиться определять психофизиологическое состояние экипажа по анализу записей радиопереговоров.
- С учетом вышеперечисленного списка знаний, которые должны получить участники Школы, были подобраны темы лекций и приглашены лекторы. По списку умений были найдены

партнеры для проведения практических занятий и мастер-классов.

Общая длительность программы школы составила 150 часов в течение 9 дней. Это были 24 часа общих лекций по самым разным темам, 46 часов практических занятий и лекций в секциях (проходили параллельно) и 16 часов симуляции. Как видно, значительная часть программы Школы была посвящена практике.

Обзор программы секции космонавтики ЛКШ-2021

В этой секции участники прослушали лекции по основам орбитальной механики, методам планирования и оптимизации траекторий, устройству космической техники. Антон Иванов, директор Космического центра Сколтеха, рассказал о методах планирования космических миссий в ведущих мировых космических агентствах. Дмитрий Пайсон из Сбера прочел лекцию об экономике мировой космической отрасли. О состоянии отечественной частной космонавтики рассказал старший проектный менеджер космического кластера фонда «Сколково» Иван Косенков. Об изучении рынка космических технологий (SpaceTech) рассказал инженер Космического центра Сколтеха Никита Велиев. О своем опыте реальной работы инженера-баллистика рассказала Светлана Ковалева из НПО им. Лавочкина.

Обзор программы секции астрофизики

Эта секция получила самую сложную и проработанную программу. Подробный обзор программы и процесса ее подготовки можно найти в статье куратора секции – Александра Ломакина, аспиранта ИКИ РАН.

Обзор программы секции космической связи и ДЗЗ

Участники секции под руководством Дмитрия Пашкова освоили изготовление антенн типа «волновой канал» и «спиральная антенна». С помощью этих антенн выполняли прием открытой телеметрии и изображений, передаваемых с борта Международной космической станции и спутников «Метеор» и NOAA в метровом диапазоне, а на дециметровые антенны – телеметрию с аппаратов ORBICRAFT и ORBICRAFT-ZORKY, и голосовые ретрансляторы. Денис Голиков, методист компании «Спутникс», провел практикум с участниками по работе с конструктором кубсатов Obrick 3U Pro. В лекционной программе перед участниками выступили: Сергей Пехтерев с рассказом о низкоорбитальных системах спутниковой связи и Starlink, Игорь Пантелеймонов (ЦНИИМАШ) с лекцией по методам управления спутниковыми группировками, Михаил Бурцев (ИКИ) с лекцией по основам дистанционного зондирования Земли и практикумом по работе с открытыми базами данных ДЗЗ, Антон Громов с рассказом об особенностях разработки программного обеспечения для космических аппаратов, Александр Худошин из компании «Сименс» с лекцией о применении технологий VR и AR в инженерном деле. Ольга Корниенко, помощник директора по маркетингу компании «Спутникс», рассказала о работе компании. Александр Шаенко рассказал о системах космических аппаратов и их устройстве.

Мастер-класс по работе с программой «Орбита» провели сотрудники компании «Образование будущего» Станислав Аретинский и Ксения Якушина. О своем уникальном опыте создания сканирующего радиометра рассказал Евгений Ронов из НИИКП. Также энтузиасты из радиоклуба МИЭТ

Герман Антошкин и Илья Оразов провели мастер-класс по приему сигналов с МКС и спутников NOAA на антенны своей конструкции.

Обзор программы космической медицины

Участники секции под руководством сотрудников Института медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН) освоили методику и провели ряд бортовых и других научных экспериментов (Кардиовектор, Альгометрия, Пилот-U, Гомеостат, Контент, POMS).

Основу лекционной программы и практических занятий составили выступления сотрудников ИМБП РАН: Виктор Михайлович Баранов выступил с обзорной лекцией о факторах космического полета, Анна Юсупова рассказала о космической психологии, эксперименте Контент, психологических опросниках и провела практические занятия, Вячеслав Шуршаков осветил тему радиации в космическом пространстве, Анастасия Степанова рассказала об изоляционных и других экспериментах, проводимых в институте, Юрий Смирнов выступил с лекцией о методике космического эксперимента, а также рассказал о перспективных исследованиях в интересах дальних полетов в космос. Константин Николаевич Еськов, Дарья Счастливецва, Стефания Федяй и Елена Лучицкая рассказали о теоретических основах и провели практические занятия по экспериментам Гомеостат, Пилот-U, Альгометрия и Кардиовектор.

Также перед участниками выступили сотрудники других научных организаций – Евгений Николаевич Николаев из Сколтеха рассказал об использовании масс-спектропии в космической медицине, Екатерина Проскуракова из

VR кластера МГУ – об участии в научной программе изоляционного эксперимента «SIRIUS», Алексей Паевский, главный редактор портала Indicator, осветил тему нейронаук в космосе, а Илья Захаров из ИП РАО подробно рассказал о методах изучения активности головного мозга.

Обзор программы секции научной журналистики

Участники секции под руководством научного журналиста Михаила Котова обучались основам научной журналистики – поиску и верификации данных, созданию и редакции различных материалов. Участники попробовали себя в роли сотрудников медиа, ведущих социальные сети Летней космической школы.

Приглашенные лекторы и поднятые ими темы: Даниил Кузнецов (редактор IQ.HSE и корпоративного медиа СБЕР) – написание научных новостей, работа с информацией, поиск интересных материалов. После лекции участники самостоятельно написали научные новости в коротком и расширенном виде. Александр Баулин (главный редактор медиа PRO Космос) – работа с интервью и написание длинной формы: колонки, статьи. После лекции участники поучаствовали в специально организованной пресс-конференции и научились брать интервью. Мила Савельева (PR служба GK Launch Services) – работа с пресс-службой, написание и обработка пресс-релизов, написание новости по готовому пресс-релизу. На практическом занятии участники самостоятельно написали пресс-релиз интересного события. Дарья Чудная (PR служба Success Rockets) – работа с медиапланированием, составление медиаплана для

освещения событий Летней космической школы. Алексей Тимошенко (научный редактор «Чердак науки», Политехнический музей) – работа в редакции, как правильно подать материал, как коммуницировать с главным редактором и что вообще требуется от журналиста.

СЦЕНАРИЙ СИМУЛЯЦИИ ЛКШ-2021

Для того, чтобы охватить все темы Школы в одном сценарии был выбран научно-фантастический сюжет, являющийся продолжением сюжета симуляции ЛКШ-2020:

В далеком будущем человечество освоило межпланетные перелеты и терраморфирование землеподобных планет.

Действие сценария начинается в планетной системе у далекой звезды спектрального класса K2, которая была колонизирована группой колонистов с Земли. Эта группа вела процесс терраморфирования одной из планет в системе и в определенный момент времени у них произошла авария. В результате этой аварии пришлось прервать процесс терраморфирования и сами колонисты погрузились в глубокий сон, отправив перед этим сигнал о помощи. На оставленной без присмотра планете начались необратимые климатические изменения и планета с теплым климатом вошла в ледниковый период и к моменту прибытия наших участников представляла собой снежный шар. Для погружения участников в сюжет был написан ряд литературных фрагментов, которые представляли собой письма, записки и записи жителей колонии. Для того чтобы научно обоснованно воспроизвести этот сценарий с помощью специали-

тов из Института космических исследований РАН, Института астрономии РАН были использованы одномерная модель климата экзопланеты и наложенная на нее модель роста одноклеточной водоросли хлореллы в океанах для того, чтобы получить синтетические климатические данные, которые участники должны были собрать в VR лаборатории (см. ниже) и проанализировать.

Сбор данных проходил в рамках подхода виртуальной обсерватории:

- для получения данных о спектрах атмосфер планет, для их классификации и предварительной селекции целей использовался генератор синтетических спектральных данных NASA PSG.
- для получения палеоклиматических данных была разработана специальная VR-лаборатория, воспроизводящая основные этапы добычи, подготовки и исследования ледяных кернов.

Изначально участники знали, что их звездолет-исследователь получил сигнал бедствия. Поскольку наши симуляции максимально реалистичны, то скорости межзвездных путешествий весьма невелики, и к моменту прибытия в эту планету прошло несколько тысяч лет. За это время успели накопиться климатические изменения. Задача участников заключалась в восстановлении обстоятельств этого происшествия на внеземной колонии.

ЗАДАЧИ СЕКЦИЙ В СИМУЛЯЦИИ

Секция астрофизики отвечала за анализ спектральных данных планет для того, чтобы определить, какая из планет принадлежала колонистам, и выбрать ее как цель перелета. Далее участники-астрофизики анализировали несколько видов климатических данных, которые мы подготовили с помощью климати-

ческой модели, чтобы в итоге сделать выводы о происходившем на планете.

Задачами секции космонавтики были управление различными космическими аппаратами, расчет маневров для осуществления перелетов между планетами и высадка на планету для сбора образцов.

Участники секции космической медицины проводили на других участках различные медицинские эксперименты с помощью оборудования, используя методы, которым они научились в лекционно-практической части Школы.

Участники секции космической связи и ДЗЗ принимали телеметрию и изображения с различных космических аппаратов и получали вознаграждение в виде литературных фрагментов и подсказок, которые мы заготовили заранее.

Секция научной журналистики занималась тем, что следила за происходящим в каждой секции и публиковала описание действий в виде новостей, мемов и заметок в специально созданный телеграм-канал.

Вся эта разнообразная активность в итоге привела к тому, что участники успешно решили составленный нами научный ребус.

ЛЕТНЯЯ КОСМИЧЕСКАЯ ШКОЛА – КАТАЛИЗАТОР НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И СОТРУДНИЧЕСТВА РАЗНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Упомянутая уже несколько раз VR-лаборатория для добычи ледяных кернов, их подготовки и бурения была разработана в партнерстве с VR-центром МГУ и ААНИИ. Инициатором этой программы стала ЛКШ. Была поставлена задача дать участникам виртуальное окружение, в котором они могут

прикоснуться непосредственно к процессу сбора данных, из которых потом составляется по крупицам климатическая история нашей планеты. Особенно важно то, что наша страна является лидером в программах глубокого бурения льда. В первую очередь это программа бурения на станции «Восток», под которой находится одноименное подледное озеро. Буровая установка, которая используется в виртуальной лаборатории, построена по образцу буровой установки, использующейся на станции «Восток».

VR-лаборатория дает участникам возможность непосредственно поучаствовать в том, как добывается один метр ледяного керна. Как этот керн дальше разделяется на компоненты, часть из которых идет в архив, а часть используется для разных видов анализа. Таким образом, получается информация по изотопному, химическому составу, проводимости и прозрачности льда.

У VR-лаборатории есть потенциал дальнейшего развития в образовательный и просветительский продукт, способный привлечь внимание к проблеме изменения климата и важности программ сбора палеоклиматических данных, ведь для того, чтобы составить климатическую историю, которая уходит в прошлое на 800 лет, нужно провести 45 тысяч операций бурения, каждая из которых занимает нескольких часов, собрать десятки и сотни кернов льда, транспортировать их на десятки тысяч километров с места бурения к месту хранения и анализа...

ОПЫТ ГРАЖДАНСКОЙ НАУКИ НА ЛЕТНЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ ШКОЛЕ

Гражданская наука – это участие энтузиастов в обработке данных научных экспериментов либо взаимодействие

со специалистами для участия в экспериментах. В 2020 году специалисты лабораторий возрастной психогенетики Института психологии РАО под руководством Ильи Захарова участвовали в программе секции космической медицины Летней космической школы. Эти специалисты научили участников Школы использованию мобильного электроэнцефалографа, методам, с помощью которых собираются данные активности головного мозга, для чего эти данные собираются и как используются. А слушатели стали участниками эксперимента по сбору статистики по активности головного мозга для пополнения большой базы данных для собственных исследований лабораторий возрастной психогенетики. Результаты этого сотрудничества были положительны, и более 40 участников школы приняли участие в этих экспериментах. Руководитель группы Илья Захаров поделился с организаторами Школы результатами этих исследований. По итогам замеров было видно,

что у участников активируются области коры мозга, связанные с усвоением полученных знаний. То есть участники Школы были вовлечены в процесс и активно старались запоминать и применять то, чему их обучали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Летняя Космическая Школа прошла путь от проекта энтузиастов к крупному ежегодному мероприятию всероссийского уровня с уникальной методикой и большим потенциалом для развития. В дальнейших планах коллектива организаторов – выход на международный уровень, расширение аудитории за счет добавления новых секций. И – самое главное – обучение всех желающих проведению мероприятий с использованием подхода виртуальной обсерватории и симуляции космического полета с целью создания постоянно действующих филиалов Школы в регионах России.

В 2022 году Летняя Космическая Школа прошла 6–14 августа в Москве на базе Института космических исследований Российской академии наук.

Ее темой стала симуляция международной пилотируемой экспедиции к Марсу. Она состояла из нескольких этапов: доставки грузов и оборудования на орбиту Марса в беспилотном режиме, перелета двух пилотируемых межпланетных кораблей с экипажами экспедиции на борту. Затем последовала высадка на поверхность и действия на ней для разворачивания долговременного поселения и ведения научных исследований.

Организаторы — Летняя Космическая Школа и ИКИ РАН при поддержке ГК «Роскосмос».

Фотографии предоставлены Летней Космической Школой.

Фотограф – Владислав Озерцкий.

см. стр. 38–39



*Руководители Школы и секций
2022 года*



*Сергей Лемещенко, руководитель секции
космонавтики*



После успешного сеанса связи с МКС



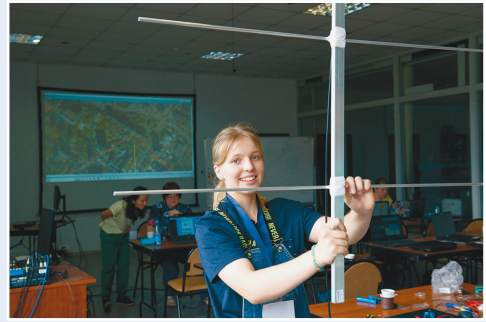
*Встреча с летчиком-космонавтом,
Героем России Андреем Борисенко*



*Олег Блинов, командир экипажа
девятимесячного изоляционного
эксперимента SIRIUS*



Александр Шаенко рассказывает о проекте биореактора на микроводорослях



Сборка антенны для связи с Международной космической станцией. Секция космической связи и дистанционного зондирования Земли



Рабочие моменты Школы



Участники Летней Космической Школы – 2022 в ИКИ РАН

СЕКЦИЯ АСТРОФИЗИКИ И ГЕОФИЗИКИ В ЛЕТНЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ ШКОЛЕ

ЛОМАКИН Александр Александрович

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394822050048

Программа секции астрофизики на Летней Космической Школе является одной из самых сложных с точки зрения проектирования. Нужно обязательно быть достоверным и при этом не отходить от сценария школы – ведь должно быть что-то фантастическое, что в реальности пока невозможно. В 2021 г. участники школы прилетали на космолете к планетной системе около другой звезды и должны были выяснить, какую из планет пытались терраформировать колонисты и что с ними случилось. Для этого они должны были иметь базовые знания об экзопланетах, астрофизике, планетологии и климате планет, а также использовать простые, но при этом реалистичные методы. На все это у нас было пять дней, в каждый из которых были и лекции, и практические занятия.

ЛЕКЦИИ

Мы подбирали лекторов таким образом, чтобы покрыть все эти темы и дать по ним релевантные знания. Усложняет ситуацию то, что участники школы имеют очень разный уровень подготовки: на школу может прийти человек с любым опытом. В аудитории могут одновременно присутствовать специалист по инфракрасным камерам и школьник из 9-го класса. Это часто означает, что мы не можем поставить все лекции, которые хотим, и рассказать все, что можем, но сохраняем доступность знаний.

Одна из самых главных задач – дать участникам представление о том, что из себя представляют исследования экзопланет на текущий момент. Этому была посвящена лекция Владимира Сурдина, в которой он рассказал о методах открытия экзопланет и о том, что мы знаем об уже открытых экзопланетах на сегодняшний день. Мы хотели дать участникам обзорное понимание всех процессов, связанных с формированием планет, поэтому нам нужна была лекция о протопланетных дисках и формировании планет. В симуляции участники должны были изучать историю планеты – об этом могут экспертно рассказать только люди, занимающиеся историей единственной доступной для изучения «руками» планеты – Земли. Директор Института Географии РАН Ольга Соломина рассказала обзорную лекцию об исследовании истории климата Земли, Елена Иванова – о реконструкции палеоклимата из донных отложений, а Станислав Кутузов – об истории из кернов льда. Это дало существенный базис для понимания климатических процессов, происходивших на Земле, а о других планетах рассказал один из немногих русскоязычных экспертов по моделированию климата планет Солнечной системы Александр Родин. Если же мы пытаемся изучать жизнь на экзопланетах, то нам надо учитывать влияние звезды в этой планетной системе. Далеко не во всех планетных системах можно безопасно жить, для этого центральная звезда

должна быть спокойной, на границы зоны обитаемости экзопланетных систем также могут влиять радиационные условия. Поэтому мы провели лекцию от профессора Сколтеха – Татьяны Подладчиковой. Были и пара лекций по фундаментальным методам изучения планет: спектроскопии и масс-спектрологии как примеры дистанционного и *in situ* методов исследования.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Такое значительное количество лекций от лекторов с настолько серьезной экспертизой уже должно было дать участникам школы обширные представления о методах и объектах изучения астрофизики и геофизики, и как будто можно было бы на этом остановиться. Но мы считаем, что научно-популярные лекции дают очень поверхностное понимание о том, что такое наука. Мы хотели провести участников за руку через настоящие научные будни и в процессе дать им полезные навыки. Одно из самых фундаментальных умений для научных сотрудников из разных областей – это преобразовать текстовый файл с данными в график. Многие практические занятия ориентированы на освоение именно этого навыка и на дальнейшую интерпретацию картинок.

Однако, нам требовалось решить задачу обучения построению графиков совершенно разнородной массы людей с разными стартовыми навыками. Вообще говоря, самый правильный способ – сразу строить графики, используя какой-либо популярный в академической среде высокоуровневый язык для обработки данных – MATLAB или, еще лучше, python с библиотекой matplotlib. Конечно, этот вариант не очень реалистичен – нам попадались люди без знания програм-

мирования в принципе. В итоге мы давали два варианта построения графиков – небезызвестный `gnuplot` и простая методичка с `ipython notebook`-ом (это такое сочетание текста с кодом на python и выводом результатов этого кода – например, картинок) – для тех, кто немного понимает в программировании. Такое обучение было интегрировано во все практические занятия школы, но началось с практики по спектроскопии.

Практические занятия были устроенны таким образом: почти каждый день имелась пара, где у участников школы была практика на основе одной из лекций. Так как в дальнейшем на симуляции космического полета им пришлось получать данные об атмосферах экзопланет, большая часть практики была нацелена на идентификацию атмосфер разных планет с помощью данных спектрометра. Мы выбрали такого рода практическое занятие, так как это очень популярный метод идентификации планетных атмосфер – в реальности почти на каждом космическом аппарате, отправленном к другой планете, стоял инфракрасный спектрометр. С помощью таких приборов можно узнать многое о составе атмосфер планет, их структуре, давлении, температуре и даже скорости ветра. А самое главное – можно наблюдать все это в динамике. Конечно, нашей задачей было познакомить людей с методом, а не научить их работать, как это делают полноценные научные сотрудники. К счастью, это возможно – дело в том, что газы имеют полосы поглощения, которые существенно отличаются друг от друга и находятся на разных длинах волн. Не так сложно научить человека без бэкграунда отличать атмосферу, где доминирует CO_2 , от атмосферы, где доминирует водяной пар. Для этого достаточно просто показать им спектры таких атмосфер, снятых спектрометром с не

очень высоким разрешением – в таком случае полосы поглощения просто будут сливаться в большие и плавные линии – а не частокол из острых полос поглощения атмосферных газов. В этой практике участникам давались данные в текстовом виде, дополненные файлами с линиями поглощения популярных атмосферных газов. Для удобства и единообразия мы брали спектры из PSG – Planetary Spectrum Generator – удобного онлайн инструмента. В первую очередь мы давали спектры пропускания атмосфер тел Солнечной системы: требовалось понять, что это за тело и какой примерно состав атмосферы. Далее участники получали гипотетические спектры экзопланет и должны были использовать сам PSG, чтобы понять, как на вид спектра влияют разные параметры атмосфер. В процессе этого и других практических занятий им помогали волонтеры, которые были готовы ответить на все их вопросы, а если у кого-то не получалось, провести по всем занятиям и показать, что нужно было сделать.

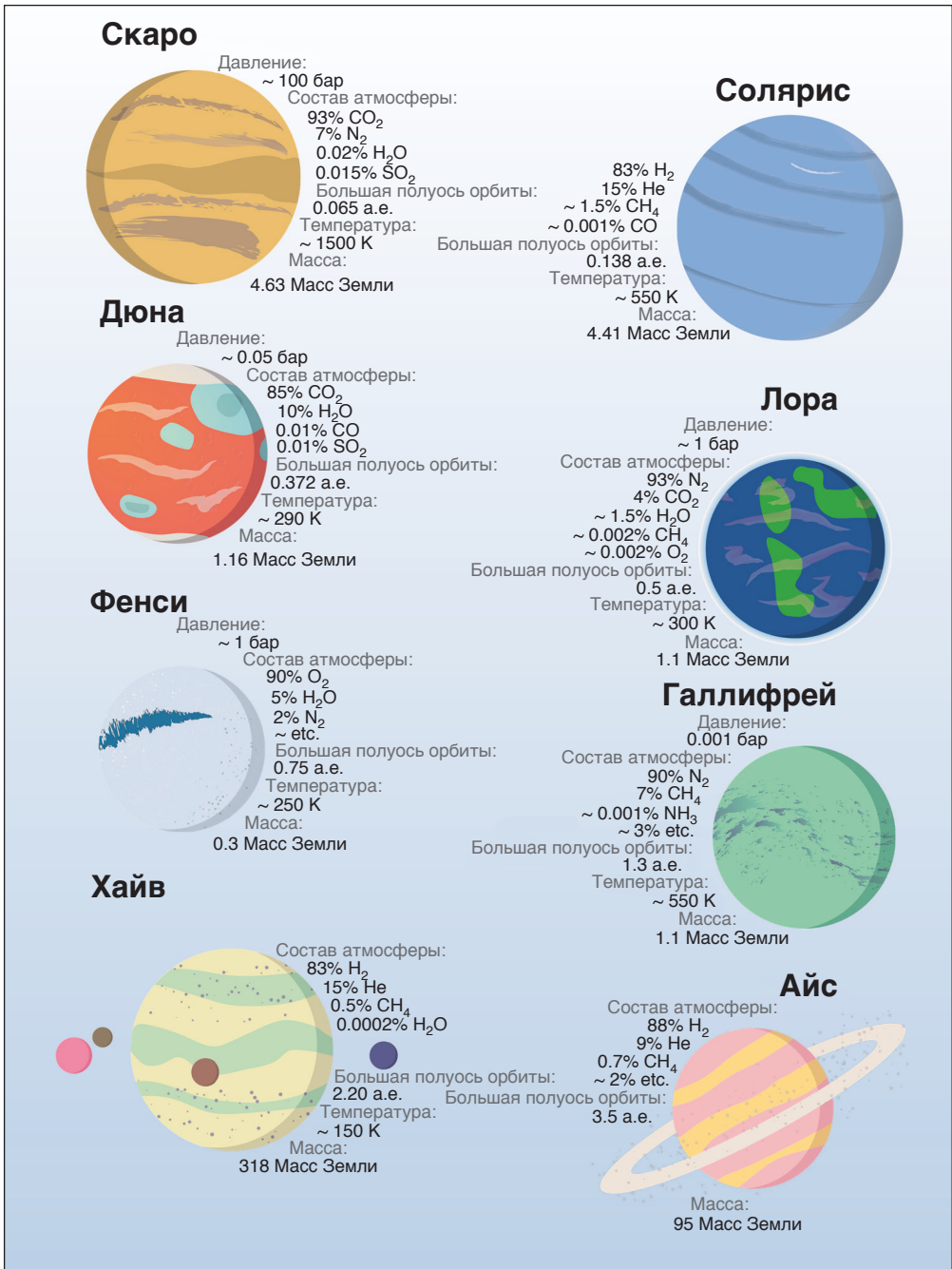
Другие практические занятия были организованы лекторами. Они предоставляли данные и задания для практических занятий, а мы адаптировали их к нужному формату и предоставляли волонтеров для помощи. Одно из практических занятий было от Станислава Кузнецова по ледяным ядрам – пробам льда или снега. Участникам были даны txt-файлы, откуда они должны были извлечь нужную информацию, построить графики и правильно их проинтерпретировать. Другое практическое занятие, связанное с солнечной активностью, провела Татьяна Подкладчикова. Это было самым сложным практически занятием, так как оно включало в себя работу с python, поэтому мы дополнительно прочитали подготовительную лекцию по основам python и разделили участников на

группы по несколько человек, где хотя бы один имел опыт программирования.

СИМУЛЯЦИЯ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

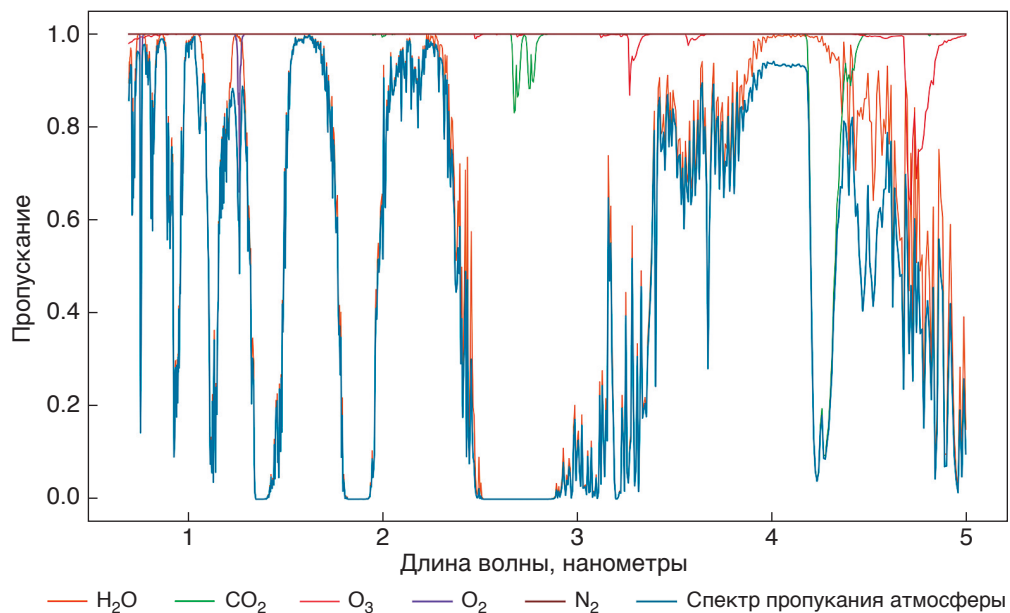
Одной из самых сложных задач для организации оказалась сама симуляция, которая стала для участников своего рода «итоговым проектом», в котором были совмещены усилия участников всех секций. Подробнее про симуляцию можно прочитать в обзорной статье Сергея Лемещенко в этом выпуске. Задачей астрофизиков было выдать максимум информации, не выходя на орбиту планеты: с помощью спектров пропускания и орбитальных параметров, «измеренных» участниками из секции космонавтики. По этим данным «астрофизики» должны были определить планету, обитаемую с наибольшей вероятностью. Затем на нее отправлялись «космонавты», которым предлагалось взять керны в VR-эксперименте и по ним получить текстовые данные с записью активности звезды и температуры на планете.

Для задания условий задачи организаторам школы требовалось сгенерировать спектры пропускания атмосфер экзопланет. Это вовсе не тривиальная задача: дело в том, что мы не знаем ни одной атмосферы экзопланеты достоверно. Все, что у нас есть – атмосферы планет Солнечной системы и небольшое количество наблюдений атмосфер «горячих юпитеров» – газовых гигантов, находящихся на орбитах, близких к звезде. Существует также несколько наблюдений спектров излучения других экзопланет – но это очень неполные данные, по которым сложно однозначно определить состав атмосферы, особенно малые составляющие. Также у нас есть буквально пара примеров орбитальных параметров пла-

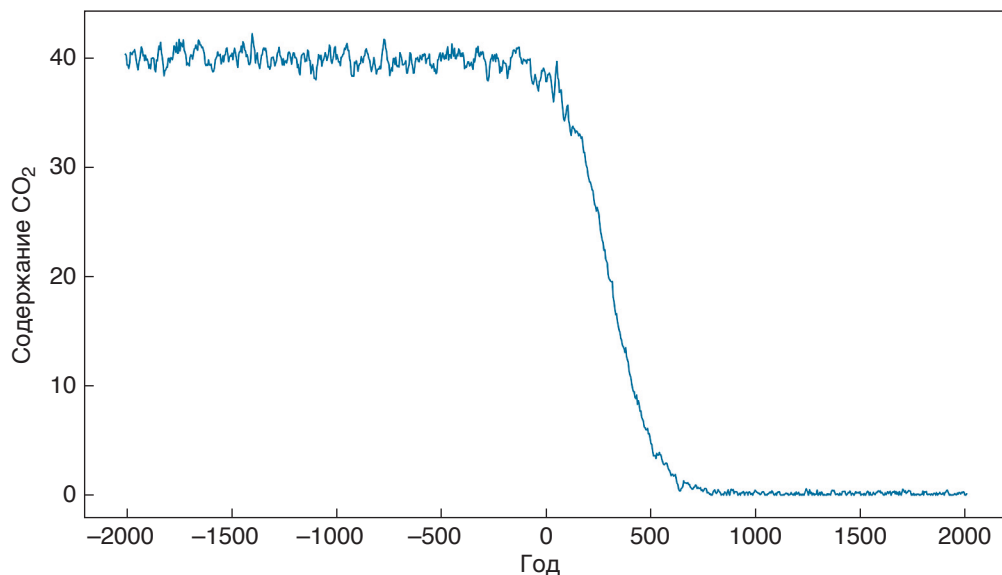


нетных систем – например, система TRAPPIST-1. Более того, мало просто придумать атмосферу экзопланеты – необходимо, чтобы она была фотохимически стабильна. Самый близкий

для нас пример – атмосфера Марса, где очень малое количество (десятые доли процента) водяного пара стабилизирует CO₂ атмосферу, которая иначе распалась бы на CO и O₂. К сожалению,



Спектр пропускания атмосферы Фениси (ледяной планеты). Синим отображен итоговый спектр, который получали участники школы, другими цветами – спектр пропускания отдельных ключевых компонентов атмосферы. Спектр N фактически не имеет заметных полос поглощения в этом диапазоне, несмотря на большой процент содержания в атмосфере планеты. Рисунок автора



Содержание CO_2 в зависимости от года согласно ледяным кернам. 0 год – прилет колонистов, 2000 год – прилет участников школы. Рисунок автора

расчеты стабильности требуют сложных и новейших фотохимических моделей и являются предметом отдельной большой научной статьи. После обзора литературы мы приняли решение использовать несколько категорий планет: известные по Солнечной системе с легкими модификациями, палео-версии известных нам планет и известные нам виды экзопланет. Такой подход позволял нам, не прикладывая огромных усилий, выдать правдоподобные атмосферы: мы знаем много о палеоатмосфере Земли и имеем некое представление о «мокром Марсе». В итоге исследуемая система состояла из следующих планет:

- супер-венера,
- теплый нептун,
- палео-марс,
- палео-земля,
- замерзшая планета,
- супер-титан,
- газовый гигант 1,
- газовый гигант 2.

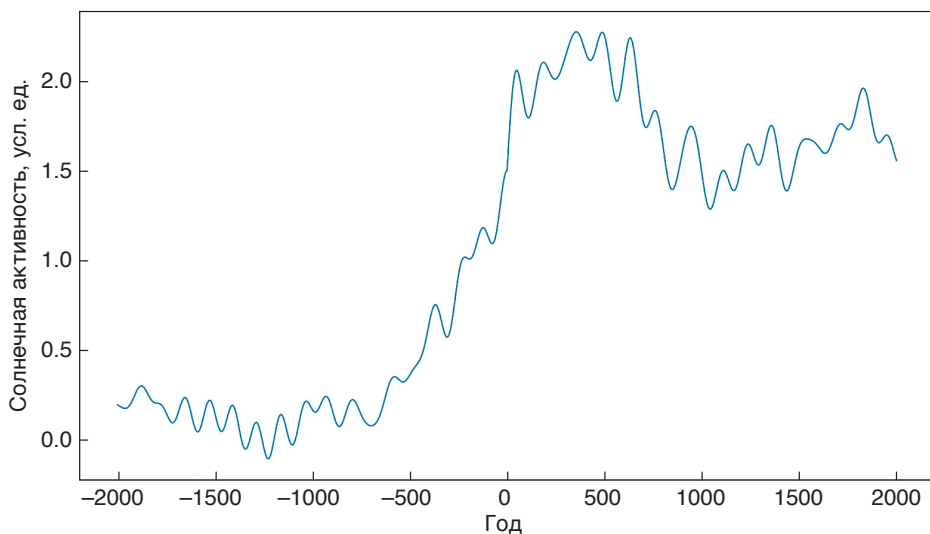
В целом атмосферы и типы планет были подобраны таким образом, чтобы отражать примерный элементный состав протопланетного диска и не уходить слишком далеко от наших представлений о Солнечной системе. Единственным отклонением является теплый нептун, являющийся продуктом второго типа миграции планет – процесса, который подразумевает, что планеты могут менять свое расположение в системе относительно изначальных позиций, где они сформировались. Из этих планет три представляют особый интерес: мокрый марс, палео-земля и замерзшая планета. Мокрый марс – это то, как мы представляем Марс примерно 3.5 миллиарда лет назад, в Гесперейском периоде. Его атмосфера, видимо, была более плотной, на поверхности планеты – а значит и в атмосфере – было существен-

ное количество воды¹. Другая планета, о палеоатмосфере которой мы имеем хорошее представление² – Земля. Более того, существуют весьма точные данные о газовом составе атмосферы Земли. Это значит, что он существенно отличался от текущего, но при этом был фотохимически стабильным на протяжении долгого времени.

Замерзшая же планета требует особого рассмотрения: это та самая планета, которую когда-то пытались терраформировать колонисты. Судя по сохранившимся запискам колонистов, когда они прилетели к этой системе, у планеты была относительно плотная атмосфера, состоящая из CO₂, и много озер и океанов. Проблема атмосферы из углекислого газа решалась колонистами с помощью автоматизированной системы выращивания в водоемах зеленых водорослей (*Chlorella vulgaris* или просто хлорелла), которые потребляют CO₂ и вырабатывают кислород. После катастрофической солнечной вспышки эта система (как и многие другие) вышла из строя, и зеленые водоросли, будучи единственной формой жизни на планете, стали неконтролируемо размножаться. Через некоторое время их стало настолько много, что они начали быстро сокращать количество CO₂ в атмосфере. Проблема в том, что планета была и так на грани обитаемой зоны, и CO₂ в атмосфере был «последней каплей», поддерживающей парниковый эффект. В его отсутствие температура на планете стала стремительно падать.

¹ Scherf M., Lammer H. Did Mars Possess a Dense Atmosphere During the First ~400 Million Years? *Space Sci Rev* 217, 2 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00779-3>

² Kasting J.F. & Howard M.T. (2006). Atmospheric composition and climate on the early Earth. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 361(1474), 1733–1742. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1902>



Солнечная активность в условных единицах согласно кернам. 0 год – прилет колонистов, 2000 год – прилет участников школы. Рисунок автора

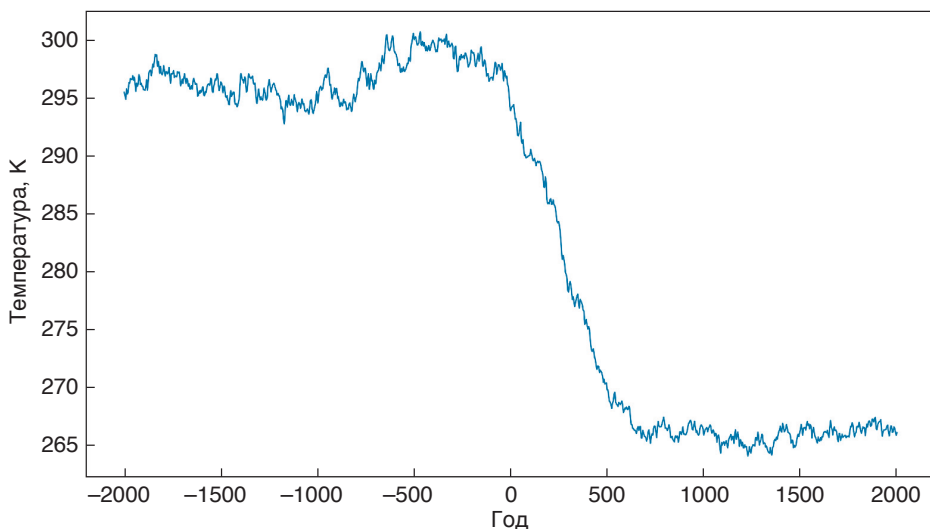


График температуры согласно кернам. 0 год – прилет колонистов, 2000 год – прилет участников школы. Рисунок автора

Конечно, это все описывает довольно сложные климатические процессы. Мы хотели бы убедиться, что такое физически возможно, и посчитать хотя бы характерные времена происходящих процессов. Надо понимать, что расчеты популяции водорослей далеки

от нашей специализации, поэтому мы намеренно приняли очень упрощенную модель, несомненно, упускающую некоторые важные детали. Однако мы старались придерживаться академического подхода и считали все в рамках разумных упрощений.

Само размножение хлореллы мы считали по итеративному процессу, у которого есть несколько режимов роста: быстрый линейный до концентрации 0.5 г/л, гораздо более медленный линейный до 9 г/л и экспоненциальный после 10 г/л³. В наших расчетах оказалось, что достаточно даже самого первого этапа роста хлореллы – при концентрациях до 0.5 г/л, чтобы оказать существенное влияние на климат. До этой концентрации она может дорости довольно быстро – вероятно, самыми большими препятствиями для роста могут быть температурный режим и скорость конвекции в океанах. Хлорелла довольно чувствительно к температуре и мы не учитывали это в расчетах, так как это порождает непростые обратные связи, а медленная конвекция может ограничивать распространение хлореллы по всему объему океанов. При распространении хлореллы в океанах в концентрации 0.5 г/л атмосфера может лишиться почти всего CO₂ менее чем за 10 лет. Конечно, здесь мы представляем себе, что никаких фотохимических процессов не происходит, и что атмосфера стабильна во времени. Это очень грубое предположение, но посчитать всю фотохимию хотя бы немного более правдоподобно означает произвести гигантскую работу. Справедливости ради, мы предпринимали попытки использовать современные фотохимические модели в паре с климатическими (Atmos⁴, например). К сожалению, адаптировать и настраивать такие модели очень сложно, а дополнительные стоки CO₂ требуют изменения исходного кода. Мы решили, что для минимальной правдоподобной симуляции получившейся атмосферы будет достаточно принять характерное время потери CO₂ всей атмосферой ~500 лет, а потом запустить более простые климатические модели (LAPS от LMD⁵) для

³ Цоглин Л.Н., Пронина Н.А. Биотехнология микроводорослей. М.: Научный мир, 2012.

⁴ github.com/VirtualPlanetaryLaboratory/atmos

⁵ <http://laps.lmd.jussieu.fr/>

определения установившейся стабильной температуры. Упрощенный подход предпочтителен еще и потому, что, включая сложную фотохимию, мы могли получить нетривиальные зависимости, разгадать которые участникам школы было бы очень непросто.

В итоге мы получили простую зависимость падения температуры с характерным временем в ~500 лет, которую проще и правдоподобнее было изобразить экспоненциальным спадом, промодулированным периодическими циклами разной амплитуды – влияние звездных циклов нельзя не учитывать. Кстати, их амплитуда тоже была выбрана не случайно – мы взяли слегка завышенные относительно земных значения.

В итоге на симуляции межзвездной экспедиции участникам секции астрофизики были представлены:

- спектры пропускания атмосфер: их измеряли участники секции космонавтики;

- орбитальные параметры экзопланетной системы.

После того как участники определяли нужную планету, догадавшись, что с замерзшей планетой явно что-то не так, они спускались и брали пробы почвы и льда за последние несколько тысяч лет. По итогу они получали:

- график звездной активности;
- график температуры.

Было много подсказок из других секций – в частности, отрывки из дневников колонистов, где рассказывалось части истории, но не было цельной картины.

ИТОГИ

Мы переживали, что задали участникам школы слишком сложную задачу – понять, что произошло, но в конце концов у них все получилось! Участники из секции астрофизики правильно идентифицировали типы планет по их атмосферам и разгадали всю последовательность событий, случившихся с замерзшей планетой.

ПРИМЕНЕНИЕ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ СИМУЛЯТОРА ДОБЫЧИ, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ЛЕДЯНОГО КЕРНА

БЕЛОУСОВА Маргарита Дмитриевна

НОШ «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект»

ГАСАНОВ Арсений Аланович

ПРОСКУРЯКОВА Екатерина Михайловна

Межфакультетский центр виртуальной реальности МГУ имени М. В. Ломоносова

DOI: 10.7868/S004439482205005X

Одним из возможных подходов к изучению геологических и атмосферных изменений является анализ ледяных кернов – цилиндрических образцов твердого вещества, состоящих преимущественно из льда. Подобные сложные процедуры требуется заранее подготовить и отработать в безопасной среде. Например, подобные тренировки можно проводить с использованием технологий виртуальной реальности. В данной статье рассматривается опыт создания виртуального симулятора добычи ледяного керна на твердом небесном теле. Рассмотрен полный цикл разработки VR-приложения с учетом специфики использования контента в образовательных задачах. Симулятор успешно применялся в программе «Летней Космической Школы – 2021».

ВВЕДЕНИЕ

Значение инновационных технологий в современном образовании невозможно переоценить. Новые технологии и подходы стали своеобразным трендом в системе образования, поскольку позволяют значительно увеличить заинтересованность учащихся в получении знаний, а соответственно и познавательную способность.

Полезность применения технологий виртуальной реальности (VR) для повышения познавательного потенциала рассматривалась не раз в публикациях как отечественных, так и зарубежных ученых [1]–[5]. Расширение познавательных возможностей достигается за счет

иммерсионных эффектов (эффектов полного погружения) виртуальной реальности, что позволяет, в свою очередь, добиться ускорения запоминания информации учащимися в более неформальной обстановке.

Современные VR-технологии позволяют визуализировать целые процессы от первого лица, что уже применялось, например, в сфере исторических реконструкций.

Задача создания интерактивного VR-симулятора, речь о котором пойдет в данной статье, возникла в рамках образовательной программы «Летняя Космическая Школа – 2021» (ЛКШ-2021). ЛКШ является научно-просветительской программой и мероприятием, проводившимся ежегодно с 2015 г.,

посвященным актуальным проблемам космонавтики, астрофизики, космической инженерии, космической медицины и научной журналистики.

Программа ЛКШ-2021 [6] включала в себя две части – лекционно-практическую, где участники слушали лекции, выполняли задания и участвовали в мастер-классах, и изоляционный эксперимент – симуляцию космического полета, где применялись полученные в первой части мероприятия знания и умения. Одним из элементов практической части являлись добыча и анализ ледяного керна, проходившие по сюжетному сценарию ЛКШ на другой планете, приближенной по условиям к Земле.

Согласно БРЭ [7], керн определяется как цилиндрический образец горной породы, получаемый путем кольцевого разрушения забоя скважины при вращательном бурении. Анализ керна используется для получения данных о свойствах горных пород и полезных ископаемых. Данный вид деятельности был реализован при помощи симуляции в виртуальной реальности, созданной сотрудниками VR-центра МГУ.

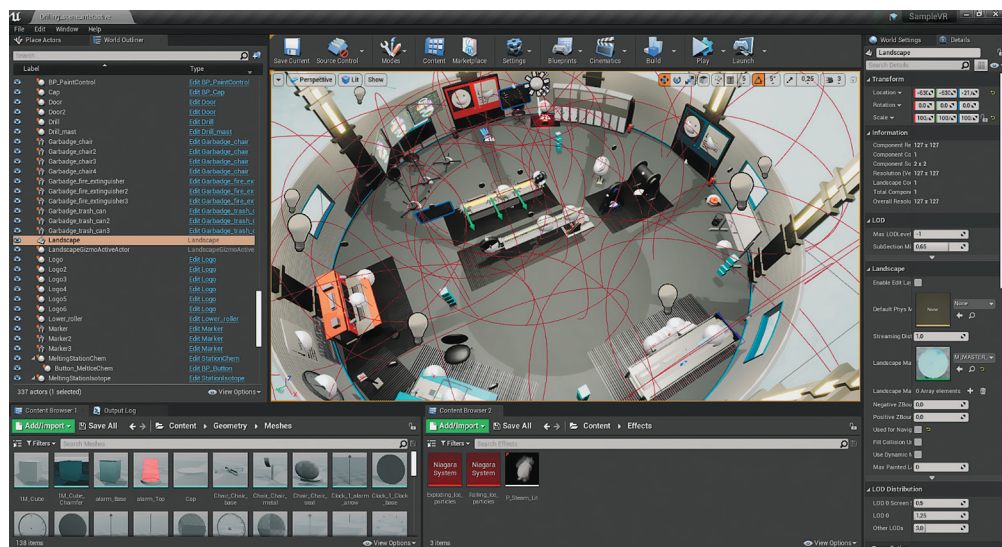
КОНЦЕПЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ SPACEKERN

Исходной постановкой задачи было создание интерактивного VR-приложения под систему виртуальной реальности HTC Vive, отражающего основные черты процесса добычи и анализа ледяного керна, которое при успешном прохождении выдавало бы участникам данные для продолжения сюжета и выдвижения гипотезы об истории и пригодности для жизни виртуальной планеты. Предполагалось выделять на прохождение симуляции для одного участника около десяти минут, а сложность сделать таковой, чтобы участники, при

необходимости получая помощь от операторов, смогли бы все справиться с задачей.

Рассматривались три основных вида деятельности (активностей): добыча, подготовка и анализ керна, которые впоследствии были совмещены в одной виртуальной лаборатории, чтобы облегчить пользователю перемещение и продемонстрировать неразрывность и взаимосвязанность данных операций. Кроме того, были добавлены дополнительные возможности, призванные акцентировать внимание пользователя на некоторых аспектах процессов добычи, обработки и анализа керна, а также добавить дополнительные действия, чтобы разнообразить прохождение симуляции и сделать его менее линейным. Для этого была добавлена фоновая задача поддержания отрицательной температуры в виртуальной лаборатории (чтобы керн не растаял до начала анализа). Кроме того, была добавлена функция «перемотки» времени, используемая для того, чтобы пользователь, с одной стороны, сумел за выделенные десять минут произвести операции, которые в реальной жизни занимают многие часы, а с другой стороны, обратил внимание на тот факт, что выполняемая им задача в реальности требует много времени. Наконец, предоставлялась возможность рисования маркерами на доске. Последнее не являлось необходимым для прохождения, но было добавлено для создания ощущения большей интерактивности окружающей виртуальной среды, наряду с другими интерактивными объектами, такими как стулья и огнетушители.

Все активности, как упоминалось ранее, были решено совместить в одном помещении виртуальной лаборатории. Для того, чтобы пользователь за короткое время смог сориентироваться в виртуальной лаборатории и мог легко добраться до каждого из необходимых



Расстановка объектов в виртуальной лаборатории в движке Unreal Engine 4

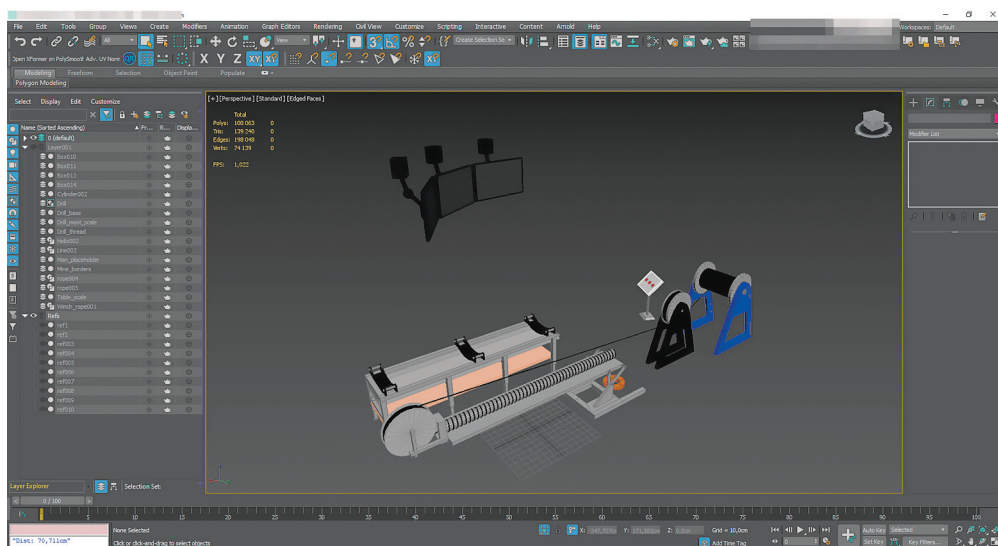
ему инструментов, она была создана в помещении круглой формы, где громоздкое оборудование для добычи керна находилось в центре комнаты, а станции подготовки и анализа керна расположены по кругу вдоль стен. В качестве крыши виртуальная лаборатория получила застекленный купол, через который пользователь мог наблюдать динамическую смену времени дня, которая происходила при применении упомянутой ранее функции «перемотки» времени. Применение VR-симуляции в рамках ЛКШ предполагало также сопровождение пользователя подготовленным оператором, однако для минимизации вмешательства оператора и помощи пользователю в приложении были добавлены возникающие текстовые подсказки и кнопка перезапуска симуляции сначала.

В визуальной составляющей VR-приложения была выбрана стилизованная графика, поскольку применение реалистичной графики потребовало бы детально точное воспроизведение оборудования для добычи, подготовки и анализа керна. Стилизация позво-

лила в данном случае придерживаться определенного уровня абстракции в изображении оборудования, сохранив лишь необходимые его черты для понимания процессов, а также снизить системные требования приложения и сделать симуляцию более простой для восприятия юных пользователей, которые, возможно, впервые сталкиваются с технологиями виртуальной реальности. Системные требования связаны с тем, что создание и воспроизведение реалистичной графики в виртуальной реальности часто требует высокопроизводительного профессионального или игрового оборудования.

ПРОЦЕСС ПРОХОЖДЕНИЯ СИМУЛЯЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ

Первым этапом в приложении является процедура добычи ледяного образца. Для этого пользователь должен подойти в виртуальной реальности к модели буровой установки, установить на нее буровой снаряд и, нажимая кнопки на пульте, сначала перевести установку из



Оборудование для добычи керна на этапе моделирования трехмерной геометрии в программе 3ds-Max: буровая мачта, на которой расположен буровой снаряд, лебедка, стол для извлечения образцов керна, экраны для вывода инфографики

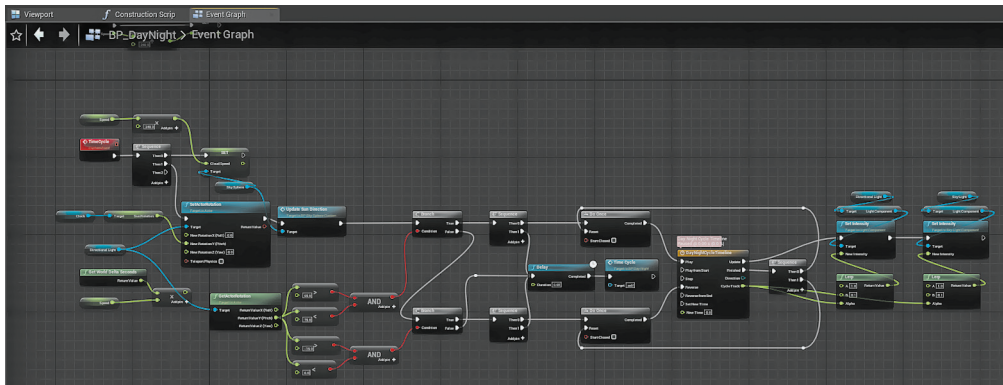
горизонтального в вертикальное положение, затем начать бурение и, наконец, вытащить снаряд с добытым образцом. Данные действия производятся с пульта управления, где пользователь нажимает кнопки в правильной последовательности, которая следует из подсказок и картинок на кнопках. Операция бурения сопровождается соответствующим звуком и спецэффектами в виде облака инея, появляющегося при доставании бура, и ледяных осколков, падающих с него. Наконец мачта буровой установки вновь возвращается в горизонтальное положение.

На следующем этапе пользователь достает из сверла буровой установки полученный образец керна и переносит его к станции подготовки. В реальной процедуре извлеченный керн нарезается на образцы цилиндрической формы длиной в один метр и помещается для хранения в специальные сосуды. Затем сосуды транспортируются в лабораторию для дальнейшей подготовки и анализа или долгосрочного

хранения, однако в симуляции данная часть была опущена с целью упрощения и ускорения прохождения.

Далее на станции обработки происходит нарезка керна на более мелкие образцы, предназначенные для различных вариантов и методов его анализа. Чтобы произвести нарезку, пользователю необходимо сыграть в мини-игру, где необходимо при помощи джойстика провести прямую ровную линию разреза, которая отображается на экране. Если разрез становится неровным и выходит за ограничительные линии, показанные на экране, то он считается некорректным, и пользователю необходимо нажать кнопку «сброс», а затем повторить процедуру. Произведя три разреза, пользователь получает достаточного размера и количества образцы льда, чтобы приступить к процедуре обработки.

В приложении представлены аналогичные друг другу станции химического и изотопного анализа. Пользователь опускает в специальное отверстие



Пример кода для смены цикла дня и ночи

образец нарезанного керна, где он плавится и анализируется. В процессе на экране станции выводится инфографика. Когда значения перестанут меняться – анализ закончен и, следовательно, полученные данные необходимо скопировать себе для продолжения сюжета ЛКШ.

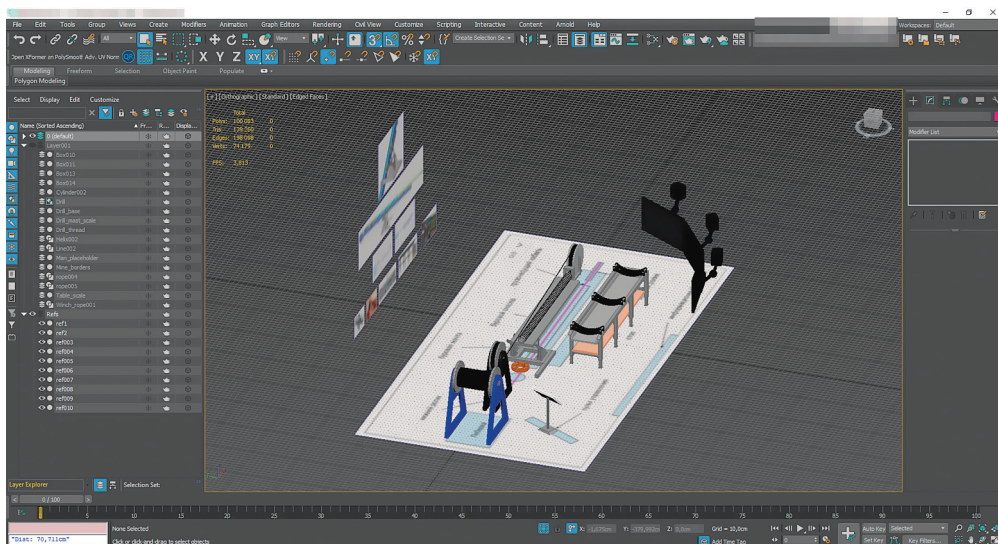
Необходимо было обратить внимание на то, что многие из представленных процессов занимают продолжительные промежутки времени, а потому были введены часы с функцией «перемотки» времени. Дождаться окончания анализа керна самостоятельно у пользователя не получится, т. к. это требует нескольких часов, однако, повернув стрелку на часах, пользователь сначала увидит, как ускоренно проходит время, по динамическим изменениям неба, которое можно наблюдать через стеклянный потолок лаборатории. Затем, когда будет пропущено достаточное количество виртуального времени, инфографика на экране станции перестанет меняться, и следовательно анализ закончен.

Кроме того, в лабораториях по анализу ледяного керна поддерживаются отрицательные температуры для сохранности образцов. Для визуализации этого аспекта были создана система охлаждения и добавлен термометр.

Изначально термометр показывает отрицательную температуру, которая со временем начинает расти. Когда температура приближается к положительной и лед должен начать плавиться, система охлаждения начинает издавать характерный звук и подавать световые сигналы. По световому сигналу пользователь должен определить местоположение управляющих элементов системы охлаждения, осознать ситуацию и включить охлаждение, чтобы избежать преждевременного плавления образцов.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ SPACEKERN

Для начала работы было необходимо определиться с выбором программного обеспечения. Базой для создания приложения послужил игровой движок Unreal Engine 4 [8], широко используемый для создания приложений в виртуальной реальности. Значительными плюсами Unreal Engine для данного проекта были наличие шаблона для VR-разработки VR-Template, который предполагает уже готовую систему перемещения в виртуальной реальности и возможность захвата и отпускания объектов, а также системы визуального



Моделирование по референсам в 3ds-Max

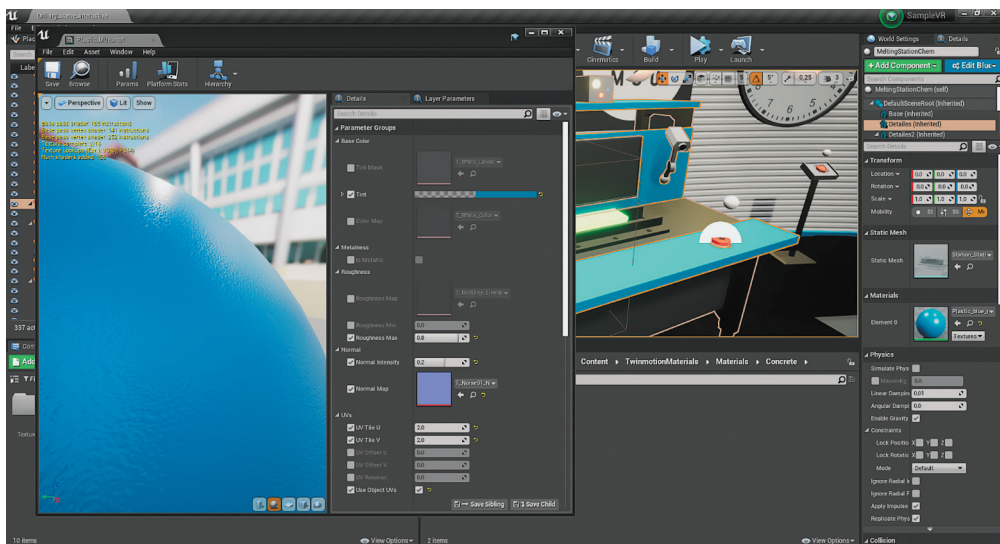
программирования Blueprints, позволяющей легко и быстро собирать необходимую логику взаимодействий из частей готового кода, компилируемого далее в язык C++. Объекты природы, используемые для изображения окружения за стенами виртуальной лаборатории, были приобретены в магазине Epic Store – официальном магазине Epic Games, разработчика движка Unreal Engine. Это позволило значительно сэкономить время и уделить наибольшее внимание ключевым механикам и заботе об удобстве пользователя в симуляции.

Компетенции разработчиков были разделены на программиста (создание взаимодействий, интерактивных элементов, системы подсказок для пользователя и т. д.) и дизайнера (создание трехмерных моделей оборудования, текстур и материалов, расстановка объектов в комнате и организация пространства, создание визуальных эффектов) соответственно. Для эффективной удаленной работы применялась сервис-система контроля версий GitHub. Участники проекта могли удаленно по-

лучать обновление приложения друг от друга, работать параллельно в разных «ветках» проекта, при необходимости возвращаться к более ранним версиям, все новые наработки сопровождались комментариями по проделанной работе и возможных проблемах.

Трехмерные модели оборудования создавались в программном обеспечении 3ds-Max, широко используемом инженерами, специалистами в архитектурной визуализации и создании графики для компьютерных игр (гейм-дизайне). Специалистами ЛКШ были представлены изображения и схемы образцов оборудования – референсы, по которым дизайнер создавал стилизованные аналоги объектов заданных размеров. Оборудование было разделено на элементы с целью последующей их анимации в движке Unreal Engine 4.

Материалы, применяемые к моделям, создавались также в Unreal Engine при помощи технологии динамически настраиваемых материалов. Материалы имели наследуемую из главного, или «родительского», материала



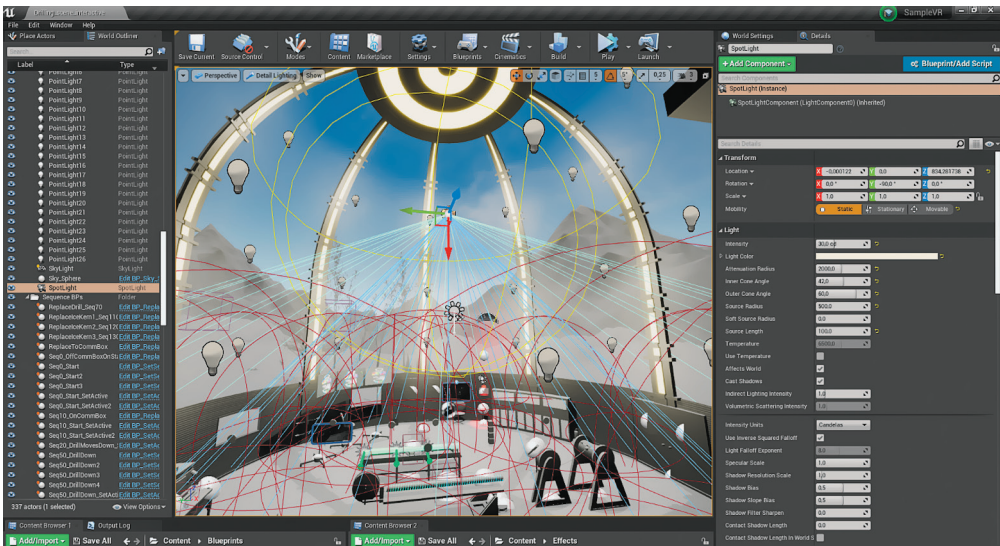
Работа с материалами в Unreal Engine 4



Доска с примером изображения на ней

базовую логику его работы. В конкретных экземплярах менялись карты текстур, оттенки цвета и т. д. Необходимо в уникальных текстурах для материалов данного проекта не имелось, поскольку в оборудовании преимущественно применялись различные вариации металла и пластика, реже резины и стекла, текстуры для которых были также взяты из официального магазина – Epic Store. Только для реализации

функционала рисования на доске использовались динамически изменяемые текстуры. Когда оператор держит в руке маркер, из кончика маркера выпускаются лучи для определения пересечения с физическими объектами. Если первый объект, с которым пересекается луч, это доска и расстояние между маркером и доской меньше некоторого заранее заданного, то в точке касания рисуется точка.



Работа с источниками света в Unreal Engine 4

Совместно решалась задача настройки освещения. Необходимо было найти тонкий баланс между статическим и динамическим светом, чтобы, с одной стороны, помещение виртуальной лаборатории всегда оставалось достаточно освещенным, чтобы пользователь мог провести все необходимые операции. С другой стороны, динамическое освещение должно было правдоподобно представить смену дня и ночи при использовании «перематки» времени. В результате было создано множество источников света. Часть из них – статическая, с неизменяемыми параметрами (интенсивность света, направление, цвет, и т. д.) в процессе работы приложения. Она используется для освещения всех необходимых элементов оборудования минимальным количеством света. Другая часть – динамическая (изменяемая), необходимая для создания эффекта смены дня и ночи, в тех пределах, чтобы избежать как недостатка, так и избытка света в любой момент виртуального времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы было создано удобное VR-приложение, позволяющее познакомиться пользователей со сложными процедурами добычи, подготовки и анализа ледяного керна в игровом формате. Участники ЛКШ без проблем справились с поставленными задачами практически без помощи операторов и остались довольны проведенной активностью. Таким образом, данный опыт знакомства учащихся со сложными исследовательскими процедурами посредством создания VR-симуляторов можно считать успешным.

Созданное VR-приложение не ограничивается его использованием в программе ЛКШ, но также может использоваться для выставочной и образовательной деятельности VR-центра МГУ в первоначальном или измененном виде. Планируется продолжение работы по созданию образовательных VR-симуляторов в различных научных

сферах. Приоритетными направлениями можно считать создание симуляторов для нескольких пользователей одновременно и расширение круга платформ, поддерживающих данное образовательное программное обеспечение.

Авторам статьи хотелось бы также поблагодарить коллектив ЛКШ за активное содействие в разработке VR-симулятора и специалистов по работе с ледяным керном за предоставленную документацию и консультации в процессе разработки программного обеспечения.

Литература

1. Лемак С.С., Чертополохов В.А., Кручинина А.П., Белоусова М.Д., Бородкин Л.И., Мироненко М.С. Задачи оптимизации расположения элементов интерфейса в виртуальной реальности (в контексте создания виртуальной реконструкции исторического рельефа Белого города) // Историческая информатика. 2020. N 1. С. 81–93.
2. Casini A.E. M., Maggiore P., Viola N., Basso V., Ferrino M., Hoffman J.A., Cowley A. Analysis of a Moon outpost for Mars enabling technologies through a Virtual Reality environment // Acta Astronautica, 2018, V. 143, pp. 353–361.
3. Hain V., Hajtmanek R. Industrial Heritage Education and User Tracking in Virtual Reality, Virtual Reality and Its Application in Education [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/books/virtualreality-and-its-application-in-education/industrial-heritage-education-anduser-tracking-in-virtual-reality> (Дата обращения 26.11.2021).
4. Loftin R.B. Aerospace applications of virtual environment technology // ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1996, V. 30, Iss. 4, pp. 33–35.
5. Гасанов А.А. Создание интерактивных сред и использование технологий виртуальной реальности в реконструкции производственных процессов (на примере Трехгорного пивоваренного завода в Москве на рубеже XIX–XX вв.) // Историческая информатика. 2021. № 3. С. 69–85 [Электронный ресурс]. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=36567 (Дата обращения 26.11.2021).
6. Летняя Космическая Школа [Электронный ресурс]. URL: <https://2021.space-school.org/> (Дата обращения 26.11.2021).
7. КЕРН // Большая российская энциклопедия. Т. 13. М., 2009. С. 603.
8. Unreal Engine [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unrealengine.com/> (Дата обращения 26.11.2021).



**А вы отправили
обязательный
экземпляр?**

Издательство «Наука» предлагает организациям и независимым издателям услугу по отправке Обязательного Электронного Экземпляра в Российскую государственную библиотеку и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно

Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukaran.com

Реклама

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



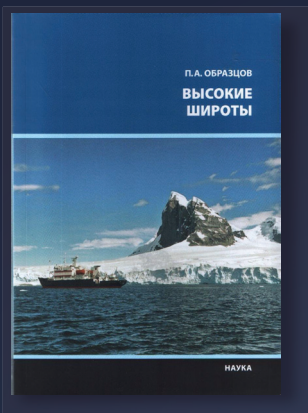
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. - 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. – 471 с.

Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть – это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.

naukabooks.ru

Реклама

ЧТО ТАКОЕ МЕЖДУНАРОДНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРАВО И ДЛЯ ЧЕГО ОНО НУЖНО

АБАШИДЗЕ Аслан Хусейнович,

доктор юридических наук

ЧЕРНЫХ Ирина Алексеевна,

кандидат юридических наук

Российский университет дружбы народов

DOI: 10.7868/50044394822050061

Желание подняться высоко в небо, за его пределы, заглянуть в космическое пространство и оттуда посмотреть, как выглядит планета Земля – является неотъемлемой частью познания разумного существа (*homo sapiens*) – человека. В XX веке после запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли и выхода впервые в космос нашего соотечественника – Юрия Алексеевича Гагарина, исследование и использование космического пространства, Луны и других небесных тел стали реальностью. Так началась космическая эра.

За сравнительно короткое время (по меркам развития человечества, исчисляемых тысячелетиями) космическая деятельность включает в себя комплекс практических направлений, таких как дистанционное зондирование Земли, метеорология, осуществление спутниковой и высокоскоростной интернет-связи, исследование новых небесных тел (астероиды, кометы, планеты, звезды), проведение исследований и экспериментов на борту Международной космической станции, мониторинг окружающей среды из космоса, предотвращение и предупреждение

стихийных бедствий из космоса и т. д.¹ Некоторые государства уже объявили о своих национальных планах и проектах конкурентного освоения и эксплуатации природных ресурсов Луны и астероидов в коммерческих целях. С этой целью запускаются межпланетные автоматические станции для изучения характеристик небесных тел и наличия на них воды и других ресурсов².

Следует особо отметить тот факт, что на этом этапе, когда космическое пространство используется не в широком масштабе и в основном ограничивается ближним космосом (т. е. частью околоземного космического пространства на высоте от 150 до 2000 км над уровнем моря), уже ясно, что без международного сотрудничества государств в области освоения космоса координация

¹ Абашидзе А.Х., Черных И.А. Роль международного космического права в достижении целей устойчивого развития // Международное публичное и частное право. М.: 2020, № 1. С. 12–19.

² Шевченко В.В. Вода сухой Луны // Земля и Вселенная, 2010, № 4; Леонов В.А. Ресурсы ближнего космоса, или зачем нам Луна? // Земля и Вселенная, 2019, № 4.

ВЕЛИКОЕ СОБЫТИЕ В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА!

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Коммунистическая партия Советского Союза

ПРАВДА

Орган Центрального Комитета Коммунистической партии Советского Союза

ЭКСТРЕННЫЙ ВЫПУСК

№ 11920(4026)
 Год издания 49-й
 СРЕДА
 12
 АПРЕЛЬ
 1961 года
 Цена 2 коп.

**К КОМУНИСТИЧЕСКОЙ ПАРТИИ И НАРОДАМ СОВЕТСКОГО СОЮЗА!
 К НАРОДАМ И ПРАВИТЕЛЬСТВАМ ВСЕХ СТРАН!
 КО ВСЕМУ ПРОГРЕССИВНОМУ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ!**

Обращение Центрального Комитета КПСС, Президиума Верховного Совета СССР и Правительства Советского Союза

Свершилось великое событие. Впервые в истории человек осуществил полет в космос.

12 апреля 1961 года в 9 часов 7 минут по московскому времени космический корабль-спутник «Восток» с человеком на борту поднялся в космос и, совершив полет вокруг земного шара, благополучно вернулся на связующую землю нашей Родины — Страны Советов.

Первый человек, провалявшийся в космосе — советский человек, гражданин Союза Советских Социалистических Республик.

Это — безграничная победа человека над силами природы, величайшее завоевание науки и техники, торжество человеческого разума. Полонное начало истории человека в космическом пространстве.

В этом подвиге, который войдет в века, участвовал герой советского народа, носитель славы социализма.

С чувством большой радости и заветной гордости Центральный Комитет Коммунистической партии, Президиум Верховного Совета СССР и Советские правительство отмечают, что эту новую ступень в прогрессивном развитии человечества открыла наша страна — страна победоносного социализма.

В прошлом столетии народы России не могли и мечтали о освобождении таинки полета в борьбе за прогресс и обогащение и более развитых в технико-градо и обогащении и страны.

Волею рабочего класса, волею народа, волею великих партий коммунистов во главе с Лениным, наша страна свершилась в могущественную социалистическую

Первый в мире советский космический корабль «Восток» с человеком на борту, совершив полет вокруг земного шара, благополучно вернулся на свявленную землю нашей Родины.

Первый человек, проникший в космос, — гражданин Союза Советских Социалистических Республик Юрий Алексеевич ГАГАРИН.

Из биографии героя



Юрий Алексеевич Гагарин.

Майору Юрий Алексеевичу Гагарину, носитель славы социализма, млада, ванад, достигла 27 лет.

Он родился 9 марта 1934 года в Гжатском районе Смоленской области (Росийская Федерация) в семье автомеханика.

В 1941 году поступил учиться в среднюю школу, но вследствие гострической болезни окончил ее раньше.

После окончания средней школы викариус Гагарин переехал в город Гжатск. Там Юрий продолжил учиться в средней школе. В 1951 году он окончил с отличием региональное училище в городе Дзержинск близ Москвы, по специальности фотомонтаж-рисовальщик и одновременно школу рабочих операторов.

Затем Юрий Гагарин обучился в аспирантуре техникума в городе Сыктывкар на Волге. В 1957 году он окончил техникум с отличием.

С 1958 года он работает техником в авиации Гагарин взавод. Будущим летчиком техникума. Он обучался в Саратовском авиационном институте по специальности «Летчик», в 1959 году окончил в авиационном училище в городе Оренбурге. С 1957 года, когда Гагарин окончил это училище по специальности, он работает летчиком советской авиации.

В прошлом году Юрий Гагарин выступил в роли Коммунистической партии Советского Союза.

Он имеет: Его супруга Валентина Гагарина, 26 лет, выехала в Оренбург по дипломатическому поручению. В семье два года. Второй дитя Юрий — одна девочка.

Юриева мать Гагарина работает специалистом. Мать отца Аким, 1932 года рождения — домохозяйка.

Экстренный выпуск газеты «Правда» от 12 апреля 1961 г. о «великом событии в истории человечества» – полете Ю.А. Гагарина в космос

космической деятельности и взаимной помощи в случае необходимости может быть невозможна. Космический мусор, отсутствие основ безопасности движения в космосе и т. д. могут создавать трудности для осуществления космической деятельности, а также реальные угрозы жизни на Земле.

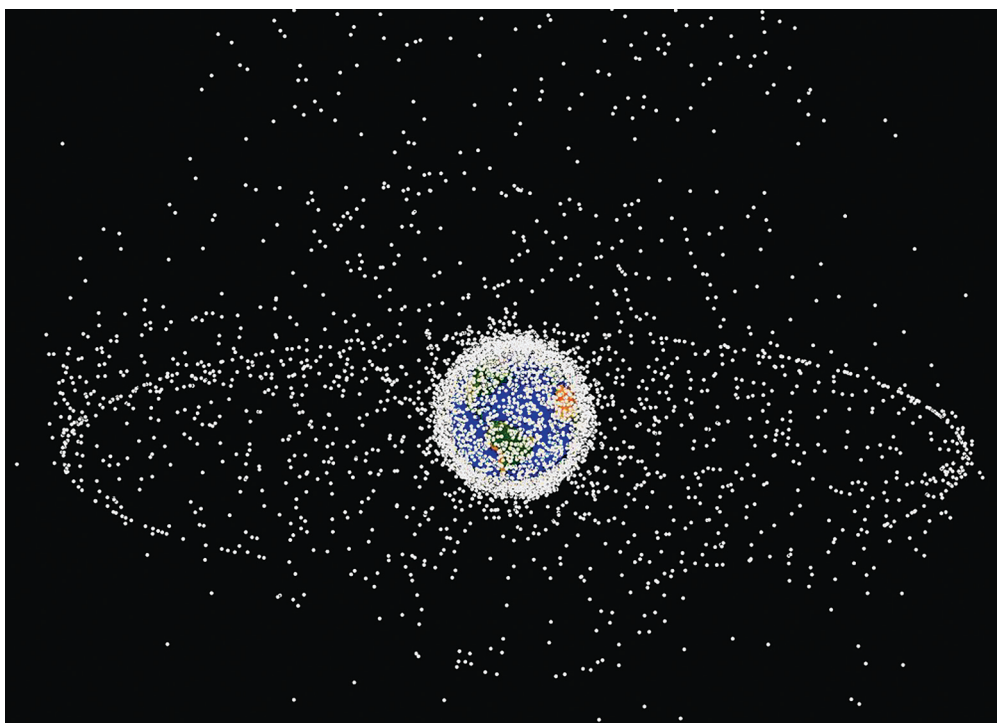
МЕЖДУНАРОДНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРАВО – БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНОЕ СРЕДСТВО ОСВОЕНИЯ КОСМОСА ВО БЛАГО ВСЕХ НАРОДОВ И ГОСУДАРСТВ

Международное космическое право – продукт времени и взаимодействия государств. Начало его становления связано с запуском 4 октября 1957 г. пер-

вого в мире искусственного спутника Земли под названием «Спутник-1» (ПС-1). Уже на следующий год, 13 декабря 1958 г., Генеральная Ассамблея ООН, признавая общий интерес человечества в космическом пространстве, приняла первую резолюцию по вопросу об использовании космического пространства в мирных целях.

С 1959 г. начал функционировать на постоянной основе международный орган из состава представителей государств в лице Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях³. Этот комитет

³ *Благонаравов А.А., Верещетин В.С.* Советский Союз и международное сотрудничество в мирном освоении космоса // *Земля и Вселенная*, 1967, № 1; *Верещетин В.С.* Космос и право // *Земля и Вселенная*, 1968, № 6.



Компьютерная модель распределения космических объектов на орбитах в околоземном пространстве, 95% из которых являются мусором

разработал проект первого специального международного соглашения – Договора о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела (далее – Договор по космосу 1967 г.), который вступил в силу 10 октября 1967 г.

Преамбула Договора закрепляет, что Договор по космосу будет способствовать осуществлению целей и принципов Устава Организации Объединенных Наций. Основные принципы международного космического права закреплены именно в Договоре по космосу. К ним относят следующие девять принципов:

Принцип 1. Свобода использования и исследования космического про-

странства государствами и небесных тел (ст. I);

Принцип 2. Запрет национального присвоения космического пространства и небесных тел ни путем провозглашения на них суверенитета, ни путем использования или оккупации, ни любыми другими средствами (ст. II);

Принцип 3. Осуществление деятельности по исследованию и использованию космического пространства и небесных тел в соответствии с основными принципами международного права, включая Устав ООН (ст. III);

Принцип 4. Запрет размещения ядерного оружия и любых иных видов оружия массового уничтожения в космосе (частичная демилитаризация космического пространства) и использование Луны и других небесных тел ис-



Подписание Договора по космосу представителями делегаций СССР, США и Великобритании. Сидит справа – президент США Линдон Джонсон. Вашингтон, 27 января 1967 г.

ключительно в мирных целях (полная демилитаризация) (ст. IV);

Принцип 5. Оказание космонавтам любой возможной помощи в случае аварии, бедствия или вынужденной посадки (ст. V);

Принцип 6. Принцип международной ответственности государств (*responsibility*) за национальную деятельность в космическом пространстве (ст. VI) и за ущерб (*liability*), причиненный космическими объектами (ст. VII);

Принцип 7. Сохранение суверенных прав государств на запускаемые ими космические объекты и экипаж такого объекта (ст. VIII);

Принцип 8. Предотвращение потенциально вредных последствий экспериментов в космическом пространстве и на небесных телах (ст. IX);

Принцип 9. Содействие международному сотрудничеству в мирном исследовании и использовании космического пространства и небесных тел (ст. X, XI, XII).

Депозитариями Договора по космосу 1967 г. выступили Россия, Великобритания и США. По состоянию на 1 января 2022 г. Договор ратифицировали 112 государств и 23 государства его подписали.

Зафиксированные в Договоре по космосу 1967 г. положения в дальнейшем были развиты в четырех последующих международных договорах⁴, а именно:

⁴ Международное космическое право: учебник для бакалавриата и магистратур / Под редакцией Г.П. Жукова, А.Х. Абашидзе. 2-е изд., стер. М.: Издательство Юрайт, 2019.

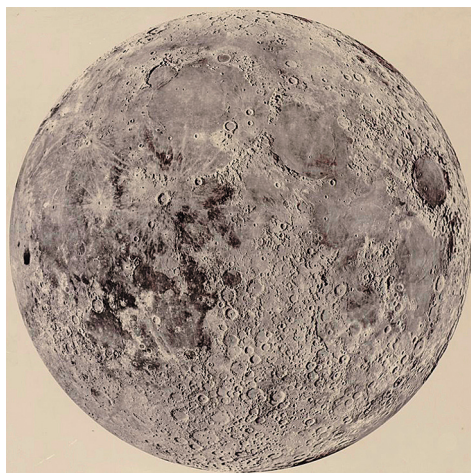
– в Соглашении о спасании космонавтов, возвращении космонавтов и возвращении объектов, запущенных в космическое пространство 1968 г., которое расширяет положение ст. V, VIII Договора по космосу 1967 г. и устанавливает требования по оказанию помощи космонавтам в случае аварии, бедствия, вынужденной или непреднамеренной посадки экипажа космического корабля на территории какого-либо государства или, например, в открытом море, а также требования по возвращению космических объектов;

– в Конвенции о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами 1972 г., конкретизирующей положения ст. VII Договора по космосу 1967 г.;

– в Конвенции о регистрации объектов, запускаемых в космическое пространство 1976 г., расширяющей положение ст. VIII Договора по космосу 1967 г. и устанавливающей требования по порядку регистрации космических объектов в национальном регистре и реестре на международном уровне;

– в Соглашении о деятельности государств на Луне и других небесных телах 1979 г., расширяющем и конкретизирующим положения ст. I, II, IV и IX Договора по космосу 1967 г.

Международный договор по космосу 1967 г. заслуживает особого внимания в связи с приближением начала практической деятельности по добыче и освоению природных ресурсов Луны. Существуют различные подходы к толкованию формулировки ст. XI Соглашения о Луне 1979 г. о том, что «Луна и ее природные ресурсы являются общим наследием человечества» по отношению к формулировке ст. I Договора по космосу 1967 г., в которой говорится, что «что исследование и использование космического пространства, включая Луну и другие небесные



Карта поверхности Луны. По данным геологической съемки США, Donald E. Davis. 1971 г.

тела, осуществляются на благо и в интересах всех стран и являются *достоянием всего человечества*». Есть мнение о том, что эти два понятия взаимосвязаны, и понятие «*общее наследие человечества*» базируется на понятии «*достояния всего человечества*», а в целом они формируют концепцию «общего наследия человечества». Другая позиция заключается в том, что обозначенные понятия не пересекаются, а понятие «*общее наследие человечества*» ограничивает возможность коммерческого освоения природных ресурсов Луны. Несмотря на эту позицию, необходимо отметить, что эксплуатация космических ресурсов как один из видов использования космического пространства, Луны и других небесных тел допускается Договором по космосу 1967 г.

Однако, в связи с отсутствием детализированного международно-правового режима эксплуатации природных ресурсов Луны, остается открытым вопрос относительно того, как такая деятельность будет осуществляться, учитывая принцип запрета националь-



Президент США Дональд Трамп подписывает первоначальное заявление о возобновлении изучения Луны. Вашингтон, декабрь 2017 г.

ного присвоения космического пространства, закрепленный в ст. II Договора по космосу 1967 г., и положение ч. 3 ст. XI Соглашения о Луне 1979 г. о том, что «Поверхность или недра Луны, а также участки ее поверхности или недр или природные ресурсы там, где они находятся, *не могут быть собственностью* какого-либо государства, международной межправительственной или неправительственной организации, национальной организации или неправительственного учреждения или любого физического лица».

В сложившейся ситуации, в отсутствие детализированного регулирования отдельных видов космической деятельности на международном уровне, начинает активно развиваться национальное законодательство. Например, для урегулирования вопроса о коммерческом использовании природных ресурсов Луны и астероидов в ряде государств были приняты специальные нормативно-правовые акты. В 2015 г. в США был принят Закон о конкурентоспособности коммерческих запусков в космос, по которому любой гражда-

нин США, желающий заниматься разработкой ресурсов астероидов или других космических ресурсов на коммерческой основе, имеет право на их добычу, а также право владения, собственности, перевозки, их использования и продажи в соответствии с применимым законодательством, включая международные обязательства США⁵.

Затем, вслед за США, в 2017 г. Люксембург принял Закон о разработке и использовании космических ресурсов, в 2019 г. ОАЭ приняли Закон о ре-

гулировании космического сектора, в котором содержится раздел о добыче, освоении и использовании космических ресурсов, а в 2021 г. Япония приняла Закон о содействии в предпринимательской деятельности, связанной с исследованием и освоением космических ресурсов.

Также на национальном уровне разрабатываются и принимаются национальные космические программы по исследованию и освоению космического пространства и небесных тел. Одним из ярких примеров является объявленная в 2019 г. национальная лунная программа США – Artemis (Артемиды), предполагающая возвращение американцев на Луну, строительство международной окололунной станции Gateway (врата, доступ), высадку и создание инфраструктуры на Луне и создание на ней постоянной базы, рас-

⁵ Абашидзе А.Х., Черных И.А. Политика и законодательство США в свете установок международного космического права по освоению природных ресурсов небесных тел // Вестник Санкт-Петербургского университета. Право. 2022, Т. 13. № 1. С. 158–180.

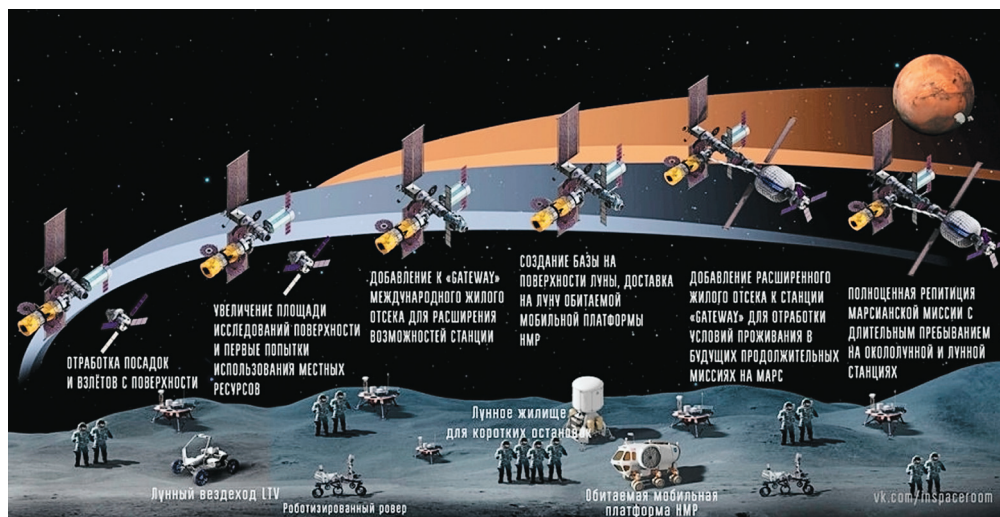
считанной на 15 лет эксплуатации. Для привлечения международных партнеров к своей программе в мае 2020 г. NASA объявило о начале переговоров по заключению с потенциальными партнерами двусторонних соглашений по программе «Артемиды», в которых будут урегулированы вопросы разработки природных ресурсов Луны. По состоянию на 1 июля 2022 г. к данной программе присоединилось уже 20 государств: Австралия, Бахрейн, Бразилия, Великобритания, остров Мэн, Израиль, Италия, Канада, Колумбия, Люксембург, Мексика, Новая Зеландия, ОАЭ, Польша, Румыния, Сингапур, Украина, Южная Корея, Франция, Япония. Содержательная часть соглашения по «Артемиде» представлена в виде принципов для будущего безопасного и мирного исследования и использования космического пространства, посредством коммерческой деятельности на благо всего человечества. Однако, данное соглашение подвергается критике за его односторонний характер, основанный, в первую очередь, на коммерческих интересах США по освоению Луны, что

противоречит принципу международного сотрудничества в области исследования и использования космического пространства на благо и в интересах всех стран. Данный факт обусловил необходимость рассмотрения вопросов освоения Луны на международном уровне, а также разработку международно-правового режима исследования и использования Луны и ее природных ресурсов.

Ряд международных научно-исследовательских групп и неправительственных организаций – Ассоциация Лунная Деревня, Гагская международная рабочая группа по управлению космическими ресурсами, «Проект космического договора» под руководством Дениса О’Брайена (Space Treaty Project), Институт космического пространства (Outer Space Institute) – уже разработали или занимаются разработкой собственных предложений по возможным моделям международно-правового регулирования эксплуатации космических ресурсов.

Более того, с 2017 г. в повестке дня юридического подкомитета Комитета

Этапы американской программы «Артемиды». По данным NASA





Заседание Комитета ООН по исследованию космического пространства в мирных целях. Вена, 9 февраля 2020 г.

ООН по исследованию космического пространства в мирных целях находится вопрос под условным названием «Общий обмен мнениями о возможных моделях правового регулирования деятельности по исследованию, освоению и использованию космических ресурсов». В 2021 г. на пятилетний период была учреждена Рабочая группа по космическим ресурсам, итогом работы которой должен стать набор первоначальных рекомендуемых принципов по освоению космических ресурсов⁶. Важно отметить, что обозначенные принципы будут разработаны именно на универсальном уровне, что предотвратит принятие национального законодательства, противоречащего основным принципам и нормам международного космического права.

В настоящее время в схожем положении находятся и другие направления космической деятельности, такие как управление движением в космосе,

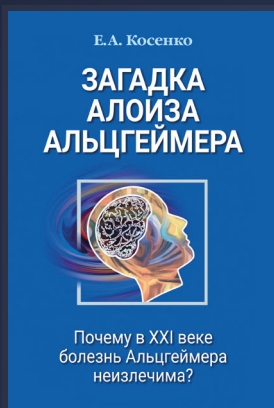
развертывание мега-группировок спутников, осуществление суборбитальных полетов и т. д.

Таким образом, в связи с этим возникает закономерный вопрос, как в условиях активного развития коммерческого освоения космоса, требующего новых подходов, будут разрешаться обозначенные вопросы? Так же, как и с вопросом освоения ресурсов небесных тел – с помощью международного космического права. Оно закрепляет, что исследование и использование космического пространства, включая Луну и другие небесные тела, осуществляются на благо и в интересах всех стран, и устанавливает основы для разработки национального законодательства в области космической деятельности (а не наоборот).

Только международное космическое право может обеспечить стабильность и эффективность освоения космоса всеми государствами, без какой бы то ни было дискриминации, на основе равенства и с поощрением международного сотрудничества, что обеспечит осуществление космической деятельности и государствами, и всеми заинтересованными лицами на безопасной основе. Именно для этого нужно международное космическое право.

⁶ Черных И.А. Деятельность Комитета ООН по космосу в рамках пункта повестки дня «Возможные модели правового регулирования деятельности по исследованию, использованию и освоению космических ресурсов» // Электронное сетевое издание «Международный правовой курьер». 2022. № 1. С. 68–75.

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



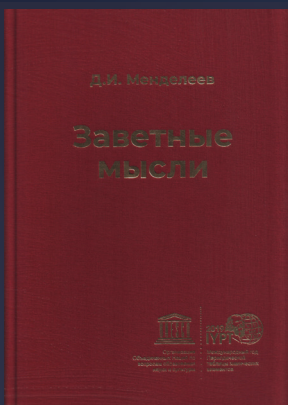
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

ПОЧЕМУ СЕГОДНЯ НЕВОЗМОЖНА МАРСИАНСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394822050073

Мечты людей встретить братьев по разуму, тем более так близко от нашей планеты – на Марсе, давно будоражили воображение. Вспомним знаменитые романы Герберта Уэллса «Война миров» (1897), Алексея Толстого «Аэлита» (1923) или Рэя Брэдбери «Марсианские хроники» (1950). Забытому на Марсе астронавту Марку Уотни из научно-фантастического романа Энди Вейера «Марсианин» (2011)¹

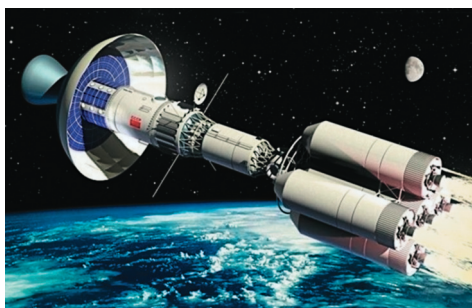
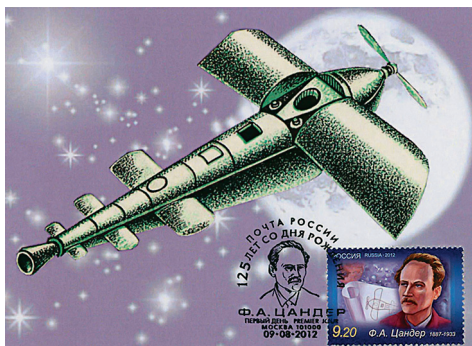
и созданного в 2015 г. по его мотивам режиссером Ридли Скоттом в Голливуде одноименного блокбастера (в главной роли снялся Мэтт Деймон) пришлось самостоятельно справляться со множеством проблем, чтобы выжить на Красной планете². Проведя на Марсе примерно 472 земных дня, он благополучно возвращается на Землю с экипажем корабля «Гермес». Вклад NASA в создание картины «Марсианин» стал

Кадр из научно-фантастического фильма «Марсианин». Кинокомпания TSG Entertainment, 2015 г. Фильм получил несколько наград, в том числе «Золотой глобус» за реализм



¹ Вейер Э. Марсианин / Пер. с англ. М.: АСТ, 2014.

² Хижняк В. 10 обстоятельств, усложняющих возможность пилотируемых миссий на Марс. 2016: <https://hi-news.ru/eto-interesno>



Проекты марсианских кораблей Ф.А. Цандера (1924; почтовая марка 2012), С.П. Королёва (1964; ОКБ-1) и Вернера фон Брауна (1949; журнал *Collier*, 1954)

ключевым: на всех этапах подготовки и производства картины ее создатели консультировались с сотрудниками агентства, так что получилось правдоподобно. Однако в реальности бороться за жизнь астронавту и его экипажу пришлось бы еще задолго до того, как они прилетели на Марс. Ведь, они должны длительное время работать

в экстремальных условиях внешней враждебной среды, невесомости, микрогравитации, ускорениях, перегрузках. Помимо медицинских проблем (радиационный фон в течение всего полета, УФ-излучение, влияние на психику и физиологию космонавтов), экипаж вынужден столкнуться и с другими испытаниями при реальном полете на Марс. В течение многих лет придется решать многочисленные технические и технологические проблемы, а также политико-экономические³, другие трудности, которые в итоге сегодня оказываются **непреодолимыми**. О них не знали и их не учитывали, разрабатывая проекты марсианских кораблей и описывая этапы экспедиции наши основоположники космонавтики Ф.А. Цандер (1924) и С.П. Королёв (1960–1964)⁴, а также один из ранних западных – «Марс-проект» Вернера фон Брауна (1949, публикация 1950)⁵. В XX в. в США и СССР было предложено несколько проектов марсианской экспедиции⁶. В 1990-х гг. под руководством академика А.С. Коротеева в Исследовательском центре им. М.В. Келдыша рассматривался проект экспедиции на Марс общей длительностью 427–457 суток, которая планировалась на 2015–2016 гг.⁷ Сейчас NASA пред-

³ Зайцев Ю.И. Покорение Марса: станет ли оно реальностью? // Земля и Вселенная. 1989, № 1; Горшков Л.А. Ступит ли нога человека на Марс? // Земля и Вселенная. 1999, № 6.

⁴ Бугров В.Е. Марсианский проект С.П. Королёва. М.: Русские витязи, 2007; Бугров В.Е. Проект экспедиции на Марс С.П. Королёва и М.К. Тихонравова // Земля и Вселенная. 2007, № 2; Первушин А.И. Завоевание Марса. Марсианские хроники эпохи великого противостояния. М.: Эксмо – Яуза, 2006.

⁵ Марков А.Е. Марс-проект // Новости космонавтики. 2002, № 11. С. 66–69.

⁶ Безяев И.В., Стойко С.Ф. Обзор проектов пилотируемых полетов к Марсу // Космическая техника и технологии. 2018, № 3 (22). С. 17–31.

⁷ Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А.С. Коротеева. М.: Российская академия

полагает высадку астронавтов на поверхность Марса к 2040 г. «Наша задача в том, чтобы применить знания, которые мы получим при работе и жизни на Луне, для продолжения продвижения в Солнечную систему», – сказал глава NASA Билл Нельсон⁸. Ранее, с 2004 г., разрабатывалась амбициозная программа «Constellation» (созвездие), которую закрыли в 2010 г.⁹ Нынешние планы NASA тоже можно считать нереальными.

Рассмотрим самые очевидные причины, из-за которых о пилотируемых экспедициях на Марс пока что остается только мечтать:

- мотивационная проблема (цели и задачи пока не совсем ясны),
- медико-биологические проблемы,
- технические и технологические проблемы + безопасность полета,
- экологическая проблема,
- политико-экономическая проблема.

Одна из важных причин задержки марсианской экспедиции – нет достаточно существенной мотивации такой экспедиции, а риск и затраты огромные. Только лишь дело в заманчивом приключении или престиже? Зачем лететь, если точно установлено, что на Марсе нет высокоразвитой жизни? Энтузиасты-романтики ратовали о скорейшей экспедиции на Марс, считая, что там есть цивилизация и нужно с ней установить контакт, пионер космонавтики Ф.А. Цандер активно продвигал лозунг

космонавтики им. К.Э. Циолковского, 2006; Коротеев А.С., Семёнов В.Ф., Акимов В.Н. Проект экспедиции на Марс // Земля и Вселенная. 1999, № 6.

⁸ Зубрин Р., Вагнер Р. Курс на Марс: самый реалистичный проект полета к Красной планете (пер. с англ.). М.: Эксмо, 2017; ИТАР-ТАСС, 28 марта 2022 г.: https://tass.ru/kosmos/14209345?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop

⁹ Программа «Созвездие»: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Programme_Constellation

«Вперед, на Марс!»¹⁰. Нахождение каких-то древних бактерий, подповерхностной воды или полезных ископаемых в будущем вполне можно предоставить различным роботам – орбитальным, летающим над поверхностью, мобильным (марсоходы) или стационарным (платформы-лаборатории, пенетраторы, буровые установки и др.). Работа АМС «Луна-16», «Луна-20», «Луна-24» и наших луноходов отлично продемонстрировали возможности роботов, выполнив те же задачи, что и человек в программе «Аполлон», но исключивших значительные риски для человека. «Действительно, зачем выкладывать не менее 300–500 млрд долларов, оплачивая труд сотен тысяч рабочих, инженеров, ученых, если на все интересующие землян вопросы уже способны ответить марсианские роботы, управляемые учеными с Земли»¹¹. Правда нашими специалистами сформулированы ее цели и задачи: «...пилотируемая марсианская экспедиция рассматривается как составляющая часть новых подходов и задач в развитии космонавтики, способных улучшить экологическое состояние Земли; ее осуществление послужит развитию новых технологий и позволит провести комплекс научных исследований в области экзобиологии и астрофизики». Все видимые сегодня поставленные задачи роботы смогут выполнить, не рискуя жизнью астронавтов. По-видимому, и без этого катализатора технического прогресс будет продолжаться, а колонизация Марса дело отдаленного будущего, когда возникнут веские для этого причины. Главные риски марси-

¹⁰ Голованов Я.К. «Марсианин»: Цандер. Опыт биографии. М.: Политиздат, 1985; Новое о жизни на Марсе // Земля и Вселенная. 1997, № 1. С. 50–58.

¹¹ Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 г. / Под ред. академика Б.Е. Чертока. М.: РТ-Софт, 2010. С. 28.



Виды радиации в космосе

анской экспедиции: «невозможность доставки грузов, изменения состава экипажа, досрочного возвращения на Землю, даже при возникновении чрезвычайных обстоятельств, постоянная повышенная ответственность за принятие самостоятельных решений и их последующая реализация»¹².

Рассмотрим медико-биологические проблемы. При полете на Марс, который занимает не менее трех лет, космонавтам угрожает радиационная опасность. Разные виды излучений взаимодействуют с биологическими тканями и органами человека¹³. В космосе люди подвергаются воздействию радиации в десять раз больше, чем на Земле. Даже летая ниже радиационных поясов на МКС, космонавты получают

в день поглощающую дозу радиации, равную полугодовой на Земле. В среднем радиационный фон на МКС превышает земной примерно в 200 раз – это значит, что космонавт может без риска для здоровья находиться там не более пяти лет за всю свою жизнь, то есть вне радиационных поясов человек не может быть более полугода (разрешенной считается доза 500 миллизивертов в год). Специалисты Института медико-биологических проблем РАН оценили суммарную дозу при полете на Марс туда и обратно по данным миссии «ЭкзоМарс-2016», радиация усилится до 1.8 миллизиверта в сутки, то есть за полет в спокойном радиационном фоне в течение трех лет космонавт получит дозу в 2 зиверта, что критично. Солнечная вспышка способна дать экипажу дозу до 4 зиверта за несколько дней, то есть космонавт это лучевая болезнь с риском смертельного исхода. Несмотря на серьезную опасность мощных солнечных вспышек, в межпланетных полетах они не главная проблема. Основной радиационный вред во время

¹² Григорьев А.И., Баранов В.М., Дёмин Е.П., Давыдов В.А. Эксперимент, моделирующий пилотируемый полет на Марс // Земля и Вселенная. 2008, № 3.

¹³ Краткий справочник по космической биологии и медицине. Изд. 2-е, под ред. А.И. Бурназяна, О.Г. Газенко, В.В. Парина, составитель И.М. Хазен. М.: Медицина, 1972.



Снимок марсианской поверхности, сделанный марсоходом Perseverance в месте посадки в кратере Езеро. 3 марта 2021 г. NASA/JPL

полета на Марс исходит от галактических космических лучей, и защиты от них нет. Подвергнувшись сильнейшей радиационной атаке, экипаж может потерять координацию и память уже в полете. Марс не обладает магнитосферой и мощной атмосферой, поэтому открыт для всех космических излучений, которыми будут подвергаться космонавты на его поверхности. Радиационный фон на Марсе (примерно 22 миллирада = 0.00022 зиверт в день) в 2.5 раз выше, чем на МКС¹⁴. Космическое излучение может вызывать лучевую болезнь, включая тошноту, рвоту и усталость, более того, хотя и в маловероятном, но возможном случае воздействия неожиданно возникшей мощной солнечной вспышки или галакти-

ческого излучения космонавт погибнет. При полете или пребывая на самом Марсе невозможно быстро вернуться на Землю, чтобы уберечься от вспышки. Несмотря на то, что уже проведены эксперименты по изучению космической радиации, например на российском фантоме «Матрёшка», пока не изобретено эффективной радиационной защиты космического аппарата¹⁵.

Большая часть ультрафиолетового излучения поглощается озоном в верхних слоях атмосферы Земли, но на Марсе разреженная атмосфера и нет озона, таким образом, практически нет атмосферного поглощения ультрафиолета. УФ-индекс в первую очередь связан с уровнем менее вредного излу-

¹⁴ Безродных И.П., Морозова Е.И., Петрукович А.А., Семёнов В.Т. Радиационные условия на орбите и поверхности Марса. М.: Техносфера, 2014.

¹⁵ Абдурахманова М.А., Брагин А.Б., Тележенко Д.Р. Перспективные методы защиты космических аппаратов и космонавтов от радиации // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017, Том 1, № 13. С. 50–61.



Врач-космонавт В.В. Поляков во время выполнения медицинского эксперимента на орбитальной станции «Мир».

Справа – бортинженер С.К. Крикалёв. Декабрь 1988 г. РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

ния УФ-А (320–400 нм), который может вызвать солнечные ожоги и, возможно, рак кожи. Фактический поток УФ-А на Марсе не сильно отличается от потока на Земле, там больше излучения УФ-С (200–290 нм) и УФ-В (290–320 нм)! Общая солнечная постоянная на Земле составляет около 340 Вт/м^2 , на Марсе – 600 Вт/м^2 . Это означает, что наиболее вредных излучений УФ-С и УФ-В на Марсе больше, чем на поверхности Земли. Человеку понадобится серьезная защита от ультрафиолета, чтобы выжить на Марсе¹⁶. Другие источники радиации, о которых говорилось выше, добавляют опасность пребывания на Марсе.

В 2008 г. АМС Mars Reconnaissance Orbiter (США) сделал историческое открытие: в грунте Марса были обнаружены перхлораты – крайне агрессивные окислители. Ультрафиолетовое излучение и ядовитые вещества перхлораты усиливают действие друг друга и убивают микробы всего за 60 секунд. Это известие сразу обрушило все надежды на обнаружение следов внеземной жизни. Подобные молекулы могут формироваться в почве в результате

химических реакций и взаимодействия с ультрафиолетом и космическими лучами. Эти токсичные реагенты способны вызывать у людей серьезные проблемы с щитовидной железой даже в малых количествах. На Марсе концентрация перхлоратов в грунте составляет 0.5%, что уже является очень опасным для человека. Если астронавты занесут их в корабль, то со временем случится загрязнение, а потом и отравление. Снизить загрязнение могут помочь технологии дезактивации, однако полностью избавиться от проблемы в условиях Марса не получится, и, следовательно, астронавтов рано или поздно будут ожидать проблемы с щитовидными железами. Помимо этого, отравление перхлоратами организма связывают с различными заболеваниями кровеносной системы, хотя выяснение всех эффектов их воздействия на человеческий организм еще только предстоит узнать. Вполне вероятно, что людям на Марсе придется постоянно принимать гормональные препараты¹⁷.

Несмотря на достижения в освоении космоса, «космическая болезнь» остается: больше половины всех астронавтов и космонавтов сталкиваются с тошнотой, головной болью, рвотой и общим дискомфортом. Все это причины космической болезни, называемой синдромом космической адаптации. К тому же концентрация углекислого газа в гермоотсеках станций (в т. ч. на МКС) повышена, достигая иногда 6 мм рт. ст., тогда как на Земле концентрация CO_2 составляет около 0.3 мм рт. ст. Неблагоприятные побочные эффекты, такие как головные боли, раздражение и проблемы со сном, ставшие нормой среди космонавтов, это лишь некоторые из последствий повы-

¹⁶ Сайт NASA: <https://www.nasa.gov/analogs/nsrl/why-space-radiation-matters>

¹⁷ Wadsworth J. & Cockell Ch.S. Perchlorates on Mars enhance the bacteriocidal effects of UV light // Scientific Reports, 6 July 2017, vol. 7, № 4662.



Одна из бортовых аптечек на МКС. 2020 г. Фото: Роскосмос

шенной концентрации диоксида углерода. Это связано с тем, что выдыхаемый космонавтами газ образует облако у головы, несмотря на вентиляторы, которые его рассеивают, но концентрация газа все равно превышает рекомендованную. Будем надеяться, что к моменту отправки людей на Марс решение будет найдено.

Важная медицинская проблема – длительное пребывание человека в условиях невесомости в космосе изучается уже более 50 лет, начиная с 18-суточного полета в июне 1970 г. А.Г. Николаева и В.И. Севастьянова на корабле «Союз-9». Выполнены годовые полеты в 1987–1988 гг. В.Г. Титова и М.Х. Манарова на станции «Мир», в 2015–2016 гг. М.Б. Корниенко и С. Келли (США) на МКС и в 1994–1995 гг. 437-суточный полет врача-космонавта В.В. Полякова на станции «Мир»¹⁸. Сейчас экипажи

основных экспедиций проводят эксперименты на МКС в течение 168–198 суток (астронавт США Кристина Кук работала в течение 328 суток). Установлено, что при длительной невесомости мышцы слабеют, вымывается кальций из костей – они становятся хрупкими (теряется 1% мышечной массы и 2% костной с каждым месяцем, проведенным в космосе), кроме того, сердце уменьшается в размерах и изменяется работа сердечно-сосудистой системы. Всему этому подвергается организм, несмотря на ежедневные двухчасовые физические нагрузки на тренажерах, однако после возвращения на Землю здоровье восстанавливается. Условия микрогравитации в космосе приводят к преждевременному старению, как предполагают медики, она влияет и на генетику – еще предстоит понять эти механизмы. Артерии страдают, они становятся жестче, что грозит сердечными приступами и инсультами. Сегодня мы знаем о влиянии невесомости на организм человека при годовом пребывании в космосе, но пока остается

¹⁸ Мировая пилотируемая космонавтика. История, техника, люди. Энциклопедия» / Под ред. Ю.М. Батурина. М.: РТ-Софт, 2005; Келли С., Дин М. Стойкость: мой год в космосе / пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2019; Длительные полеты человека в космос (интервью с В.В. Поляковым) // Земля и Вселенная. 1998, № 4.

неясно, как отразится на здоровье космонавта трехгодовой полет¹⁹.

Другая сложность – в космосе зрение постепенно становится размытым из-за изменений в сетчатке. В невесомости жидкость поднимается в верхнюю часть тела, и повышенное давление в голове воздействует на зрительные нервы. С возвращением на Землю это пройдет, но некоторым космонавтам могут потребоваться годы для восстановления зрения. Из 500 астронавтов и космонавтов около 23% испытали такие проблемы во время краткосрочных полетов и около 49% – во время длительных рейсов.

Неотложной медицинской помощи в космосе не существует: бортовая аптечка включает лекарства и базовое оборудование первой помощи. Что же делать, если космонавту станет очень плохо и потребуются лечение? В таком случае обычно он отправляется обратно на Землю. Тяжелая болезнь одного из членов экипажа случилась на станции «Мир». 21 ноября 1985 г. командир корабля «Союз Т-14» В.В. Васютину пришлось срочно возвратиться на Землю. Через месяц работы на станции он почувствовал себя плохо, лекарства не помогли, и по требованию врачей его работу на станции было решено прервать досрочно, при этом длительность полета составила 64 суток вместо запланированных 282 суток! В результате заболевания В.В. Васютина программа работ экипажа была полностью сорвана. Что будет, когда помощь понадобится на пути к Марсу? Сейчас медики пытаются создать уникальное меди-

цинское оборудование, которое сможет справиться с тяжелыми заболеваниями вроде сердечных приступов и аппендицита в космосе, однако это не решит всех медицинских проблем.

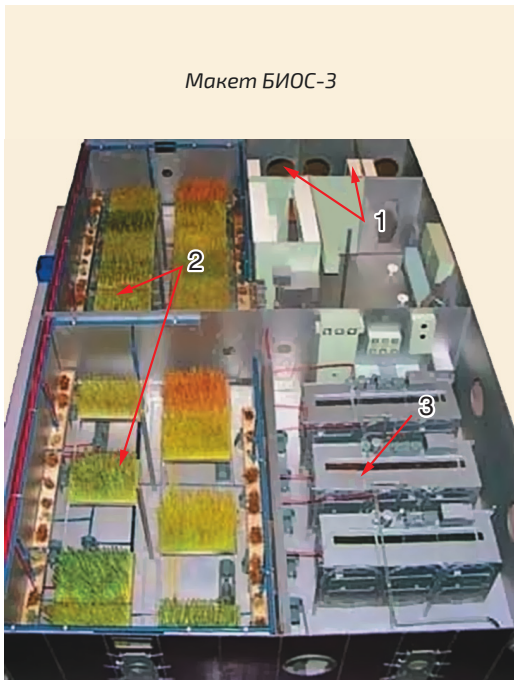
Оказывается, большинство лекарств в космосе менее эффективны, чем на Земле. Например, в ходе исследования было укомплектовано восемь аптечек с 35 разными препаратами, включая снотворное и антибиотики. Четыре аптечки были отправлены на МКС, а другие четыре хранили в специальной камере в Космическом центре им. Л. Джонсона в Хьюстоне. Спустя 28 месяцев препараты, отправленные на МКС, оказались менее действенны, чем те, что хранились в центре. Ученые считают, что потеря их свойств связана с вибрациями и излучением в космосе, поэтому свежие лекарства стали доставлять на МКС каждые шесть месяцев²⁰. В рамках проекта по созданию технологии производства медикаментов во время длительных космических экспедиций в феврале 2021 г. на МКС отправлены пакеты с 60-ю таблетками, подготовленными группой исследователей Университета Аделаиды во главе с профессором Ф. Хесселем²¹. В будущем же космонавтам будут давать все необходимые ингредиенты для производства лекарств в космосе, однако чего-то все равно не хватит.

«Одной из главных медико-биологических проблем марсианской экспедиции неизбежно станет проблема обитаемости, то есть биологической полноценности среды обитания в корабле. ...экологическое понятие среды обитания космонавта редко использовалось в практике медицинского обес-

¹⁹ Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов // Медицина экстремальных ситуаций. 2017, том 59, № 1. С. 43–64; Григорьев А.И., Попанов А.Н. Пилотируемая экспедиция на Марс: медико-биологические проблемы // Земля и Вселенная. 1999, № 6.

²⁰ Неумывакин И.П. Космическая медицина – земной: как быть здоровым. Мифы и реальность. СПб.: Диля, 2019.

²¹ <https://www.techcult.ru/space/9428-zabottom-mks-razmestyat-korobku-s-tabletkami>



Макет БИОС-3



Макет БИОС-3: 1 – жилая часть: три кабины для экипажа, санитарно-гигиенический модуль, кухня-столовая; 2 – фитотронные залы с высшими растениями: два с площадями посева 20 м² в каждом; 3 – водорослевый культиватор: три фотобиореактора объемом 20 л каждый для выращивания *Chlorella vulgaris*.

Справа вверху – фитотронный зал установки БИОС-3; внизу – участники 6-месячного эксперимента в БИОС-3: М.П. Шиленко, В.В. Терских и Н.И. Петров, 1973. Источник: «Русская планета», Красноярск, 18 октября 2015 г.

печения космических полетов. Это место занимало понятие о системах жизнеобеспечения: они должны снабжать человека кислородом, водой, пищей, удалять углекислоту. Но в связи с перспективами межпланетной космонавтики следует говорить уже не о снабжении или обеспечении, а о всеобъемлющем формировании биологически полноценной среды обитания человека, приближающейся к земному эталону. ...Такая цель может быть достигнута созданием замкнутых экологических систем. ...К настоящему времени у нас созданы и исследованы разные лабораторные модели таких включающих человека систем,

где регенерируется до 80–90% потребляемых человеком веществ»²².

Искусственная замкнутая экологическая система основана на круговороте процессов веществ с максимальным использованием запасов на космическом корабле и минимальным количеством отходов. Ученые установили: чтобы три человека могли прожить в течение трех лет, нужно около 1.35 т кислорода, 11.25 т воды и 1.8 т пищи, что нерационально для весовых характеристик корабля. В 1920 г. К.Э. Циолковский

²² Газенко О.Г., Григорьев А.И., Ильин Е.А. Медико-биологическое обеспечение пилотируемой экспедиции на Марс // Земля и Вселенная. 1988, № 5.

в повести «Вне Земли» предлагал создание космической оранжереи для питания экипажа²³, но как оказалось, растения плохо выращиваются в условиях невесомости. Чтобы пополнять запасы кислорода, питания и воды, необходимо создавать систему замкнутого цикла. Первые исследования по этой проблеме выполнены в Москве в Институте авиационной и космической медицины Министерства обороны СССР, а позднее в Институте медико-биологических проблем Минздрава СССР (ныне ИМБП РАН) и в Красноярске – вначале в отделе биофизики Института физики СО АН СССР, а затем в Институте биофизики СО РАН. В 1964–1968 гг. были выполнены первые эксперименты БИОС-1 и БИОС-2. В третьем исследовании трое добровольцев находились в течение года в макете жилого отсека с частично замкнутым циклом систем жизнеобеспечения, на 366-й день эксперимент был успешно завершён. По его итогам одним из участников была написана книга «Год в “Звездолете”»²⁴.

В 1972–1973 гг. в Институте биофизики Сибирского отделения АН СССР были проведены более сложные 10 опытов БИОС-3, отличавшиеся от предыдущих тем, что в комплексе была установлена полностью замкнутая система жизнеобеспечения, благодаря которой испытуемые получали воду и воздух из отработанных ресурсов²⁵. Экосистема БИОС-3 обеспечила в автономном режиме жизнь экипажа из трех человек в течение 6 месяцев за счет замкнутого цикла воды и кислоро-

да на 100%, в пище – более чем на 50%. До настоящего времени этот результат остается непревзойденным. Предстоит создать такую систему в небольшом объеме гермоотсека корабля со 100% результатом работы и безаварийности, что очень затруднительно. В будущей замкнутой экологической системе «обеспечивать экипаж водой и кислородом сможет только водорослевый культиватор: при производительности 600 г/сут сухого вещества он полностью решит проблему нормализации воздушной среды для человека»²⁶.

В длительном полете, кроме внешних угроз, серьезную проблему представляют также внутренние – это микроорганизмы (бактерии и грибки), населяющие жилые отсеки. В эксперименте «Тест», проводимый с 2010 г. российскими космонавтами на МКС, выяснилось, что они способны разрушать коммуникации и конструктивные элементы ее гермоотсеков. «...Процессы коррозии и биодеструкции материалов могут снижать ресурсные характеристики жилых модулей с длительным сроком существования и высокой автономностью, например для марсианского экспедиционного комплекса»²⁷.

Сочетаемость психотипов людей при столь долговременных космических миссиях – пока еще неизведанная область медицины. Как поведет себя экипаж в стрессовой ситуации? Могут ли возникнуть трения между ее членами, в результате смогут ли они выполнить программу? Как повлияет на психику экипажа длительное пребывание в замкнутом пространстве? В нашей стране в 2010–2011 гг. в ИМБП РАН под эгидой Роскосмоса и РАН проводился экспе-

²³ Желнина Т.Н. «Вне Земли» – книга на все времена (к 100-летию публикации) // Земля и Вселенная. 2018, № 3.

²⁴ Божко А.Н., Городинская В.С. Год в «Звездолете». М.: Молодая гвардия, 1975.

²⁵ Salisbury F., Gitelson J., Lisovsky G. Bios-3: Siberian Experiments in Bioregenerative Life Support // BioSciens, 1997. Vol. 47, № 9. pp. 575–585.

²⁶ Гительзон И., Дегерменджи А., Тихомиров А. Замкнутые системы жизнеобеспечения // Наука в России. 2011, № 6 (186). С. 4–10.

²⁷ Цыганков О.С. Введение в эмпирическую экзобиологию: программа «Тест» // Земля и Вселенная. 2014, № 6.



Эксперимент Марс-500. Макет марсианского корабля – медико-технический комплекс ИМБП РАН из модулей-имитаторов: посадочный (50 м³), медицинских и психологических экспериментов (100 м³), жилого отсека (150 м³), марсианской поверхности (1200 м³), оранжерея и склад продуктов (250 м³).

Справа вверху – экипаж в жилом отсеке, внизу – оранжерея. Фото: ИМБП РАН

римент Марс-500 по имитации 520-суточного полета на Марс. Во время него шесть добровольцев находились в Наземном экспериментальном комплексе института. Исследовалось взаимодействие «человек – окружающая среда» и членов экипажа, собиралась информация о состоянии их здоровья и работоспособности в условиях, приближенных к реальным: длительное нахождение в замкнутом пространстве, автономность, связь с Землей со значительной задержкой, ограниченность ресурсов. Также проводилась отработка технологий медицинского обеспечения космонавтов для межпланетных полетов и оценка возможности современных технологий, систем и средств обеспечения жизнедеятельности

и защиты человека²⁸. Только предстоит выяснить в экспериментах, как скажется длительный полет на психологическом и психическом состоянии экипажа. Беспокойство может возникнуть из-за необходимости постоянного контроля работы различных систем, отказа систем и агрегатов, аварийных ситуаций, сложности ремонтно-восстановительных работ, внекорабельной деятельности. На психологическое равновесие членов экипажа в длительном полете влияет их психологическая совместимость, тревожность по поводу отрыва от Земли, замкнутость жилого

²⁸ Григорьев А.И., Моруков Б.В. «Марс-500»: предварительные итоги // Земля и Вселенная. 2013, № 3; Сайт проекта «МАРС-500»: http://mars500.imbp.ru/index_r.html

пространства и невозможность спасения в случае аварии. «В длительном полете существуют предпосылки развития эмоционального хронического стресса, обусловленного экстремальным характером условий полета»²⁹.

Марсианский день всего примерно на 40 минут длиннее, чем на Земле. И хотя на первый взгляд можно обрадоваться тому, что будет на 40 минут больше каждый день, это на самом деле может оказаться очень серьезной проблемой, так как суточный биологический ритм человека рассчитан на 24 часа. Дополнительные 40 минут каждый день на Марсе вскоре приведут к тому, что у человека разовьется синдром бесконечной смены часовых поясов, что, в свою очередь, будет проявляться в виде постоянной усталости и плохого самочувствия, в итоге скажется на здоровье. В 1997 г. операторы NASA уже успели испытать на себе этот синдром, так как им пришлось работать в соответствии с марсианским временем при движении марсохода *Sojourner* (пришелец). Спустя месяц такого напряженного графика операторы выдохлись. Для последующих марсоходов Центр управления полетами NASA смог успешно придерживаться марсианского времени в течение трех месяцев, однако к концу миссии работники по-прежнему очень сильно уставали. На основе наблюдений ученые выяснили, что человек способен придерживаться марсианского времени только лишь на кратковременные периоды.

²⁹ Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П., Козеренко О.П., Нечаев А.П. Проблема психической астенизации в длительном космическом полете. М.: Фирма «Слово», 2000; Еськов К.Н. Взаимосвязанная операторская деятельность изолированной малой группы (методика гомеостат). Диссертация. ИМБП РАН, 2019: <http://www.imbp.ru/WebPages/win1251/Science/DisserSov/Eskov2019/Eskov-dis.pdf>

Несмотря на возможность имитации путешествия на Марс в результате длительного пребывания на борту МКС, эффект воздействия на человека марсианской гравитации, составляющей 38% от земной, по-прежнему остается загадкой. Изучает проблему влияния гравитации на живые организмы гравитационная биология. Уже установлено, что при низкой гравитации теряется костная масса, слабеют мышцы, возникают проблемы с легкими и сердцем, изменяется восприятие вкуса, ослабевает иммунитет. Самое опасное влияние на клетки происходит на генетическом уровне, а также меняются нейронные связи. Пока не вполне ясно, все же, как воздействует пониженная гравитация на человека? Позволит ли долгое воздействие такой частичной гравитации сохранить здоровье? И если нет, то как с этим бороться? Поиск ответов на эти вопросы является критически важным. Проведенные опыты на мышах показали, что потеря костной и мышечной массы в условиях марсианской гравитации могут быть равнозначны полному ее отсутствию, мыши, находясь в условиях с пониженной гравитацией, утратили около 20% скелетной массы. Обнаружено, что даже нахождение в условиях с 70% от земной гравитации не предотвратит изменения в организме человека. Однако следует учитывать, что все эти исследования проведены на Земле³⁰. Ученые определили, что мозг космонавтов «перестраивается» в космосе: происходят смещения жидкости, а сама его форма меняется, такие изменения могут оста-

³⁰ Лозовская Е. Жизнь с гравитацией и без нее // Наука и жизнь. 2004, № 9; Никитенко О.В. Влияние космического полета на иммуногематологический и цитогенетический статус мышей // Автореферат. ИМБП РАН, 2020: <http://www.imbp.ru/WebPages/win1251/ScienceN/DisserSov/Nikitenko2020/Nikitenko-ref.pdf>



Экипаж 61-й международной экспедиции на МКС во время отдыха:
вверху – О.И. Скрипочка, А.А. Скворцов, Э. Морган (США); внизу – Дж. Меир (США), К. Кук (США),
Л. Пармитано (ESA, Италия). Ноябрь 2019 г. Фото: Роскосмос

ваться еще месяцы после возвращения человека на Землю. Это выяснено в совместном исследовании ESA и Роскосмоса⁵¹. Международная исследовательская группа изучила мозг 12 мужчин-космонавтов незадолго до и после их полетов на МКС длительностью в среднем 172 суток. Они также наблюдали мозг этих же космонавтов через семь месяцев после возвращения на Землю. Используя трактографию как метод 3D-визуализации структур и связей внутри мозга, ученые заметили, что из-за сдвига жидкостей эти структуры изменили форму, спинномозговая жидкость расширилась и это сместило нервную ткань. Исследователи также

обнаружили изменения в нейронных связях между несколькими двигательными центрами мозга, где инициируются команды для движений. В невесомости специфика движений космонавтов совершенно другая, поэтому мозг начинает перестраиваться. «Наше исследование показывает, что мы должны принимать контрмеры, чтобы быть уверенными, что сдвиги жидкости и изменения формы мозга будут остановлены в определенных пределах». До тех пор, пока космонавты не высадятся на Марсе, узнать истинные последствия воздействия пониженной гравитации на их мозг и тела будет невозможно.

На Марсе статическое электричество может обернуться серьезными проблемами. На Земле большинство статических разрядов происходят благодаря изолирующим свойствам резиновой обуви. На Марсе изолирующим

⁵¹ Doroshin A., Jillings S., Jeurissen B. & ect. Brain Connectometry Changes in Space Travelers After Long-Duration Spaceflight // *Frontiers Neural Circuits*, 18 February 2022.



Участники наземного эксперимента «Марс-500» Александр Смолевский (Россия) и Диего Урбина (ESA, Италия) отрабатывают действия на имитаторе марсианской поверхности в Наземном экспериментальном комплексе Института медико-биологических проблем РАН. 14 февраля 2011 г. Фото ИМБП РАН

материалом будет служить сама поверхность Марса, как и пыль на Луне, обладающая тем же эффектом³². Даже просто пройдя по марсианской поверхности, астронавт может накопить статический разряд достаточной силы для того, чтобы сжечь электронику, например, входного шлюза воздушной камеры, просто прикоснувшись к внешней металлической обшивке корабля. Особенность и сухость марсианской поверхности делает ее отличным изолирующим материалом. Частицы марсианской поверхности могут до 50 раз быть меньше частиц пыли на Земле. При хождении по ней, на ботинках будет накапливаться ее определенный запас. Когда марсианский ветер ее сдует, обувь накопит достаточно заряда, чтобы вызвать легкий электрический удар, которого в таких условиях мо-

³² Носенкова С. От пыли до радиации. Что мешает полетам в дальний космос // Русский космос. 2021, № 26. С. 46–49.

жет быть достаточно, чтобы похоронить всю миссию. Работающие сейчас американские марсоходы используют специальные тончайшие иглы, которые разряжают заряд в атмосферу и не дают ему поразить электронику. В случае с пилотируемым полетом на Марс потребуются использование скафандров, позволяющих защитить от статического электричества и марсианской пыли людей и оборудование.

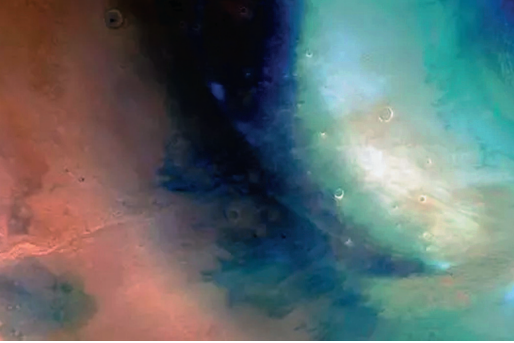
Марсианская пыль, также как и лунная, токсична: «...частицы обладают способностью активно воздействуют на элементы и системы, что может

приводить к неожиданным технологическим проблемам, ...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... затрудняла работу робототехнических систем... пыль воздействует на материалы как режущий инструмент, ...способны цепляться за любую поверхность... даже проникала в закрытые герметические отсеки»³³. Она дурно пахнет и астронавты испытывали дискомфорт в течение трех дней на обратном пути с Луны³⁴. То есть пыль является одной из опасных помех для здоровья космонавтов при работе на

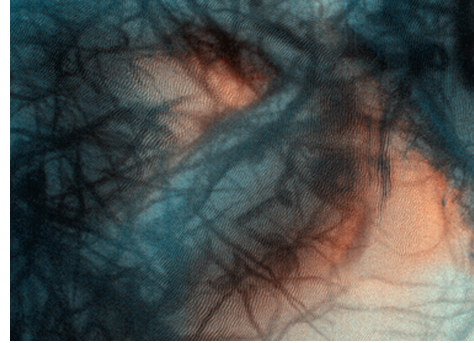
³³ Зелёный Л.М., Захаров А.В., Борисова Т.А. Лунная пыль // Земля и Вселенная. 2017, № 3. С. 12–14.

³⁴ Чёрный И.В. Страшнее пыли зверя нет? // Русский космос. 2021, № 24. С. 76–77.

а



б



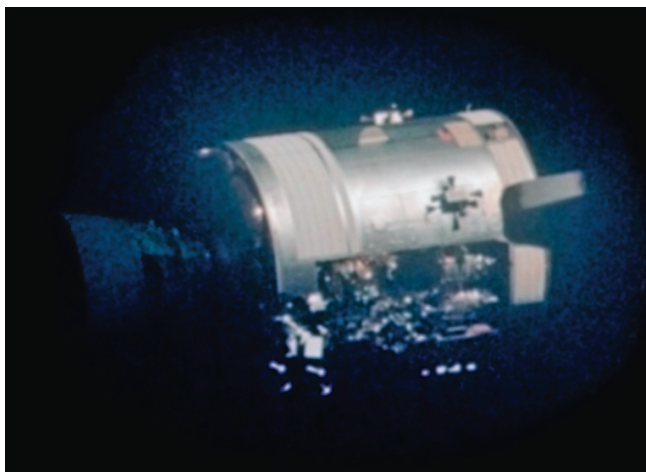
Пылевая буря и смерчи на Марсе: а) восемь штормов различной интенсивности в северной области произошли с 22 мая по 10 июня 2019 г., которые зафиксировала AMC Mars Express (ESA); б) «дорожки», оставленные огромными пылевыми дьяволами – марсианским эквивалентом торнадо, они сдувают верхний слой почвы из оксида железа, открывая темно-серые слои базальта, хорошо видимые на снимке 12 июля 2020 г. AMC Mars Reconnaissance Orbiter (США). Фото ESA/DLR/NASA

Марсе и во время возвращения на Землю. Могут произойти и другие неожиданности на Марсе, например, разгратиться пылевая буря (глобальная была в 1971 г.), когда скорость ветра доходит до 100 км/час, либо пылевые смерчи и вихри, называемые пылевыми дьяволами – вращающиеся столбы поднимающейся пыли (иногда до высоты 20 км), которые возникают внезапно и могут превышать земные аналоги в сотни раз³⁵. Пылевая буря или смерчи могут помешать или сделать невозможной посадку и пребывание на планете.

Наряду с медико-биологическими, надо решить ряд технических и технологических проблем. Прежде всего, это безопасность полета, который на современном уровне развития космонавтики считается стратегически приоритетным. В комплекс мер для защиты от нештатных ситуаций и тем более аварии должны быть включены следующие системы: спасения экипажа, радиационной и метеоритной защиты,

³⁵ Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Астафьева Н.М. Пылевые дьяволы на Земле и на Марсе // Земля и Вселенная. 2015, № 4.

жизнеобеспечения с замкнутым циклом, пожаротушения и предупреждения о возможности взрыва, контроля всех бортовых систем и приборов, медицинского контроля. Несмотря на то, что марсианский корабль будет оборудован самыми совершенными системами, не исключена их поломка, а подвезти запчасти, как на МКС, не получится. В случае сбоев в работе систем или необходимости неотложной медицинской помощи экипаж должен быть в состоянии справиться со всеми происшествиями самостоятельно. Пища должна быть заранее спланирована на всю поездку, а лекарства должны быть предоставлены для большинства потенциальных заболеваний. Должна быть надежной противометеоритная защита, иначе космические частицы могут сделать пробоину в корпусе или повредить, например двигатели, как в случае американской космической обсерватории James Webb, которая получила необратимые повреждения от удара в мае 2022 г. крупного микрометеорита по большому зеркалу телескопа.



Разрушенный взрывом служебный модуль корабля «Аполлон-13», снятый экипажем после отделения командного модуля незадолго до посадки на Землю. 17 апреля 1970 г. Фото NASA AS13-58-8464

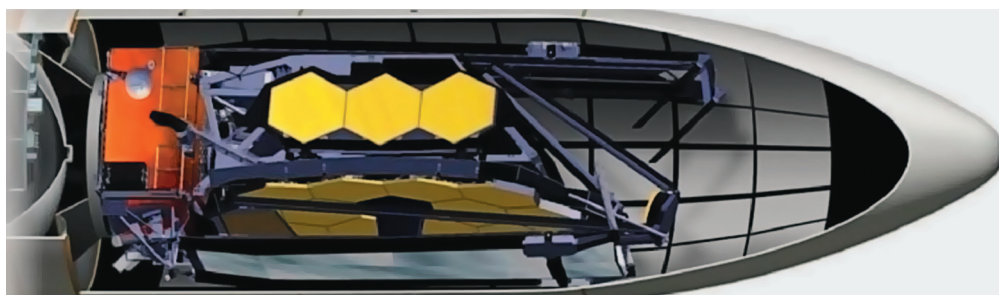
Выход из строя главного компьютера или одной из важных систем, разгерметизация жилого отсека или отказ любого двигателя вообще поставит весь полет на грань катастрофы. Вспомним разные нештатные ситуации, которые чуть не привели к трагедии. 14 апреля 1970 г. во время полета КК «Аполлон-13» взорвался топливный бак на расстоянии 330 тыс. км от Земли и экипаж чуть было не погиб. 9 октября 1977 г. стартовал КК «Союз-25» с экипажем В.В. Ковалёнок и В.В. Рюмин, который должен был стать первой 96-дневной экспедицией на станцию «Салют-6», однако ни автоматическая, ни ручная стыковка не удалась, космонавтам пришлось вернуться на Землю. Следующая неудачная попытка стыковки со станцией «Салют-6» произошла 11 апреля 1979 г. с КК «Союз-33» (Н.Н. Рукавишников и Г. Иванов, Болгария) из-за проблемы работы основного двигателя. При отказе резервного тормозного двигателя «Союз-33» остался бы на орбите навечно, в этот момент экипаж «Салюта-6» лишь следил

за драмой, происходившей с коллегами, не имея возможности им чем-либо помочь. Сход с орбиты пришлось выполнять с помощью дублирующего двигателя, ориентируясь исключительно на опыт и интуицию экипажа, который при спуске испытал перегрузки до 10 единиц при норме 3–4. В 1984 г. Л.Д. Кизим и В.А. Соловьёв совершили шесть выходов в открытый космос общей длительностью 22 часа 50 минут, выполнив сложный и трудоемкий ремонт объединенной двигательной установки станции «Салют-7», иначе стан-

ция стала бы аварийной. В конце 1984 г. произошел отказ всех бортовых систем станции «Салют-7», связь с ней была потеряна и она перешла в неуправляемый полет. Поэтому в июне 1985 г. на нее направили спасательную экспедицию в составе В.А. Джанибекова и В.П. Савиных, в результате их героических усилий станция была реанимирована³⁶.

Но это происходило рядом с Землей, в дальнем космосе такие ситуации, скорее всего, приведут к катастрофе. Например, 21 июля 1969 г. при посадке на Луну КК «Аполлон-11» автоматика вела модуль «Орел» прямо в кратер, покрытый камнями размером до 3 м, пред-

³⁶ Мировая пилотируемая космонавтика. История, техника, люди. Энциклопедия. Под ред. Ю.М. Батурина. М.: РТ-Софт, 2005; Соловьёв В.А., Цыганков О.С. Реанимация станции «Салют-7» // Земля и Вселенная. 2022, № 2; Герасютин С.А. Станции второго поколения «Салют»: нештатные ситуации // Труды XLVI Академических чтений по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства. М.: МГТУ, 2022.



Самый большой в мире головной обтекатель европейского носителя Ariane-5 диаметром 5.4 м защищал космический телескоп «Джеймс Уэбб» (JWST, США) во время запуска 25 декабря 2021 г. Рисунок ESA

ставляющими опасность. За 9 мин до посадки модуль пролетел мимо планируемого места, в результате промахнулся на 6 км. Аналогичная проблема может возникнуть у экипажа при посадке на Марс: слишком мало времени для определения и избегания попадания посадочного модуля на камни, крутой склон или сыпучий песок. Это может привести к опрокидыванию модуля. Небольшие трещины и впадины тоже могут привести к неправильному автоматическому расчету посадочной скорости – возникает риск поломки и невозможности возвращения. Шансы на то, что посадочный модуль может ждать катастрофа из-за неправильно проанализированного места посадки, очень высоки – они составляют около 20%.

При разработке марсианского посадочного модуля возникла серьезная техническая проблема: диаметр головного обтекателя разгонного блока ракеты, на котором этот марсианский модуль будет запущен. Несмотря на то что в настоящий момент диаметр самого большого обтекателя составляет 8.4 м, будет очень сложно сделать так, чтобы его размер соотносился с конструкцией посадочного модуля. Защитный тепловой экран, необходимый для протекции тяжелого груза, в этом случае будет слишком громадным, чтобы уместиться под обтекателем. Поэтому в этом случае, скорее всего, придется

использовать надувную технологию теплового экрана, разработка которой к настоящему моменту находится только на стадии экспериментов. Если использовать нынешний дизайн обтекателя для марсианской миссии, то потребуются использовать гораздо более компактный посадочный модуль, который будет соответствовать диаметру обтекателя 8.4 м. Любые более крупные модули просто не поместятся. Даже если будет решено использовать более компактный посадочный модуль, то, скорее всего, из-за таких технических ограничений придется переработать его конструкцию, например, переработать не только месторасположение экипажа, но и топливные баки модуля. Сам же размер обтекателя изменить не получится, потому что это дестабилизирует полет ракеты-носителя.

Одним из основных способов снизить скорость посадочного марсианского модуля для мягкой посадки на Марс является система сверхзвуковой тормозной двигательной установки (СТДУ)³⁷. Суть ее заключается

³⁷ Луценко А.Ю., Назарова Д.К. Аэродинамические характеристики возвращаемого аппарата с работающей тормозной двигательной установкой при транс- и сверхзвуковом обтекании. Реферат. Инженерный журнал: наука и инновации, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015: <http://www.engjournal.ru/articles/1397/1397.pdf>



Спуск на Марс посадочного модуля с применением сверхзвуковой тормозной двигательной установки в представлении художника. Проект компании SpaceX

в использовании направленных в сторону движения реактивных двигателей с целью гашения сверхзвуковых скоростей. Использование СТДУ в тонкой разреженной атмосфере Марса является обязательным условием. Однако запуск двигателей сверхзвуковых мощностей создаст ударную волну, которая может повредить или опрокинуть посадочный модуль. У NASA, например, практически нет опыта использования подобных процедур, что в свою очередь уменьшает шансы на успешность всей миссии. Данная технология имеет три препятствия. Во-первых, эффект взаимодействия между воздушным потоком и выхлопными газами двигателей могут разрушить посадочный модуль. Во-вторых, тепло, генерируемое выхлопом отработываемого ракетного топлива, может нагреть посадочный модуль, в результате возгорания топлива возникнет пожар или взрыв. В-третьих, сохранить стабильность посадочного модуля при запуске сверхзвуковых СТДУ станет сложной задачей, требую-

щей проведения длительных экспериментов. Несмотря на проведенные испытания таких СТДУ с использованием аэродинамических труб, требуется проведение множества полномасштабных тестовых испытаний для определения надежности такой системы. Американская частная компания SpaceX создала многоразовую ступень ракеты «Фалькон-9», использующая аналогичный принцип посадки с 2015 г., но на дозвуковых скоростях³⁸.

Чтобы путешествие состоялось, нужны подходящие ракета-носитель и двигатели. Масса межпланетного корабля оценивается примерно в 100 т, чтобы отправить его к Марсу подойдет только сверхтяжелый носитель. Россия разрабатывает трехступенчатую ракету-носитель «Енисей» стартовой массой 3100 т и массой полезной

³⁸ Программа разработки многоразовых стартовых систем компанией SpaceX: https://en.wikipedia.org/wiki/SpaceX_space_shuttle#Re-entry_and_controlled_descent



Проекты ракет-носителей сверхтяжелого класса: «Енисей» (Россия), «Чанчжэн-9» (Китай), SLS (США). Источники: РКК «Энергия», CNSA, NASA

нагрузки до 115 т в рамках федеральной целевой программы «Создание космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса на 2020–2030 гг.» (подготовлена совместно с РАН весной 2019 г.). Но в 2021 г. генеральный конструктор РКК «Энергия» В.А. Соловьёв сообщил, что ее разработка приостановлена в основном по финансовым причинам³⁹. Китай тоже создает двухступенчатый носитель «Чанчжэн-9» стартовой массой 4100 т и массой полезной нагрузки до 130 т. В 2020 г. NASA в рамках программы «Артемиды» выбрала частную компанию Илона Маска SpaceX в числе одного из трех подрядчиков для разработки систем высадки людей на Луну в 2024 г. Одна из

них – перспективная ракета-носитель SpaceX Starship/Super Heavy стартовой массой до 5 тыс. т может вывести на орбиту корабль массой до 250 т. Система космических запусков (Space Launch System, SLS) NASA является в настоящий момент крупнейшей находящейся с 2011 г. в разработке ракетой-носителем стартовой массой 2600 т, способной запустить на околоземную орбиту корабль массой до 131 т, первый беспилотный пуск ее перенесен с 2017 г. на 2023 г.⁴⁰ Надо отметить, что при ее создании используются технологии прошлого века: стартовые ускорители и двигатели первой ступени RS-25D (создан в 1977 г.) от транспортной системы «Спейс Шаттл» (полеты кораблей

³⁹ Ракета-носитель «Енисей»: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Енисей_\(ракета-носитель\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Енисей_(ракета-носитель))

⁴⁰ Space Launch System: https://ru.wikipedia.org/wiki/Space_Launch_System



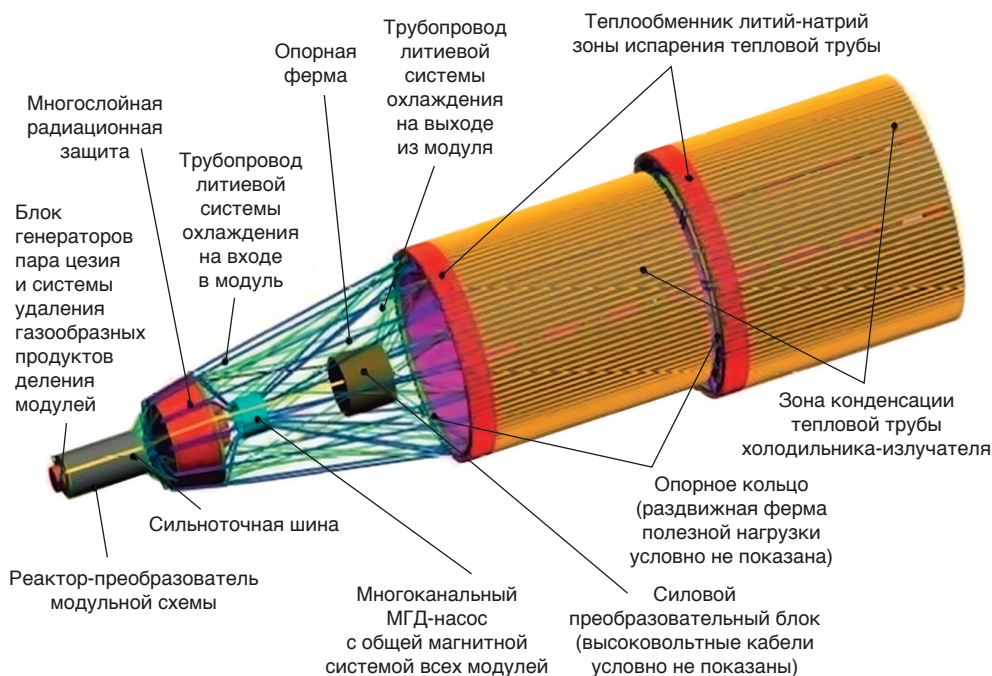
Вывоз макета ракеты-носителя SLS в Космическом центре им. Дж. Кеннеди (США). Июль 2021 г. Фото NASA

в 1981–2011 гг.), двигатели второй ступени RL-10 (использовался с 1963 г.) от ракет Saturn-1 и Delta-4. Так что это старые наработки, но именно эту ракету планируется использовать для пилотируемых миссий на Марс, на что потребуется 10 ракет SLS.

В июне 2021 г. инженеры Космического центра им. Дж. Кеннеди опустили 65-метровую основную ступень ракеты между двумя ускорителями, впервые соединив все три основных элемента, показав сверхтяжелую ракету полностью собранной. Однако нынешняя наземная инфраструктура для запусков SLS лишь по минимальным параметрам соответствует необходимым условиям: помещение для сборки ра-

кеты, гигантский транспортер для доставки ракеты на стартовую площадку и стартовую площадку. Если хотя бы один из этих компонентов сломается или не справится со своей задачей, то это поставит под вопрос возможность пилотируемой миссии на Марс. Например, любые задержки, связанные с настройкой и проверкой всех систем SLS, могут внести серьезные изменения в графики пусков. Такие же проблемы могут создать и менее значительные технические проблемы, в том числе погодные условия. Кроме того, стыковка на орбите, необходимая для сборки корабля, требует соблюдения окна запуска, когда возможно стартовать к Марсу, которое повторяется примерно через 780 суток. Если его пропустить, то следующее окно откроется лишь через два года. Помимо этого, запуск корабля к Марсу уже с орбиты Земли тоже требует соблюдения определенных временных рамок. На основе исторических данных разработаны модели запусков, показывающие отсутствие уверенности в том, что ракета SLS будет доступна к определенному пусковому окну, что в свою очередь может поставить крест на осуществлении марсианской экспедиции. Создание других ракет находится под сомнением, особенно нереален проект Илона Маска.

Для полета на Марс и обратно требуется огромный запас топлива, самым эффективным считается криогенное топливо – жидкий водород и кислород, которое при хранении необходимо постоянно охлаждать. Однако даже при максимальной подготовке, по статистике, из топливных баков ежемесячно испаряется 3–4%. Экипажу придется следить за выкипанием криогенного топлива в течение трех лет полета, поэтому необходимо провести множество долгосрочных испытаний технологий хранения топлива, чтобы убедиться в том, что его хватит при любых об-



Электроракетный буксир «Геркулес» с термоэмиссионной ядерной энергетической установкой массой 6,9 т, длиной 14,6 м и мощностью 500–600 кВт для программы полета на Марс. Проект РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

стоятельствах. Двигательная установка корабля включает: жидкостные ракетные двигатели, работающие на жидком кислороде и водороде, применяемые для разгона от Земли и торможения около Марса; ионные двигатели на аргоне или ядерные электрические используются для ускоренного перелета к Марсу и обратно. Например, РКК «Энергия» предложила использовать ядерный электроракетный двигатель в блоке из трех термоэмиссионных реакторов мощностью по 7 МВт, что обеспечивает необходимую энергооборуженность при межорбитальных перелетах. Но и здесь есть проблема отвода излишнего тепла от реакторов⁴¹.

⁴¹ Синавский В.В. Ядерные электроракетные двигатели для полета на Марс // Земля и Вселенная. 2017, № 5.

Важна и экологическая проблема, которую тоже необходимо решать. Подсчитаны уровень загрязнения окружающей среды при создании ракетно-космической техники и в результате ее эксплуатации. Для примера возьмем 20-летнюю экологическую историю создания и эксплуатации в 1986–2001 гг. российского орбитального комплекса «Мир». «Общая стартовая масса при запусках составила более 43 тыс. т, причем полезный груз (включая станцию «Мир», все корабли, экипажи, расходные материалы) – около 2%, а отходы – 98%, из них 90% – ракетное топливо и 8% – масса отработавших ступеней носителей, упавших преимущественно на сушу в районах падения первых ступеней в Карагандинской области (Казахстан) и вторых – на Алтае (Россия). При этом в атмосфере и на поверхно-



Перспективные пилотируемые космические корабли «Орёл» (Россия) и «Орион» (США) вряд ли полетят к Марсу. Рисунки РКК «Энергия» им. С.П. Королёва и NASA

сти Земли произведен значительный объем загрязнений окружающей среды. ...отходы составили 97–99%... в результате полета орбитального комплекса «Мир» суммарный объем загрязнений превысил 4 млн т (!). Это оказало длительное вредное и даже опасное воздействие на природную среду и здоровье людей (специалистов, работающих с техникой, населения, живущего вблизи предприятий, космодромов, в райо-

нах падения и на прилегающих территориях)... Давно пора космические объекты, материалы, энергию и средства, потраченные на создание и выведение их на орбиту (а это не менее 10 тыс. долларов/кг), использовать для самих космических полетов. Будет двойная выгода: экологическая и экономическая»⁴². С экологической точки зрения эксплуатация МКС принесла значительно больший вред, при современном состоянии техники и технологии еще более значительный принесет марсианская экспедиция. Вряд ли в ближайшее время можно решить эту сложную проблему.

Но главная проблема – политико-экономическая, в отличие от других многочисленных, с политической точки зрения ее решение преждевременно, с финансовой – она самая затратная за всю историю космонавтики. Политическая обстановка в обозримом будущем не способствует желанию какой-либо страны решиться на такую рискованную

и с непредсказуемыми последствиями программу. Стоимость программы марсианской экспедиции предположительно составит от 150 до 250 млрд долларов, сюда не входят расходы на поддержание наземной инфраструктуры, закупку ракет, космических кора-

⁴² Кричевский С.В. Экологическая история орбитального комплекса «Мир» // Земля и Вселенная. 2004, № 1.

блей и других необходимых затрат⁴³. Вероятно ее стоимость увеличится в 3–4 раза из-за на перечисленные выше работы, инфляции и других причин. Чтобы измерить величину расходов, приведем несколько цифр. Разработка российской ракеты-носителя «Енисей» оценивается в 10 млрд долларов, двигательной установки – около 2 млрд корабля – 1.5 млрд при годовом бюджете на 2022 г. госкорпорации «Роскосмос» 2.1 млрд. Это только разработка, однако нужно еще изготовление ракет, создание стартового комплекса и наземной инфраструктуры, испытания и т.д., поэтому ее стоимость увеличится примерно в 10 раз. Для сравнения, на программу «Аполлон» было потрачено более 25 млрд долларов в ценах 1960-х гг., в переводе на нынешние деньги это более 150 млрд долларов! Корабль «Аполлон-11» стоил 355 млн долларов, за ракету-носитель «Сатурн-5» пришлось выложить еще 185 млн. Например, к декабрю 2019 г. общая стоимость проекта SLS составила 14.8 млрд ожидается, что к концу 2022 г. цена вырастет до 18 млрд, т. к. первый запуск перенесен на 2023 г., то стоимость программы вырастет до 22.8 млрд. На 2022 г., по оценкам NASA, общая стоимость первой миссии составит 4.1 млрд (из которых 2.2 млрд потрачены на создание ракеты SLS, 568 млн – на наземные системы, 1 млрд – на корабль «Орион», 300 млн – на сервисный модуль для него). Программа испытаний SLS к 2024 г. обойдется США в 50 млрд это при годовом бюджете NASA около 20 млрд. Но это только начало, предстоит еще много работы по созданию

⁴³ Для сравнения, общая стоимость Международной космической станции (1993–2024) – самого дорогого космического проекта в 2022 г. – оценивалась в 205 млрд долларов (!): <https://www.innov.ru/news/fun/skolko-stoit-mks-mezhduna/>

и испытаниям систем безопасности, на которые уйдут десятки лет. Вряд ли NASA без кооперации с другими космическими агентствами сможет осилить эту грандиозную программу. Также как не смогла справиться с программой Freedom (свобода, 1988–1993 гг.) по созданию большой орбитальной станции, вылившейся в MKC, т.к. выяснилось, что стоимость разработки слишком велика, поэтому США приняли решение создать MKC совместно с Россией и ESA. Современная напряженная политическая обстановка в мире и сложная экономическая ситуация скорее всего отодвинут создание ракет и космического корабля для марсианской экспедиции на неопределенное время, а возможно и закроют этот вопрос.

Несмотря на перспективы полета на Марс, все еще остается неясными цели и необходимость такой экспедиции. Предстоит решить множество перечисленных проблем, которые требуют большого количества времени и затрат, чтобы осмелиться на такое рискованное предприятие. Тем не менее оптимисты в NASA верят, что если им не помешают никакие мировые катаклизмы, то агентство отправит человека на Марс в ближайшие два десятилетия. Посмотрим, но вряд ли. Как показывает история, развитие космонавтики связано, прежде всего, с прикладными задачами и насущными проблемами цивилизации, поэтому наиболее вероятно, что пилотируемая экспедиция на Марс либо состоится в отдаленном будущем, когда найдутся веские причины и способы ее проведения, либо никогда. Скорее всего, освоение Марса продолжится с помощью роботизированных систем и искусственного интеллекта, которые без риска для людей смогут успешно решить все поставленные перед марсианской экспедицией задачи.

РОССИЯ – США: 50 ЛЕТ СОТРУДНИЧЕСТВА В КОСМОСЕ

Часть 1

ВЕДЕШИН Леонид Александрович,

доктор технических наук

Институт космических исследований РАН

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394822050085

Основы совместного научно-технического сотрудничества в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях были заложены более 50 лет назад во время первой встречи президента АН СССР академика М.В. Келдыша с исполняющим обязанности директора NASA доктором Дж.М. Лоу¹. Проведению этой встречи предшествовала активная переписка между директором NASA доктором Томасом Пейном²



Руководитель пилотируемых полетов NASA Джордж Лоу. Фото NASA

¹ Джордж Майкл Лоу (1926–1984) – администратор NASA в 1958–1976 гг., заместитель директора Центра пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне (ныне Космический центр пилотируемых полетов им. Л. Джонсона) в 1964–1969 гг., заместитель директора NASA, руководитель пилотируемых полетов в 1969–1976 гг., принимал важные решения в качестве руководителя полетов по программе «Аполлон».

² Томас Отген Пейн (1921–1992) – ученый, инженер, администратор NASA в 1968–1970 гг., третий директор NASA в 1969–1970 гг., реанимировал программу «Аполлон» после трагедии 27 января 1967 г. – гибели экипажа корабля «Аполлон-1» (ЗиВ, 2017, № 3, с. 58–59), взял на себя ответственность за осуществление первых лунных экспедиций «Аполлон-11» и «Аполлон-12» в 1969 г., разработал амбициозный план по созданию большой орбитальной станции «Скайлэб», лунной базы и планетных исследований до конца 1970-х гг.,

и Президентом АН СССР академиком М.В. Келдышем³. Т. Пейн в своих письмах М.В. Келдышу предлагал провести совместный космический полет со стыковкой американского и советского космических кораблей (КК). В результате переписки была достигнута договоренность о встрече в январе 1971 г. российской и американской делегаций

в 1985 г. назначен председателем Национальной комиссии по космосу, в мае 1986 г. был опубликован отчет комиссии «Открывая космические рубежи», в котором содержалась «Декларация о космосе» с долгосрочной космической программой США.

³ Аким Э.Л., Боровин Г.К. Мстислав Всеволодович Келдыш // Земля и Вселенная, 2011, № 1. Губарев В.С. Три звезды героя: знания и страсти // Земля и Вселенная, 2021, № 1–2.

в Москве. 24 мая 1972 г. было подписано «Соглашение между СССР и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях», которое легло в основу научно-технического сотрудничества АН СССР и NASA.

ПЕРВЫЕ КОНТАКТЫ СССР И США В КОСМОНАВТИКЕ

После первого в мире пилотируемого космического полета Ю.А. Гагарина⁴ в поздравительном послании, направленном Н.С. Хрущёву, Президент США Дж. Кеннеди написал: «Я искренне желаю, чтобы в своем продолжающемся познании космического пространства наши страны смогли работать вместе на благо всего человечества». Первые предложения совершить совместный космический полет были озвучены Дж. Кеннеди в сентябре 1963 г. на Генеральной Ассамблее ООН, однако они были отклонены советской стороной по ряду причин, в подоплеке которых лежал престиж государства и начало соперничества за лидерство в космической сфере.

Главным инициатором сотрудничества СССР и США в космической области в начале 1970-х гг. выступило NASA. С одной стороны, это была экономическая причина, поскольку начиная

⁴ *Петров Б.Н.* Десятилетие подвига Гагарина, *Титова Г.С.* Юрий Гагарин был первым // Земля и Вселенная, 1971, № 2; *Ветров Г.С.* Королёв и Гагарин // Земля и Вселенная, 1981, № 2; *Еремеева А.И.* Чтоб сказку сделать былью! // Земля и Вселенная, 1984, № 2.

с 1965 г. бюджет NASA постоянно сокращался: с 5.2 млрд (1965) до 3.3 млрд долларов (1971), тогда как амбициозную программу «Аполлон» необходимо было завершать, с другой стороны, специалисты NASA не скрывали свой интерес к полученным в Советском Союзе результатам в космических исследованиях Луны, Венеры и Марса, в частности к технологиям стыковки кораблей с орбитальными станциями «Салют»⁵, долгосрочным пилотируемым полетам и медико-биологическим достижениям в обеспечении этих работ. Новые космические программы



Передача тренировочного макета ВР-1227 командного отсека корабля «Аполлон» американским морякам в Советской гавани Мурманска. 6 сентября 1970 г. Фото Тамаш Фихер

СССР и США в эти годы начинали переклещиваться на изучение Луны и других планет Солнечной системы с помощью автоматических межпланетных станций (АМС), а также проведение околосредных исследований на долгосрочных пилотируемых орбитальных станциях (ДОС). СССР в те годы также

⁵ *Феоктистов К.П.* Орбитальная станция «Салют» // Земля и Вселенная, 1972, № 2.



Директор NASA Томас Пейн и директор Центра им. Л. Джонсона NASA доктор Роберт Гилрут перед макетом КК «Аполлон». Офис NASA, 9 апреля 1968 г. Фото NASA

проявлял заинтересованность в развитии сотрудничества с США в космосе. Примером может служить дружеский акт передачи американской стороне 6 сентября 1970 г. в Мурманске утерянного в 1968 г. тренировочного макета ВР-1227 командного отсека корабля «Аполлон» во время тренировок по отработке возвращения астронавтов с Луны и обнаруженного в Атлантическом океане⁶.

На совещании 18–21 января 1971 г. в АН СССР делегации СССР и США договорились об основных направлениях сотрудничества в космосе и процедуре обмена результатами исследований. В итоге был подписан документ о совместной деятельности в области космической физики, метеорологии, биологии и медицины, изучения при-

⁶ Железняков А.Б. Забытый эпизод времен «холодной войны». Секретные материалы, № 1 (154), январь 2005 г., С. 13.

родной среды. С целью разработки и координации совместных проектов и экспериментов были созданы совместные рабочие группы (СРГ) из ученых и специалистов СССР и США по каждому научному направлению. В подготовке программы исследований с советской стороны принимали участие известные ученые: академики М.В. Келдыш, Б.Н. Петров, А.П. Виноградов, О.Г. Газенко, Г.И. Петров, К.Я. Кондратьев, Е.К. Фёдоров и др. В процессе обсуждения делегации АН СССР и NASA договорились предпринять дальнейшие совместные шаги и рассмотреть возможные новые направле-

ния сотрудничества. В частности, делегации решили обменяться образцами лунного грунта, полученными экспедициями «Аполлон» и советскими АМС «Луна-16» и «Луна-20». В ходе встречи доктор Дж. Лоу предложил провести совместный пилотируемый испытательный полет кораблей СССР и США для отработки методов спасения космонавтов в космосе⁷. М.В. Келдыш выразил принципиальное согласие. Среди основных направлений российско-американского сотрудничества этот проект стал главным, так как больше всего соответствовал принятому в 1967 г. в ООН Договору по космосу, в котором было предусмотрено обязательство государств оказывать в случае необходимости взаимную помощь космонавтам различных стран во время их нахождения в космосе или на дру-

⁷ Соколов В.Б. Спасательные операции в космосе // Земля и Вселенная, 1974, № 1.

гих небесных телах. 21 января 1971 г. был подписан «Итоговый документ о сотрудничестве в исследовании космического пространства в мирных целях между АН СССР и NASA», который положил начало реализации многих совместных научно-технических проектов СССР и США в космосе и на Земле.

Для подготовки прошедшей встречи доктора Дж.М. Лоу и академика М.В. Келдыша 26–28 октября 1970 г. в АН СССР состоялось первое совещание специалистов двух стран, чтобы обсудить возможность и технические проблемы стыковки космических кораблей «Союз» (СССР) и «Аполлон» (США). Делегации возглавляли: американскую – директор Центра пилотируемых полетов им. Л. Джонсона доктор Р. Гилрут⁸, советскую – председатель Совета по международному сотрудничеству в области исследования и использования космического пространства в мирных целях («Интеркосмос») при АН СССР академик Б.Н. Петров⁹. Были образованы СРГ для выработки и согласования технических требований по обеспечению совместимости советских и американских кораблей. Выяснилось, что КК «Союз» и «Аполлон» не удовлетворяют ни одному из условий совместимости, поэтому необходима большая подготовительная работа – модернизация корабля «Союз», созда-



Председатель Совета «Интеркосмос» АН СССР (1966–1980) академик Б.Н. Петров

ние стыковочного устройства и шлюза для перехода экипажей. На встрече состоялся обмен мнениями по основным направлениям обеспечения совместимости средств сближения и стыковки кораблей, были представлены различные варианты схем стыковки. США согласились принять советский вариант стыковки, имевший опыт практического использования в космосе. Академику Б.Н. Петрову и доктору Р. Гилруту была поручена дальнейшая координация этих работ.

Стыковочный агрегат на шлюзовой камере и корабле «Союз» был создан на основе советской конструкции, разработанной в ЦКБ экспериментального машиностроения (ныне РКК «Энергия» им. С.П. Королёва) под руководством доктора технических наук В.С. Сыромятникова¹⁰. В конце 1972 г. советский универсальный андрогинный стыко-

⁸ Роберт Роу Гилрут (1913–2000) – американский аэрокосмический инженер, пионер авиации и космонавтики, первый директор Центра пилотируемых космических кораблей NASA (ныне Космический центр пилотируемых полетов им. Л. Джонсона) в 1963–1973 гг., участвовал в ранних исследованиях сверхзвуковых полетов и самолетов с ракетным двигателем в 1937–1958 гг., в программах пилотируемых космических полетов «Меркурий», «Джемини» и «Аполлон».

⁹ Петров Б.Н. «Интеркосмос» – программа мира и прогресса // Земля и Вселенная, 1977, № 6; Рутковский В.Ю. Борис Николаевич Петров // Земля и Вселенная, 2013, № 4.

¹⁰ Сыромятников В.С. Стыковка – это уже сотрудничество // «Союз» и «Аполлон» (сборник статей), под редакцией К.Д. Бушуева. М.: Политиздат, 1976; Памяти Владимира Сергеевича Сыромятникова // Земля и Вселенная, 2007, № 2.



Томас Стаффорд, представитель NASA, А.С. Елисеев, В.С. Сыромятников, Гленн Ланни (NASA) осматривают универсальную (андрогинную) стыковочную систему перед ее тестированием. Институт космических исследований АН СССР, октябрь 1972 г. Фотоархив ЦНИИмаш

вочный агрегат АПАС-75 до полета кораблей был испытан в Москве и Хьюстоне, а также в полете КК «Союз-16» в декабре 1974 г. Состоялся обмен мнениями о проведении работ по обеспечению совместимости радиосистем и управлению полетом. Надо было решить еще одну очень важную проблему: совмещения параметров внутренней атмосферы кораблей после стыковки. На КК «Союз» атмосфера состояла из воздуха при давлении 765 мм рт. ст., тогда как на «Аполлоне» – из чистого кислорода при давлении 260 мм рт. ст., поэтому при переходе в другой корабль космонавт (астронавт) должен был провести не менее двух часов в специальной шлюзовой камере, которую надо было еще разработать и изготовить – это возложили на американскую сторону. На встрече были созданы СРГ для согласования технических требований

по обеспечению совместимости кораблей.

Первоначально в основу американских предложений были положены рекомендации отчета фирмы North American Rockwell по контракту с NASA об изучении проблем стыковки американского КК «Аполлон» и советской ДОС «Салют». В этом отчете утверждалось, что эксперимент по стыковке возможен уже в июне 1974 г., однако для более тщательной подготовки этот полет рекомендовалось провести в июне 1975 г. Единственными новыми элементами, которые надо было разработать, были шлюзовая камера для преодоления проблем разности атмосфер КК «Аполлон» и ДОС «Салют», а также

универсальный стыковочный узел. К моменту выпуска отчета фирма изготовила макет такой камеры длиной 2.7 и диаметром 1.4 м. От СССР для проведения совместного эксперимента надо было оснастить «Салют» вторым универсальным андрогинным стыковочным узлом – во время полета КК «Аполлон» должен был находиться в состыкованном с «Салютом» состоянии в течение двух недель. Стороны обсудили соответствующую программу полета и проведения экспериментов. Предлагалось также провести второй полет летом 1976 г. О планах первого (1975) и возможного второго (1976) совместных полетов было решено объявить во время визита Президента США Р. Никсона в СССР в мае 1972 г. Накануне этой встречи советская сторона отклонила подготовленный NASA план стыковки КК «Аполлон» с ДОС

Первая международная стыковка в космосе космических кораблей «Союз-19» и Apollo-ASTP. Картина американского художника Роберта Макколла, 1974 г.

«Салют» и предложила провести в 1975 г. стыковку КК «Союз» и «Аполлон».

4–6 апреля 1972 г. в Москве состоялась вторая встреча специалистов СССР и США по подготовке экспериментального полета КК «Аполлон» и «Союз» под руководством и.о. президента АН СССР академика В.А. Котельникова и и.о. директора NASA доктора Дж.М. Лоу. На этой встрече специалисты разработали принципы, по которым было решено осуществлять подготовку и проведение эксперимента, а также рассмотрели технические и организационные вопросы выполнения проекта. В результате переговоров был подписан «Итоговый документ по вопросу создания совместимых средств сближения и стыковки кораблей СССР и США».

Главными участниками реализации проекта «Союз – Аполлон» стали NASA и «Интеркосмос» АН СССР, которые активно взаимодействовали еще до начала непосредственных переговоров руководите-

Советские и американские руководители ЭПАС в Президиуме Академии наук СССР на приеме у президента АН СССР М.В. Келдыша. В центре – профессор Дж. Лоу (NASA) передает документы М.В. Келдышу. 21 января 1971 г. АРАН. Ф. 1729. Оп. 2. Д. 100. Л. 3



лей СССР и США. Поэтому параллельно с проработкой технического проекта экспериментального полета «Аполлон» – «Союз» (ЭПАС) началась подготовка к встрече американского Президента Р. Никсона в Москве. Советская сторона представила свой вариант, который содержал основные положения Соглашения, подписанного доктором Дж. Лоу и академиком М.В. Келдышем 21 января 1971 г. Указанный документ лег в основу «Соглашения между СССР и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях», подписанного 24 мая 1972 г. в Москве Председателем





Подписание Соглашения о сотрудничестве в космосе Президентом США Р. Никсоном и председателем Совета Министров СССР А.Н. Косыгиным. Москва, Кремль, 24 мая 1972 г.

Совета Министров СССР А.Н. Косыгиным и Президентом США Р. Никсоном. Соглашение предусматривало дальнейшее расширение сотрудничества сторон в области космической метеорологии, изучения природной среды, исследования околоземного пространства, Луны и планет, космической биологии и медицины. Была также достигнута договоренность о проведении работ по созданию совместимых средств сближения и стыковки пилотируемых КК «Союз» и «Аполлон» с целью повышения безопасности полета человека в космос и обеспечения возможности осуществления в дальнейшем совместных научных экспериментов¹¹. Организация и координация совместных работ по намеченным в Соглашении программам и проектам была поручена Совету «Интеркосмос» АН СССР.

¹¹ Хрунов Е.В. «Союз» и «Аполлон» – совместные эксперименты // Земля и Вселенная, 1973, № 6; Леонов А.А. Экспериментальный полет «Аполлон» – «Союз» // Земля и Вселенная, 1974, № 2; Ребров М.Ф. Байконур – Канаверал: единая программа // Земля и Вселенная, 1975, № 3.

ПРОЕКТ ЭПАС

После подписания межправительственного соглашения состоялась серия технических совещаний совместных рабочих групп в июле 1972 г. в Хьюстоне и в ноябре в Москве в ИКИ АН СССР. Первоначально советские и американские специалисты считали, что основная проблема – это организация полета и решение ряда технических задач. Однако это оказалось не так, поскольку обе стороны в работе должны были четко понимать друг друга. Поэтому необходимо было разработать и согласовать сотни технических документов на русском и английском языках. Эта работа требовала много времени и привлечения технически грамотных специалистов. В тоже время надо было соблюдать конфиденциальность документов и технологий.

В 1972 г. техническим директором ЭПАС и главным конструктором проекта «Союз – Аполлон» и корабля «Союз-М» (7К-ТМ) с советской стороны был назначен первый замес-



Технические руководители программы ЭПАС член-корреспондент АН СССР К.Д. Бушуев и доктор Г. Лани (NASA) в центре, слева и справа – экипажи кораблей «Союз-19» и Apollo-ASTP. 1974 г.

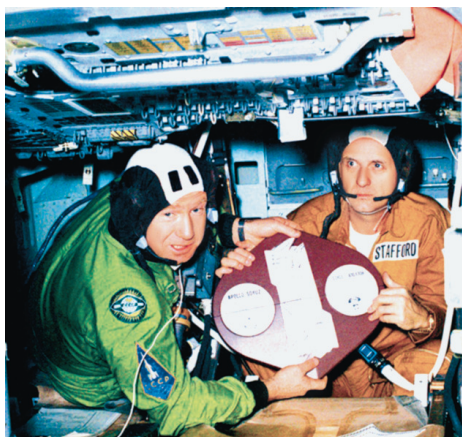
титель Главного конструктора ЦКБ экспериментального машиностроения член-корреспондент АН СССР К.Д. Бушуев¹², с американской – руководитель полетов на Луну доктор Г. Лани¹³. Подготовка совместного полета и стыковки на орбите включала: создание шлюзового модуля, совершенствование систем жизнеобеспечения, управления полетом и систем связи, разработку новых стыковочных

устройств в сотрудничестве с американскими инженерами, модификацию некоторых систем и испытательные полеты КК «Союз» в беспилотном и пилотируемом режимах.

В 1973–1975 гг. советские космонавты побывали несколько раз в Центре пилотируемых полетов им. Л. Джонсона под Хьюстоном, где ознакомились с устройством корабля «Аполлон» и техническими средствами американского Центра, опробовали шлюзовую (переходный) модуль и провели совместные тренировки. Американские астронавты посетили Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина с целью изучения систем корабля «Союз»: орбитальный аппарат и пульт управления корабля, системы ориентации, радиосвязи и терморегулирования; для них организовали занятия на тренажерах, имитирующих совместный полет.

¹² Решетин А.Г. Константин Давыдович Бушуев // Земля и Вселенная, 1999, № 5.

¹³ Глинн Ланни (1936–2021) – американский инженер, сотрудник NASA в 1958–1985 гг., руководитель пилотируемых полетов по программам «Джемини» и «Аполлон» в 1965–1972 гг., за руководство работами по спасению экипажа КК «Аполлон-13» был награжден NASA медалью «За выдающиеся заслуги», руководитель программы ЭПАС в 1972–1975 гг., менеджер программы «Спейс Шаттл» в 1976–1985 гг.



Совместные тренировки по программе ЭПАС: справа – Д. Слейтон, А. Леонов, Т. Стаффорд и В. Кубасов в орбитальной отсеке КК «Союз» в ЦПК им. Ю.А. Гагарина, Звёздный городок; слева – А.А. Леонов и Т. Стаффорд в КК «Аполлон» в Космическом центре им. Л. Джонсона, Хьюстон. 1974 г.

30 января 1973 г. NASA объявило свои экипажи по программе ЭПАС: основной – Т. Стаффорд, В. Бранд, Д. Слейтон,

дублирующий – А. Бин, Р. Эванс, Дж. Лусма, вспомогательный – К. Бобко, Р. Криппен, Р. Овермайер, 5 мая 1973 г. АН СССР



Основные, дублирующие и вспомогательные экипажи в Центре подготовки космонавтов: на лестнице – Р. Овермайер, К. Бобко, В. Джанибеков, Ю. Романенко, А. Иванченков, сидят – Д. Слейтон, А. Леонов, В. Шаталов, В. Бранд, В. Кубасов, Р. Эванс и А. Филипченко. Выступает Т. Стаффорд. Звездный городок, июнь, 1974 г.



Старты кораблей «Союз-19» и Apollo-ASTP. Космодромы Байконур и Мыс Канаверал, 15 июля 1975 г. Фото Роскосмос и NASA.

назвала имена советских экипажей: А.А. Леонов и В.Н. Кубасов, дублирующий – А.В. Филипченко и Н.Н. Рукавишников, вспомогательный – В.А. Джанибеков и Б.Д. Андреев. Заранее утвердили дату начала совместного полета – 15 июля 1975 г., это был первый случай для советской космонавтики, когда дата старта объявлялась заранее, да еще за два с половиной года до него. 14 октября 1974 г. состоялся визит директора NASA Дж. Флетчера в СССР. В 1974 г. в порядке подготовки к выполнению программы ЭПАС были проведены испытательные беспилотные полеты модернизированных кораблей

«Космос-638» (3–13 апреля) и «Космос-672» (12–18 августа), КК «Союз-16» (2–8 декабря) с экипажем А.В. Филипченко и Н.Н. Рукавишниковым, а также трех американских пилотируемых полетов по программе «Скайлэб» (1973–1974)¹⁴.

15 июля 1975 г. с космодрома Байконур состоялся запуск КК «Союз-19» с космонавтами Алексеем Леоновым и Валерием Кубасовым. Через 7 часов 30 мин с космодрома им. Дж. Кеннеди на мысе Канаверал состоялся

¹⁴ Марков А.Е. Программа «Скайлэб» // Земля и Вселенная, 2004, № 3.



Переход через шлюзовой (переходный) модуль Алексея Леонова и Томаса Стаффорда во время полета. 17 июля 1975 г. Фото NASA

старт КК Apollo-ASTP с астронавтами Томасом Стаффордом, Вэнсом Брандом и Дональдом Слейтоном. После

маневра на орбите 17 июля 1975 г. состоялась их стыковка и был впервые осуществлен взаимный переход с одного корабля на другой. Во время полета были осуществлены запланированные совместные научные эксперименты: «УФ-поглощение», «Универсальная печь», «Зонообразующие грибки» и «Микробный обмен». После около двух суток в состыкованном состоянии, 19 июля произошло разделение кораблей, они отошли на расстояние 200 м друг от друга и выполнили уникальный эксперимент «Искусственное солнечное затмение», через 40 минут корабли снова состыковались и в течении трех часов продолжили совместный полет, затем снова расстыковались. После завершения автономного полета «Союз-19» приземлился 21 июля



Экипажи кораблей Apollo-ASTP и «Союз-19» у макета орбитального комплекса «Аполлон» – «Союз» в Космическом центре им. Дж. Кеннеди. США, Флорида, 10 февраля 1975 г. РГАНТД. Арх. № 1-359

в Казахстане, Apollo-ASTP приводился 24 июля в акватории Тихого океана¹⁵.

Несмотря на некоторые попытки с российской стороны в те годы продолжить совместные полеты, договориться с США не получилось. Крупные космические проекты стали финансово непосильными для отдельно взятой страны. Для сотрудничества требовался взаимный интерес, который появился только в конце 1980-х – начале 1990-х гг. В то время Советский Союз имел возможность осуществлять длительные экспедиции на орбитальном комплексе «Мир» и выполнять большой объем экспериментов и исследований.

В США планы по созданию своей большой пилотируемой станции «Фридом» не получили поддержки со стороны администрации США из-за огромных расходов на ее создание, т. к. нужны были большие средства для выполнения другой экономически затратной программы «Спейс Шаттл». Возникла взаимовыгодная ситуация, когда обе страны были заинтересованы в сотрудничестве: США – использовать наш опыт длительных полетов и возможность проведения экспериментов на российской ДОС «Мир», а также осуществить полеты на нее астронавтов NASA для накопления опыта длительных экспедиций, Россия – получить уникальную возможность доставки на орбитальный комплекс «Мир» космонавтов и грузов на американских кораблях многоразового использования «Спейс Шаттл» и возвращения их на Землю¹⁶.



Расстыковка американского корабля Atlantis STS-71 с российской орбитальной станцией «Мир». Съемка с КК «Союз ТМ-21». 4 июля 1995 г. Фото А.Я. Соловьёва и Н.М. Бударина

17 июня 1992 г. было заключено «Соглашение между Российской Федерацией и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях», в котором предусматривалось осуществление полетов на орбитальный комплекс «Мир» корабля многоразового использования «Спейс Шаттл» с участием российских космонавтов и американских астронавтов. Для стыковки корабля «Спейс Шаттл» с комплексом «Мир» использовался агрегат стыковки АПАС-75, разработанный членом-корреспондентом РАН В.С. Сыромятниковым в РКК «Энергия». Аналогичная система использовалась и для стыковки корабля «Спейс Шаттл» с Международной космической станцией (МКС). Проект полета челноков на ДОС «Мир» получил в США название «первой фазы», программа создания МКС стала «второй фазой» многостороннего космического сотрудничества¹⁷.

¹⁵ Кравец В.Г. «Союз» – «Аполлон»: программа выполнена // Земля и Вселенная, 1975, № 4; Первушин А. Рукопожатие врагов. 2021 г.: <https://warspot.ru/19992-rukopozhatie-vragov>.

¹⁶ Мировая пилотируемая космонавтика. История, техника, люди. Энциклопедия. Под ред. Ю.М. Батурина. М.: РТ-Софт, 2005; Герасютин С.А. Программа «Спейс Шаттл» завершена // Земля и Вселенная, 2012, № 2.

¹⁷ Герасютин С.А., Левитан Е.П. Заря новой эры космических станций // Земля и Вселенная, 1999, № 2; Лындин В.И. Первая основная экспедиция на МКС // Земля и Вселенная, 2001, № 5.



Церемония обмена образцами лунного грунта в здании Президиума АН СССР: руководитель отдела планет и наук о Земле Центра пилотируемых космических полетов NASA доктор Пол Гаст, директор офиса исследований Луны программы «Аполлон» NASA Ли Шерер, академик А.П. Виноградов, переводчик Игорь Почиталин, председатель совета «Интеркосмос» академик Б.Н. Петров. 13 апреля 1972 г. Архив РАН

2 сентября 1993 г. Россия и США подписали Соглашение о строительстве Международной космической станции, для реализации этого проекта были созданы СРГ, которые использовали опыт проекта ЭПАС при решении технических и организационных вопросов. 27 марта 2001 г. вступило в силу «Соглашение между правительствами Канады, Российской Федерации, США, Японии и руководством Европейского космического агентства относительно сотрудничества по Международной космической станции гражданского назначения».

Совместный полет КК «Союз» и «Аполлон» заложил основу будущих международных полетов в космос и созданию в 1998 г. МКС, на которой совместные полеты продолжают и в наше время.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА, ЛУНЫ И ПЛАНЕТ

В соответствии с «Итоговым документом о сотрудничестве в исследовании космического пространства в мирных целях между АН СССР и NASA» 13 апреля 1972 г. в Президиуме АН СССР состоялась передача представителям NASA образцов лунного грунта, из числа доставленных на Землю советской автоматической станцией «Луна-20». Од-

новременно советским ученым был передан образец лунного грунта, полученного экипажем американского корабля «Аполлон-15»¹⁸.

После подписания 24 мая 1972 г. Соглашения по космосу в Президиуме АН СССР 10 июня 1972 г. состоялась встреча с директором офиса исследований Луны NASA Л. Шерером¹⁹, на которой вице-президент АН СССР академик А.П. Виноградов передал ему лунный грунт, доставленный «Луной-16» и «Луной-20» в обмен на образцы, доставленные КК «Аполлон-11» и «Аполлон-12».

В период проведения советских экспериментов на Луне по данным искусственного спутника Луны «Луна-10» (31 марта 1966 г.) советскими учеными впервые была построена карта грави-

¹⁸ Обмен лунным грунтом // Земля и Вселенная, 1972, № 4. С. 74.

¹⁹ Ли Р. Шерер (1919–2011) – американский авиационный инженер, директор лунных программ Управления космических наук NASA в 1964–1967 гг., директор отдела исследования Луны NASA по программе «Аполлон» в 1967–1971 гг., директор офиса исследований Луны NASA в 1971–1973 гг., директор Летно-исследовательского центра им. Х.Л. Драйдена NASA в 1971–1975 гг., директор Космического центра им. Дж. Кеннеди NASA в 1975–1979 гг., помощник администратора в штаб-квартире NASA в 1979–1985 гг.

тационного поля Луны²⁰. Советские ученые обнаружили это обстоятельство раньше американцев, которые были признательны за сообщение об этом открытии до начала миссии «Аполлон». В конце января 1973 г. на Международной конференции по планетным исследованиям в Москве американские ученые передали советским специалистам 17 фотографий территории, на которой совершила посадку «Луна-21». Фотографии были получены экспедицией КК «Аполлона-17» и были использованы советскими специалистами в 1973 г. для навигации «Лунохода-2» при движении в восточном направлении от места посадки²¹. На «Луноходе-2» был установлен советско-французский лазерный отражатель, который успешно использовался учеными для локации Луны станциями наблюдений в Крыму (СССР), Пик-дю-Миди (Франция) и обсерваторией МакДональд (США). В свою очередь, советские станции работали с отражателем «Аполлона-15».

В 1971–1972 гг. на орбитах вокруг Марса одновременно работали советские и американские АМС «Марс-2», «Марс-3» и «Маринер-9». Во время их работы между советскими и американскими центрами управления полетами была налажена связь для оперативного обмена информацией о наиболее интересных явлениях в атмосфере и на поверхности Марса, которые могли быть зарегистрированы каким-либо из аппаратов, в частности, были обнаружены полевые бури на Марсе. Ученые СССР и США по линии совета «Интеркосмос» АН СССР постоянно обменивались данными изучения Марса и Венеры, про-

водимого в рамках национальных программ. В 1973 г. в СССР были запущены АМС «Марс-5» и «Марс-7», на которых специалистами Франции был установлен ультрафиолетовый спектрометр (эксперимент УФС) для регистрации излучения в линии натрия. Эксперимент позволил определить температуру верхней атмосферы Марса 330–340 К, а также определить распределение атомарного кислорода в окрестностях планеты²².

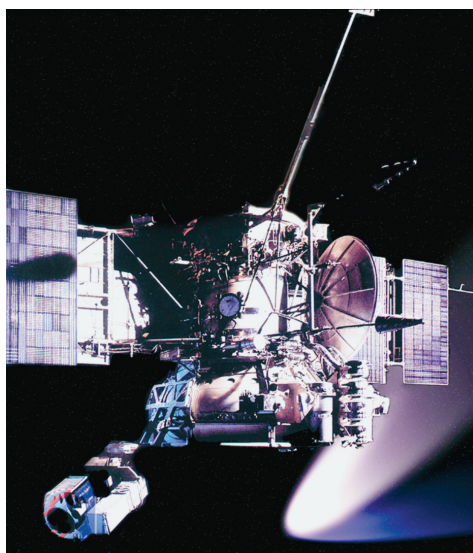
В 1975 г. на АМС «Венера-9» и «Венера-10» были установлены аналогичные французские приборы для определения температуры верхней атмосферы Венеры, а также содержания водорода и дейтерия. Полученные данные показали, что температура на высоте 500 км 450 К, а содержание водорода и дейтерия в атмосфере не превышает долей процента.

Изучение Венеры продолжилось по Международному проекту «Вега» (Венера и комета Галлея), состоявшего из двух идентичных АМС «Вега-1» и «Вега-2». В 1984–1986 гг. они успешно выполнили свои программы исследований Венеры и ядра кометы Галлея, в частности, впервые провели изучение венерианской атмосферы с помощью аэростатов. Научным руководителем проекта был директор ИКИ АН СССР академик Р.З. Сагдеев. В конструировании научных приборов и обслуживающих их систем участвовали ученые стран-участниц программы «Интеркосмос»: Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, СССР и ЧССР, а также Австрии, США, Франции, ФРГ, Японии и Европейского космического агентства. В СССР созданием научного комплекса проекта «Вега» занимался ряд научных учреждений АН СССР и НПО им. С.А. Лавоч-

²⁰ Микиша А.М. Как изучают гравитационное поле Земли и Луны // Земля и Вселенная, 1977, № 2.

²¹ Кузьмин Р.О. «Луноход-2» исследует Луну // Земля и Вселенная, 1973, № 3; Ведешин Л.А., Герасютин С.А. Первые советские научные эксперименты на Луне (к 50-летию посадки на Луну) // Земля и Вселенная, 2020 № 5.

²² Мороз В.И., Ксанфомалити Л.В. Марс без легенд // Земля и Вселенная, 1973, № 5; Ксанфомалити Л.В. «Марс-5»: поверхность и атмосфера красной планеты // Земля и Вселенная, 1974, № 5.



Советские межпланетные станции «Вега» исследуют ядро кометы Галлея в марте 1986 г. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

кина. Полеты станций «Вега» вписали блестящую страницу в историю освоения космоса²³. В честь АМС «Вега-1» и АМС «Вега-2» названа земля Веги (Vega Terra) на Плуtone.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

После подписания 24 мая 1972 г. «Соглашения между СССР и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях» была создана СРГ «Изучение природной среды из космоса», которую возглавили вице-президент АН СССР академик А.П. Виноградов и доктор Л. Джаффи (NASA). Среди основных направлений советско-амери-

канского сотрудничества в исследовании космоса большое значение придавалось вопросам изучения природной среды с помощью космических средств. Перед учеными СССР и США была поставлена задача исследования глубинных структур Земли, определения запасов влаги в почве, наблюдения за посевами сельскохозяйственных культур, изучение растительного покрова, различных свойств Мирового океана, его биологической продуктивности путем распознавания и анализа изображений на космических и аэроснимках. Широкое применение в этих исследованиях нашли телевизионные, фотографические и другие методы анализа, получаемые с метеорологических ИСЗ «NOAA», «Нимбус», «Метеор-1 и -2», первого спутника дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Ландсат-1» (ERTS-1, США; запущен 23 июля 1972 г.) для изучения климата, землепользования и картирования земной поверхности и с КК «Союз-22» (1976) и ДОС «Салют-6» и «Салют-7» (1978–1985)²⁴. Получение снимков с высоким спектральным и пространственным разрешением с американских спутников для советских ученых в те годы представлял большой интерес для разработки и совершенствования методов обработки космических данных и анализа подспутниковых полевых измерений.

Для выполнения совместных работ американскими и советскими учеными на национальных территориях были выбраны сходные по своим географическим признакам участки местности, на которых проводились аэрокосмические и наземные наблюдения по скоординированным программам. В 1975 г. с участием специалистов Института географии АН СССР и NASA

²³ Балебанов В.М. На встречу с кометой Галлея // Земля и Вселенная, 1985, № 1; Тамкович Г.М. Проект «Венера-Галлей»: первые предварительные результаты // Земля и Вселенная, 1986, № 5; Герасютин С.А. Исследование кометы Галлея (к 30-летию полета АМС «Вега» и «Джотто») // Земля и Вселенная, 2016, № 2.

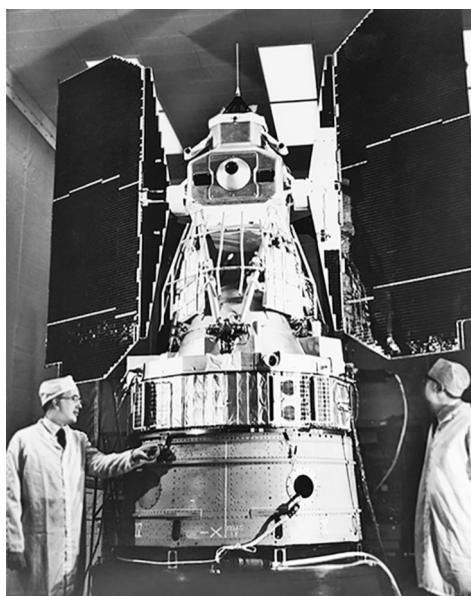
²⁴ Бачманов А.А. Космический эксперимент «Радуга» // Земля и Вселенная, 1977, № 2; Феоктистов К.П., Семёнов Ю.П. «Салют-7»: космические будни // Земля и Вселенная, 1984, № 3.

была разработана программа экспериментальных исследований растительности и земельных угодий на тестовых участках в Курской области и Южной Дакоте. Эти исследования в течение нескольких лет позволили разработать новые методы получения, обработки и анализа данных ДЗЗ, важные для развития сельского хозяйства страны.

Летом 1972 г. в Восточной Атлантике советские ученые выполнили «Тропический эксперимент» ТРОПЭКС-72 по комплексному исследованию взаимодействия океана с атмосферными процессами, а также наблюдения за поверхностью океана: волнением, цветностью воды, температурой, биомассой и др. Научная программа была скоординирована с учеными США, которые использовали для измерений данные с самолета-лаборатории и спутника ДЗЗ «Ландсат-1». Летом 1973 г. в Северо-Западной Атлантике и в Норвежском море эти исследования были продолжены с научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Курчатов» и с помощью многозональных спектрометров спутников «Ландсат-1», «Нимбус-5» и «НОАА-2». В 1976–1977 гг. были выполнены исследования у берегов Северо-Западной Африки. В Индийском и Атлантическом океанах с использованием данных ИСЗ «Ландсат-2», «НОАА-4» и «НОАА-5» и советских НИС²⁵. В течение многих лет с советской стороны этими работами руководил заместитель директора Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР академик В.Е. Виноградов.

Для выполнения исследований влажности почв на сходных тестовых участках в районе Феникс в штате Аризона и в Южной Дакоте (США, в районе Сиваша в Крыму, а также в Каширской степи в Узбекистане (СССР) проводилась микроволновая съемка с помощью

²⁵ Фёдоров К.Н., Скляр В.Е. Океан из космоса // Земля и Вселенная, 1977, № 5.



Американский спутник дистанционного зондирования Земли Landsat (ERTS-1) построен на модифицированной базе метеоспутника Nimbus 4, запущен 23 июля 1972 г. Фото NASA

различных радиометров, установленных на самолетах СССР и США, а также выполнялись первые СВЧ-радиометрические измерения на ИСЗ «Космос-243» и «Нимбус-5», которые представляли большой интерес для специалистов СССР и США. С советской стороны в этих экспериментах принимали участие специалисты Института радиотехники и электроники (ИРЭ) АН СССР во главе с профессором А.Е. Башариновым. Для выполнения этих экспериментов гидрологами обеих стран была разработана программа скоординированных исследований в горных районах бассейнов рек Сыр-Дарья (СССР) и Сан-Хоакин в Калифорнии (США).

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8.

Продолжение следует

КОСМОС АРХИМЕДА

КУЗЬМИН Андрей Валентинович,

кандидат физико-математических наук

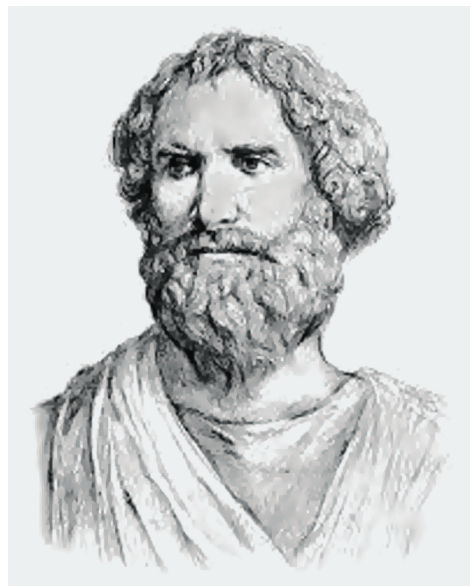
Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН

DOI: 10.7868/50044394822050097

Открытия, сделанные Архимедом с опорой на своего предшественника Аристарха Самосского, позволившие измерить диаметры космических сфер, превратили рассуждения о размере Космоса в область науки. У Архимеда впервые в истории астрономии появляются реальные числовые оценки размеров всех планетных сфер. В основе этих измерений лежала приблизительная, чрезвычайно завышенная оценка размера Земли. Ответ на вопрос о ее происхождении найден в письменных источниках, фиксирующих поздний вариант устной древнеиранской мифологической традиции. В одних фрагментах мифологических преданий, в форме откровения, сообщается размер Земли, завышенный приблизительно в 5.5 раз, в других – определяются как «беспредельный».

АРХИМЕД

Древнегреческий ученый Архимед Сиракузский (ок. 287–212 г. до н.э.) известен как выдающийся физик, математик, механик и астроном своего времени. Не случайно в «Альмагесте» Клавдия Птолемея его имя упоминается наравне с именем Гиппарха (ЗиВ, 2012, № 4). Ни одна из астрономических работ Архимеда до наших дней не сохранилась. Исключением здесь является его определение видимой угловой



Архимед Сиракузский

величины солнечного диска. Этот результат отражен в популярном (в том числе и в русском переводе) математическом труде Архимеда, известном под названием «Псаммит» (Ψαμμίτης), что в буквальном переводе означает: «Исчисление песчинок»¹. Полученная Архимедом величина точно соответствует действительности – порядка

¹ Архимед. Исчисление песчинок (Псаммит) / Перевод, вступ. статья и комментарии Г.Н. Попова. М. – Л.: Государственное технико-теоретическое издательство, 1932.

0.5 градуса². Об остальных достижениях Архимеда-астронома известно из упоминаний и комментариев, содержащихся в текстах поздних античных авторов.

Один из таких комментариев принадлежит христианскому автору, жившему в первой половине III века до н.э. – св. епископу-мученику, богослову Ипполиту. В одном из своих произведений Ипполит, ссылаясь на Архимеда, приводит значения расстояний между Землей, Луной, Солнцем и всеми планетами (всего 12 величин), выраженные в стадиях (греко-римская стадия равна приблизительно 177 метрам).

На основе данных о планетных расстояниях из произведения Ипполита в совокупности с информацией, содержащейся в «Псаммите», историк астрономии С.В. Житомирский (1928–2010) реконструировал систему мира Архимеда, созданную в III в. до н.э., в которой отражена не только основная структура Космоса, но и взаимные расстояния между его основными объектами.

СТРУКТУРА КОСМОСА АРХИМЕДА

В центре геометрической модели Космоса Архимеда находится Земля. Вокруг Земли обращаются Луна, Солнце, Юпитер и Сатурн. Меркурий, Венера и Марс обращаются вокруг Солнца. Орбита Марса такова, что она дважды пересекает геоцентрические орбиты Солнца, Юпитера и Сатурна. Земля и Луна, также как и Венера, Меркурий и Солнце, всегда находятся внутри орбиты Марса.

Гео-гелиоцентрическая модель Космоса Архимеда, в отличие от гелиоцен-

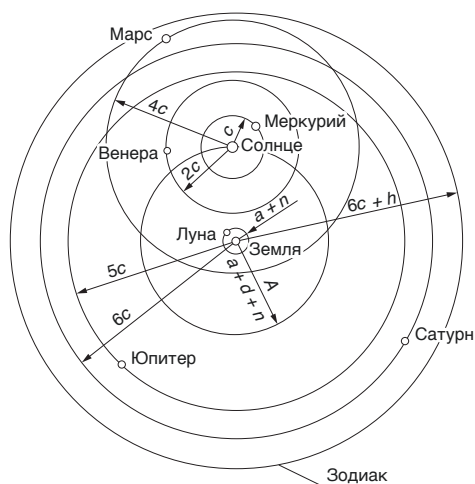
трической модели Аристарха не была отвергнута сообществом, поскольку не нарушила общепринятую в античности традицию геоцентризма.

Все расстояния между элементами Космоса, то есть орбитами планет, в модели Архимеда имеют конкретные размеры. Космос Архимеда обладает двумя центрами. Нельзя исключить, что Архимедом было «построено» несколько вариантов числовых соотношений диаметров орбит, но поздними авторами был сохранен и передан лишь тот вариант, который более остальных соответствовал идеям Платона. Согласно Платону, отношения величин диаметров планетных орбит («сфер») должны соответствовать гармоничным числовым последовательностям, составленным из чисел арифметической и геометрической прогрессий.

Современники также оценивали построение Архимеда, опираясь на идеи Платона. Те элементы, которые им не соответствовали (например, соотношения диаметров соседних планетных орбит), могли опровергаться при принятии предлагаемой картины Космоса в целом.

В основе рассуждений Архимеда были наблюдаемые изменения яркостей планет. Именно особенности движений Меркурия, Венеры и Марса и сопутствующие изменения их блеска привели Архимеда к созданию «бицентричной» геоцентрической системы, в которой вторым подвижным центром становится само светило. Солнце в такой системе – центр только трех сфер: сферы Меркурия, сферы Венеры и сферы Марса. Сфера Марса, с одной стороны, включает в себе сферу Луны, с другой – при прохождении наиболее удаленного от Земли участка своей орбиты оказывается от Солнца дальше, чем Сатурн, и находится совсем «рядом» со сферой неподвижных звезд. Такая модель красиво и лаконично объясняет

² Современная оценка числа элементарных частиц в известной нам части Вселенной составляет от 10^{79} до 10^{81} , что по порядку величины как раз соответствует числу элементарных частиц в 10^{65} песчинках массой 1 микрограмм.



Космос Архимеда:

A – расстояние от Земли до Солнца

($A = a + d + n$, где n – диаметр Земли,

a – расстояние от Земли до Луны,

d – расстояние от Луны до Солнца);

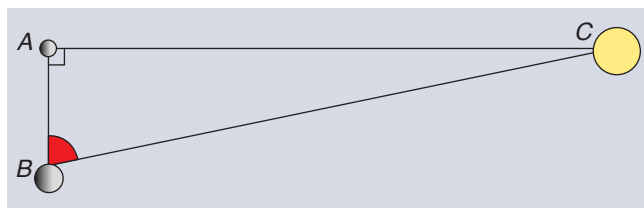
C – расстояние от Солнца до Меркурия;

h – расстояние от Сатурна до «Сферы звезд»

особенности движений Меркурия и Венеры, постоянно следующими за Солнцем; и движение Марса, с его особо протяженными петлями и весьма значительными изменениями его звездной величины.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ОБРАЗ ПРОСТРАНСТВА

Первый шаг в построении Архимеда – определение расстояний от Земли до сферы Луны и сферы Солнца. Измерения проводились согласно методике древнегреческого астронома, математика и философа Аристарха Самосского



Геометрия Космоса
Аристарха Самосского

ского (ок. 310 до н.э. – ок. 230 до н.э.). В качестве основы были уже имеющиеся результаты, полученные Аристархом и зафиксированные в его поздних, не сохранившихся до наших дней трудах. Когда при взгляде с Земли видимая часть Луны представляется ровной половиной круга, то длина меньшего катета прямоугольного треугольника равна расстоянию Земля – Луна, а длина гипотенузы – расстоянию Земля – Солнце. Определив точное угловое расстояние между Луной и Солнцем, то есть – зная значения всех углов треугольника, можно определить во сколько раз длина гипотенузы Земля – Солнце превосходит длину катета Земля – Луна.

Определение расстояний от Солнца до сфер Меркурия и Венеры производится на основе измерений максимально возможных угловых расстояний (говоря языком современной астрономии – элонгаций), на которые Меркурий и Венера удаляются от Солнца, на основе вычисленного в предшествующем шаге расстояния от Земли до Солнца (обозначено A). Причем результат показывает, что расстояние Солнце – Венера получается практически равным удвоенному расстоянию Солнце – Меркурий, что практически соответствует действительности.

Способ определения расстояния между Солнцем и сферой Марса не столь очевиден. Архимед априори предполагал, что расстояние от Солнца до сферы Марса – также удвоенное расстояние от Солнца до сферы Венеры, поскольку, исходя из платоновской

идеи гармонии, отношение диаметров орбит Венера – Меркурий, должно равняться отношению диаметров орбит Марс – Венера. То есть, если у Меркурия диаметр орбиты равен одной условной единице, у Венеры – двум, то у Марса она должно быть равна четырем условным единицам. Такая гипотеза может быть подтверждена измерениями интервалов времени между наблюдаемыми противостояниями Марса, если использовать аналогию с движением Венеры, предполагая равенство и равномерность их скоростей.

Диаметры орбит Юпитера и Сатурна были подобраны Архимедом, в первую очередь, исходя из свойств их яркостей, почти не меняющихся ни в течение их полных циклов, ни в течение земного года. Из этих наблюдаемых фактов может следовать, что именно Земля является центром их орбит.

Из того, что яркость Сатурна приблизительно равна яркости Марса в периоды, близкие к его соединениям с Солнцем, Архимед заключил, что орбиты Марса и Сатурна в это время пересекаются, или по крайней мере находятся рядом. Если следовать логике «гармоничной последовательности чисел», то чтобы получить точную, соответствующую «уже сложившемуся числовому эскизу» величину радиуса орбиты Сатурна, нужно умножить радиус орбиты Меркурия на шесть. Более яркому Юпитеру как раз остается пространство в виде сферы, радиус которой равен пяти радиусам орбиты Меркурия.

Остается завершить геометрический образ Космоса сферой неподвижных звезд, «подняв» ее на некоторую высоту над сферой Сатурна так, чтобы наиболее удаляющаяся по причине особой асимметрии сфера Марса также оказалась «ниже» нее.

В методике Архимеда идея измерения диаметров планетных сфер полу-

чила геометрическое развитие. Оно было основано на новом анализе особенностей движений и изменений яркостей планет и было реализовано также в общем виде, представляющем геометрическую структуру Космоса, которая также могла представлять конкретные величины радиусов сферы неподвижных звезд и всех планетных сфер Космоса.

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОЦЕНТРИЗМА

В «Псаммите» Архимед обращается к царю-тирану Сиракуз Гелону: «Ты знаешь, что по представлению некоторых астрономов мир имеет форму шара, центр которого совпадает с центром Земли, а радиус равен длине прямой, соединяющей центры Земли и Солнца». Но Аристарх Самосский в своих «Предположениях», написанных им против астрономов, отвергая это представление, приходит к заключению, что мир гораздо больших размеров, чем только что указано. Он полагает, что неподвижные звезды и Солнце не меняют своего места в пространстве, что Земля движется по окружности вокруг Солнца, находящегося в его центре, и что центр сферы неподвижных звезд совпадает с центром Солнца, а размер этой сферы таков, что окружность, описываемая, по его предположению, Землей, находится к расстоянию неподвижных звезд в таком же отношении, в каком центр шара находится к его поверхности. То есть размер Земной орбиты «бесконечно» мал («равен точке») по сравнению с размером Космоса (то есть – диаметром «сферы неподвижных звезд»). Архимед представил лишь частичное обоснование геоцентризма, объясняющее только и только наблюдаемые явления в системе небесных движений.

Итак, в системе мира Архимеда: Луна, Солнце, Сатурн и Юпитер движутся вокруг Земли; сфера неподвижных звезд также равноудалена от Земли. Меркурий, Венера и Марс – вокруг Солнца. Движение Луны и Солнца «самоочевидно». Венера и Меркурий постоянно «сопровождают» Солнце и их яркости значительно меняются. Марс, не «связанный» с Солнцем, как Венера и Меркурий, в системе Архимеда находится на гелиоцентрической орбите по причине весьма значительных изменений его яркости, и следовательно, весьма значительного изменения расстояния между ним и Землей. В результате Марс в Космосе Архимеда оказывается на «правильной» гелиоцентрической орбите «круг», который «включает» Землю вместе с орбитой Луны. Таким образом, Марс может значительно приближаться к Земле, но всегда оставаясь при этом «выше» Луны.

Юпитер и Сатурн остаются на геоцентрических орбитах: их яркости не претерпевают каких-либо заметных изменений и могут быть определены как постоянные, следовательно, расстояние от Земли (наблюдателя) до этих планет, как и до сферы неподвижных звезд, неизменно.

Решающая роль в обосновании геоцентрической модели Космоса: отсутствие видимых изменений в сфере неподвижных звезд, то есть – отсутствие изменений яркостей звезд и их положений, которые с неизбежностью должны были бы происходить, вследствие движения Земли. Последнее приводило бы к годовым изменениям расстояний от «неподвижных» звезд, что меняло бы их яркость и видимые положения. Поскольку «небо неподвижных звезд» остается совершенно неизменным, Земля неподвижна и пребывает в центре «сферы неподвижных звезд» – в центре Космоса.

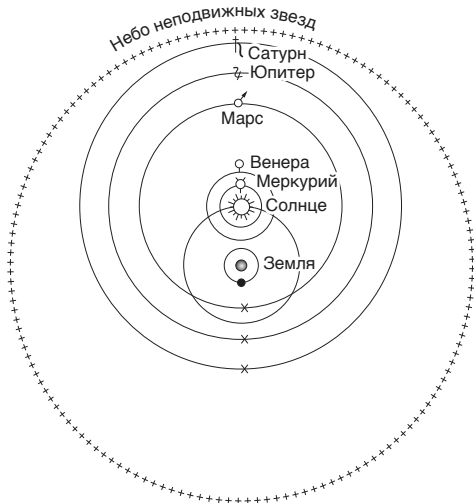
СУДЬБА ИДЕИ БИЦЕНТРИЧНОГО КОСМОСА

Датский астроном Тихо Браге (1546–1601; ЗиВ, 1996, № 6) во второй половине XVI в., создавая свою гео-гелиоцентрическую модель Космоса, которая была опубликована им в Ураниборге в 1588 г., в контексте критики как Птолемея, так и Николая Коперника, ссылается на «Псаммит» Архимеда как на древнего астронома, продолжающего реализацию идей Аристарха Самосского.

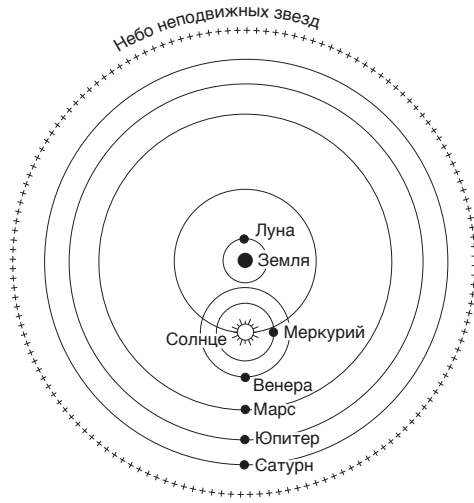
Тихо Браге в своем тексте упрекает Птолемея за излишнюю сложность его построения, а Коперника – за подвижность Земли. Факт движения Земли Тихо категорически не принимал. Тихо, по сути, реконструировал систему Архимеда, информация о которой была известна из многочисленных комментариев поздних авторов. Модель Архимеда вдохновила Тихо, стремившегося найти простую красивую схему, не нарушая при этом покоя Земли.

Система Тихо Браге, повторяет систему Архимеда, за исключением того, что в Космосе Тихо Юпитер и Сатурн также имеют гелиоцентрические орбиты. Таким образом, в системе Тихо вокруг Земли обращаются только Луна и Солнце. Оценки планетных расстояний Архимеда в системе Тихо могут быть приняты, но именно как диаметры орбит, поскольку хрустальные сферы Тихо опровергал. Основанием этого был определенный им факт: кометные тела, при наличии хрустальных сфер, не могли бы перемещаться по пространству Космоса столь свободно, как это показывают его исследования. Для XVI в. это был серьезный вызов Аристотелю, который считал кометы атмосферными явлениями.

В начале первого тысячелетия н.э. была популярна также восходящая к системе Архимеда так называемая



Система мира Тихо Браге



Египетская система мира

египетская система мира, известная также как система мира латинского писателя Марциана Капеллы (V в.н.э.).

Именно о египетской (по сути – Архимедовой) системе Космоса сообщает Николай Коперник, ссылаясь на Марциана Капеллу: «Поэтому я полагаю, никак не следует пренебрегать тем, что написал в энциклопедии Марциан Капелла и что хорошо знали некоторые другие латинские писатели. Они полагают, что Венера и Меркурий обращаются вокруг находящегося в середине Солнца и по этой причине думают, что эти планеты могут отойти от Солнца не дальше, чем позволяет кривизна их орбит, поэтому эти светила не обходят вокруг Земли, как другие планеты, но имеют повернутые вовнутрь апсиды. Следовательно, что же другое хотят сказать эти писатели, как не то, что центр орбит этих светил находится около Солнца. Таким образом, орбита Меркурия помещается внутри орбиты Венеры, более чем вдвое большей, и находит по величине вполне соответствующее место».

Египетская система мира повторяет систему мира Архимеда, за исключени-

ем орбиты Марса, которая в египетской системе остается геоцентрической. Вероятнее всего, комментаторы Архимеда сочли недостаточно обоснованным гелиоцентризм Марса, тогда как факт гелиоцентричности орбит Венеры и Меркурия был достаточно убедителен.

Система мира Тихо Браге еще долго сохраняла популярность среди ученых, не принимавших концепцию движения Земли. В статусе одной из актуальных моделей мира она существовала вплоть до середины XVIII в.

«Небесный атлас» немецкого математика, астронома и картографа Иоганна Дюпелльмайера включает «Систему мира Тихо» (Systema Mund Tychonicum), где модель мира Тихо Браге представлена не только в виде схемы, но ей посвящена отдельная таблица, включающая подробное представление ее математических параметров (размеров и пропорций). Главными положениями ее обоснования по-прежнему были: отсутствие наблюдаемых параллаксов «неподвижных» звезд, адекватное математическое описание и «очевидность» неподвижности Земли.

EARTH & UNIVERSE

5 (347), 2022

September–October

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Olga A. GIRINA, Evgeny A. LUPIAN, Alexei A. SOROKIN, Lyubov S. KRAMAREVA Volcanoes and Space	5
Alexander T. BASILEVSKY Shaggy Visitors	19
Aerospace Education	
Sergey A. LEMESCHENKO Summer Space School: a Place For Science Communication and Citizen Science	30
Alexander A. LOMAKIN Astrophysics and Geophysics Session at Space Summer School – 2021	40
Arseny A. GASANOV, Ekaterina M. PROSKURYAKOVA, Margarita D. BELOUSOVA VR for Educational Tasks: Simulation of Ice Cores’ Retrieval, Processing, and Analysis	48
XXI Century Cosmonautics	
Aslan H. ABASHIDZE, Irina A. CHERNYKH Space Legislation and What It Serves For	57
Hypotheses, Ideas, Discussion	
Sergey A. GERASYUTIN Why is Martian Mission Impossible?	65
History of Cosmonautics	
Leonid A. VEDESHIN, Sergey A. GERASYUTIN Russia – the USA: Fifty Years of Collaboration in Space. Part 1.	88
History of Science	
Andrey V. KUZMIN Archimedes’ Space	104
Table of Content and Abstracts	110

Cover: Klyuchevskoy volcano. The lateral break named after G.S. Gorshkov, the corresponding member of the USSR Academy of Sciences (see p. 15). March 16, 2021. Photo courtesy: D. Budkov

EARTH & UNIVERSE

5 (347), 2022

September–October

Volcanoes and Space

Olga A. GIRINA¹, Evgeny A. LUPIAN², Alexei A. SOROKIN³,
Lyubov S. KRAMAREVA⁴

¹ Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences

² Space Research Institute, Russian Academy of Sciences

³ Data Computer Center, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences

⁴ Far-Eastern Center of State Research Center for Space Hydrometeorology «Planeta»,
Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia

DOI: 10.7868/S0044394822050012

Volcanoes are stupendous Nature's works, which have always attracted human beings. They can be found on many planets of Solar System. It is possible that the life on Earth came into existence thanks to volcanoes. They arouse fear and terror in one's heart, but also admiration and delight in the others'. In this paper we tell about the studies of volcanoes from Earth and space and why it is still important.

Shaggy Visitors

Alexander T. BASILEVSKY

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394822050024

Comets are small celestial bodies, which orbit the Sun along highly elliptical trajectories. They are divided into short- (< 200 years) and long-period (>200 years) comets. They have solid nuclei with diameters varying from hundreds of meters to several tens of kilometers, which contain water ice and other volatiles. When comets approach the Sun, these volatile compounds evaporate and stream 'upwards', carrying along solid particles. As a result, a coma of dust and gas, surrounding the nucleus, appears, and then the pressure of solar radiation turns it into a comet's 'tail', also made from gas and dust. Comet's nucleus matter is solid, but highly porous and fragile. Its surface is covered with fissures, depressions of irregular form, and various elevations. However unusual, from the point of view of terrestrial geologist, the conditions on the comet's surface are, the geological processes, which 'work' there, are quite common. On the surface, solid matter becomes loose cover, which slides down the steep slopes. The resulting relief is defined by its resistance to destruction. These topics are the subject of the paper.

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 5/2022

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели

12+

Сдано в набор 09.08.2022 г. Подписано к печати 15.09.2022 г.

Дата выхода в свет 30.09.2022 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 9.75 Бум.л. 3.75

Тираж 1000 экз. Заказ № 30 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219





НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



vk.com/naukapublishers



t.me/naukapublishersru



Типографии ФГБУ «Издательство «Наука»
www.tnauka.ru

- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург



«Наука»
Индекс 38808