

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

1⁽³⁷⁾
● 2011

КОГДА
В КОСМОСЕ
ЖАРКО

НА ОРБИТЕ
СТАНОВИТСЯ
ТЕСНО

«СЛЕПКИ»
ЖИЗНИ

СВЕТ
ДАЛЕКОЙ
ЭЛЛАДЫ

ISSN 18-10-3960



Космический урок
РУССКОГО



КОСМИЧЕСКИЙ ПАРАД



Эти газеты вышли в первые дни после полета Юрия Гагарина (Отдел периодики ГПНТБ СО РАН, Новосибирск)

На первой стороне обложки – Гагарин за два часа до старта (Архив Мемориального музея космонавтики, г. Москва)



1. 2011
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук



В НОМЕРЕ:

108 минут, проведенные на земной орбите Юрием Гагариным, стали точкой отсчета нового – космического летоисчисления

«Подогревая» набегающий сверхзвуковой поток можно активно управлять обтеканием воздушно-космического самолета

Лазерный микродвигатель для наноспутников работает по принципу керосиновой лампы

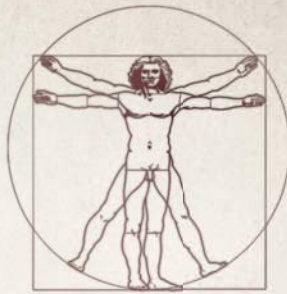
В холодном космическом пространстве существует опасность перегрева систем космического корабля

Большую часть жизни Александр Шаргей прожил под именем Юрия Кондратюка, которое носят сегодня лунный кратер, астероид и городская площадь

Полимеры с «молекулярной памятью» можно будет использовать в качестве «пластиковых» антител

В конце долгих странствий серебряная античная бляха превратилась в украшение хуннского боевого коня

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. Н.Л. Добрецов

заместитель главного редактора
акад. В.В. Власов

заместитель главного редактора
акад. В.Ф. Шабанов

ответственный секретарь
Л.М. Панфилова

акад. М.А. Грачев

акад. А.П. Деревянко

чл.-кор. А.В. Латышев

чл.-кор. Н.П. Похиленко

акад. М.И. Эпов

к. ф.-м. н. Н.Г. Никулин

Редакционный совет

акад. Л.И. Афтанас

чл.-кор. Б.В. Базаров

чл.-кор. Е.Г. Бережко

акад. В.В. Болдырев

чл.-кор. А.Г. Дегерменджи

д.м.н. М.И. Душкин

проф. Э. Краузе (Германия)

акад. Н.А. Колчанов

акад. А.Э. Конторович

акад. Э.П. Кругляков

акад. М.И. Кузьмин

акад. Г.Н. Кулипанов

д. ф.-м. н. С.С. Кутателадзе

проф. Я. Липковски (Польша)

чл.-кор. Н.З. Ляхов

акад. Б.Г. Михайленко

акад. В.И. Молодин

д.б.н. М.П. Мошкин

чл.-кор. С.В. Нетесов

д.х.н. А.К. Петров

проф. В. Сойфер (США)

чл.-кор. А.М. Федотов

д. ф.-м. н. М.В. Фокин

д.т.н. А.М. Харитонов

чл.-кор. А.М. Шалагин

акад. В.К. Шумный

д.и.н. А.Х. Элерт

«Естественное желание хороших
людей — добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)

Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН

Институт археологии и этнографии
СО РАН

Лимнологический институт СО РАН

Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН

Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

Адрес редакции:
630055, Новосибирск,
ул. Мусы Джалиля, 15
Тел.: +7 (383) 332-1540, 332-1448
Факс: +7 (383) 332-1540
e-mail: zakaz@info-press.ru
e-mail: editor@info-press.ru

www.ScienceFirstHand.ru

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство ПИ № ФС77-37577
от 25 сентября 2009 г.

ISSN 1810-3960

Тираж 2 000 экз.

Отпечатано в типографии
ООО «ИД "Вояж"» (Новосибирск)

Дата выхода в свет 06.05.2011

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2011
© «ИНФОЛИО», 2011

Над номером работали

Л. Беляева

А. Владимирова

С. Коротаев

к. ф.-м. н. Д. Майничев

к. б. н. Л. Овчинникова

Л. Панфилова

к. х. н. С. Прокопьев

М. Третьякова

А. Харкевич



Дорогие друзья!

В апреле этого года наша страна и все мировое сообщество отметило полувековой юбилей первого пилотируемого космического полета. Эти 108 минут, проведенные Юрием Гагариным на земной орбите, ознаменовали наступление новой, космической, эры в истории человечества.

Неудивительно, что в фокусе очередного выпуска журнала – исследования сибирских ученых, посвященные космической тематике. Примечательный факт – само Сибирское отделение Академии наук было организовано в мае 1957 г., за пять месяцев до запуска первого искусственного спутника Земли. Уже в первые годы существования отделения здесь был проведен ряд успешных исследований, связанных с освоением космоса. Спектр задач и проблем, стоящих сегодня перед нашими учеными, не менее широк: от создания реактивных микродвигателей для миниатюрных спутников до технологий построения воздушно-космического корабля и производства в открытом космосе полупроводниковых структур.

Космос сегодня стал ближе и доступнее – недаром в круг важнейших научно-исследовательских задач входит разработка стратегии и методов слежения за орбитальным «мусором». Регулярные полеты к Международной космической станции, развитие космического туризма, сотни действующих орбитальных спутников...

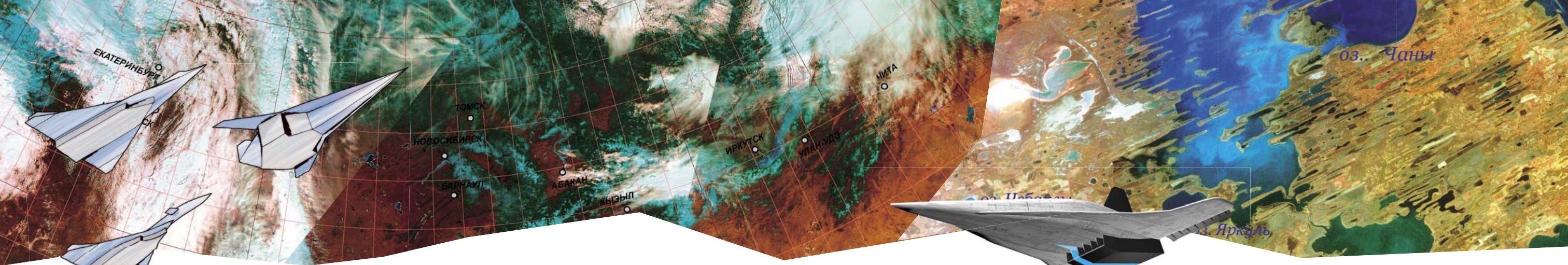
Многие из этих реалий сегодняшнего дня были предвосхищены пионерами космического воздухоплавания. Среди них – талантливый изобретатель-самоучка Ю.В. Кондратюк, который еще в 1917 г. написал, что осуществить межпланетный полет требует «меньшего количества материальных средств, нежели сооружение нескольких крупных военных судов». Но построить ракету ему, так страстно мечтавшему о космосе, не довелось – трагизм судьбы человека, родившегося «не в то время и не в том месте» и вынужденного прожить

жизнь под чужой фамилией. В новосибирском Мемориальном музее им. Ю.В. Кондратюка сегодня хранится репринтное издание его книги «Завоевание межпланетных пространств», которое в 2008 г. побывало на борту МКС – как признание идей ученого-первопроходца.

Что касается «дел земных», то в новом выпуске мы знакомим читателей с очень перспективным и быстро развивающимся биотехнологическим направлением – созданием полимеров, обладающих «молекулярной памятью». Такие вещества, содержащие «слепки» молекул или даже целых биологических объектов, могут использоваться для самых разных прикладных целей, в том числе для выделения индивидуальных соединений, таких как катализаторы химических реакций, сорбенты для очистки воды и даже – в качестве «пластиковых» антител.

В далекое прошлое цивилизации возвращает нас публикация, посвященная уникальной находке в кургане знаменитого могильника хуннской знати Ноин-Ула. Серебряная бляха с удивительным по красоте и выразительности античным сюжетом, обнаруженная среди погребального убранства на глубине 18 метров, некогда была украшением парадной римской чаши или блюда. Прежде чем обрести покой в горах Северной Монголии, она более ста лет переходила из рук в руки, чтобы в конце концов стать украшением упряжи боевого коня кочевого правителя. Сегодня этот необычный артефакт напоминает нам о нашей истории, хранящей не меньше загадок и удивительных открытий, чем далекий космос.

академик Н.Л. Добрецов,
главный редактор



Технология индуцированной **ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ** позволит «прокатиться» на **МАРСОХОДЕ** в режиме реального времени. **С. 34**

Среди более чем **13 ТЫСЯЧ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ** на околоземных орбитах лишь каждый двадцатый – действующий. **С. 50**

.01

ЧЕЛОВЕК И ВСЕЛЕННАЯ

- 6 **В. М. Фомин**
Космический урок русского
- 10 **В. М. Фомин, А. П. Латыпов**
Из атмосферы – в космос
- 20 **В. Н. Ярыгин**
Защита от ракетных выхлопов
- 28 **В. А. Деревянко**
Когда в космосе жарко
- 34 **Б. С. Долговесов**
Виртуальное зеркало Вселенной
- 42 **А. В. Батраков**
Принцип керосиновой лампы
- 50 **П. Г. Папушев**
На орбите становится тесно
- 56 **В. Н. Антонов**
Третья от Солнца

Ю. КОНДРАТЮК: «Первое условие для **ПОЛЕТОВ С ЗЕМЛИ И ОБРАТНО** – чтобы они не были смертельны для пассажиров». **С. 76**

ТИКА на лбу древнегреческой богини **АРТЕМИДЫ** с серебряной бляхи из погребения хунну возвела ее в ранг **БУДДИЙСКОГО БОЖЕСТВА**. **С. 94**

У **СИБИРСКИХ КОЗЕРОГОВ** матери оставляют подросших козлят под присмотром коз-«**НЯНЕК**». **С. 108**

.03

ОТ НАУКИ К ТЕХНОЛОГИИ

- 86 **Е. В. Дмитриенко, Р. Д. Булушев, И. А. Пышная, Д. В. Пышный**
«Слепки» жизни – полимеры с молекулярной памятью

.04

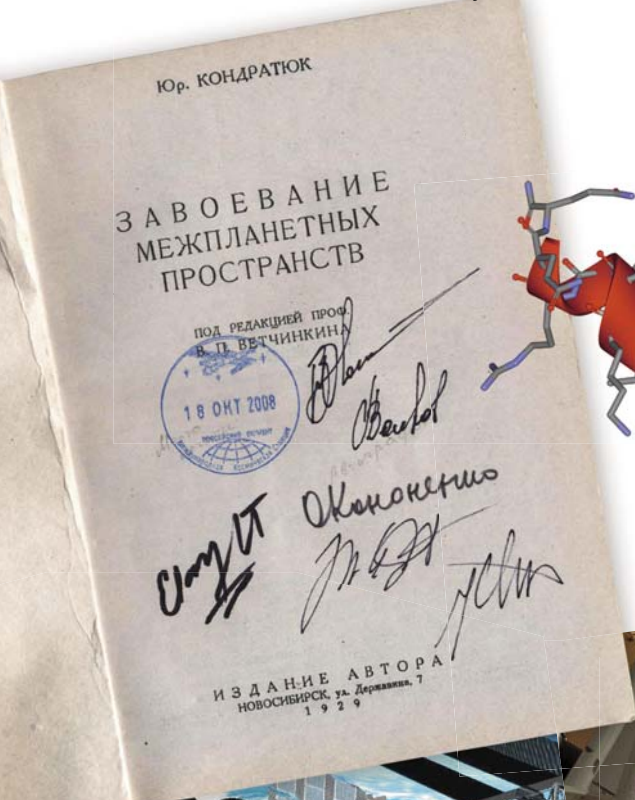
ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

- 94 **Н. В. Полосьмак**
Свет далекой Эллады

.05

ЛИЦОМ К ПРИРОДЕ

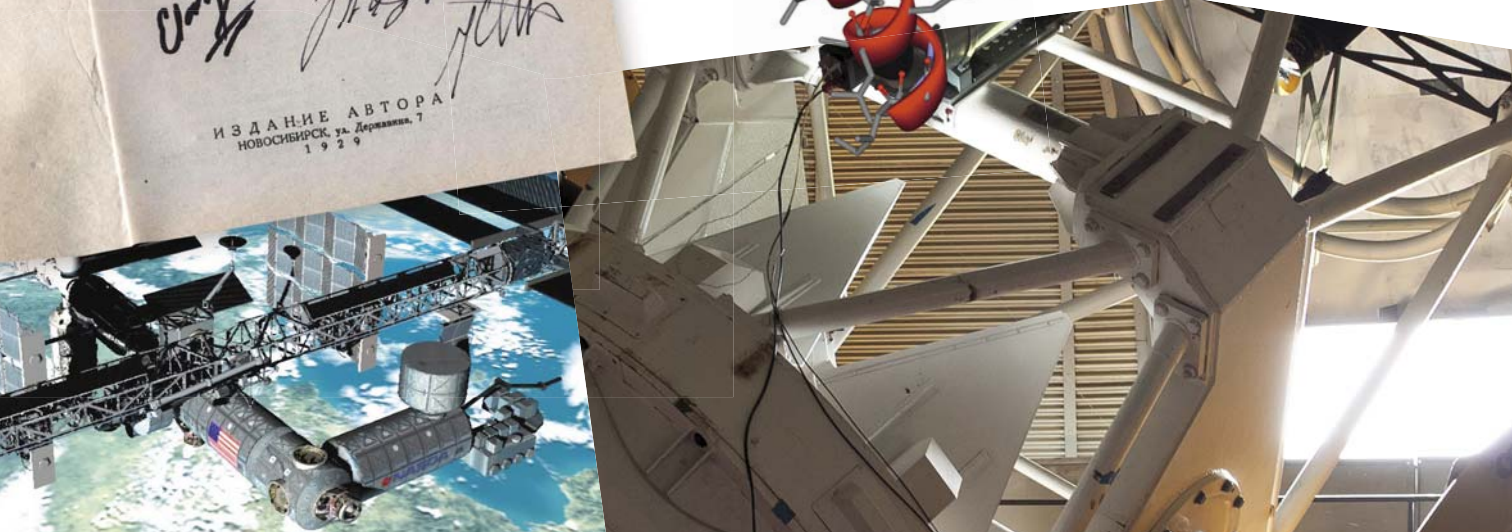
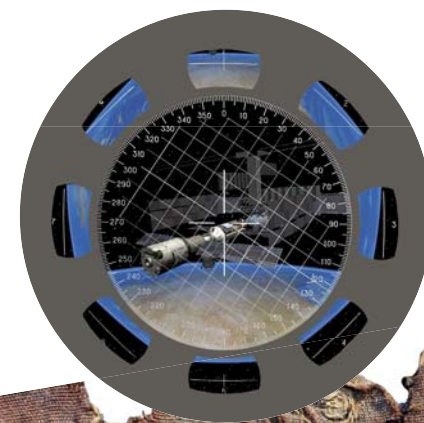
- 108 **А. Э. Гильберт**
Под знаком Козерога



.02

ИСТОРИЯ НАУКИ. СУДЬБЫ

- 64 **В. Е. Зарко**
«...Мы смогли бы такие вензеля выписывать по Вселенной!»
- 76 **Е. М. Щукина**
Земная проекция звездной судьбы



КОСМИЧЕСКИЙ УРОК русского, или 108 минут, открывшие дорогу в космос



В «космической истории» земной цивилизации наша страна занимает достойное место. В 1957 г. мы запустили на орбиту первый искусственный спутник Земли, спустя четыре года наш соотечественник Юрий Гагарин совершил первый в истории космический полет. Этот день, 12 апреля 1961 г., стал настоящим праздником для всего человечества. С него, собственно, и началось освоение космического пространства.

Конечно, сам полет был лишь вершиной айсберга – за ним стояли огромные материальные вложения и колоссальный труд сотен талантливых ученых, инженеров и конструкторов, имена которых десятилетиями были засекречены. Вклад Сибирского отделения Академии наук, образованного всего за полгода до запуска первого спутника, в организацию космических полетов был еще невелик. Тем не менее одну необычную задачу, вставшую перед конструкторами первого пилотируемого корабля, сибирские исследователи помогли решить. Чтобы первый путе-

**МИНУТ, КОТОРЫЕ ПОТЯЖИЛИ МИР
12 АПРЕЛЯ—ПИОНЕРЫ ВСЕЛЕННОЙ!**

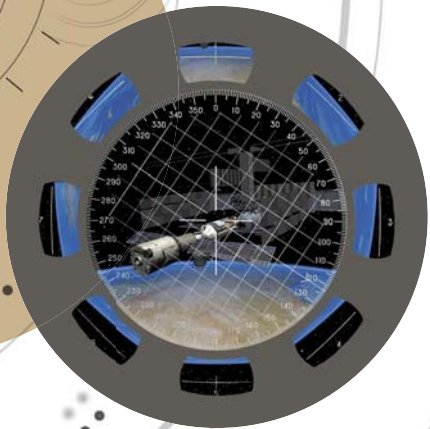
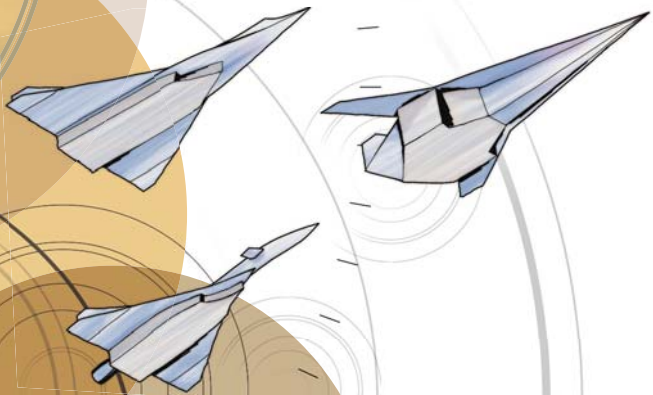
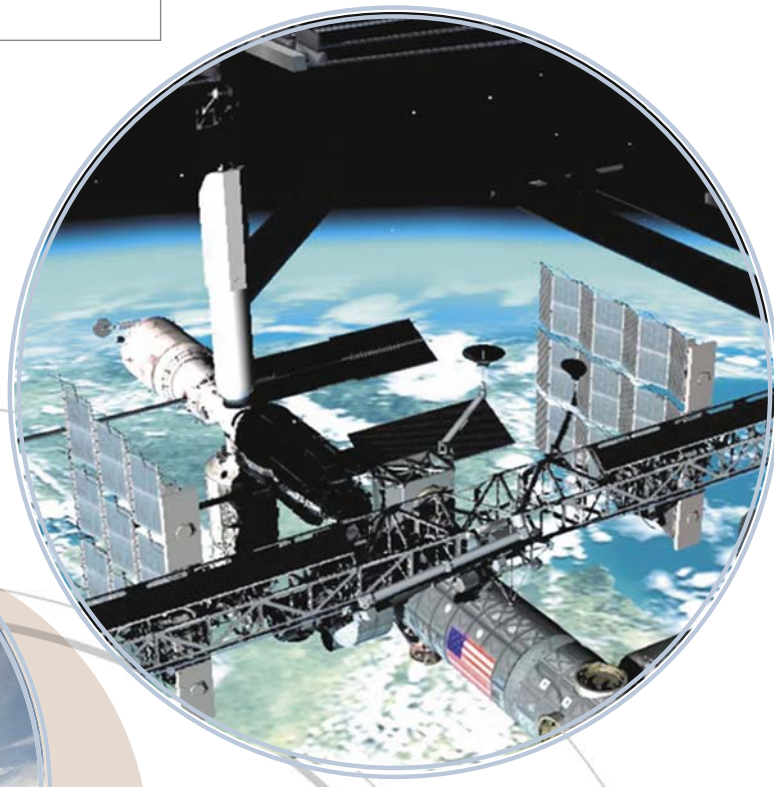


Рентгеновский снимок работы кумулятивного заряда по пробиванию преграды. Оригинал рентгенограммы предоставлен д.ф.-м.н. С.А. Кинеловским

шественник в космосе смог произнести свое знаменитое «Вижу Землю!», в конструкции корабля нужно было предусмотреть «окно» – стеклянный иллюминатор. Но каким должно было быть это стекло, какой толщины, чтобы выдержать возможное попадание метеоритных частиц?

Главный конструктор С. П. Королев обратился за помощью к академику М. А. Лаврентьеву, одному из вдохновителей и организаторов СО АН СССР. Для проверки прочности стекло нужно было «обстрелять»

мелкими частицами с весом около одного грамма и скоростью 10–12 км/с. К тому времени Лаврентьев уже выдвинул и обосновал гидродинамическую теорию кумуляции, согласно которой при кумулятивном взрыве частицы металла ведут себя как жидкость. Сформированная им команда из молодых ученых под руководством будущего академика В. М. Титова предложила использовать для испытания кумулятивные струи, в результате чего удалось достигнуть рекорда скорости частиц – 15 км/с!



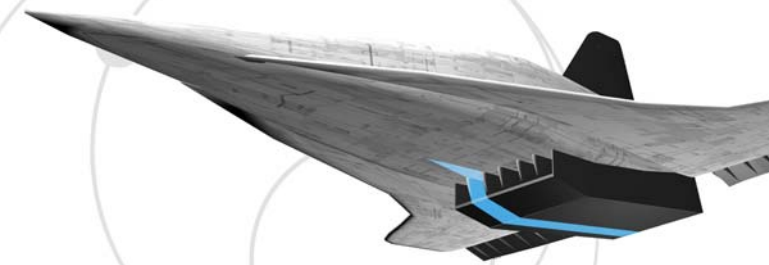
Испытанное таким способом стекло успешно выстояло. Конечно, два великих человека – Королев и Лаврентьев – при этом сильно рисковали, не говоря уже о самом космонавте, ведь никто не мог поручиться, что на пути корабля не попадутся метеоритные частицы с большим весом и скоростью. К счастью, все обошлось, и человек впервые в истории смог своими глазами увидеть, как прекрасна наша планета из космоса. Кстати сказать, этот способ разгона частиц с большими скоростями успешно используется и по сей день.

В дальнейшем сибирские институты активно включились и в другие исследования по космической тематике. Например, в Институте теоретической и прикладной механики занимались влиянием газовых струй реактивного двигателя на элементы стартовых устройств. Не менее важную задачу – расчет траекторий спутниковых систем – решали сначала в новосибирском Вычислительном центре, а потом и в ВЦ, специально созданном в городе Иркутске.

За прошедшие полвека ситуация с космосом значительно изменилась. Сейчас в освоении околоземного пространства можно выделить три главных направления. Первое и, к сожалению, пока неизбежное – «военное». Второе – «промышленный космос» с огромным диапазоном деятельности: от создания спутниковых систем навигации и мониторинга климата до спутникового телевидения. Бурное развитие этих направлений порождает совершенно неожиданные проблемы, например появление так называемого «космического мусора» – отслуживших свою службу космических аппаратов и их обломков. Третье, наиболее сложное и спорное направление космических исследований, – это «дальний космос». Полеты на другие планеты требуют огромных вложений, поэтому неудивительно, что США и Россия пока приостановили реализацию этих программ, хотя работы в этом направлении не прекращаются.

Каковы ближайшие перспективы в космической отрасли? В первую очередь, необходимо добиться значительного снижения расходов по доставке грузов на орбиту, сегодня составляющих около 10 тыс. дол./кг. Это слишком дорого, чтобы развернуть в космосе, к примеру, производство новых материалов. Снизить затраты можно благодаря созданию специальных возвращаемых аппаратов с самолетной или автоматической посадкой.

В свое время наша страна вывела на орбиту первую станцию, где космонавты приобрели опыт длительного существования в условиях реального космоса. Эстафету приняла МКС – международная космическая станция, где сегодня бок о бок работают исследователи разных стран. В Китае, напротив, предпочитают полагаться только на собственные силы. И все-таки стратегическая линия освоения ближнего и, особенно, дальнего



космоса лежит в объединении интеллектуальных и материальных ресурсов развитых стран мира, как это было сделано при реализации такого масштабного научно-исследовательского проекта, как Большой адронный коллайдер.

...Полвека назад, после полета Юрия Гагарина, дети стали играть не в «войну», а в «космос», а молодые люди – мечтать о летном училище как первой ступеньке в команду космонавтов. Первые восторги давно поутихли, но извечная тяга к звездам продолжает волновать молодые умы. И сегодня у молодежи гораздо больше возможностей осуществить свои мечты.

Уже в конце 1960-х гг. многие технические вузы нашей страны создавали и запускали на орбиту собственные малогабаритные космические аппараты. Позже эпицентр создания «студенческих спутников» переместился в США. Десять лет назад студенты и преподаватели Стэнфордского университета разработали концепцию космических модулей весом не более килограмма, которые можно собрать из стандартных электронных компонентов. Сейчас идеология «малой космонавтики» распространяется по всему миру.

Для запуска таких миниспутников не требуется отдельная ракета-носитель – они являются частью полезной нагрузки при плановых запусках ракет. Учебные космические технологии широко используются при подготовке специалистов для ракетно-космической отрасли. Такая возможность появилась и у студентов физфака Новосибирского государственного университета благодаря поддержке красноярского ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева.

Надо сказать, из желающих участвовать в запуске на орбиту собственного спутника выстроилась целая очередь. И это отрадно, поскольку, как показывает история, дерзкий ум молодых способен рождать прорывные идеи. Кто знает – может, именно из этих нынешних студентов вырастут новые Королевы и Кондратьеви?

Академик РАН В. М. Фомин

Редакция журнала выражает благодарность сотрудникам Отдела периодики ГПНТБ СО РАН (Новосибирск) за помощь в подготовке публикации

В. М. ФОМИН, А. Ф. ЛАТЫПОВ

Из атмосферы — в космос

Воздушно-космический самолет — транспорт будущего

Перспективы использования околоземного космического пространства огромны. Системы связи и навигации, мониторинг окружающей среды, разведка полезных ископаемых, управление климатом, производство новых материалов и многое, многое другое. Вся эта деятельность потребует создания и эксплуатации космических станций многофункционального назначения, а значит — доставки на околоземную орбиту большого количества грузов. Все более актуальной становится и задача возвращения из космоса аварийных и отработавших конструкций, так как его «засорение» грозит серьезными осложнениями. Отсюда — назревшая необходимость в создании принципиально новых космических кораблей, которые уже в недалеком будущем смогут справиться с возросшими транспортными потоками

Ключевые слова: воздушно-космический самолет, прямоточный воздушно-реактивный двигатель, нагрев набегающего потока.
Key words: aerospaceplane, scramjet, heating the incoming flow

Ракетные системы, существующие сегодня, не в состоянии обеспечить перемещение на околоземную орбиту грузов в больших объемах. Причины этого заключаются не только в высокой стоимости, но и в длительном времени стартовой подготовки и малом количестве самих стартовых комплексов.

Принципиально новые транспортные системы могут быть созданы на основе *воздушно-космических самолетов* (ВКС) с комбинированной силовой установкой, включающей *прямоточный воздушно-реактивный двигатель* (ПВРД), работающий на водороде, и *жидкостный ракетный двигатель* (ЖРД). Используя на большей части атмосферного участка траектории разгона воздух для создания подъемной силы и атмосферный кислород для окисления топлива, можно значительно уменьшить затраты топлива и стартовую массу ВКС. Такой воздушно-космический самолет способен доставить на околоземную орбиту груз, вес которого равен 3–5% от взлетного. При этом, по оценкам специалистов, удельная стоимость доставки будет в 20–50 раз меньше, чем при использовании ракет.

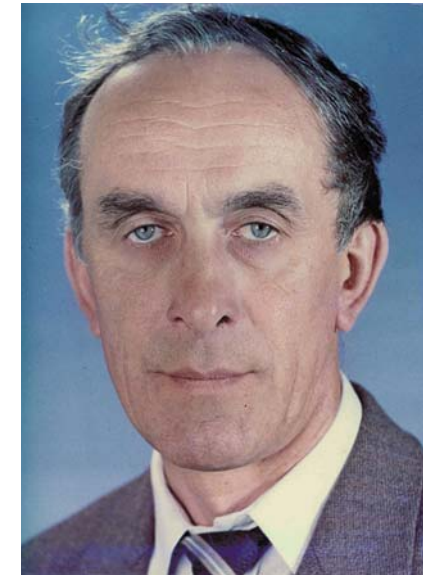
Будучи самолетом, ВКС имеет ряд и других преимуществ перед ракетными системами. Он может горизонтально стартовать с любого аэродрома (отпадает необходимость в сложных и дорогостоящих стартовых комплексах), причем подготовка к старту занимает существенно меньшее время. ВКС способен выйти на нужную околоземную



ФОМИН Василий Михайлович — академик РАН, доктор физико-математических наук, директор Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 600 научных работ, в том числе 16 монографий, и 19 патентов

орбиту за счет маневрирования в атмосфере, а не в космосе, что требует значительно меньших затрат топлива. У него практически отсутствует характерная для ракет зона отчуждения, куда падают отработавшие элементы конструкции. Благодаря этим преимуществам ВКС можно использовать и при проведении быстрых спасательных операций.

Однако к такому «универсальному» летательному аппарату предъявляются и особые требования. Ведь в отличие от возвращаемых отсеков космических аппаратов ВКС должен совершить в атмосфере достаточно длительный полет с гиперзвуковыми скоростями, используя непрерывно работающую двигательную установку. Поэтому основные трудности создания подобного летательного аппарата обусловлены, в первую очередь, структурой теплового и силового воздействия атмосферы.



ЛАТЫПОВ Альберт Фатхиевич — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 70 научных работ и 12 патентов

При полете максимальное давление на аппарат пропорционально квадрату скорости набегающего потока, а тепловая нагрузка в критической точке носовой части аппарата, соответствующей точке торможения потока, — кубу скорости. В результате при гиперзвуковых скоростях полета ($M^* > 6$) тепловая нагрузка возрастает почти в десять раз и более по сравнению со сверхзвуковыми скоростями ($M \leq 3$), а равновесная температура теплоизолированной оболочки летательного аппарата — почти в три раза.

Решение этих проблем при создании гиперзвуковых летательных аппаратов требует от инженеров-конструкторов поиска принципиально новых научно-технических идей, прежде всего в области материалов, аэродинамики и теплообмена.

* Число Маха — отношение скорости потока воздуха к скорости звука



Сложность реализации конструкции воздушно-космического самолета демонстрирует самолет «Voyager» – экспериментальный сверхдальний самолет, разработанный американской фирмой «Rutan Aircraft». Относительная масса его ажурной конструкции составляет около 24 % от стартовой массы. Самолет, недаром названный «путешественником», в 1986 г. совершил беспосадочный полет вокруг земного шара за 9 суток. За это время «Voyager» под управлением двух пилотов покрыл расстояние в 40 тыс. км

Основной вес – топливо

Исследования по разработке технологии гиперзвукового полета с прямоточным воздушно-реактивным двигателем на водороде велись с середины прошлого века в ряде зарубежных стран (США, Франции, Германии, Японии, Китае, Австралии), а также в СССР, где разрабатывались две гиперзвуковые системы – «Спираль» и «Буря».

Несмотря на значительные достигнутые успехи в разработке технологий ВКС, множество проблем остались нерешенными. И первые в этом ряду – взаимосвязанные проблемы двигателя и конфигурации самого летательного аппарата, поскольку затраты топлива для выведения на орбиту определяются главным образом характеристиками силовой установки и аэродинамическим качеством компоновки самолета.

На основе исследований аэродинамического качества конфигураций летательных аппаратов и удельного импульса ПВРД с использованием экспериментальных моделей в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН была рассчитана масса горючего, необходимого для разгона ВКС до 1-й космической скорости*. Оказалось, что она должна составлять около 70 % от его стартовой массы. Расчеты показали, что значение стартовой массы очень чувствительно к вариации относительной массы горючего. Например, уменьшение (увеличение) затрат топлива на 1 % будет приводить к соответствующему изменению стартовой массы ВКС на 25 %.

Поэтому неудивительно, что на массу самой конструкции ВКС накладываются весьма жесткие огра-

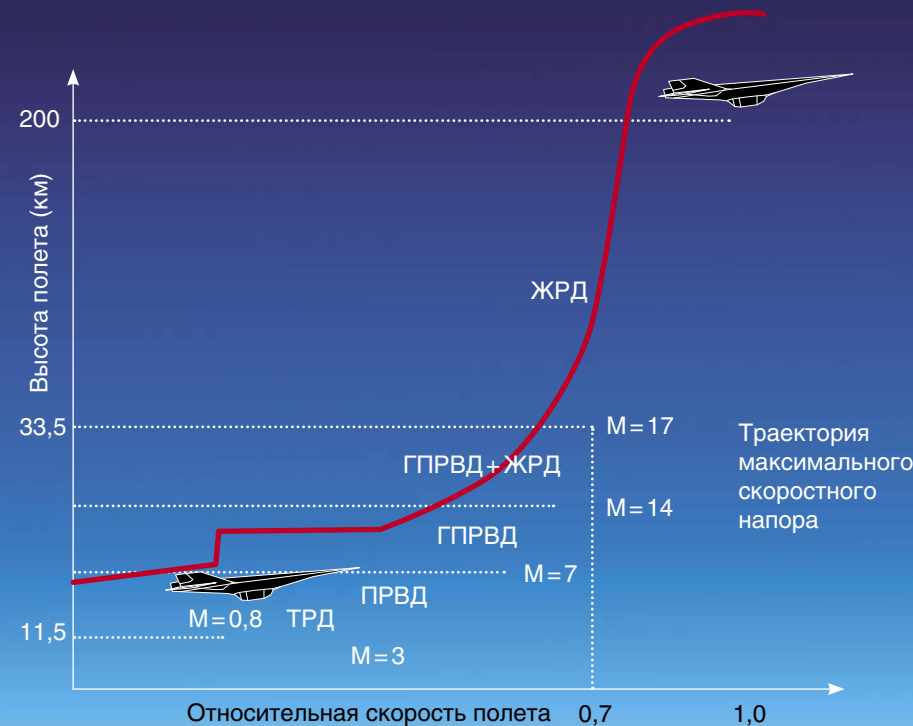
* Минимальная скорость, необходимая для вывода тела на орбиту Земли

ничения. Относительная большая масса конструкции допускается только для многоступенчатых систем, в частности, при условии сброса отработавших элементов конструкции на определенных участках траектории полета. Однако при этом условия эксплуатации многоступенчатых систем усложняются, соответственно увеличивается стоимость.

Греем воздух

Достигнуть снижения расхода горючего можно, увеличив аэродинамическое качество (т.е. отношение аэродинамической подъемной силы к аэродинамическому сопротивлению) и удельный импульс силовой установки (отношение тяги двигателя к расходу топлива). Многочисленные экспериментальные исследования аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов свидетельствуют, что их максимальное аэродинамическое качество в гиперзвуковом диапазоне скоростей имеет конечный предел при реальных числах Рейнольдса (отношение динамической силы к силе трения) $K_{max} \approx 6$.

Поскольку увеличить этот показатель посредством аэродинамического конструирования не удастся, в настоящее время большое внимание уделяется решению задачи активного управления обтеканием тел посредством энергетического и (или) силового воздействия на набегающий поток, в частности, посредством подвода тепла в сверхзвуковой поток перед телом. Для технической реализации этой идеи предполагается использовать лазерное и СВЧ-излучение.



Оценка массы горючего, необходимого для разгона воздушно-космического самолета до 1-й космической скорости, была сделана на основе решения дифференциального уравнения, обобщающего формулу К. Э. Циолковского при действии внешних сил. В этом случае затраты топлива, необходимые для увеличения скорости летательного аппарата на заданную величину ΔV , зависят не только от эффективности силовой установки, но и от комплекса $\sigma = K n_v$ (K – аэродинамическое качество, отношение аэродинамической подъемной силы к аэродинамическому сопротивлению; n_v – продольная перегрузка, отношение ускорения самолета к ускорению свободного падения).

Эффективность силовой установки характеризуется удельным импульсом I_o (отношение тяги двигателя к расходу топлива). Чем больше удельный импульс и комплекс σ , тем меньше затраты топлива. Это понятно: увеличение аэродинамического качества означает уменьшение аэродинамического сопротивления при заданной подъемной силе, уравнивающей вес самолета; увеличение продольной перегрузки уменьшает время разгона. Максимальное значение n_v ограничивается прочностью конструкции и способностью человека выдерживать длительные (десятки минут) перегрузки.

Стартовая масса ВКС m_o равна сумме масс конструкции m_k , запаса топлива (горючего) m_T и выводимой на орбиту полезной нагрузки m_{pn} :

$$m_o = m_k + m_T + m_{pn}$$

Вводя относительные величины $m_k = m_k / m_o$ и $m_T = m_T / m_o$, получим

$$m_o = m_{pn} / (1 - \bar{m}_T - \bar{m}_k)$$

Из этого следует, что на массу конструкции накладываются весьма жесткие требования $\bar{m}_k \leq 0,3$, а значение стартовой массы очень чувствительно к вариации относительной массы горючего:

$$\delta m_o / m_o = \delta \bar{m}_T / \bar{m}_{pn}$$

Уменьшение относительной массы топлива приводит не только к уменьшению стартовой массы ВКС, но также позволяет ослабить требования к конструкции

Траектория разгона ВКС делится на два участка. Сначала он разгоняется до 70 % от космической скорости с использованием аэродинамической подъемной силы и силовой установки, включающей разные типы двигателей, затем – до конечной орбитальной скорости с использованием только жидкостного ракетного двигателя (ЖРД).

Последовательность работы типов двигателей в составе силовой установки:

$M \leq 3$ – турбореактивный двигатель (ТРД);

$M = 3-7$ – прямоточный воздушно-реактивный двигатель с дозвуковой скоростью потока в камере сгорания (ПВРД);

$M = 7-14$ – гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель со сверхзвуковой скоростью потока в камере сгорания (ГПВРД);

$M = 14-17$ – совместная работа ГПВРД и ЖРД;

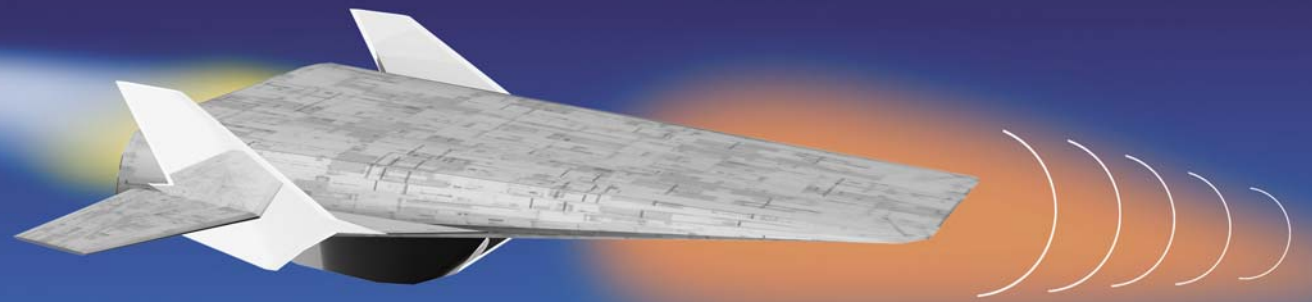
$M > 17$ – ЖРД. В диапазоне чисел Маха 3—17 полет происходит на границе раздела сред различной плотности (режим глассирующего полета)



В большинстве таких теоретических и экспериментальных исследований рассматривается задача уменьшения аэродинамического сопротивления. Этот эффект связан главным образом с уменьшением плотности газа в набегающем потоке, что подтверждено расчетами и непосредственными измерениями. Определенную роль могут играть также изменения режима обтекания вследствие изменения числа Маха или числа Рейнольдса, а также ионизации потока.

На примере обтекания гиперзвуковым потоком газа трапециевидного модельного профиля было показано, что на аэродинамическое сопротивление и подъемную силу можно влиять путем формирования в набегающем потоке ступенчатого распределения температуры (что соответствует ступенчатому распределению плотности газа). Добиться такого эффекта можно, например, при импульсно-периодическом нагреве потока комбинированием лазерного и СВЧ-излучения. При этом максимально высокое аэродинамическое качество достигается в режиме глиссирования, когда полет происходит на границе раздела сред высокой и низкой плотности.

В аэродинамических трубах ИТПМ СО РАН были экспериментально исследованы различные конфигурации гиперзвуковых самолетов



Один из способов активного управления обтеканием летательного аппарата – подвод тепла в набегающий сверхзвуковой поток перед телом. Вверху – схема управления обтеканием воздушно-космического самолета посредством нагрева воздуха СВЧ-излучением. Макет ВКС «Hyper-X» (NASA, США) Слева – структура течения при обтекании конуса потоком аргона при $M=2$ при импульсно-периодическом нагреве потока посредством лазерного излучения. Результат эксперимента – уменьшение аэродинамического сопротивления в два раза. Теневая фотография (ИТПМ СО РАН, Новосибирск)

Функциональные модели

Проверка того или иного способа управления набегающим потоком воздуха может быть проведена с помощью так называемого функционального моделирования. В этом смысле летательный аппарат – сложную иерархическую систему – можно представить в виде взаимосвязанной совокупности различных подсистем, определяемых по функциональным признакам.

Математическая модель летательного аппарата состоит из ряда блоков: аэродинамические характеристики, тяга и удельный импульс двигателя, траектория полета, функциональные ограничения, оптимальное управление. Таким образом, в ней отражены функциональные характеристики и связи элементов в целом, без жесткой привязки к конкретным реализующим устройствам.

С использованием такой модели можно оценить как принципиальную возможность достижения поставленной цели, так и конкретные характеристики (эффективность, критические режимы работы и т.п.). Меняя базовые значения характеристик отдельных элементов, можно определить их влияние на функциональные свойства системы в целом и установить величину допустимых возмущений – выработать требования к точности измерения параметров.

Особенность функционального моделирования в том, что синтез и анализ объекта производится при

небольшом объеме начальной информации. Отсюда следует, во-первых, итерационный характер построения математической модели, предполагающий постоянную корректировку процесса с учетом уже полученных результатов. Во-вторых, в модели предусматривается минимальное число задаваемых входных параметров, что уменьшает степень неопределенности при установлении характеристик летательного аппарата.

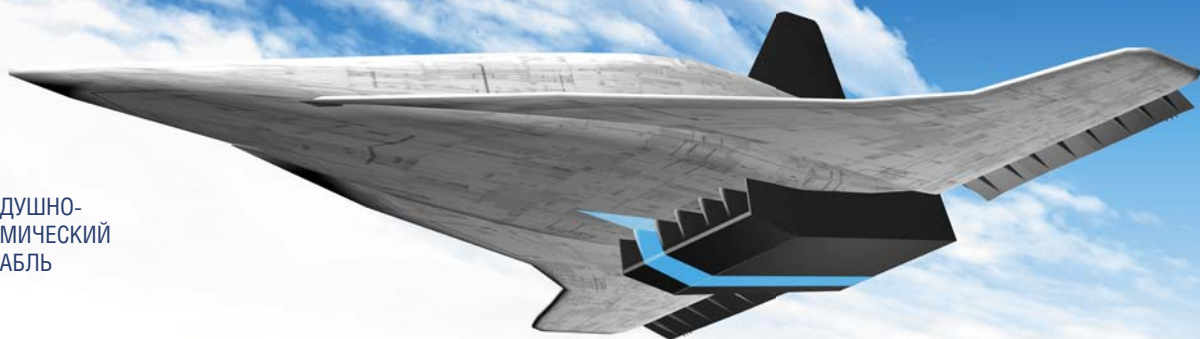
Второе обстоятельство стимулирует поиск новых, более обобщенных форм представления функциональных свойств элементов. Естественно, они должны соотноситься с множеством возможных конкретных устройств. Однако выбор и разработка самих устройств – это уже следующий этап работы.

Горение в сверхзвуковом потоке

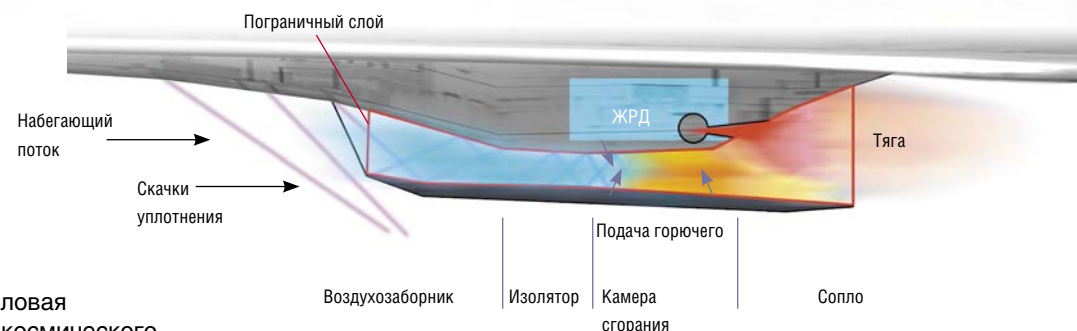
Важнейшая часть силовой установки ВКС – прямой воздушно-реактивный двигатель, теоретическому и экспериментальному исследованию которого посвящено много работ.

Концепция использования ПВРД для полета с гиперзвуковыми скоростями предусматривает, что в канале двигателя сгорание топлива должно происходить в

ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ

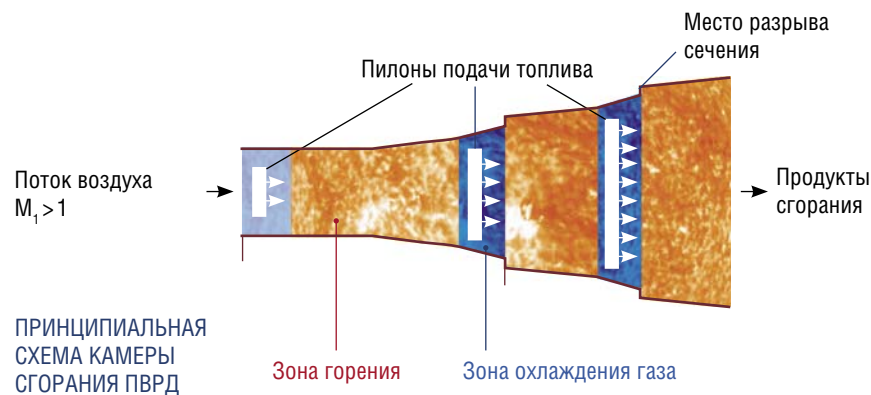


ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПВРД



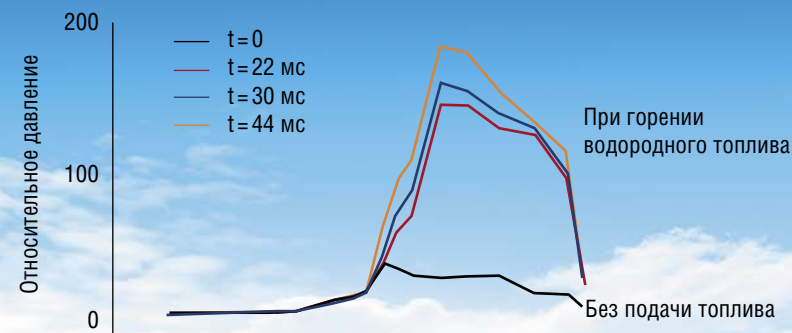
Комбинированная силовая установка воздушно-космического самолета наряду с жидкостным ракетным двигателем (ЖРД) включает в себя прямоточный воздушно-реактивный двигатель (справа вверху).

Втекающий в двигатель воздух сжимается в воздухозаборнике и дополнительно тормозится в изоляторе в системе косых скачков уплотнения, в результате чего его температура и давление повышаются. Затем воздух поступает в камеру сгорания, где смешивается с высококалорийным топливом – водородом. Тепло, выделяющееся при сгорании топлива, увеличивает энергию продуктов сгорания, преобразующуюся в сопле в кинетическую энергию истекающего газа. При этом скорость газа будет больше скорости втекающего в двигатель воздуха – эта разность обеспечивает тягу двигателя. При $M=3-7$ горение топлива происходит в дозвуковом потоке воздуха; при $M > 7$ – в сверхзвуковом. При $M=14-17$ работают совместно ГПВРД и ЖРД, а при больших числах Маха корабль использует уже только ракетный двигатель



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПВРД

В камере сгорания ПВРД с учетом ограничения статической температуры газа (Латыпов, Фомин, 2009) реализуется секционное горение с контролем температуры продуктов сгорания. Процесс организован так, что зоны горения топлива чередуются с зонами охлаждения продуктов сгорания. При этом охлаждение происходит в секциях с резким расширением сечения камеры сгорания, где скорость протекания реакций значительно уменьшается. В местах разрыва сечений за уступами формируются зоны циркуляционных течений с температурой газа, близкой к температуре торможения потока, – они инициируют реакцию окисления топлива. Дополнительно для управления процессом горения используется также импульсно-периодическая подача топлива



В ИТПМ СО РАН проводятся теоретические и экспериментальные исследования прямоточного воздушно-реактивного двигателя. Слева – результаты исследования в аэродинамической трубе (при числе Маха набегающего потока $M=6$) характеристик потока газа в тракте модели ПВРД при горении водородного топлива. Установлено, что давление воздуха в канале постепенно повышается в системе косых скачков уплотнения, генерируемых в процессе сжатия воздуха в воздухозаборнике и изоляторе, которые замыкаются прямым скачком уплотнения. Такой режим течения в канале с подводом тепла наблюдается во многих экспериментальных работах

сверхзвуковом потоке воздуха. При этом количество сгорающего топлива должно быть достаточным для получения требуемой тяги. Известный итальянский физик, создатель первой аэродинамической сверхзвуковой трубы А. Ферри предложил несколько способов впрыска топлива в поток и описал возможные схемы возникающих при этом течений. Однако сведения об их практической реализации отсутствуют.

Вообще же диагностика потоков, образующихся при сгорании топлива, чрезвычайно затруднена из-за неравномерного распределения параметров течений и неравновесности процессов. До сих пор нет достоверных экспериментальных данных, свидетельствующих, что в канале двигателя действительно сохраняется сверхзвуковое течение при его «подогреве» в результате сгорания топлива, учитывая, что статическая температура газа при этом не должна превышать $2500-2700$ °К. Это ограничение, важное при гиперзвуковом полете, связано с необходимостью в ограничении степени диссоциации продуктов сгорания, поскольку последняя приводит к уменьшению работоспособности газового потока и, следовательно, к уменьшению тяги двигателя.

Для определения характеристик ПВРД существующими методами требуется задание некоторого множества определяющих величин, зависящих от газодинамических и геометрических параметров двигателя и определяемых, как правило, экспериментально. Поэтому эти методы малоприменимы при функциональном моделировании, когда нужно определить минимальную совокупность основных параметров, которые относительно мало (и предсказуемо) меняются в процессе функционирования системы.

В рамках такого подхода в ИТПМ была построена функциональная математическая модель силовой установки, которая позволяет получать оценки коэффициента тяги и удельного импульса ПВРД и комбинации ракетного и прямоточного двигателей. При этом учитывается, что часть энергии продуктов сгорания будет использоваться для управления внешним обтеканием самолета.

Оценки эффективности управления внешним обтеканием посредством нагрева воздуха перед летательным аппаратом показали, что при крейсерском полете на сверхзвуковых скоростях значительно – до трети, в зависимости от числа Маха полета, – увеличивается так называемый коэффициент дальности Бреге* за счет увеличения аэродинамического качества.

Сравнение расходов топлива на разгон с нагревом воздуха перед ВКС и без нагрева было сделано на оптимальных траекториях полета, когда используется комбинированный двигатель. Экономия топлива на траектории разгона составила 3 % от взлетного веса ВКС. Это означает, во-первых, что облегчается решение конструкторских задач. Во-вторых, – что появляется возможность значительно увеличить полезную нагрузку космического аппарата.

По различным оценкам, вес выводимой на орбиту полезной нагрузки составляет 3–5 % от стартового веса самолета – цифры, сравнимые с расчетной величиной экономии топлива при управлении обтеканием самолета. Таким образом, очевидно, что управление

* Коэффициент дальности Бреге $Br = VKI$, где V – скорость полета, K – аэродинамическое качество, I – удельный импульс двигателя



2200 1700 1100 980 870 760 °C



Одна из проблем полета на сверхзвуковых скоростях – интенсивный аэродинамический нагрев самого летательного аппарата. Вверху – спектр ожидаемых температур поверхности гиперзвукового транспортного самолета с горячей конструкцией, совершающего крейсерский полет ($M=8$) на высоте 27 км

обтеканием ВКС посредством нагрева набегающего потока будет весьма эффективно как при крейсерском режиме, так и при разгоне.

Нужна тепловая защита

Существует еще ряд более частных, хотя и не менее важных, проблем, которые нужно решать при создании воздушно-космического самолета. Одна из них – интенсивный аэродинамический нагрев, который длительное время приходится выдерживать конструкции планера, ведь тепловой поток на поверхность самолета пропорционален скорости полета в третьей степени. Такое тепловое воздействие – настоящий барьер, который надо преодолеть при создании гиперзвуковых самолетов.

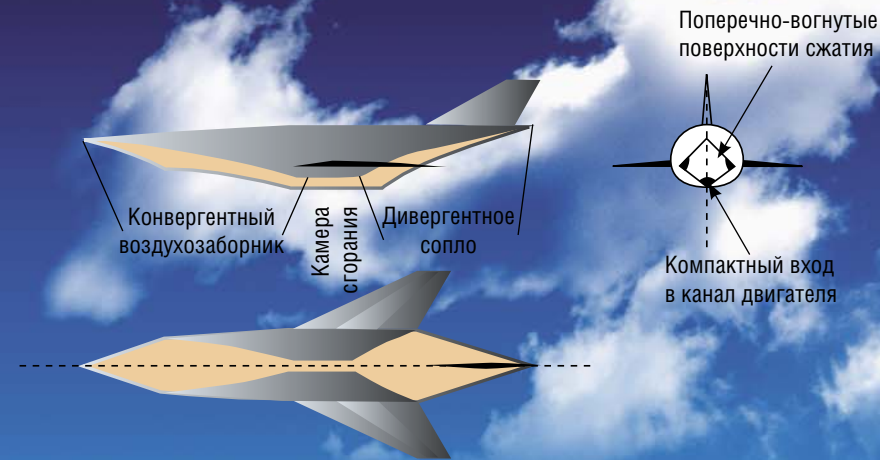
Высокие температуры практически всех участков поверхности летательного аппарата исключают возможность использования для его конструкции традиционных металлов (алюминий, титан, сталь). Возможные способы тепловой защиты поверхности подразделяются на пассивные и активные, а также их комбинации. К первым относятся, например, использование разрушающихся материалов, излучающих покрытий, покрытий с низкой температуропроводностью, характеризующихся невысокой скоростью выравнивания температуры. Методы активной тепловой защиты предусматривают принудительную подачу охлаждающего вещества к горячей поверхности, которое, возможно,

будет проникать и в пограничный слой внешнего воздушного потока.

Весьма перспективным представляется метод тепловой конверсии углеводородного топлива, которое может частично замещать жидкий водород. При этом смесь углеводородного топлива с водой подается по каналам под горячими поверхностями. Под воздействием теплового потока происходит эндотермическая реакция образования *синтез-газа* (смеси монооксида углерода и водорода), идущая с поглощением тепла.

Реакция сопровождается интенсивным конвективным движением среды, что обеспечивает достаточно большие значения коэффициента теплопередачи и малое термическое сопротивление между средой и нагретой стенкой. В результате температура поверхности будет понижаться. «Бонусом» в данном случае будет увеличение энергии топлива за счет поглощения внешнего теплового потока.

Еще один тактический прием тепловой защиты ВКС – уменьшение площади поверхностей, которые необходимо защищать от воздействия высоких температур. В ИТПМ СО РАН была разработана концепция конвергентного воздухозаборника и дивергентного сопла, имеющих более компактные размеры по сравнению с обычными. Модель такого летательного аппарата была испытана в импульсной аэродинамической трубе института при $M=7,8$ с работающим двигателем на водороде, и экспериментальные результаты совпали с предсказанными расчетными данными.



Один из приемов тепловой защиты ВКС – уменьшение площади поверхностей, которые требуют защиты. В ИТПМ была разработана концепция гиперзвукового самолета с конвергентным воздухозаборником и дивергентным соплом, имеющими более компактные размеры по сравнению с обычными. В таком воздухозаборнике сжатие воздуха производится по сходящимся направлениям, благодаря чему выходное сечение имеет компактную конфигурацию с минимальным периметром. Расширение продуктов сгорания в дивергентном сопле по расходящимся направлениям также позволяет уменьшить площадь сопла

При полете со сверхзвуковой скоростью ударные волны, генерируемые самолетом, достигают поверхности земли. Перепад давления на ударной волне создает так называемый звуковой удар. Воздействие перепада давления на ушные перепонки может быть очень болезненным; сила удара может быть такова, что будет разбиваться даже оконные стекла. Уменьшить звуковой удар можно благодаря специальной компоновке летательного аппарата, выбору траектории и режима полета, а также активного воздействия на структуру ударных волн в окрестностях летательного аппарата.

Даже приведенный здесь краткий обзор демонстрирует беспрецедентную сложность создания одноступенчатого воздушно-космического самолета. Однако мощным стимулирующим фактором для форсирования работ по его созданию служит экспоненциальный рост темпа освоения околоземного космического пространства.

Для выполнения всего комплекса работ (научные исследования, проектные разработки, изготовление опытного образца, экспериментальная доводка, создание эксплуатационных структур) требуются громадные людские, материальные и финансовые ресурсы. Выполнить задуманное, вероятно, станет возможным лишь при объединении усилий многих стран. Но цель стоит того, ведь дальнейшее освоение космического пространства должно способствовать успешному и мирному развитию человеческой цивилизации.

Литература

- Бурдаков В. П., Данилов Ю. И. *Внешние ресурсы и космонавтика*. М.: Атомиздат, 1976.
- Георгиевский П. Ю., Левин В. А. *Управление обтеканием различных тел с помощью локального подвода энергии в сверхзвуковой набегающий поток* // Изв. РАН. МЖТ. 2003. № 5. С. 154–167.
- Латышов А. Ф. *О математическом моделировании летательных аппаратов на этапе выработки концепции* // ЧММСС, 1979. Т. 10, № 3. С. 105–110.
- Латышов А. Ф., Фомин В. М. *Оценка энергетической эффективности подвода тепла перед телом в сверхзвуковом потоке* // ПМТФ. 2002. Т. 43, № 1. С. 71–75.
- Латышов А. Ф. *Оценка энергетической эффективности подвода тепла перед телом при полете с ускорением. Часть 1. Математическая модель* // Теплофизика и аэромеханика, 2008. Т. 15, № 4. С. 573–584. *Часть 2. Математическая модель разгонного участка траектории. Результаты расчетов* // Теплофизика и аэромеханика, 2009. Т. 16, № 1. С. 1–12.
- Латышов А. Ф., Фомин В. М. *Способ работы сверхзвукового пульсирующего прямоточного воздушно-реактивного двигателя и сверхзвуковой пульсирующей прямоточной воздушно-реактивной двигатель* // Патент РФ № 2347098, 2009.
- Сабельников А. В., Пензин В. И. *К истории исследований в области высокоскоростных ПВРД в России*. М.: ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008.

З а щ и т а ОТ РАКЕТНЫХ ВЫХЛОПОВ

Оказывается, даже в вакууме космонавты могут пострадать от токсического воздействия вредных выхлопов двигателей. Какие физические явления лежат в основе происходящих процессов и как защитить космическую станцию от космической грязи? Решение этих проблем потребовало фундаментальных исследований газодинамической структуры течения вакуумных струй

Космический аппарат на орбите необходимо постоянно поддерживать в определенном положении относительно Земли и Солнца. Эта задача решается с помощью системы ориентации, куда входят двигатели управления и ориентации. Сейчас для этих целей применяются жидкостные ракетные двигатели малой тяги, топливом которых являются самовоспламеняющиеся компоненты – амил (азотный тетраоксид) и гептил (несимметричный диметилгидразин).

Высокая температура сгорания топлива (около 3000 °С) требует защиты стенок двигателя и сверхзвукового сопла от продуктов горения, для чего используется пристенная жидкостная пленка из того же топлива (в основном гептила). Двигатели работают в импульсном режиме: при включении сверхзвуковая горячая струя газов, выбрасываемая из сопла, создает тягу для ориентации космического аппарата в заданном положении. Таким образом, работа двигателей ориентации сопровождается периодическим выбросом в космос как сгоревших, так и несгоревших, в том числе капельных, фракций топлива.

Элементы конструкции, оказавшиеся в выхлопном факеле двигателя, подвергаются значительному тепловому, силовому и физико-химическому воздействию. Кроме того, продукты неполного сгорания топлива оседают на поверхности корабля и могут попадать на скафандры космонавтов при выходе их в открытый космос. Из-за токсичности самого топлива они представляют собой большую опасность для людей при попадании их внутрь космического аппарата.

До недавнего времени основное внимание уделялось тепловому и силовому воздействию струй двигателей. Проблема загрязняющего воздействия выхлопных струй впервые возникла при эксплуатации космической станции «Мир» во время проведения эксперимента «Двигон» в 1998 г. Тогда и было установлено наличие загрязнений на различных участках внешней поверхности станции. Однако особое внимание этому вопросу стали уделять после создания Международной космической станции (МКС). Проблема оказалась настолько серьезной, что для космонавтов были разработаны специальные конкретные меры предосторожности при работе в открытом космосе.

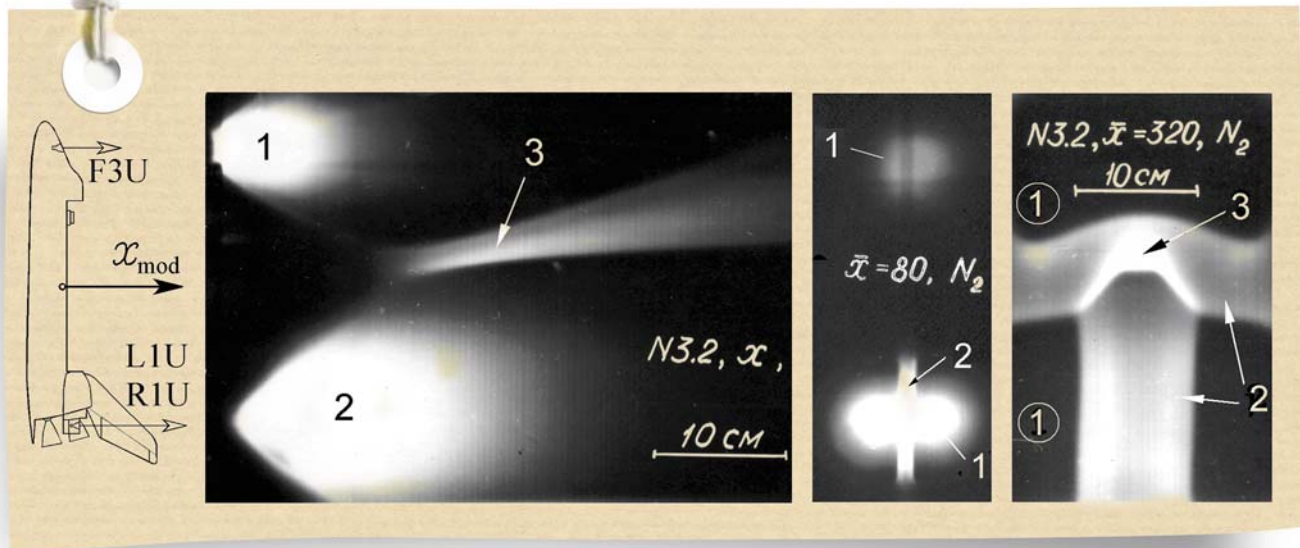
В земном вакууме

Рассчитать теоретически воздействие струй двигателей управления на прилегающие элементы конструкции космического аппарата невозможно – для этого требуется экспериментальное моделирование в вакуумных камерах. К выполнению этих работ в конце 1970-х гг. активно подключился новосибирский Институт теплофизики СО РАН им. С. С. Кутателадзе. Основным заказчиком выступила Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королева.



ЯРЫГИН Вячеслав Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией молекулярной газодинамики Института теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 140 печатных работ и 5 патентов

Ключевые слова: МКС, система ориентации, ракетные двигатели, загрязнение, газовые потоки в вакууме, космические эксперименты.
Key words: International Space Station, orientation system, rocket engines, gas streams in vacuum, space experiment



Что такое разреженный газ, и чем он отличается, например, от привычного атмосферного воздуха?

Известно, что воздух состоит из смеси молекул азота и кислорода, которые постоянно движутся и сталкиваются между собой. Путь, проходимый молекулой от одного столкновения до другого, называется длиной свободного пробега молекул. Для воздуха при нормальных условиях (обычном атмосферном давлении и комнатной температуре) эта величина очень мала и составляет примерно $7 \cdot 10^{-8}$ м. Однако на высоте, где летают спутники (300 км от поверхности Земли), она составляет более 1 км!

Поэтому в обычном атмосферном воздухе летательный аппарат размером около 10 м будет испытывать многочисленные столкновения с молекулами воздуха, а на высоте 300 км, соответственно, — очень редкие. Отношение средней длины свободного пробега молекул к характерному размеру тела принято называть числом Кнудсена (Kn). Таким образом, разреженными считаются течения газа, для которых число Kn $\gg 1$, а обычными — при Kn $\ll 1$.

Динамика разреженных газов начала формироваться как самостоятельный крупный раздел физической механики сравнительно недавно — в послевоенные годы под влиянием интересов авиационной и ракетно-космической промышленности. И уже в середине 1960-х гг. в ней выделились новые перспективные направления исследований с практическими приложениями в технологической сфере. Сюда можно отнести изучение релаксационных процессов и их роли в формировании градиентных течений в соплах и струях двигателей, неравновесных химических и плазмохимических реакций, процессов образования и испарения аэрозолей и т. д.

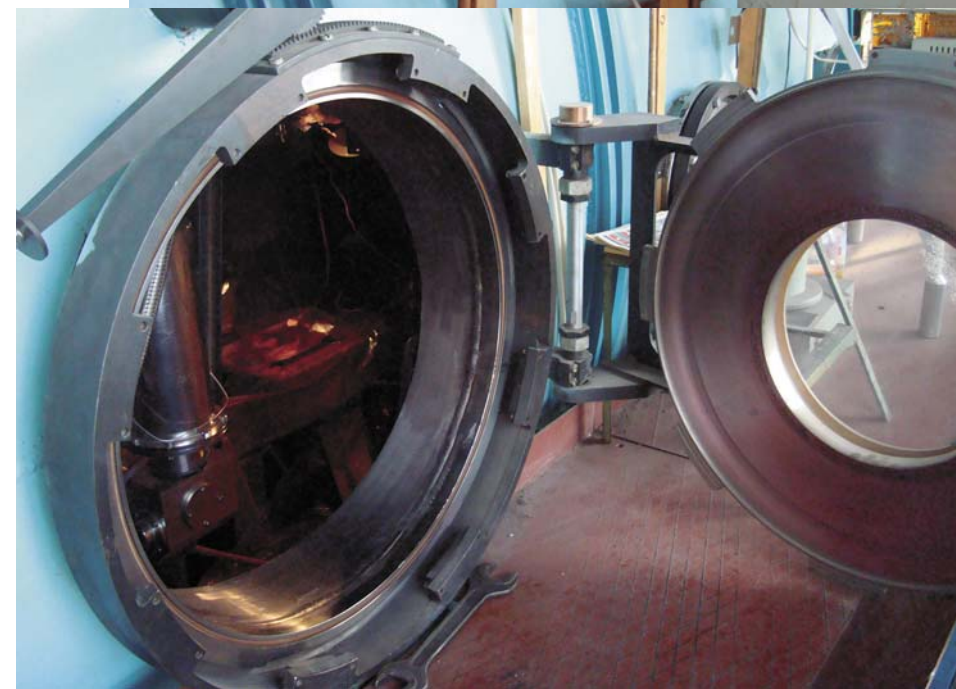
В ИТ СО АН СССР в 1980 г. в модельных экспериментах в вакуумной камере было исследовано истечение газовых струй из сопел управляющих двигателей американского многоразового транспортного космического корабля «Space Shuttle».

Электронно-пучковая визуализация в различных сечениях (яркость пропорциональна плотности газа)

В то же время нужно подчеркнуть, что несмотря на появление новых проблем и задач в связи с бурным освоением воздушно-космического пространства, до сих пор сохранили свое значение и традиционные для динамики разреженных газов направления, занимающиеся проблемами теплофизического и аэрогазодинамического обоснования конструкции летательных аппаратов.

Формирование научной тематики и самих научных коллективов первых институтов Сибирского отделения Академии наук, включая Институт теплофизики, пришлось на время первых космических полетов. При его формировании была поставлена задача создания базы крупномасштабных вакуумных газодинамических установок с широкими функциональными возможностями для развития исследований в этой области.

Уже в 1964 г. вошла в строй первая вакуумная установка ВС-2, на которой были отработаны основные принципиальные вопросы получения и диагностики сверхзвуковых течений разреженного газа. В 1973 г. заработал вакуумный газодинамический комплекс, состоящий из четырех газодинамических стендов различного назначения, включая генератор молекулярного пучка, а в 1985 г. — крупномасштабная вакуумная газодинамическая установка «Викинг» объемом около 150 м³

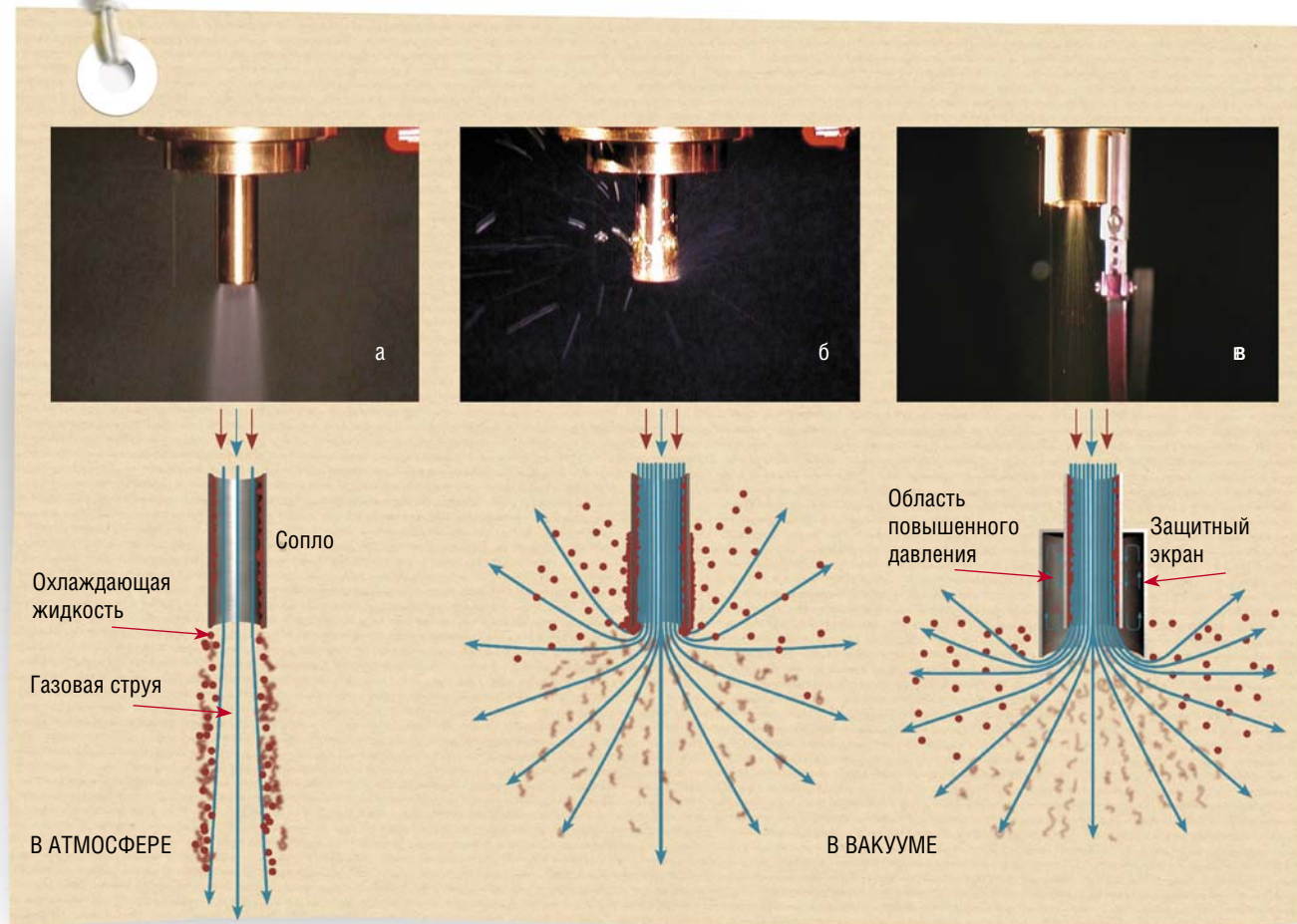


Крупнейшая вакуумная установка «Викинг» Института теплофизики СО РАН имеет диаметр более 4 м и длину около 12 м. Здесь проводят опыты по истечению газа в космический вакуум (давление $P < 10^{-6}$ атм)

Сначала исследования проводились на уже существовавших вакуумных стендах и касались в основном моделирования силового и теплового воздействия факелов двигателей. Основопологающим для модельных экспериментов стал проведенный ранее в институте цикл фундаментальных исследований по влиянию неравновесных процессов на характер сверхзвукового струйного расширения атомарных и молекулярных газов в вакууме.

Оказалось, что при определенных условиях именно неравновесные процессы (такие как гомогенная конденсация и колебательная релаксация) определяют газодинамическую структуру течения вакуумных струй. Этот экспериментально обнаруженный факт и был положен в основу нового подхода к моделированию струй двигателей.

Были успешно проведены исследования по моделированию струй двигателей космических кораблей типа



«Прогресс», модулей орбитальной станции «Мир», ракетно-космического комплекса «Энергия-Буран» и др. Введенная в строй в 1985 г. в ИТ СО АН СССР крупномасштабная вакуумная газодинамическая установка «Викинг» существенно расширила возможности проведения фундаментальных и прикладных исследований в потоках разреженного газа. Именно на этой установке и были впоследствии проведены исследования по загрязнению МКС.

Струя падает назад

Особенность струйного истечения газов и жидкостей из звукового либо сверхзвукового сопла в вакуум состоит в том, что выходящий из сопла газ расширяется во все стороны, в том числе и назад: предельный угол расширения струи относительно оси сопла превышает 90°. Именно такие «обратные» потоки возникают при работе на орбите системы ориентации космических аппаратов. Однако если давление в пространстве, куда истекает струя, равно атмосферному, то никаких обратных потоков не возникает.

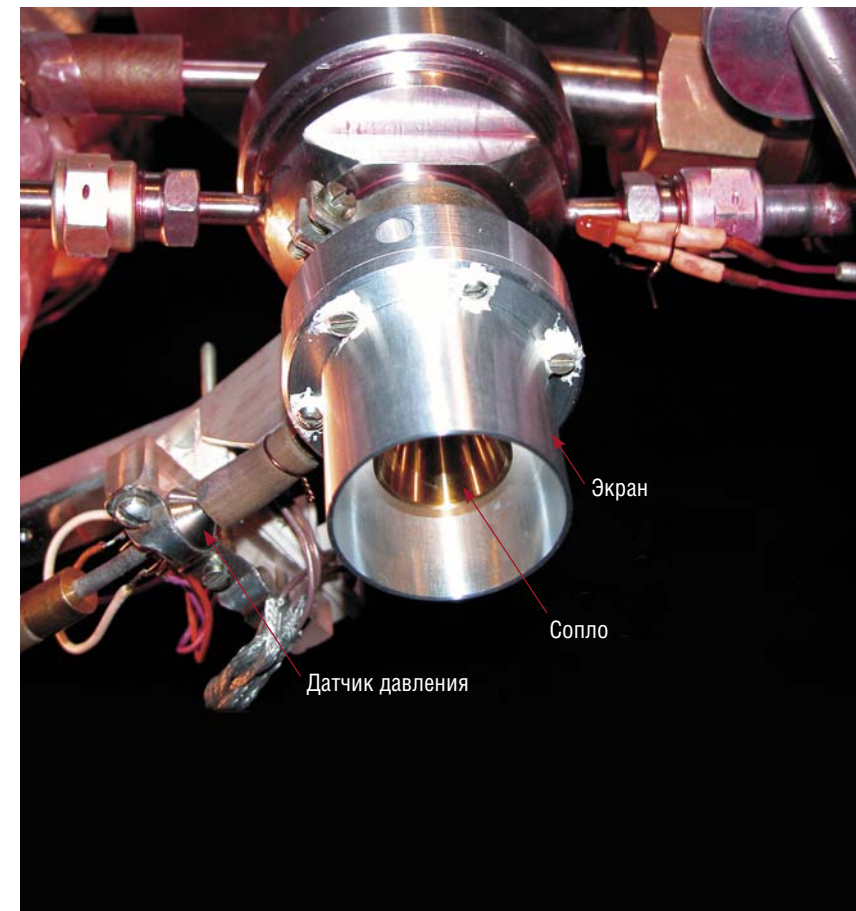
Истечение пристенной пленки охлаждающей жидкости с газовым потоком из сопла двигателя кардинально зависит от давления в окружающей среде.

В атмосфере наблюдается привычная картина: капельки очень слабо отклоняются от направления струи (а), но при истечении в вакуум брызги летят практически во все стороны, загрязняя внешнюю поверхность сопла (б). При наличии же защитного экрана в пространстве между ним и соплом возникает область повышенного давления, препятствующая обратному газожидкостному потоку (в)

Еще более удивительно при истечении в вакуум ведет себя пристенная пленка жидкости, используемая для охлаждения стенок сопла. Для выяснения деталей этого процесса были поставлены эксперименты по совместному истечению газа из трубки с пристенной пленкой жидкости в атмосферных условиях и в вакуум (где давление в миллион раз меньше атмосферного), при этом все остальные параметры экспериментов оставались неизменными.

В проекте Международной космической станции (МКС) участвуют 16 стран. Первый модуль – российский сегмент «Заря» был выведен на орбиту 20 ноября 1998 г., а через два года там появились первые космонавты. Сегодня МКС – это космический аппарат массой 350 т, длиной 58 м, шириной 45 м (с фермами – 73 м) и высотой 27 м. Период обращения вокруг Земли примерно 1,5 часа. В ясную погоду в вечерние и утренние часы ее можно наблюдать невооруженным глазом

Защитные экраны производства РКК «Энергия» были установлены на сопла двигателей системы ориентации служебного модуля Международной космической станции



Результаты экспериментов оказались весьма показательными. При истечении в атмосферу наблюдалась обычная газожидкостная струя, в то время как при истечении в вакуум пристенная пленка на выходной кромке трубки разворачивалась на 180° и начинала двигаться по наружной поверхности трубки в обратном направлении, преодолевая даже действие силы тяжести! Далее пленка распадалась, создавая поток капель на присопловую поверхность.

Столь необычное поведение пристенной пленки жидкости на выходной кромке трубки вызвано наличием вышеупомянутого «обратного» газового потока, который не дает жидкости двигаться вперед, как это имеет место при истечении в атмосферу.

Грязь не пройдет!

Таким образом, относительно простой эксперимент позволил объяснить причину возникновения обратных потоков капель топлива, которые приводят к загрязнению поверхности космической станции при работе двигателей системы ориентации. Дальнейшее, как говорится, было делом техники.

Специалисты института предложили устанавливать на выходную часть сопла двигателей специальные защитные устройства – экраны. Чтобы экспериментально проверить эффективность такой «простой» защиты, исследователям понадобилось создать новые методы диагностики газочапельных потоков в вакууме (такие как визуализация структуры течения, пространственного распределения капель и т. д.).

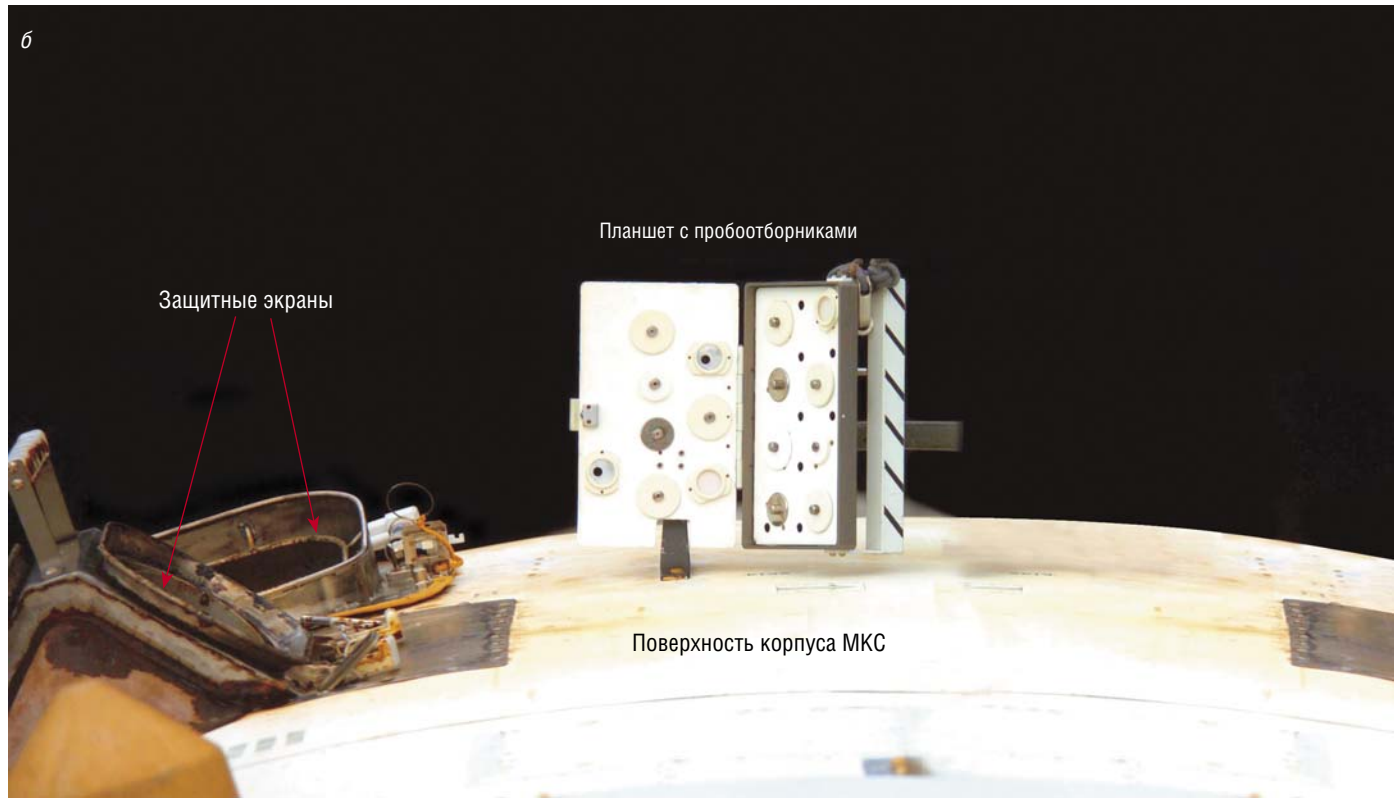
С использованием этих методов был выполнен цикл экспериментальных исследований на установке «Викинг», позволивший обосновать и разработать рекомендации специалистам РКК «Энергия», которые занялись непосредственным проектированием и производством защитных устройств для двигателей различных блоков МКС.

Защитные экраны были доставлены на МКС, где в январе 2002 г. космонавты Ю. Онуфриенко и Д. Берш установили их на двигатели ориентации служебного модуля во время выхода в открытый космос.

Проверка эффективности работы защитных устройств в условиях реального полета стала одной из главных задач космического эксперимента «Кромка-1», стартовавшего на борту МКС еще с середины 2001 г.



В космическом эксперименте «Кромка-1» исследовали влияние защитного экрана на распространение «грязи» (веществ, образующихся при сгорании топлива) вдоль поверхности корпуса МКС: а – до установки экранов; б – после установки экранов на сопла двигателей системы ориентации



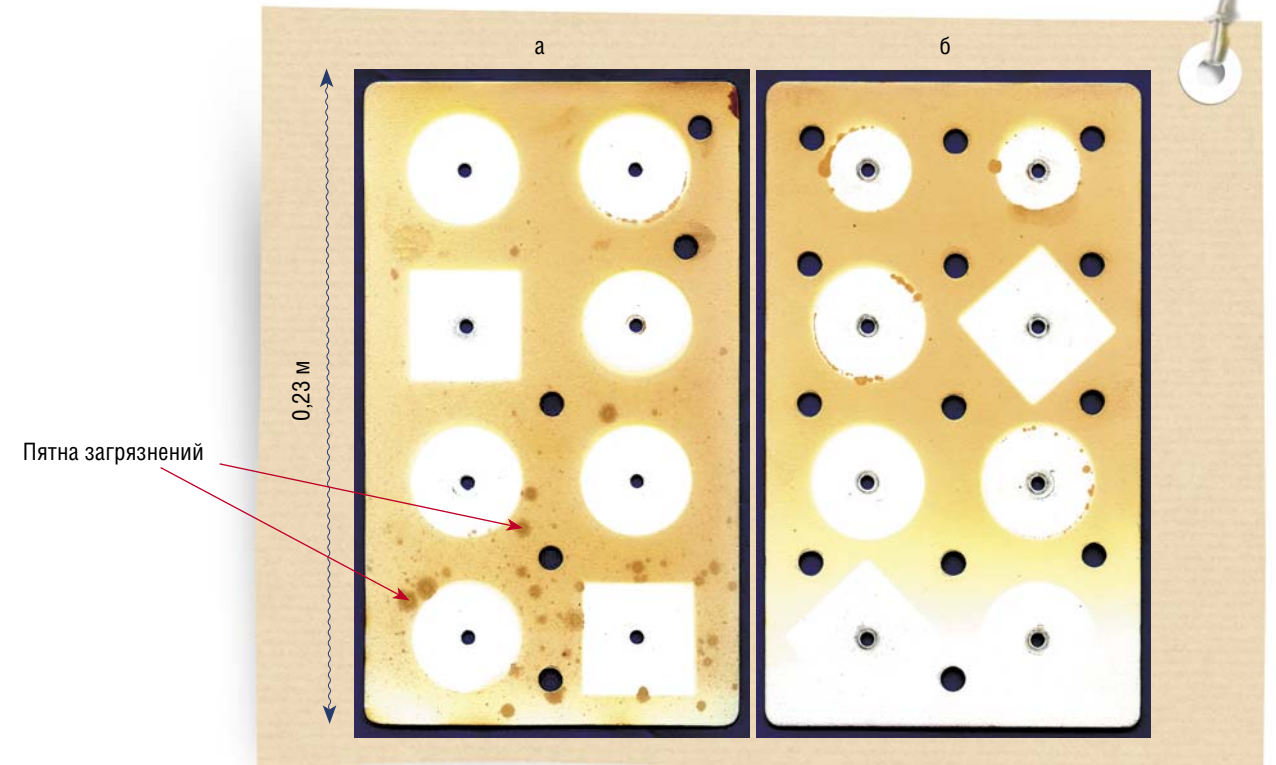
В рамках программы эксперимента вблизи двигателей устанавливались планшеты с образцами различных материалов, на которые и осаждались загрязняющие фракции. Эксперимент был повторен дважды: до установки защитных экранов на сопла и после установки. Затем планшеты были демонтированы и возвращены на Землю для тщательного исследования.

Простое визуальное обследование планшетов показало, что защитные экраны с честью справились с задачей. В нижней части «контрольных» образцов имелись довольно многочисленные следы темных капель, в то время как на планшетах, смонтированных после установки защитных устройств, подобные следы отсутствовали. Дальнейшие исследования планшетов с целью определения химического состава капель и получения количественных данных по загрязнению подтвердили первоначальные выводы.

Таким образом, результаты натурных исследований, проведенных непосредственно в космосе, полностью совпали с результатами модельных экспериментов в вакуумных камерах ИТ СО РАН. И дело не только в успешном решении проблемы загрязнения МКС токсичными выбросами, хотя это очень важно. Многолетние контакты ученых с ведущими специалистами-практиками стимулировали появление новых программ фундаментальных исследований, новых методов диагностики, подтолкнули развитие экспериментальной базы.

А что же космос? В 2013–2016 гг. на МКС планируется новый космический эксперимент «Астра-3» с целью исследования динамики загрязняющего воздействия собственной внешней атмосферы станции на элементы внешних поверхностей, и ИТ СО РАН снова приглашен в нем участвовать.

Эффективность работы защитных экранов на сопла двигателей системы ориентации оценивалась по состоянию планшетов, установленных в непосредственной близости от них на корпусе МКС. Планшеты находились в открытом космосе в течение нескольких месяцев. Оказалось, что нижняя, примыкающая к поверхности корпуса станции сторона планшетов, установленных после монтажа защитных насадок, оставалась практически чистой (б), а при отсутствии экранов она покрывалась пятнами загрязнений. Снимок сделан после возвращения на Землю и отсоединения «пробоотборников»



Литература

Ребров А.К., Ярыгин В.Н. Вакуумная газодинамическая установка с электродуговым подогревом газа // 1967. ТВТ. № 1. С. 182–183.

Кутателадзе С.С., Ярыгин В.Н., Ребров А.К. Некоторые проблемы молекулярной газодинамики // Вестн. АН СССР. 1984. № 4. С. 79–85.

Ребров А.К., Ярыгин В.Н. Молекулярная газодинамика и неравновесные процессы // ТИА. 1997. Т. 4, № 2. С. 171–179.

Gerasimov Yu. I., Yarygin V. N. Problems of Gas-Dynamical and Contaminating Effect of Exhaust Plumes of Orientation Thrusters on Space Vehicles and Space Stations // Proc. 25th Int. Symp. Raref. Gas Dyn. (RGD25). St.-Petersburg, Russia, 2007. P. 805–811.

Афанасьев И. Коварная «Кромка» // Новости космонавтики. 2004. Т. 14. № 4 (255). С. 15–16.

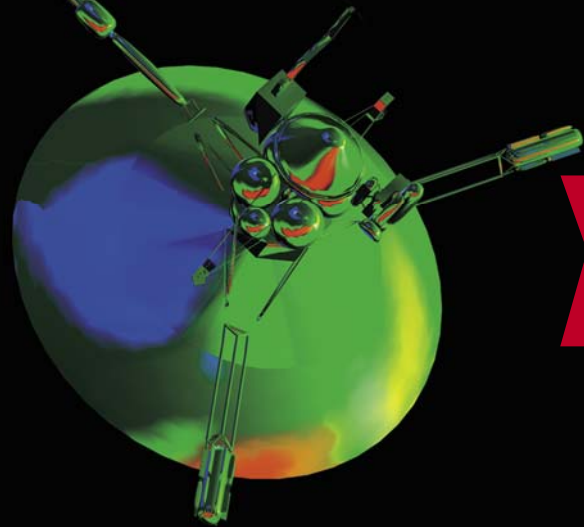
Герасимов Ю.И., Мишина Л.В., Приходько В.Г., Ярыгин В.Н. Способ защиты поверхности космического аппарата от загрязнения, образующегося при дренаже гидравлических магистралей и работе ракетных двигателей, и устройство для его осуществления // Патент РФ №2149807 от 24.05.1999.

Герасимов Ю.И., Крылов А.Н., Соколова С.П. и др. Газодинамические аспекты проблемы загрязнения Международной космической станции. Часть 2. Натурные эксперименты // ТИА. 2003. Т. 10. № 4. С. 575–586

В. А. ДЕРЕВЯНКО

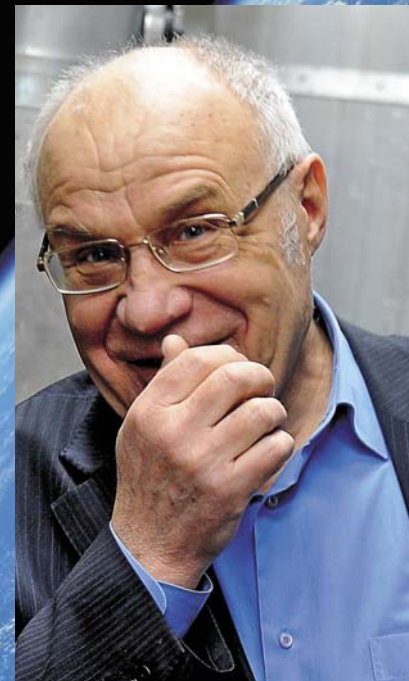
КОГДА В КОСМОСЕ

ЖАРКО



Прошло немногим более полувека со дня запуска первого спутника, а космические технологии уже прочно вошли в нашу жизнь. Привычными стали регулярные полеты к МКС, космический туризм, спутниковая навигация и телевидение... Надежные космические аппараты нужны, как хорошие автомобили. Притом что на орбите нет станций технического обслуживания, обеспечение долговечности и эффективности работы всех элементов космического аппарата – главная задача разработчиков. Ключевую роль при этом играет система терморегулирования, ведь приборы, как и люди, нуждаются в «комфортной» температуре

ДЕРЕВЯНКО Валерий Александрович – кандидат физико-математических наук, руководитель научно-исследовательской группы тепловых систем космических аппаратов Института вычислительного моделирования СО РАН, научно-учебной лаборатории проектирования космических систем и аппаратов Сибирского федерального университета (Красноярск). Автор и соавтор более 120 научных работ и 13 патентов РФ



Одно из главных условий, гарантирующих надежность и долговечность сложного автономного робота, каким является спутник, – поддержание стабильного температурного режима работы всей бортовой аппаратуры. Эта задача далеко не проста, поскольку движущийся по орбите спутник находится в сложных и постоянно меняющихся тепловых условиях.

Режим работы самого аппарата периодически меняется: включаются и выключаются мощные электрические приборы, спутник заходит в тень Земли, вращаются нагретые солнечные панели, являющиеся источником переменного теплового облучения приборного отсека. В таких условиях задача обеспечения теплового режима работы каждого элемента космического аппарата возлагается на специальную систему терморегулирования. При этом сброс излишек тепла с аппарата осуществляется единственным способом – излучением в окружающее космическое пространство.

Обычная система терморегулирования космического аппарата включает в себя тепловые газожидкостные контуры, излучательные радиаторы, нагреватели, терморегулирующие покрытия и тепловые изоляторы. При этом важна правильная компоновка тепловыделяющих элементов, основанная на точном расчете тепловых режимов работы. После создания спутника система тщательно тестируется на земле, ведь в космосе уже ничего нельзя будет исправить.

Негерметичный – лучше!

В 1990-х гг. на одном из ведущих предприятий космической отрасли ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва (г. Железногорск, Красноярский край) приступили к разработке космических аппаратов с приборным отсеком негерметичного исполнения, аналоги которых уже существовали за рубежом. Такие спутники являются более легкими, надежными и долговечными, однако отсутствие воздушной среды в приборном отсеке, обычно использовавшейся для отвода тепла, потребовало разработки новых принципов теплового проектирования приборов и способов сброса тепла на излучательные радиаторы.

С работы над этим проектом и началось сотрудничество ОАО «ИСС» с Институтом

Ключевые слова: вычислительное моделирование, теплофизика, космические аппараты, системы терморегулирования.

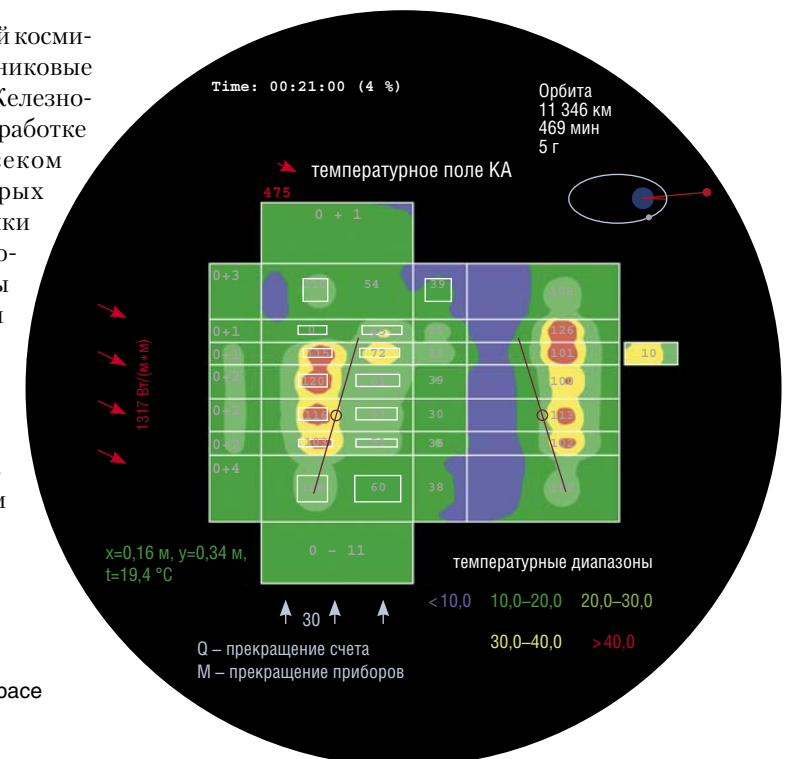
Key words: computational modeling, thermal physics, space vehicles, systems of thermoregulation

вычислительного моделирования СО РАН (г. Красноярск). Вообще взаимодействие академической и отраслевой науки всегда было достаточно сложным процессом как в силу различных подходов к решению задач, так и в силу различной ответственности за результат. Однако ситуация на этот раз была благоприятной: разработка принципиально новой конструкции космического аппарата требовала новых идей и новых технических решений. Нужны были энтузиасты и с той и с другой стороны.

Одной из первых «космических» разработок ученых стала вычислительная модель теплового режима космического аппарата негерметичного исполнения, которая базировалась на накопленном в институте большом опыте решения трехмерных нестационарных задач теплообмена.

Даже на современной вычислительной технике полное решение подобных задач требует слишком много времени, поэтому исследователями была предложена так называемая иерархическая модель. Ее основная идея заключалась в том, что нет необходимости детально просчитывать температурный режим каждого

В ИВМ СО РАН была разработана модель теплового режима космического аппарата негерметичного исполнения. Вычислительное моделирование помогает определить оптимальную конструкцию спутника и найти оптимальную компоновку бортовой аппаратуры, при которой каждый прибор работает в требуемом температурном диапазоне





Внутри тепловакуумного стенда одного из ведущих предприятий космической отрасли ОАО «Информационные спутниковые системы» проходит проверку вся радиоэлектронная аппаратура, отправляемая на орбиту для работы в сложных космических условиях

мелкого тепловыделяющего элемента, пока не оценен допустимый тепловой баланс целых узлов.

В результате был создан пакет прикладных программ для расчета теплового режима космического аппарата негерметичного исполнения, движущегося по произвольной орбите, с учетом эффективной теплоемкости конструкции и приборов, теплового сопротивления посадочных мест и переменной теплопроводности радиационных панелей.

Эти разработки ИВМ стали составной частью проекта, который был реализован в рамках Федеральной космической программы и завершился созданием «Интегрированной многоуровневой системы Градиент-2 проектирования КА блочно-модульного исполнения».

Космос в масштабе стенда

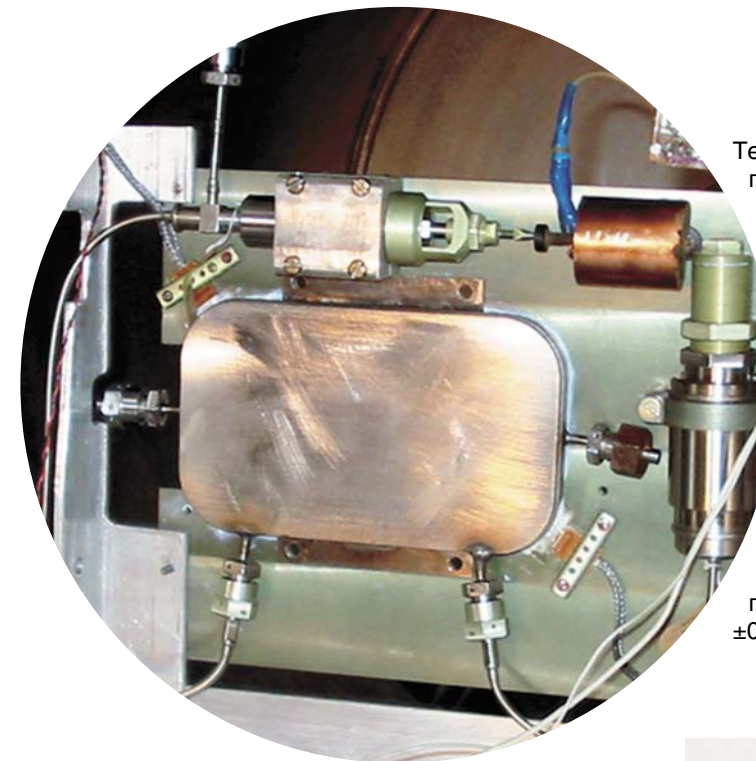
Долговечность космического аппарата зависит от каждого элемента бортовой аппаратуры, поэтому проверка ее надежности – один из важнейших этапов создания спутника.

Сейчас эта задача стала особенно актуальной. Еще в 2000-х гг. срок службы космических аппаратов связи и

навигации не превышал пяти лет, сейчас же он увеличился до 15 и более лет. Для создания таких аппаратов требуются точные современные методы контроля качества, гарантирующие их надежную работу на протяжении всего срока службы. Конечно, имеющиеся математические модели теплового режима можно использовать для расчета тепловых режимов отдельных электронных блоков и оптимизации их расположения, однако в расчетах невозможно учесть все технологические разбросы параметров теплового обмена в условиях реальной работы аппаратуры.

Поэтому в ИВМ была разработана методика тепловакуумных испытаний с помощью тепловизионной измерительной системы. Методика основана на использовании тепловакуумного стенда – камеры, обеспечивающей имитацию космических условий и оснащенной специальным измерительным оборудованием и программным обеспечением. В камеру помещаются модули с бортовой аппаратурой, а затем в условиях, приближенных к реальным, в автоматизированном режиме осуществляется наблюдение за тепловым полем всех элементов. Анализ температурных данных позволяет выявить теплонапряженные узлы и заменить их или улучшить качество монтажа.

Такой тепловакуумный стенд для испытания элементов бортовой аппаратуры был изготовлен и введен в строй в ОАО «ИСС» в 2005 г. С того времени на этом стенде проходят проверку все радиоэлектронные приборы, предназначенные для использования на борту космических аппаратов.



Термостабилизированная панель с фазовым переходом (фото слева) обеспечивает постоянную температуру поверхности с точностью до десятых долей градуса Цельсия при изменении тепловой нагрузки в пределах 5 Вт

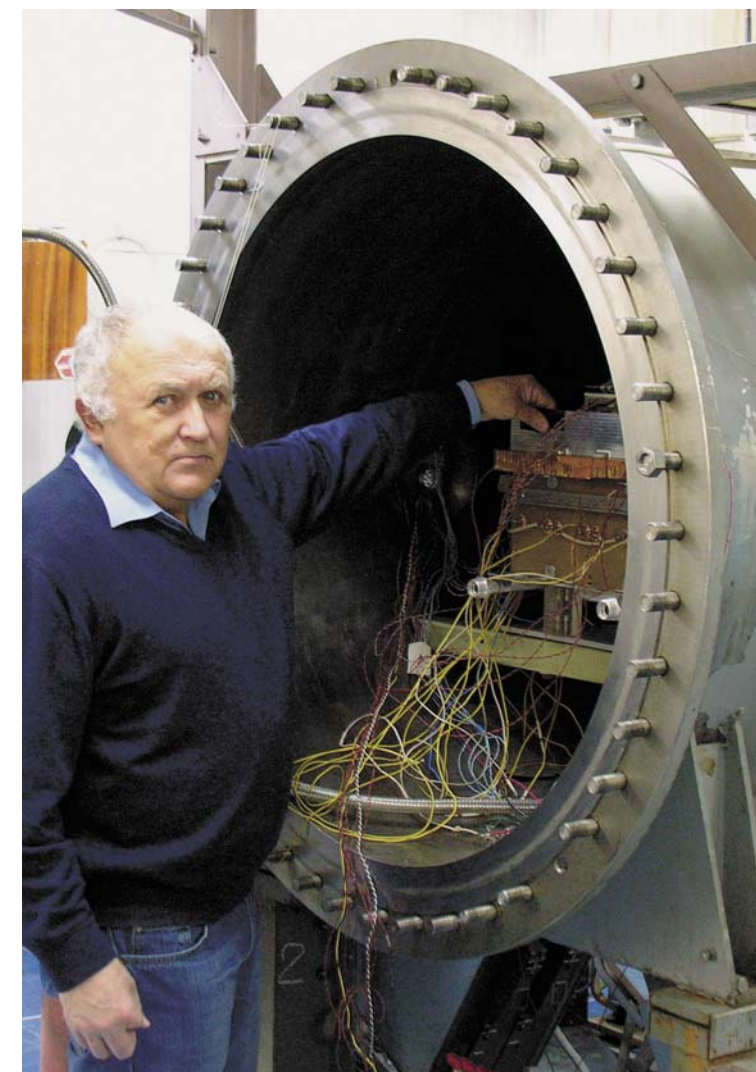
Термостабилизированная платформа с гипертеплопроводящим основанием использовалась для атомных часов спутника «ГЛОНАСС». Испытания, проведенные на тепловакуумном стенде ОАО «Информационные спутниковые системы» (фото внизу), показали, что точность стабилизации температуры в аварийном режиме при выходе из строя гипертеплопроводящего основания составляет $\pm 0,08^\circ\text{C}$, а в рабочем режиме – вдвое выше

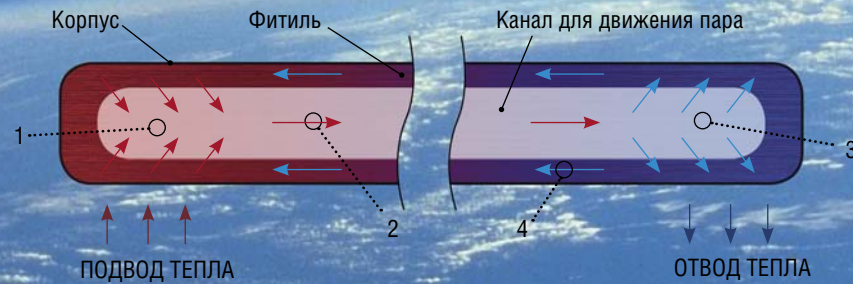
Термостабильное... время

На каждом космическом аппарате имеется высокоточная бортовая шкала времени, для которой требуются высокостабильные генераторы частоты. Такие бортовые часы особенно важны для навигационных спутников, так как определение координат на поверхности Земли происходит по измерению расстояния от точки до самих космических аппаратов с использованием специальных сигналов, содержащих оцифрованную шкалу времени и сетку стабильных импульсов. И чтобы определить расстояние с точностью до метра, бортовая шкала времени должна отличаться от наземной не более чем на 3 нс!

На борту современных навигационных космических аппаратов используются атомные часы на основе цезиевых или рубидиевых стандартов частоты, требующие поддержания рабочей температуры с точностью до долей градуса. В конечном счете тщательность соблюдения температурного режима работы таких часов определяет точность полученных координат. Для поддержания постоянной температуры используется специальная высокоточная система тепловой стабилизации – термостабилизированная платформа, включающая температурные датчики, тепловые трубы, электрические нагреватели и систему управления, функционирующую по специальному алгоритму.

Создание прецизионных систем термостабилизации для негерметичных приборных отсеков спутников было начато в 2001 г. с разработки термостабилизированных панелей с фазовым переходом, обеспечивающих пассивное (без затрат электрической энергии) регулирование температуры посадочного места с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$ (патент № 2240606, 2004). Такая панель особенно хо-





Этапы теплового цикла:

1. Испарение жидкости и поглощение тепла.
2. Движение пара к холодной области.
3. Конденсация пара и выделение тепла.
4. Движение жидкости к горячей области.

Секрет эффективности гипертеплопроводящих панелей заключается в том, что они представляют собой миниатюрные двумерные версии известных тепловых труб. Классическая тепловая труба (вверху) представляет собой герметичную трубу, на внутренней стенке которой располагается фитиль с жидким теплоносителем. При нагреве одного из концов такой трубы жидкий теплоноситель из фитиля начинает испаряться и в виде пара перемещаться к противоположному концу, где конденсируется и снова впитывается в фитиль. За счет капиллярных сил фитиля жидкость постоянно возвращается к месту подвода тепла

рошо подходит для малогабаритных приборов, иначе ее вес будет слишком велик.

Поскольку реальные атомные часы достаточно велики, в их системе терморегулирования были использованы гипертеплопроводящие панели, основанные на переносе тепла при фазовом переходе жидкость–пар. Система терморегулирования включает также датчики температуры и электрические нагреватели. Точность стабилизации зависит от многих факторов, что потребовало разработки математической модели нестационарного теплообмена, а также алгоритма управления электрическими нагревателями.

В 2008 г. полномасштабный образец термостабилизированной платформы с гипертеплопроводящим основанием для атомных часов спутников «ГЛОНАСС» прошел испытания в тепловакуумной камере института: в рабочем режиме точность стабилизации температуры составила $\pm 0,04$ °С.

В сто раз лучше алюминия

Задача прецизионной термостабилизации оказалась многогранной. Ее решение потребовало, в частности, создания устройств для пространственного выравнивания температур в месте установки атомных часов. В результате появилось и развилось новое направление по созданию гипертеплопроводящих панелей. Его актуальность связана с тем, что в условиях постоянно растущих требований к мощности и компактности электронной аппаратуры космического аппарата задача эффективного отвода тепла стала настоящей проблемой, требующей кардинально новых решений.

Одним из таких решений является использование гипертеплопроводящих плоских структур, способных передавать тепло на порядки эффективнее традиционных материалов. Совместными усилиями ИВМ СО РАН, Уральского электрохимического комбината (г. Новоуральск) и ОАО «ИСС» были разработаны гипертеплопроводящие панели, эффективная теплопроводность которых в 100 раз превышает теплопроводность алюминия!

Гипертеплопроводящие панели являются не новым материалом, а настоящим компактным тепловым устройством со сложной внутренней структурой. В основу их создания легла концепция так называемой *тепловой трубы*.

Классическая тепловая труба представляет собой запаянную с обеих сторон герметичную трубу, на внутренней стенке которой располагается фитиль, содержащий жидкий теплоноситель. При нагреве одного из концов такой трубы жидкий теплоноситель начинает испаряться из фитиля и в виде пара перемещаться к противоположному концу, где конденсируется и снова впитывается в фитиль. За счет капиллярных сил фитиля жидкость постоянно возвращается к месту подвода тепла. Замечательным свойством такого устройства является то, что для передачи большого количества тепла требуется очень маленький перепад температуры, при этом не нужно никаких насосов и вообще движущихся частей.

Гипертеплопроводящая панель является двумерной тепловой трубой. Внутри тонкой плоской панели находится заполненный жидким теплоносителем пористый материал. Внутренняя структура каналов в пористом

Гипертеплопроводящие панели представляют собой металлические пластины толщиной 2 мм и размерами до 100—300 мм со сложной внутренней структурой. Они могут служить чрезвычайно эффективными основаниями для монтажа компактной радиоэлектронной аппаратуры

материале такова, что теплоноситель способен перемещаться в любом направлении вдоль всей плоскости панели, обеспечивая перенос тепла.

Вычислительное моделирование показало чрезвычайно высокую эффективность передачи тепла таким устройством. Самой сложной проблемой оказалась разработка самой технологии изготовления, однако эти трудности удалось преодолеть. Экспериментальные исследования образцов гипертеплопроводящих панелей подтвердили, что они обладают всеми ожидаемыми характеристиками.

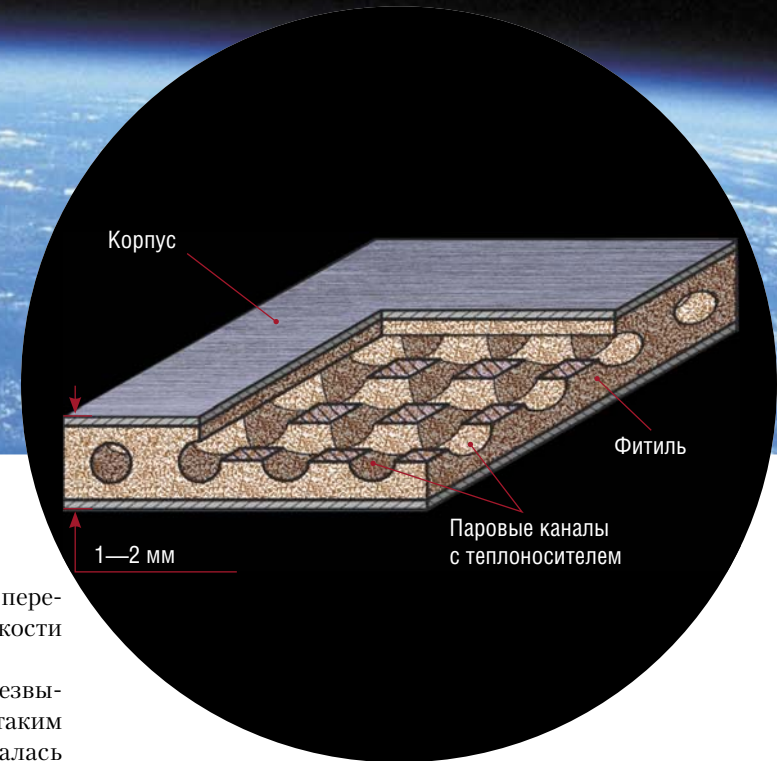
Точность во всем

Высокоточные системы терморегулирования требуют и соответствующих высокоточных систем измерения температуры. Однако ни один из видов современных температурных датчиков не способен сохранять свои характеристики в течение долгих лет работы спутника на орбите. Со временем, медленно, но неизбежно, их характеристики меняются, а жесткие космические условия только ускоряют этот процесс.

В результате работа систем термостабилизации ухудшается, что снижает надежность спутника в целом. Одним из решений этой проблемы является создание специального устройства – бортового стандарта температуры, пригодного для калибровки температурных датчиков прямо в космическом полете.

Принцип работы этого устройства основан на том факте, что температура плавления и отвердевания некоторых веществ с высокой точностью постоянна. Такие вещества называются *эвтектическими сплавами*. Например, температура плавления сплава галлия и индия (Ga–In) равна 15,3 °С. И задача измерения температуры сводится в результате к сравнению температуры с эталонной температурой плавления эвтектического сплава.

Подобный бортовой стандарт температуры был также разработан совместными усилиями специалистов института и ОАО «ИСС».



Тепловое проектирование космических аппаратов представляет собой интересную и важную область, требующую продолжения сложного комплекса фундаментальных, вычислительных и экспериментальных работ.

В частности, в 2012 г. запланирован космический эксперимент на аппарате «ГЛОНАСС-М» для проверки системы прецизионной термостабилизации атомных часов. Это первые образцы гипертеплопроводящих пластин, которые будут тестироваться непосредственно в реальных условиях.

Более того, хотя гипертеплопроводящие панели создавались для применения в космических аппаратах, эти уникальные устройства могут быть с успехом использованы и в наземных приложениях, в частности в радиоэлектронике для повышения эффективности охлаждения процессоров в вычислительных машинах или отвода тепла от мощных излучающих светодиодов и светодиодных матриц.

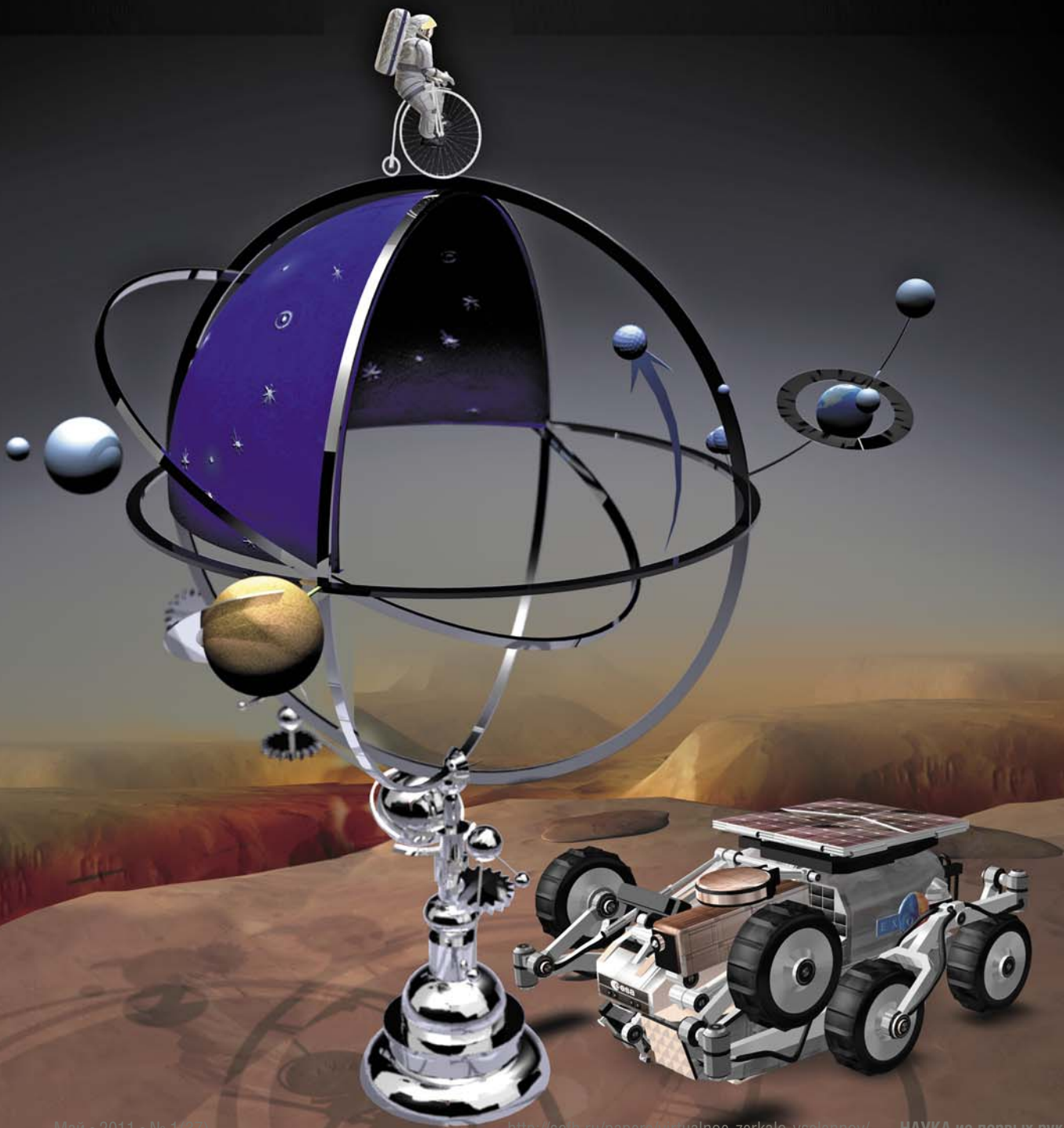
Литература

Деревянко В.А., Васильев Е.Н., Нестеров Д.А. и др. *Вычислительное моделирование процессов теплообмена в системах терморегулирования космических аппаратов // Вычислительные технологии. 2009. Т.14, № 6.*

Чеботарев В.Е. *Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения: учеб. пособие в 2 кн. Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2004. Кн.1. 132 с.; Кн. 2. 2005. 168 с.*

Козлов Л.В., Нусинов М.Д., Акишин А.И. и др. *Моделирование тепловых режимов КА и его окружающей среды. М.: Машиностроение, 1971. 382 с.*

Виртуальное зеркало ВСЕЛЕННОЙ



Понятие «виртуальная реальность» прочно ассоциируется с популярными произведениями фантастического жанра и компьютерными играми, которыми сегодня увлекаются люди всех возрастов. Однако технология виртуальной реальности используется не только для развлечения, но и для решения глобальной задачи человечества – освоения космического пространства. Виртуальные миры практически безграничны и в отличие от действительной Вселенной полностью подвластны человеку. А значит, их можно использовать как «черновик» для подготовки к выходу в настоящий космос

Космические тренажеры – одно из основных средств подготовки экипажа в пилотируемой космонавтике. Эти сложные и дорогостоящие системы позволяют формировать профессиональные навыки по управлению пилотируемым космическим аппаратом (ПКА) в штатных и предполагаемых нештатных ситуациях. В тренажерных макетах с точностью воспроизводятся размеры кабин пилотируемого аппарата, а также расположение приборов, индикаторных устройств и органов управления.

На заре космической эры в тренажерах использовались физические макеты различных объектов и телевизионные камеры. Благодаря развитию компьютерной графики появилась возможность заменить эти технические средства имитаторами, созданными на основе математического моделирования визуальной обстановки. Были разработаны более совершенные комплексы, так называемые системы виртуальной реальности (СВР), которые формируют визуальную обстановку методами компьютерного синтеза трехмерных сцен.

Действия обучаемого космонавта учитываются системой, воспроизводящей в реальном масштабе времени все этапы полета: выведение на орбиту, поиск, обнаружение и стыковку с орбитальной станцией, спуск с орбиты и приземление. Передаются изображения звезд, Земли, Луны, Солнца и других космических объектов.

Ключевые слова: системы виртуальной реальности, космические тренажеры, интегрированная виртуальная реальность

Key words: virtual reality systems, space simulators, integrated virtual reality



ДОЛГОВЕСОВ Борис Степанович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией синтезирующих систем визуализации Института автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск).

Автор и соавтор 85 научных работ и трех патентов

Самые ранние СВР представляли собой сложные программно-аппаратные специализированные устройства, которые отличались высокой стоимостью и низким реализмом отображаемых сцен. Соответственно эффективность их использования была невелика. Первые системы могли сформировать и отобразить в реальном времени полутонное трехмерное изображение, состоящее лишь из 24 треугольников – большего не позволяла производительность вычислительных средств того времени.

В дальнейшем, с развитием вычислительной техники и методов синтеза трехмерных сцен, стало возможным моделировать высокореалистичное окружение. Современные СВР способны в реальном масштабе времени воспроизводить динамические трехмерные цветные сцены с несколькими тысячами полигонов и высокой



Тренажеры ЦПК им. Ю. А. Гагарина представляют собой полномасштабные натурные макеты орбитальных станций, служебных модулей и транспортных космических кораблей. На фото – тренажерный зал российских модулей «Заря» и «Звезда», входящих в состав Международной космической станции

степенью детальности. Появилась возможность имитировать световые эффекты, тени, различные состояния атмосферы, погодные явления. Это особенно важно при моделировании в тренажерах внештатных ситуаций, обучение выхода из которых занимает 80 % от всей подготовки космонавта.

От «Горизонта» до «Ариуса»

Первая профессиональная система компьютерной генерации трехмерных изображений «Горизонт» была разработана в 1970-х гг. в институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения АН СССР. «Горизонт» предназначался для авиационных тренажеров. Созданием СВР для космических тренажеров институт начал заниматься в активном сотрудничестве с Центром подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина спустя десятилетие.

В 1981–1985 гг. совместно со Специальным конструкторским бюро научного приборостроения была разработана первая в СССР профессиональная система виртуальной реальности для космического тренажера, получившая название «Акса́й». При создании системы

«Акса́й» были учтены рекомендации космонавтов, передавших свой летный и «визуальный» опыт. Система успешно эксплуатировалась при подготовке экипажей космической станции «Мир».

В 1986 г. потребовалось создать СВР с меньшими, по сравнению с «Акса́ем», аппаратными затратами, но с возможностью расширения набора функций и повышения производительности. Для этого специалистами института были разработаны новые структурные решения и алгоритмы формирования изображений.

Эти разработки вызвали интерес в ЦПК им. Ю. А. Гагарина, где как раз начинался процесс модернизации тренажерного парка. По заказу центра в период 1986–1990 гг. на отечественной элементной базе был создан ряд СВР класса «Альбатрос». Разработанные многоканальные системы обладали новыми возможностями: стали доступны подвижные объекты, текстуры, атмосферные эффекты, различного рода источники света и т. д.

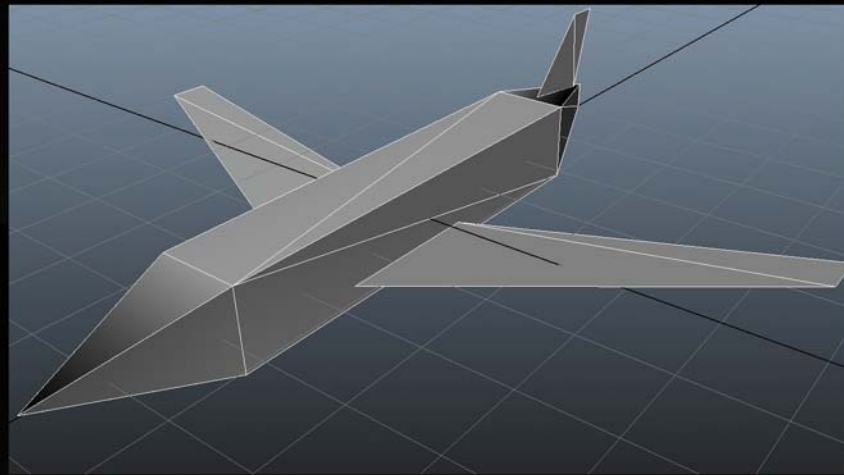
Импульсом к разработке новых СВР стало создание современных тренажеров российского сегмента МКС. В институте был создан ряд систем нового поколения «Ариус». В отличие от «предшественников», в них

Визит представителей Центра подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина – заместителя начальника управления по научно-исследовательской и испытательной работе Героя Советского Союза летчика-космонавта СССР Ю. Н. Глазкова, дважды Героя Советского Союза летчика-космонавта СССР А. А. Леонова и командира технической части И. Н. Почкаева – способствовал дальнейшему сотрудничеству в области создания СВР для тренажерных комплексов (1986 г.)

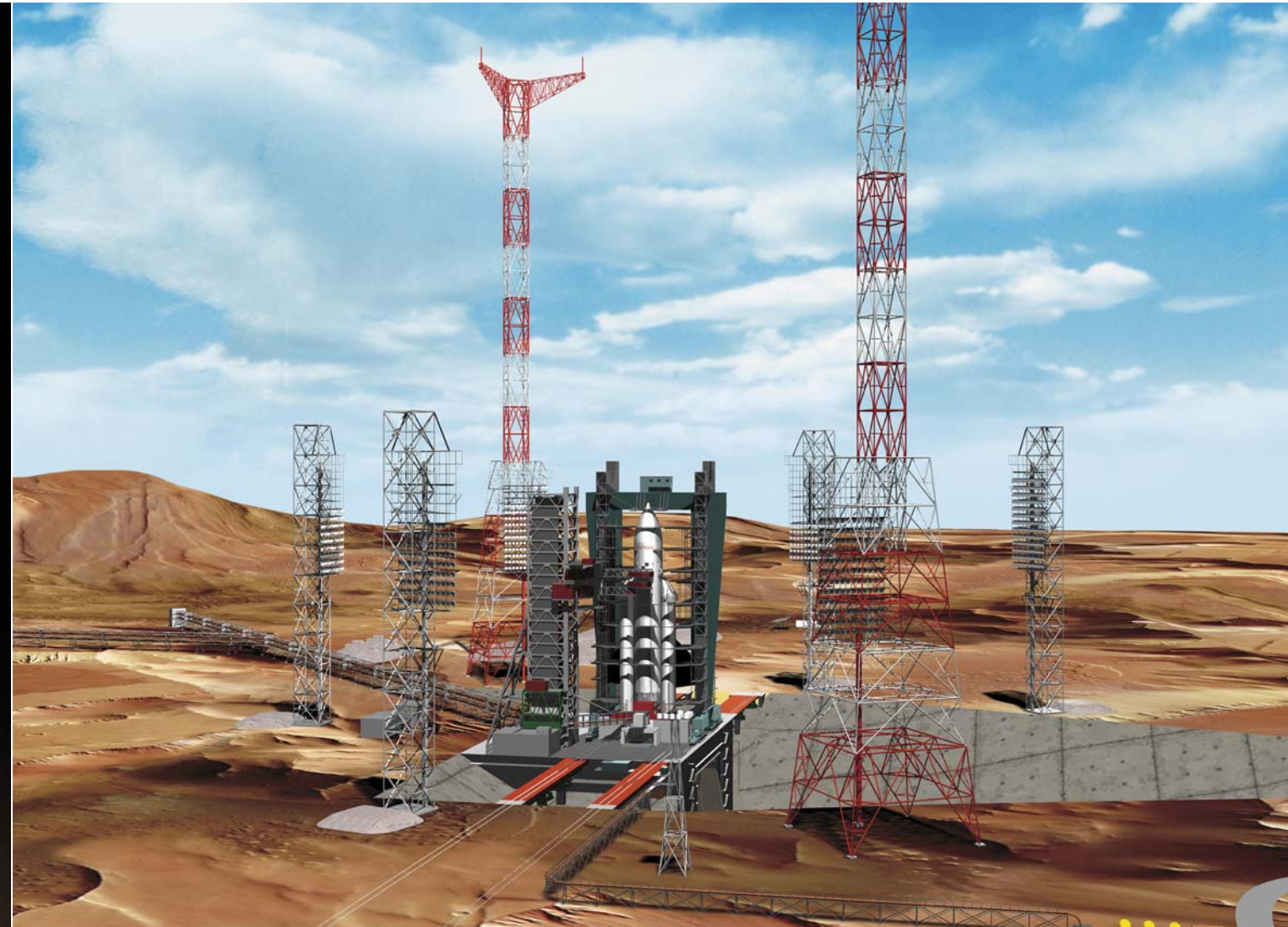


Система «Акса́й» успешно эксплуатировалась при подготовке космонавтов по программе космической станции «Мир». За создание системы коллектив разработчиков награжден Дипломом им. Юрия Гагарина





Слева – пример изображения, которое формировалось системой виртуальной реальности на ранней стадии своего развития в 1969 г. Внизу – виртуальная модель орбитального корабля «Буран», созданная в 1987 г.



Виртуальная 3D-модель пусковой установки для космической системы «Энергия-Буран»

были задействованы серийно выпускаемые цифровые сигнальные процессоры. Благодаря этой разработке появилась возможность перейти на использование стандартных графических акселераторов без существенных изменений в архитектуре компьютера.

Различные модификации системы «Ариус» решали задачи специализированных тренажеров для станции «Мир» и МКС. «Ариус» стал базой для дальнейшего совершенствования СВР, которое продолжается и в настоящее время.

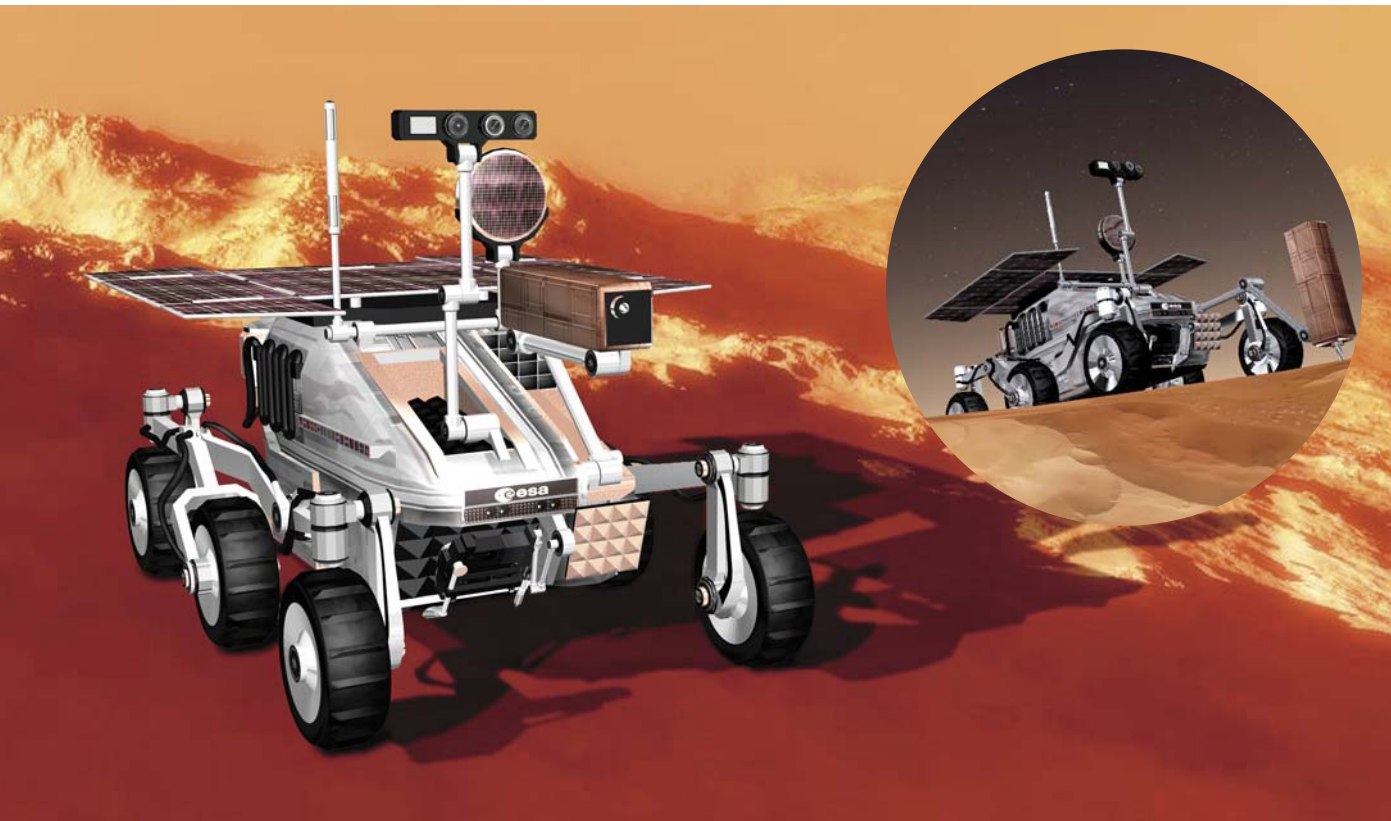
Марс виртуальный

Главной целью, ради которой человек создает пилотируемые космические аппараты, орбитальные станции и спускаемые аппараты является исследование и освоение околосолнечного пространства. Большой интерес

у исследователей вызывает одна из ближайших к Земле планет – Марс. В частности, на ее изучение направлена программа «Аврора» Европейского космического агентства (ESA's Aurora Exploration Programme). Входящий в эту программу проект «ExoMars» предусматривает создание мобильного исследовательского аппарата, который должен доставить на Красную планету инструментарий для изучения особенностей рельефа поверхности, состава грунта, состава атмосферы и т. д.

Эффективным средством, помогающим реализовать эту программу, является виртуальная реальность. В лаборатории синтезирующих систем визуализации института проводятся инициативные работы по моделированию поведения марсохода на марсианском ландшафте. Используя трехмерную виртуальную модель поверхности планеты и виртуальную модель марсохода можно будет интерактивно просмотреть все варианты

Параллельно с разработкой СВР для тренажеров орбитальных станций «Мир» и МКС в лаборатории института велись подготовительные работы для тренажерной базы в рамках проекта создания советского орбитального корабля многоцелевого использования «Буран». Эти разработки предназначались для тренажера посадки ОК «Буран» и для обучения работе на орбите с полезным грузом. Однако в начале 90-х гг., в связи с трудностями перехода к рыночной экономике, финансирование космических исследований резко сократилось. Дальнейшие работы над «Бураном», самой масштабной и трудоемкой программой в истории нашей космонавтики, стали невозможны, и в 1994 г. Правительство России приняло решение об их приостановке. Тем не менее разработки института могут быть востребованы при реализации российского проекта «Перспективная пилотируемая транспортная система (ППТС)», согласно которому в РКК «Энергия» им. С. П. Королева проектируется космический летательный аппарат нового поколения, предназначенный для замены космических кораблей серии «Союз». Испытания аппарата в беспилотном варианте должны стартовать в 2015 г., а в пилотируемом – в 2018 г.



Виртуальная модель марсохода

маршрутов и отработать функционирование манипуляторов научного инструментария при выполнении исследовательских задач.

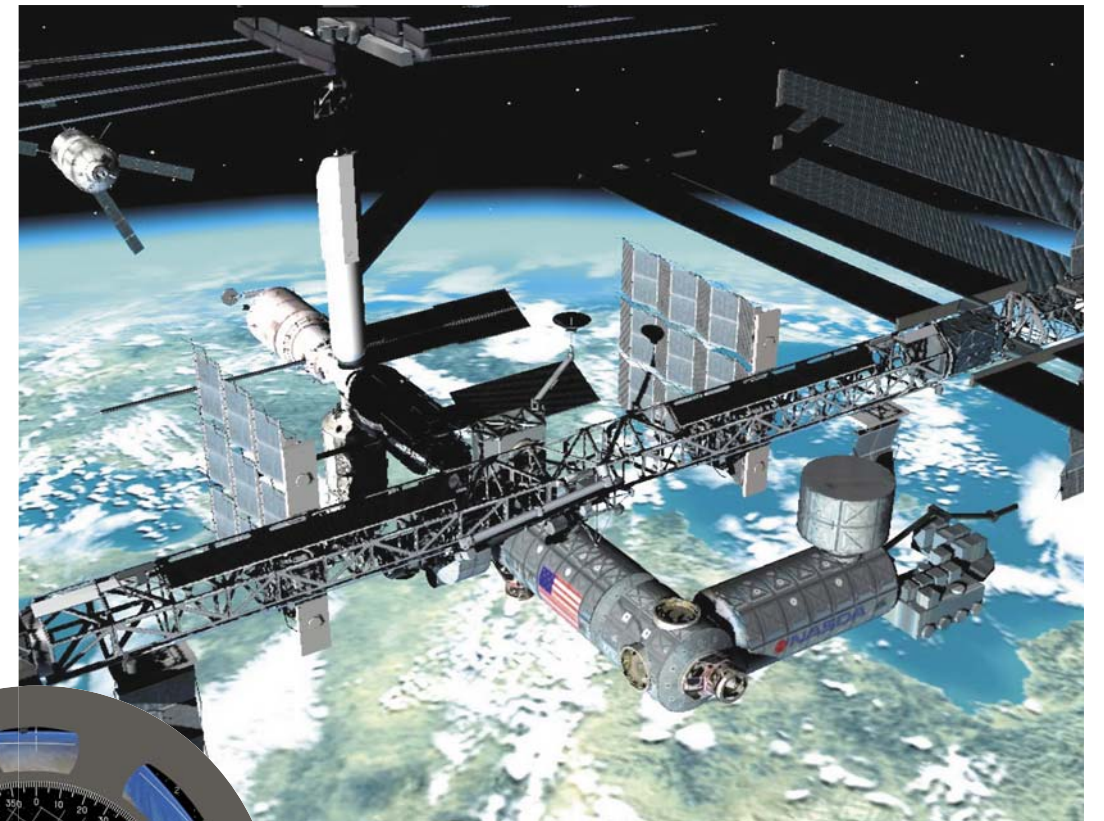
Перспективы марсианской программы связаны с новой технологией – так называемой индуцированной виртуальной реальностью. В такой системе трехмерная сцена и поведение виртуальных объектов порождаются реальной средой и воспроизводятся в реальном времени в соответствии с ее динамикой.

Так, 3D-изображение поверхности Марса можно будет восстанавливать по передаваемым с марсохода снимкам. Полученные параметры движения аппарата будут заноситься в пространственную базу данных виртуальной модели. На основе полученной информации в реальном времени ученые смогут определять траекторию движения виртуальной модели по виртуальной поверхности планеты. Обратную связь для коррекции траектории передвижения реального марсохода планируется обеспечивать с помощью двунаправленного канала передачи данных (марсоход – модель – марсоход). В будущем такую концепцию можно реализовать

при исследовании и отработке методов дистанционного управления любыми сложными техническими системами.

Еще одно перспективное направление в развитии СВР – это использование в тренажерных и обучающих системах технологии интегрированной виртуальной реальности (ИВР). Данная технология, получившая развитие в ИАиЭ СО РАН, предполагает не просто пассивную демонстрацию компьютерных моделей пространственных объектов, явлений и процессов, но и активное «присутствие» лектора в предметной виртуальной среде.

Системы на основе ИВР можно использовать в классах при обучении космонавтов и персонала оперативных групп. Виртуальные модели космических аппаратов, процесс создания лабораторий в космосе, отработка на виртуальных моделях процесса сборки сложных конструкций – это далеко не полный перечень тематических примеров, которые можно наглядно демонстрировать в интерактивном режиме.



Виртуальная сцена сближения транспортного корабля с МКС

Компьютерная модель бортового оптического прибора контроля за ориентацией космического аппарата относительно земной линии горизонта

Человек постоянно расширяет границы доступного пространства: он совершил полет на Луну, регулярно выходит в открытый космос, планирует изучить Марс и Венеру. В будущем неизбежно появится задача освоения других планет Солнечной системы, а затем и дальнего космоса. Очевидно, что подготовку к столь сложным полетам разумно проводить в виртуальном пространстве. С развитием космических технологий будут совершенствоваться и системы виртуальной реальности, которые уже прошли путь от простейшего схематичного изображения к правдоподобной динамичной картине.

Литература

Долговесов Б. С. Семейство компьютерных систем визуализации «Альбатрос» // *Автометрия*. 1994. № 6. С. 3.
 Долговесов Б. С. и др. Состояние и перспективы развития систем визуализации в тренажерных комплексах // *4-я Междунар. науч.-практ. конф. «Пилотируемые полеты в космос» (Звездный городок, РГНИИЦПК им. Ю. А. Гагарина, 21–22 марта 2000 г.)*: Тез. докл. С. 262.
 Долговесов Б. С., Обертышев К. Ф. Компьютерные системы визуализации для тренажерных комплексов // *Наука – производству*. 2003. № 2. С. 30.
Мировая пилотируемая космонавтика / Под ред. Ю. М. Батурина. М.: РТСофт, 2005.
Тренажерные комплексы и тренажеры / Под ред. В. Е. Шукшунова. М.: Машиностроение, 2005.

А. В. БАТРАКОВ

Принцип КЕРОСИНОВОЙ ЛАМПЫ

Лазерный микродвигатель для наноспутников



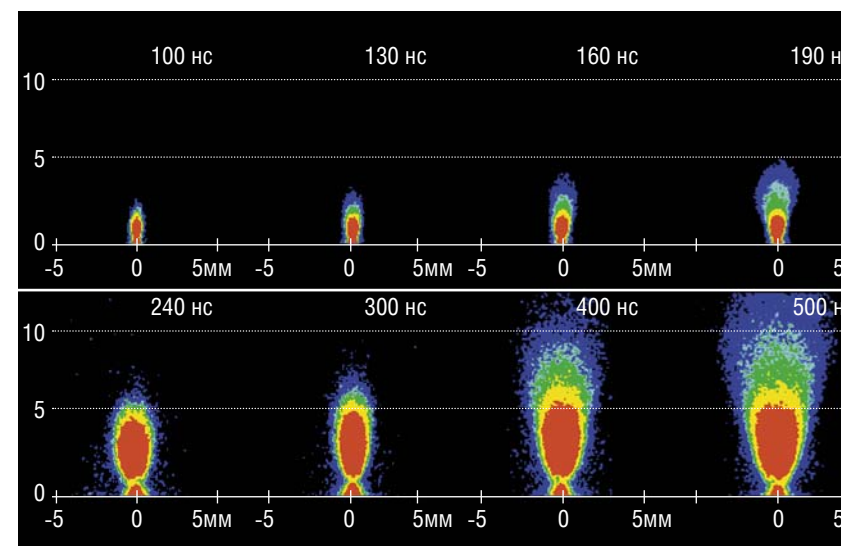
В эпоху миниатюризации спутников необходимы двигатели с высокой степенью воспроизводимости удельного импульса тяги, при этом требуемый минимальный импульс уменьшается так же стремительно, как и размеры спутников. Малые космические аппараты массой порядка 1 кг получили название наноспутников, так как для прецизионного управления ими требуются микродвигатели, производящие импульсы тяги на уровне 10^{-9} Н·с, что и является объяснением приставки «нано». Задача по разработке микродвигателя для наноспутников может быть успешно решена с использованием явления лазерной абляции (испарения под действием излучения) благодаря высокой стабильности и эффективности современных импульсных твердотельных лазеров. Короткая длительность лазерного импульса в сочетании с высокой плотностью энерговыделения на поверхности мишени позволяют генерировать плазменный сгусток микроскопического размера с высокой скоростью истечения плазмы и практически полным отсутствием капельной фракции.

При этом одна из проблем технической реализации связана с мишенью, которая должна воспроизводить свою форму, несмотря на рассеивание рабочего вещества при абляции. Простое и эффективное решение этой проблемы было найдено в результате научно-технического сотрудничества ЦНИИ машиностроения и Института сильноточной электроники СО РАН. Вместо ненадежной механической системы подачи рабочего вещества в предлагаемом изобретении используется капилляр, заполняемый жидкостью под действием силы поверхностного натяжения, — тот же принцип лежит в основе керосиновой лампы

В основе лазерно-плазменного двигателя лежит явление светоабляционного давления, впервые описанное Г. А. Аскарьяном и Е. М. Морозом в 1962 г. Давление в плазме, создаваемой при лазерной абляции, приводит к высоким скоростям истечения вещества. Использование данного явления в космической технике с целью преобразования энергии лазерного излучения в кинетическую энергию (механический импульс) представляется очевидным шагом, поэтому логично было бы предположить, что пальма первенства в технических разработках также принадлежит советской науке.



БАТРАКОВ Александр Владимирович – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией вакуумной электроники Института сильноточной электроники СО РАН (Томск). Область научных интересов: электрическая изоляция и разряд в вакууме. Приглашенный редактор спец. выпуска IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, посвященного электрической изоляции в вакууме. Автор и соавтор 55 научных работ и 5 патентов.



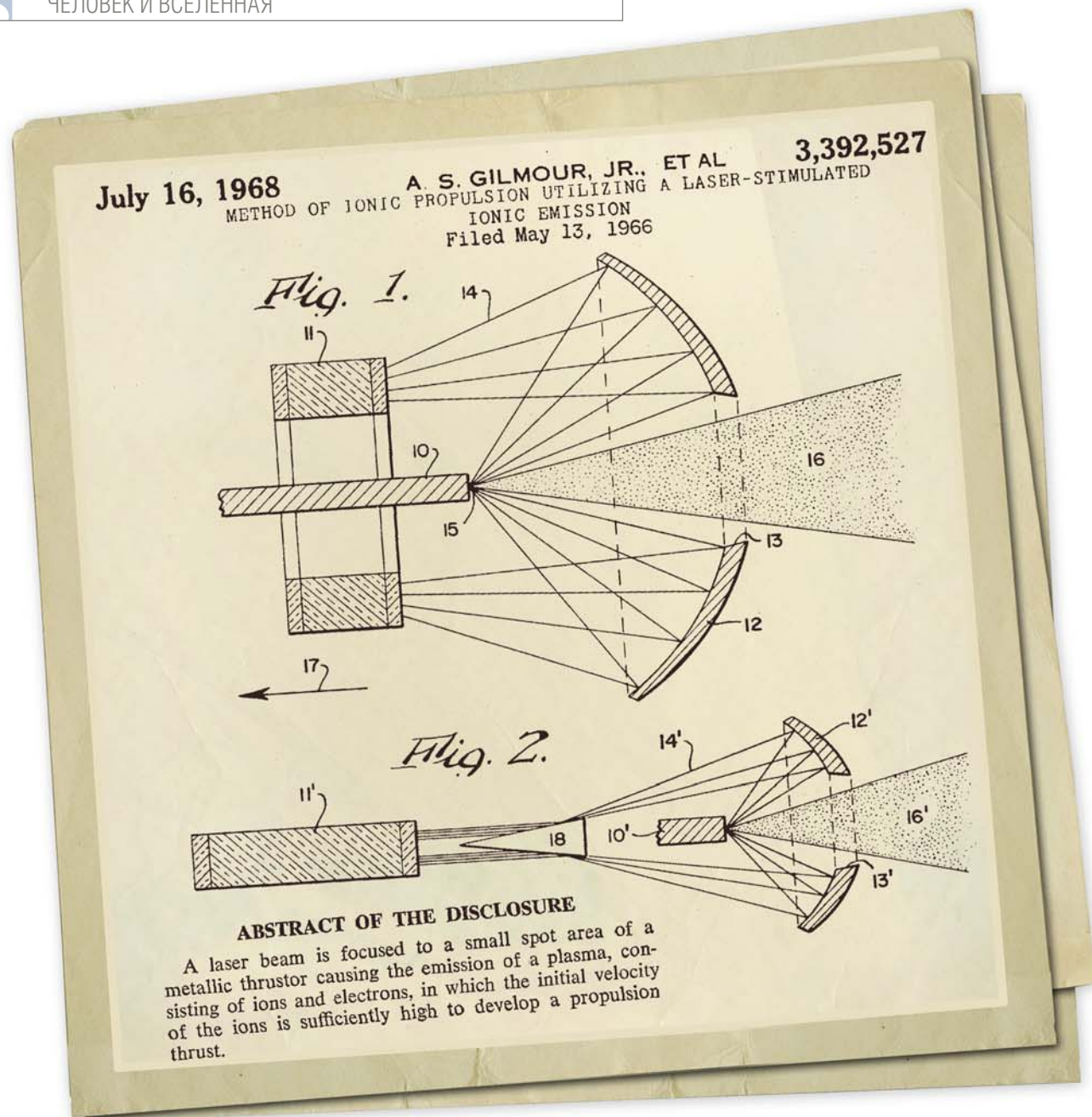
Динамика истечения плазменного факела из зоны абляции, зафиксированная благодаря использованию сверхскоростной регистрации изображений (длительность экспозиции камеры – 3 нс). Вписанные в прямоугольники цифры (в наносекундах) соответствуют времени, прошедшему по окончании воздействия лазерного импульса длительностью 5 нс

Абляция – удаление вещества с поверхности твердого тела потоком горячих газов, обтекающим эту поверхность, что происходит в результате эрозии, расплавления, сублимации.

Лазерная абляция – метод удаления макроскопического количества материала под действием импульсного лазерного излучения. Вещество испаряется или сублимируется в виде как свободных молекул и атомов, так и ионов, то есть над облучаемой поверхностью образуется плазма. При низкой мощности лазера она обычно темная (не светящаяся)

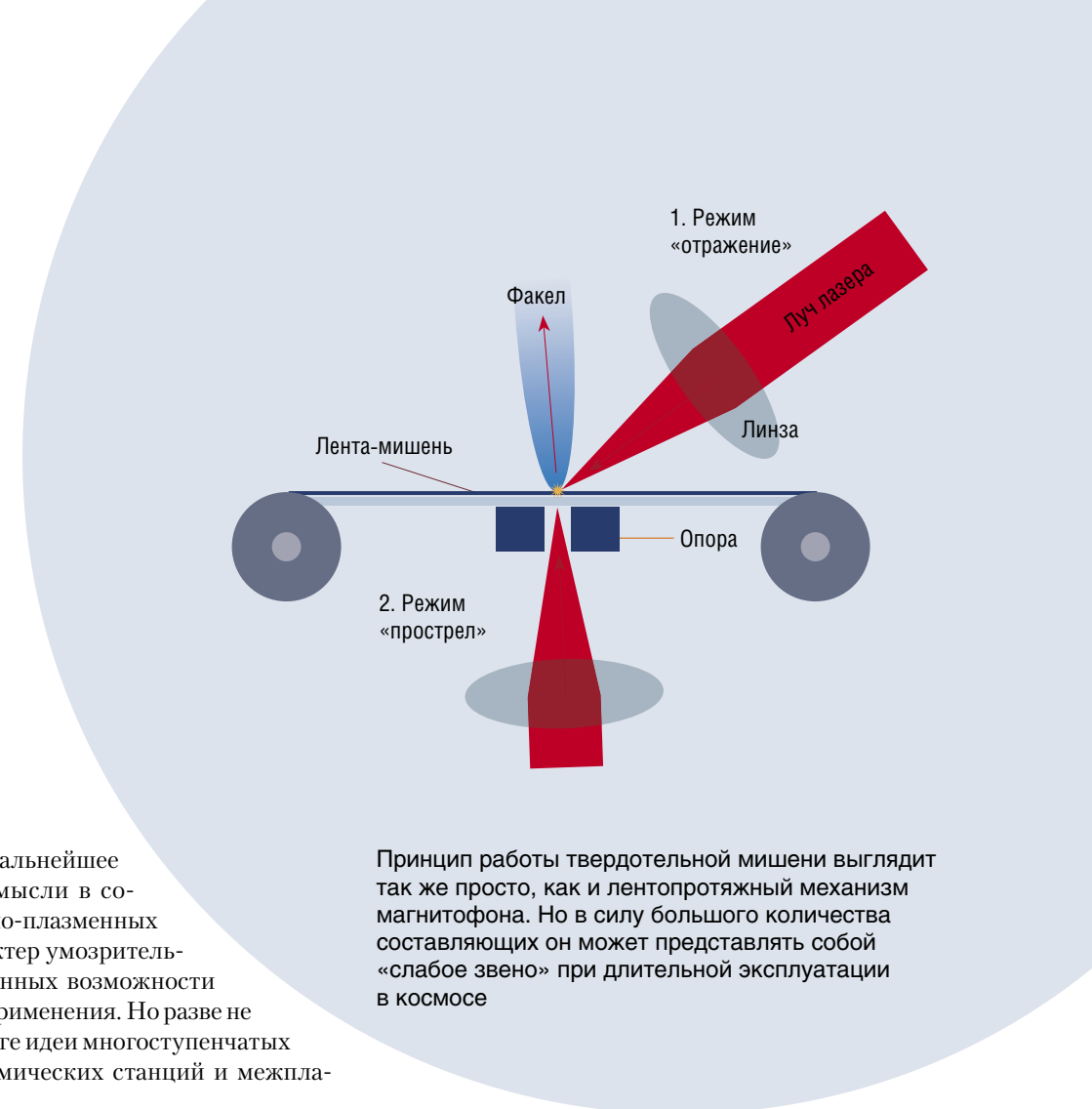
Ключевые слова: лазерная абляция, лазерно-плазменные двигатели, диагностика низкотемпературной плазмы.

Key words: laser ablation, laser-plasma thrusters, low-temperature plasma diagnostics



Тем не менее, первый лазерно-плазменный двигатель был запатентован в США в 1968 г. А. С. Гилмором и Ф. А. Гиори. Возможно, причина потери приоритета кроется в закрытости данной тематики в СССР. Однако нельзя исключать и тот факт, что усилия советских ученых были направлены на достижение рекордных значений параметров удельного импульса тяги (которые бы превышали величину тяги существующих реактивных двигателей), чего не могли обеспечить оптические квантовые генераторы 1960-х гг. из-за своих больших размеров.

Первый патент на лазерно-плазменный двигатель принадлежит США: «Луч лазера фокусируется в пятно малой площади на металлической мишени двигателя, генерируя плазму, состоящую из ионов и электронов, в которой скорость ионов исходно велика настолько, чтобы обеспечить тягу»



Принцип работы твердотельной мишени выглядит так же просто, как и лентопротяжный механизм магнитофона. Но в силу большого количества составляющих он может представлять собой «слабое звено» при длительной эксплуатации в космосе

В 1970-х и 1980-х гг. дальнейшее развитие технической мысли в совершенствовании лазерно-плазменных двигателей носило характер умозрительных конструкций, лишенных возможности скорого практического применения. Но разве не так же рождались в Калуге идеи многоступенчатых ракет, орбитальных космических станций и межпланетных полетов?

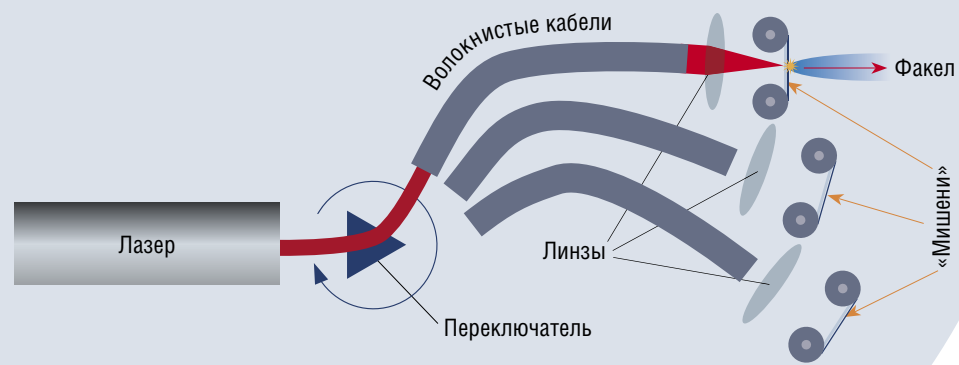
Ситуация изменилась в 1990-х гг., когда были разработаны высокоэффективные лазерные светодиоды, позволившие в дальнейшем создать твердотельные лазеры с эффективностью 40–60 % преобразования электрической энергии в энергию излучения. Данное обстоятельство сделало идею лазерно-плазменного двигателя настолько близкой к реализации, что широкое его применение в скором времени на околоземной орбите не вызывает сомнений.

Лазерное зажигание

Использование лазерно-плазменного двигателя особенно привлекательно в качестве системы управления ориентацией малых (размером с яблоко и меньше) космических аппаратов. При этом для работы микродвигателя достаточно единственного лазера с разводкой лазерного излучения к мишенно-сопловым узлам с помощью элементов волоконной оптики. Такая конструкция позволяет существенно снизить весогабаритные и энергетические характеристики двигательной установки спутника.

Мишенно-сопловый узел является вторым по значимости (после лазера) элементом лазерно-плазменного двигателя, поскольку именно он содержит рабочее вещество, истечение которого обеспечивает передачу механического импульса космическому аппарату вследствие реактивной тяги. Оно должно иметь достаточно низкую теплоту сублимации и минимальную глубину проникновения излучения вглубь, чтобы приводить к поверхностному перегреву и как можно более высокой скорости истечения. В качестве такого рабочего материала в настоящее время, как правило, используется полупрозрачный пластик либо прозрачная пластиковая лента с нанесенным на нее непрозрачным слоем.

В результате испарения вещества форма мишени меняется, что приводит к необходимости ее перемещения для воспроизводства условий в зоне абляции и поддержания стабильности вектора тяги от последовательных импульсов лазерного излучения. Довольно простым решением для восстановления формы и прочих свойств мишени является устройство, напоминающее



Один лазер способен обеспечивать энергией все мишенно-сопловые узлы спутника, экономя массу и энергию силовой установки

лентопротяжный механизм магнитофона, в котором лента играет роль рабочего тела.

Несмотря на кажущуюся простоту, система механического перемещения рабочего вещества в зону абляции недостаточно надежна при многолетней эксплуатации спутника в условиях космоса вследствие ряда недостатков, присущих твердотельным мишеням. Проблема состоит в том, что приходится перемещать тело, значительно превышающее по массе долю используемого рабочего вещества. Но любое механическое движение внутри спутника приводит к изменению, пусть даже малому, ориентации спутника.

Кроме того, система подачи подразумевает некоторое натяжение ленты (либо жесткую фиксацию мишени, если она представляет собой массивное тело). Однако в условиях радиационной нагрузки, вакуума, колебаний температуры в широких пределах неминуемо будет происходить деградация пластика, выражающаяся в его деформации и ухудшении механических характеристик. Да и само по себе перемещение подразумевает наличие электропривода на каждом из мишенно-сопловых узлов спутника. Все эти факторы, вместе взятые, приводят к слишком большой вероятности отказа узла, в результате чего будет потеряно управление ориентацией спутника в пространстве.

Многие вышеперечисленные проблемы могут быть решены путем использования жидкости в качестве рабочего вещества лазерно-плазменного двигателя. Есть способы, с помощью которых жидкость можно относительно легко подавать в зону абляции. При этом нет необходимости в использовании носителя для ее

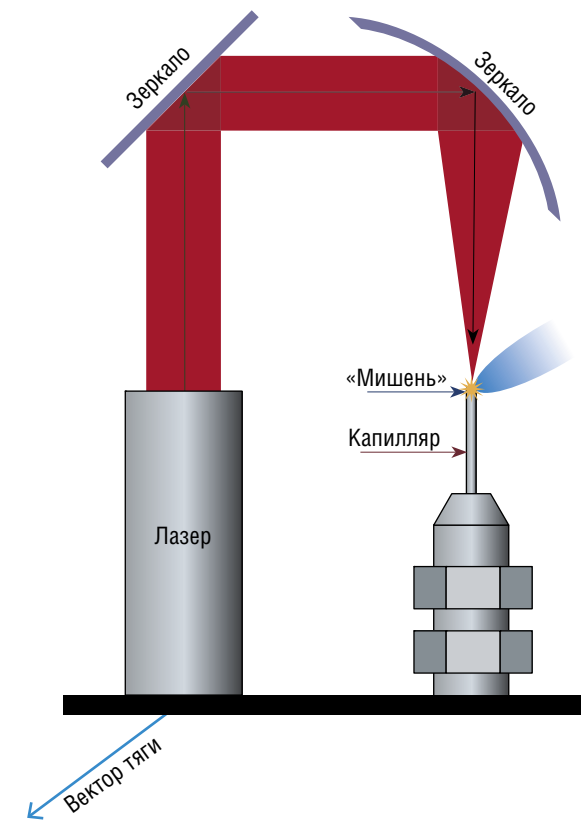
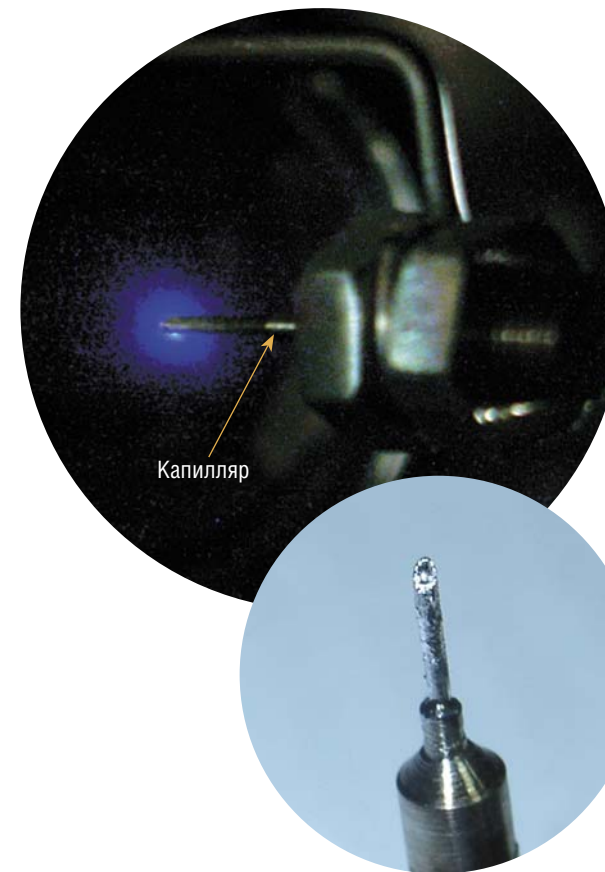
перемещения, что означает полное использование рабочего материала и экономию массы.

Однако жидкость как рабочее вещество не лишена недостатков. Главным из них является ее расплескивание и, как результат, эмиссия капель в окружающее пространство. В силу особенностей процесса эти капли разлетаются в радиальных направлениях, не давая полезного вклада в тягу. Кроме того, из-за существенно большей по сравнению с отдельными ионами массы капли имеют скорость намного ниже и поэтому представляют собой источник нежелательного загрязнения корпуса спутника.

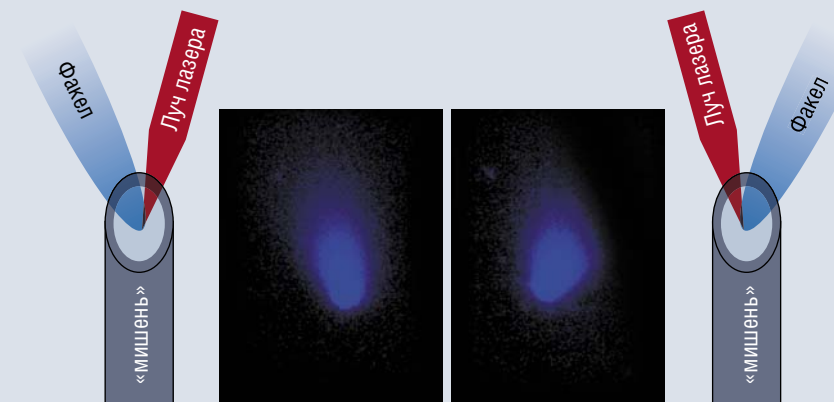
Топливо – жидкий металл

До сих пор в качестве рабочего вещества использовались лишь органические жидкости, большинство из которых характеризуется заметной величиной

Геометрия рабочей области мишени представляет собой вогнутый мениск, форма которого, как показали эксперименты, воспроизводится с высокой точностью даже при работе лазера на частотах в сотни герц. Это дает возможность не только гарантировать стабильность вектора тяги от импульса к импульсу, но и осуществлять юстировку узла путем малого перемещения фокального пятна (его диаметр порядка 100 мкм) в пределах мениска на торце капилляра



Принцип работы жидкометаллической мишени демонстрирует предельную простоту подачи рабочего вещества в зону абляции, что обеспечит надежность узла на орбите. Диаметр этого капилляра – 1 мм, он срезан в области торца под углом 45° на стадии изготовления мишени до ее заполнения



давления насыщенных паров в вакууме, особенно при нагреве выше 100 °С. Это приводит к потерям массы за счет испарения жидкости даже без всякого воздействия излучения лазера.

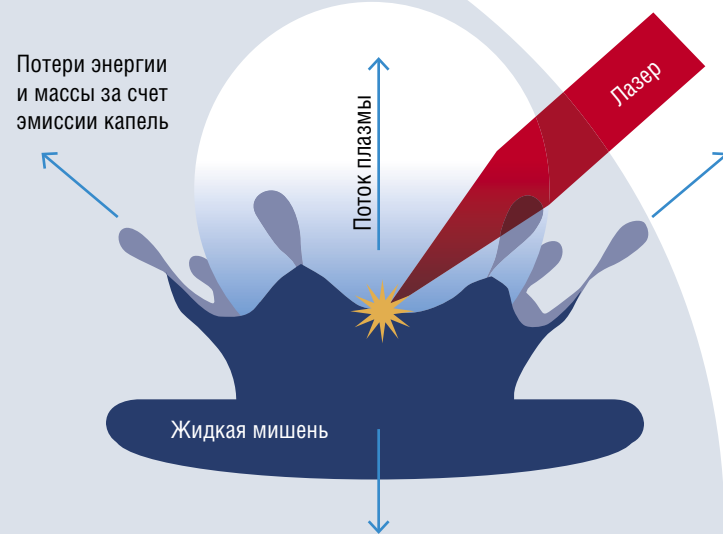
Все перечисленные выше проблемы жидкого рабочего тела могут быть решены путем использования жидкого металла в сочетании с коротким (не превышающей нескольких наносекунд) импульсом лазерного излучения. Сравнительно высокая плотность жидкого металла (более 3 г/см³) является также благоприятным фактором, улучшающим эффективность двигателя. К такому решению пришли сотрудники ИСЭ СО РАН (Томск) и ФГУП ЦНИИмаш, (Королев, Московская область). Разработанный ими мишенно-сопловый узел обладает удивительной простотой, дающей основание рассматривать его в качестве успешного кандидата на длительное и безотказное использование в условиях космоса.

В отличие от схем принудительной подачи жидкости в предложенной конструкции она поступает из резервуара в зону абляции по капилляру самостоятельно – под действием сил поверхностного натяжения, так что дополнительной системы подачи не требуется. В качестве жидкости используется галлий-индиевый сплав с температурой плавления ниже комнатной (+16 °С) и

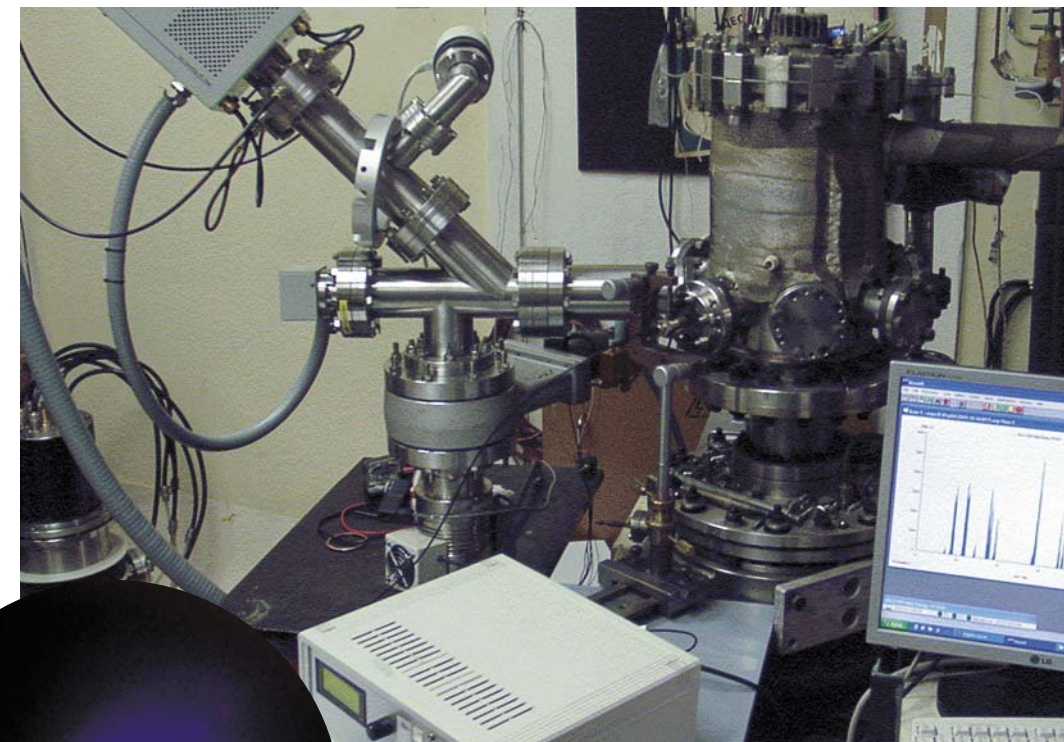
предельно низким давлением насыщенных паров (на много порядков ниже, чем даже для кремнийорганических жидкостей). Этот сплав обладает достаточно низкой вязкостью, сравнимой с вязкостью ртути, что позволяет использовать его в капилляре мишени.

Резервуар, в котором содержится рабочая жидкость, герметичен и вначале полностью заполнен. На орбите по мере ее расходования в резервуаре образуется вакуумная полость, но в условиях космического вакуума извне она не мешает капиллярным силам поддерживать форму мениска. Испытания мишенно-соплового узла, проведенные на экспериментальном стенде в лабораторном вакууме (в диапазоне давлений 10⁻⁵–10⁻⁶ Па), продемонстрировали высокую стабильность абляционного факела в течение длительного срока, ограниченного лишь запасом жидкости в резервуаре. В условиях невесомости, когда гравитация не деформирует мениски, ожидается еще большая стабильность.

При этом термостатирование аппарата необязательно, и вполне допустимо затвердевание рабочего вещества, поскольку жидкая фаза металла требуется только для подачи вещества к зоне абляции, а не для работы двигателя. При включении лазера капилляр, а через некоторое время и резервуар, оттают.



В отличие от плазменного факела, истекающего в нормальном к поверхности мишени направлении, капли разлетаются радиально, приводя к снижению энергетической эффективности и потерям вещества, а также загрязнению корпуса двигателя



Максимальный объем информации о работе двигателя – главная цель лабораторных исследований. В данном деле залог успеха – использование новейшего диагностического оборудования

На фото работающей мишени заметны капли в виде разнонаправленных коротких треков из центра факела, не дающие полезного вклада в тягу

Эффективность преобразования энергии излучения в механический импульс связана с состоянием вещества в факеле. Скорость заряженных частиц плазменной компоненты составляет десятки км/с, а электронейтральных частиц паровой компоненты примерно на порядок ниже. Поэтому одной из ближайших задач оценки эффективности мишени станет исследование соотношения нейтральной и ионной компонент в зависимости от условий процесса абляции.

Литература
 Claude Phipps et. al., *Journal of Propulsion and Power*. V. 26. N. 4. P. 609–637 (2010).
 «Laser Space Propulsion. Applications at two extremes of laser power». Ed. by Claude R. Phipps and James R. Luke. Springer Series in Optical Sciences, 2007. V. 129/2007.
 Бункин Ф.В., Прохоров А.М. «Использование лазерного источника энергии для создания реактивной тяги». УФН, 1976. Т. 119, Вып. 3. С. 425–446.

Работа выполняется при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. в рамках госконтракта № 14.740.11.0317



Один из основных научно-исследовательских инструментов астроизмерительного комплекса «Саяны» Института солнечно-земной физики СО РАН – инфракрасный телескоп АЗТ ЗЗИК с диаметром главного зеркала 1,7 м



На орбите становится тесно

«Выгода одного – ущерб для другого»
М. Монтень, «Опыты»



ПАПУШЕВ Павел Георгиевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией инфракрасных методов в астрофизике Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 67 научных работ. Член международного астрономического союза и Американской академии астронавтики. Награжден медалью ордена «За заслуги перед отечеством» II степени

Ключевые слова: искусственный спутник Земли, оптический телескоп, астрофотометрия, космический мусор.
Key words: Earth satellite, optical telescope, astrophotometry, space debris

Сегодня многие страны стараются использовать естественные преимущества геостационарной орбиты, на которой запущенный спутник остается практически неподвижным относительно поверхности Земли. Количество объектов на орбите постоянно увеличивается, что может привести к столкновениям и, как следствие, к серьезным сбоям и нарушениям в работе важнейших космических систем, играющих все возрастающую роль в современной деятельности человечества. Поэтому одной из важнейших задач астрономии становится мониторинг техногенного засорения околоземного космического пространства

Проблема техногенного засорения околоземного космического пространства – так называемого *космического мусора* – была впервые поднята еще в середине 1980-х гг. аналитиком НАСА Д. Кесслером. Опираясь на известные в то время факты разрушения советских геостационарных спутников «Экран» и разгонных блоков ракет «Титан – Транстейдж», выводивших американские спутники на геостационарную орбиту, он предсказал сценарий, в котором при достаточно высокой плотности космического мусора будет происходить каскадное размножение осколков по степенному или экспоненциальному закону.

Пока этот катастрофический сценарий не нашел экспериментального подтверждения, однако целый ряд событий на околоземных орбитах делают его все более вероятным. Анализ орбитальных данных геостационарных космических объектов, выполненный в конце 1990-х гг. учеными Пулковской обсерватории, показал, что по крайней мере у 12 геостационарных спутников наблюдаются изменения параметров орбиты, характерные для разрушений и столкновений.

Как же сегодня обстоят дела на околоземных орбитах? Сегодня там насчитывается около 13,5 тыс. только «целых» космических аппаратов, при том что лишь каждый двадцатый из них – действующий. Кроме того, национальные каталоги космических объектов, поддерживаемые США и Россией, содержат орбитальные данные примерно о 30 тыс. «лишних» объектов.

Такие объекты частично являются фрагментами средств выведения, деталями аппаратуры (например, крышками, которыми закрываются объективы оптических систем на период выведения и отстреливаемые в начале летной эксплуатации). Но основной вклад вносят все же обломки разрушенных космических аппаратов и их разгонных блоков.

На орбите становится тесно, поэтому неудивительно, что мониторинг техногенной обста-



Работы по лунной программе и автоматическим межпланетным станциям потребовали создания в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН (ранее СибИЗМИР) астроизмерительного комплекса «Саяны». Для этого в 1968 г. здесь был установлен полуметровый телескоп АЗТ 14 с автоматизированной системой управления и телевизионной системой обнаружения слабосветящихся объектов. Вычислительный центр астроизмерительного комплекса успешно решал задачи повышения точности и оперативности обработки астрометрической информации.

Начало наблюдениям космических объектов было положено в октябре 1969 г.: были определены координаты искусственного спутника Земли «Молния», запущенного на эллиптическую орбиту с высотой апогея 42 000 км и наклоном 63,2 градуса. Автоматизированная система позволила довести точность измерения координат спутников до нескольких сотен метров на дальности 100 тыс. км, а оперативность получения траекторной информации составила 10—15 мин.

В 1980-х гг. в обсерватории приступили к созданию комплекса приборов для получения некоординатной информации о спутниках (блеске, спектральном распределении и поляризации отраженного от поверхности излучения), позволяющей провести их распознавание и классификацию. Благодаря такой методике появляется возможность осмотреть освещаемую поверхность вращающегося в пространстве спутника и получить информацию о целостности конструкции.

Многоканальный комплекс фотометрической аппаратуры телескопа АЗТ 14 Саянской обсерватории позволил исследовать кривые блеска спутников. Эти наблюдения были использованы при создании системы мониторинга технического состояния космических аппаратов, разработанной совместно с ЦНИИ машиностроения Федерального космического агентства. В ее основу положены методы имитационного моделирования отражательно-излучательных характеристик космических аппаратов в реальных условиях полета. С помощью такого подхода стало возможным определять нештатные ситуации, возникающие в процессе летной эксплуатации космических аппаратов

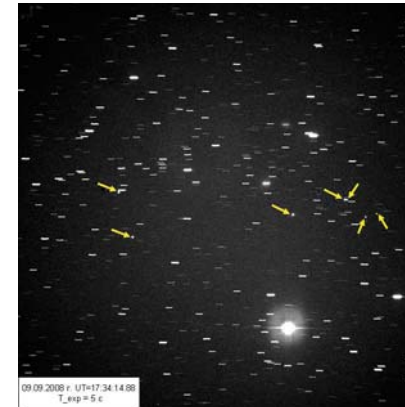
новки в околоземном космическом пространстве стал сегодня насущной задачей.

Увидеть спутник

Первый искусственный спутник Земли представлял собой полированную алюминиевую сферу диаметром 58 см, двигавшуюся по орбите с наклоном 65°, высотой апогея 947 км и высотой перигея 228 км. Более сложный объект для астрономических наблюдений трудно представить. Даже диффузно рассеивающая сфера такого же диаметра выглядела бы в апогее как звезда 8—9 величины и была бы недоступна для визуальных оптических наблюдений.

Поэтому реально удалось увидеть лишь вторую ступень ракеты-носителя (по современной терминологии, разгонный блок). Таким образом, уже первые оптические наблюдения искусственного спутника Земли оказались первыми наблюдениями космического мусора!

Еще одна астрономическая проблема, проявившаяся после запуска первых спутников – переменность

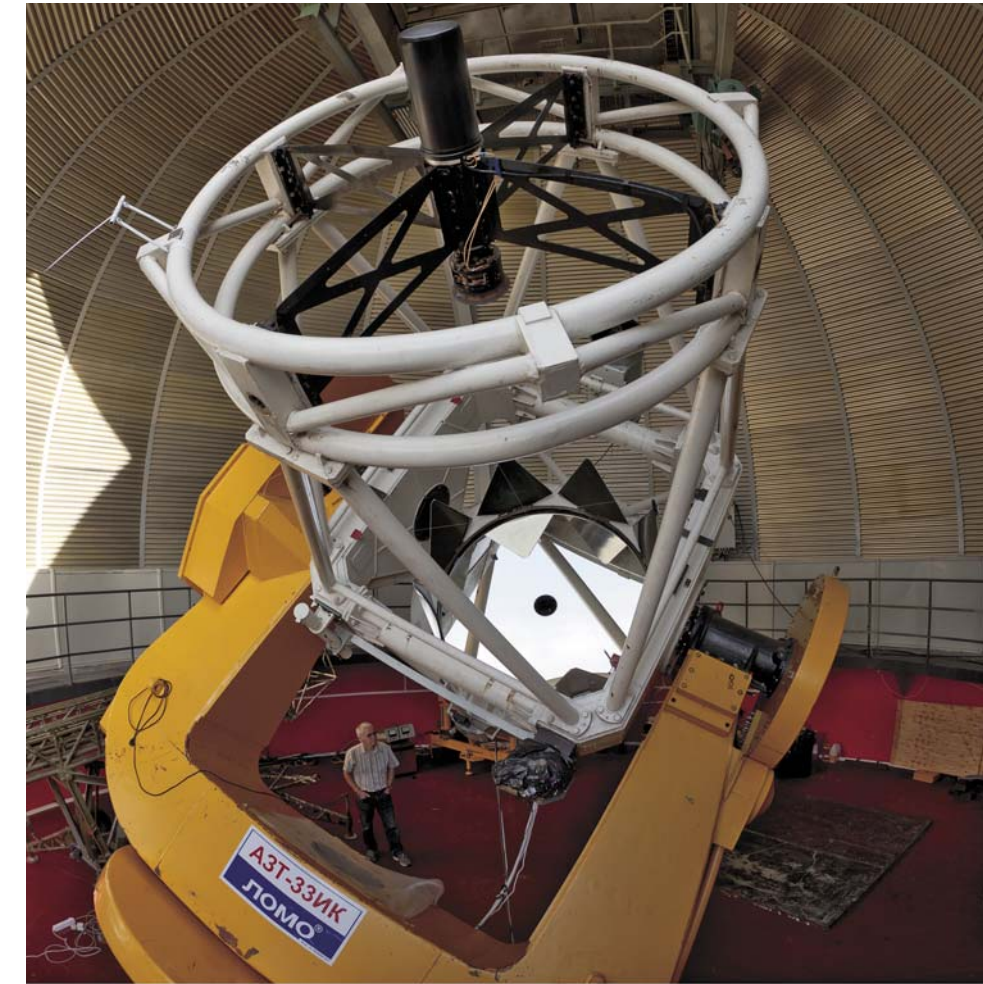


Первым телескопом астроизмерительного комплекса «Саяны» стал полуметровый АЗТ 14 (слева). Вверху – семь геостационарных космических объектов в поле зрения АЗТ 14

их блеска. Интерес к этой проблеме привел известного советского астронома, исследователя переменных звезд В. П. Цесевича к созданию первых астроприборов для фотометрических наблюдений искусственных спутников Земли. Он сформулировал и основные идеи фотометрических наблюдений, которые впоследствии были использованы при изучении оптико-геометрических характеристик поверхностей космических аппаратов.

Хотя спутники и их разгонные блоки представляют собой слабосветящиеся объекты, вести астрономическое наблюдение за ними во многих случаях просто необходимо. Особенно остро вопрос о наблюдаемости космических объектов встал в начале освоения Луны, когда потребовалось определить координаты ракеты перед выводом автоматических межпланетных станций на отлетную траекторию при дальности более 100 тыс. км.

Оригинальное решение этой проблемы было предложено известным советским астрофизиком И. С. Шкловским. Он предложил «выбросить» с борта ракеты не-

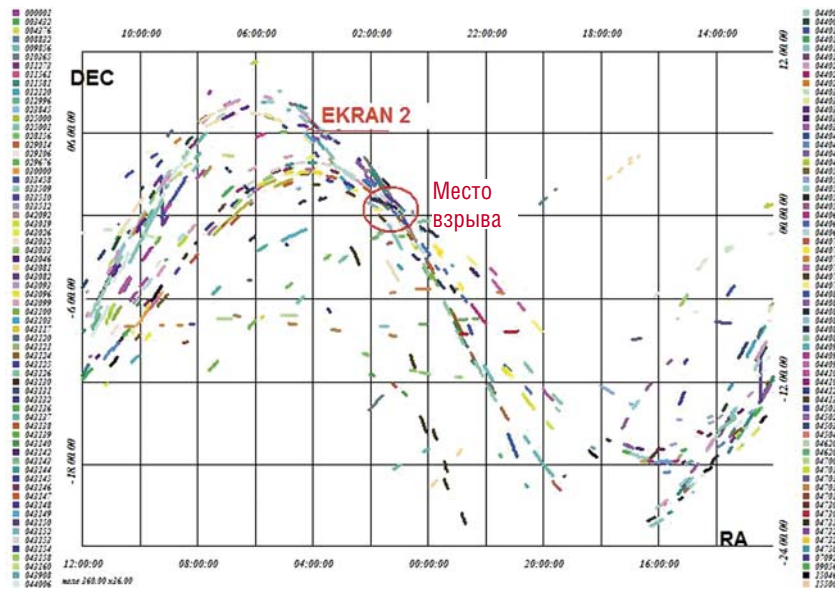


большое (порядка 1 кг) количество металлического натрия. Возбуждение атомов натрия солнечным светом позволило легко наблюдать их свечение на достаточно ярком фоне и определить положение ракеты относительно звезд.

«Искусственная комета» успешно наблюдалась как звезда приблизительно 4-й величины многими советскими и зарубежными обсерваториями, что обеспечило коррекцию траекторных параметров и успешное выполнение задач, возложенных на автоматическую межпланетную станцию «Луна-1».

В научном тандеме

Инфракрасный телескоп АЗТ 33ИК с диаметром главного зеркала 1,7 м был создан на базе новых конструкторско-технологических решений мирового уровня. В телескопе применены светосильные облегченные асферические зеркала, современные системы автоматизированного управления телескопом, которые обеспечивают высокоточное наведение, сопровождение космических объектов и измерение их оптических характеристик. Оптическая система обладает достаточно большим для этого класса телескопов полем зрения – 12 угловых минут и хорошо приспособлена для выполнения многих современных астрофизических программ



Распределение малоразмерных осколков в окологеостационарной области подчиняется доказанной В. И. Арнольдом усиленной теореме Пуанкаре о возвращении, которая утверждает, что почти всякая движущаяся в гравитационном поле материальная точка многократно возвращается к своему исходному положению. Экспериментальным подтверждением этому служит группировка осколков вблизи орбиты разрушившегося аппарата «Экран-2». Кроме того, в определенной части трубки объекта наблюдается сгущение траекторий, указывающее на место взрыва.

Сегодня на геостационарной орбите находится свыше тысячи крупных «лишних» объектов. Двенадцать таких спутников, у которых ученые Пулковской обсерватории обнаружили «подозрительные» изменения орбитальных параметров, характерные для разрушающихся объектов, были исследованы на предмет целостности конструкции.

В результате применения методов имитационного моделирования к результатам наблюдений, выполненных в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, было обнаружено, что у космических аппаратов «Экран» с номерами 2–5 отсутствуют панели солнечных батарей!

Еще более неожиданные результаты были получены учеными Европейского космического агентства (ЕКА) и астрономической обсерватории университета в г. Берне (Швейцария). Для сканирования области неба, через которую проходят орбиты «старых» геостационарных спутников, был использован телескоп с метровым зеркалом, установленный в обсерватории ЕКА на о. Тенерифе. В результате было обнаружено несколько тысяч объектов с размерами 20 см и менее.

Сразу возникла необходимость в проведении дальнейших исследований орбитальных параметров и оптических характеристик этих вновь обнаруженных техногенных космических объектов. К сожалению, телескопов, позволяющих наблюдать подвижные объекты 18–21-й звездной величины, в достаточном количестве не нашлось.

Чтобы взять на сопровождение первый десяток малоразмерных осколков, потребовалась кооперация работ на метровом телескопе на о. Тенерифе, на 2,5-метровом телескопе Крымской астрофизической обсерватории и на только что введенном в опытную

эксплуатацию 1,7-метровом телескопе АЗТ ЗЗИК Саянской обсерватории. Немного позднее к кооперации подключился телескоп Цейсс-2000 Терскольской обсерватории Института астрономии РАН. Обработка данных и прогнозирование орбит выполнялись баллистическим центром Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН.

На всех парусах

В результате научной кооперации были получены общие представления о характере движения осколков. В частности, по наблюдениям на телескопе АЗТ ЗЗИК было установлено пространственное распределение малоразмерных осколков. Оказалось, что значительная доля осколков группируется вблизи орбиты родительского тела. Однако большое количество траекторий осколков не проходит через точку сгущения и лежит достаточно далеко от наблюдаемой на небе «трубки» вокруг орбиты родительского тела.

Поскольку эти осколки представляют серьезную угрозу на космической «трассе», потребовалось установить их истинную природу и причину столь неожиданных траекторий. Единственное разумное объяснение состоит в том, что эти объекты имеют большую *парусность* – отношение площади поперечного сечения объекта к его массе. В этом случае действующее на них световое давление, превосходящее возмущения от гармоник геопотенциала и приливных возмущения, вызывает колебания эксцентриситета без существенного изменения величины большой полуоси (и, в соответс-

При проектировании нового широкоугольного телескопа АЗТ ЗЗВМ (справа на фото) диаметром 1,6 м и полем зрения 3° был использован технологический задел, полученный при изготовлении главного гиперболического зеркала для телескопа АЗТ ЗЗИК. Наиболее проблемными оказались технологии изготовления мозаик ПЗС матриц с быстрым временем считывания, а также технологии быстрой обработки данных измерений объемом до нескольких терабайт в режиме реального времени



твии с законами Кеплера, энергии).

Определенная таким образом парусность составила огромную величину, лежащую в диапазоне 1–50 м²/кг. Заметим, что обычный спутник имеет парусность порядка 0,0005 м²/кг, а лист обычной письменной бумаги – 13 м²/кг. Последующий учет этого феномена при прогнозе траектории позволил взять на сопровождение несколько десятков других необычных объектов, не принадлежащих к трубкам родительских тел.

Телескопы, участвовавшие в обнаружении малоразмерных осколков в геостационарной области орбит, обладают достаточной проникающей способностью, но их поля зрения не хватает для непрерывного сопровождения осколков. Требуются новые, широкоугольные телескопы с высокой проникающей способностью, позволяющие осмотреть заданную площадь неба (порядка 6000 кв. градусов) в течение одной ночи! Современные технологии уже позволяют создать телескоп диаметром 1,5–2 метра с полем зрения до 10 кв. градусов, который обеспечит глубину обзора до 22–23-й звездной величины.

Необходимым шагом в повышении безопасности космических полетов должно стать решение задачи массового обнаружения и непрерывного мониторинга параметров движения малоразмерного космического мусора. По оценкам НАСА, относительно безопасная эксплуатация космической техники может быть обеспечена, если национальные системы контроля позволят вести каталог из 150 тыс. объектов во всех эшелонах орбит.

Конечно, космический мусор – это неизбежное зло, однако астрономические методы сегодня способны обеспечить необходимые достоверные знания о космической обстановке. И главная стратегия в повышении космической безопасности должна заключаться в скоростном обзоре неба с помощью широкоугольных телескопов с высокой проникающей способностью.

Литература
Анфимов Н.А., Копяткевич Р.М. и др. *Дистанционная диагностика характеристик и технического состояния КА с помощью телескопов // Околосземная астрономия XXI века. М., 2001. С.14–23*

Рыхлова Л.В. *www.astronomer.ru/report/0000036/*
Kiladze R.I, Sochilina A.S., Grigoriev K.V. and Verzhkov A.N. *On Investigation of Long-Term Orbital Evolution of Geostationary Satellites : Proceedings 2-th European Conference on Space Debris, ESA SP-403. 1997. P. 53–57*

В публикации использованы фотографии В. Короткоручко (Иркутск)

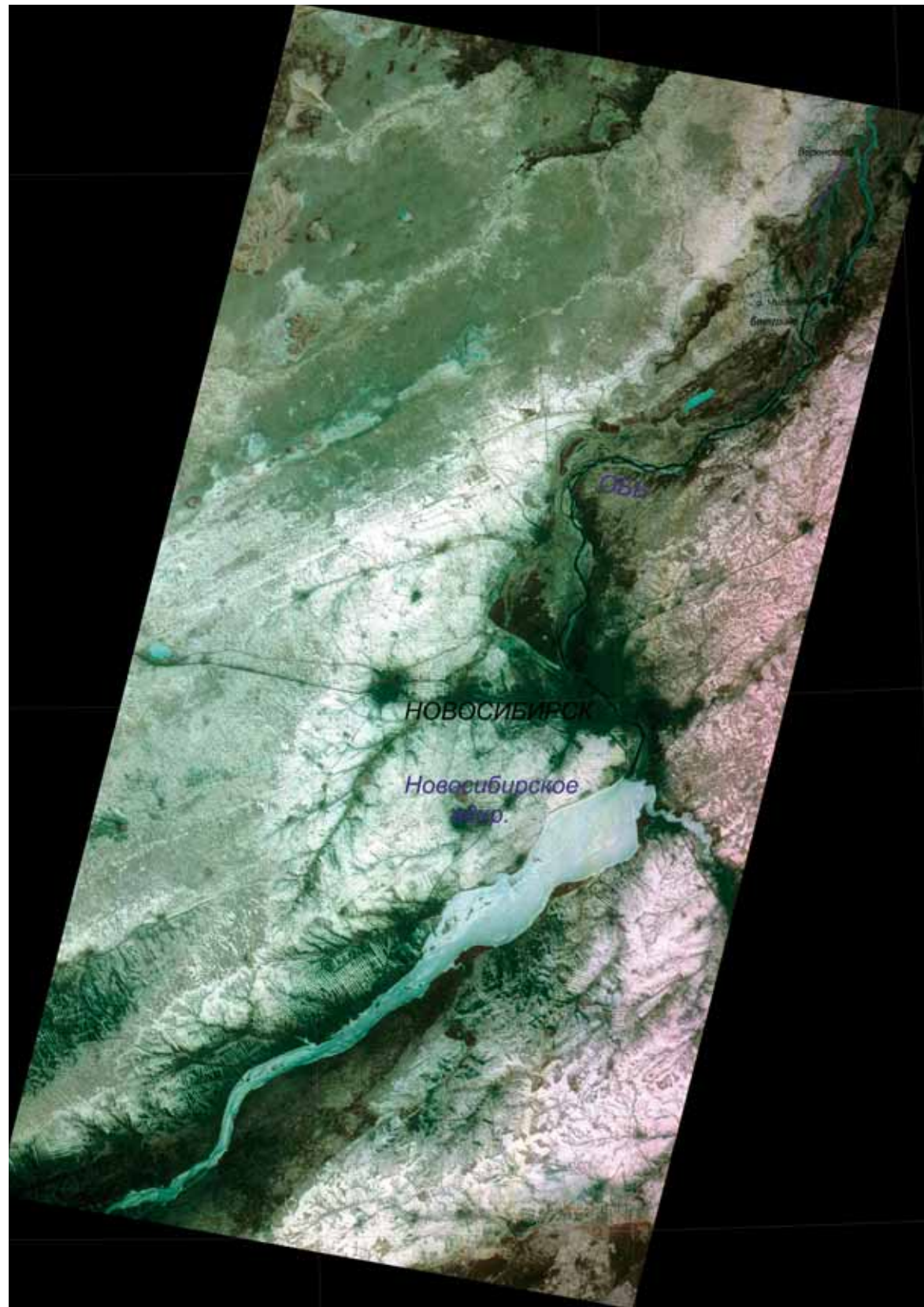
ТРЕТЬЯ от Солнца

После своего исторического полета Юрий Гагарин напишет: «Там, на высоте, кажется, видишь дальше, чем мог видеть прежде: и вперед, и в глубь истории». Сегодня эти слова могут сделать своим девизом множество людей, занимающихся так называемым космическим мониторингом Земли. Первый космонавт смог увидеть лишь то, как прекрасна и как хрупка наша «живая» планета в окружающем ее холодном космическом пространстве. Сегодня «сверху» мы можем видеть несравнимо больше: специальные спутники со сканирующей аппаратурой несут круглосуточную вахту на орбите, проводя съемку земной поверхности в различных спектральных диапазонах. С помощью спутниковой информации можно прогнозировать паводки и отслеживать лесные пожары, предсказывать бури и будущую урожайность зерновых, следить за состоянием водоемов и промышленными выбросами. То есть делать все, чтобы и дальше наша планета оставалась для человечества уютным и надежным домом

Динамику облачных образований над Евразией можно наблюдать с помощью многозонального сканирующего устройства, установленного на космическом аппарате «Метеор-М»

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутниковая информация.
Key words: Earth's remote sensing, satellite information





Прием и обработку спутниковой информации в России осуществляют наземные комплексы, расположенные в Москве, Новосибирске и Хабаровске, входящие в единую сеть космической гидрометеорологии «Планета» (Росгидромет).

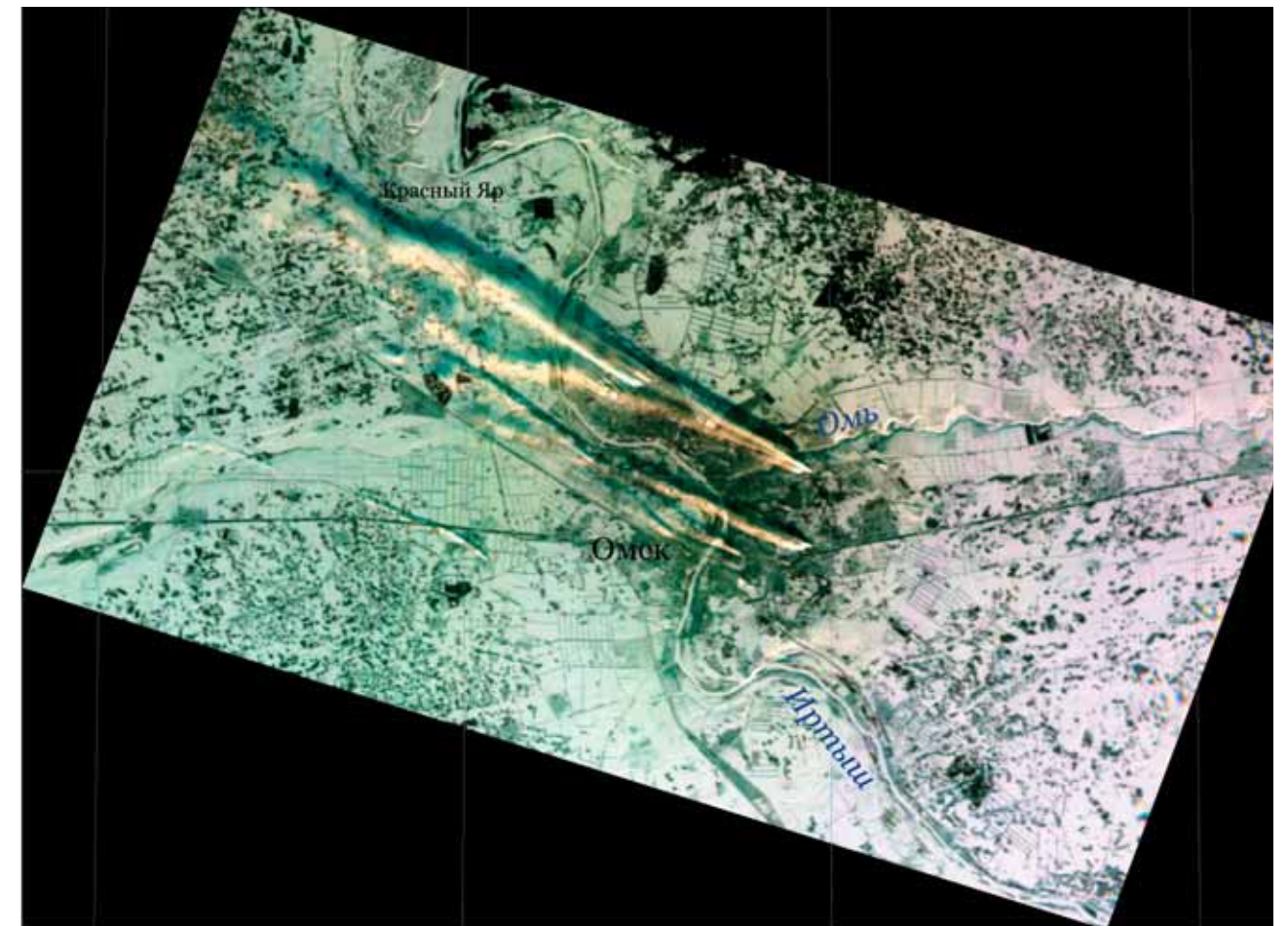
Сибирский филиал был создан в 1968 г. – через девять лет после запуска первого космического спутника. Сегодня зона его видимости охватывает регион от Северного Ледовитого океана до Китая, и от Урала до Забайкалья. Его главная задача – обеспечить государственные органы управления, федеральные министерства и ведомства и прежде всего Росгидромет, Министерство обороны и Министерство чрезвычайных ситуаций всей доступной информацией, поступающей с российских и зарубежных спутников.

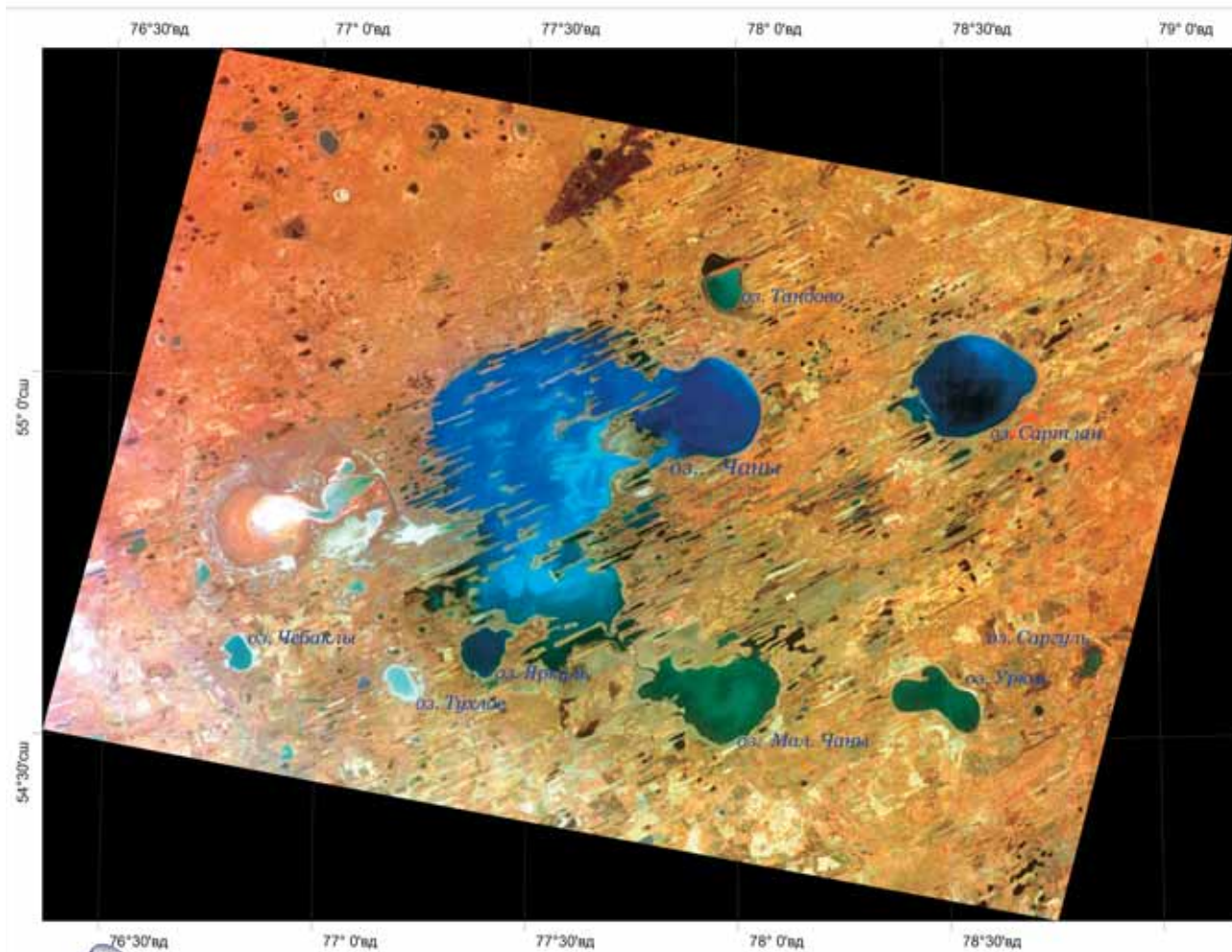
Сибирский центр располагает современными комплексами для оперативного приема данных, поступающих с космических аппаратов «Метеор-М» (Россия), зарубежных «Тегга», «Аква» (США), «Spot-4» (Франция) и космической системы NOAA (США). Ежедневно здесь проводится до 35 сеансов приема спутниковых данных. В перспективе – прием с российских космических аппаратов последнего поколения «Электро-Л», «Канопус-В», «Ресурс-П», запуск которых запланирован на ближайшее будущее.

На снимке, полученном со спутника «Метеор-М» хорошо видны шлейфы дыма от ТЭЦ и других промышленных объектов.
Пространственное разрешение 50 м; 3 января 2011 г.



АНТОНОВ Валерий Николаевич – директор Сибирского центра ГУ Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» (Новосибирск)





Но спутниковую информацию недостаточно просто принять: ее нужно расшифровать, обработать и довести в оперативном порядке до основных потребителей. В рамках реализации Федеральной космической программы и программы технического переоснащения оперативно-прогностических подразделений Росгидромета в сибирском центре были установлены новые и модернизированы уже существующие аппаратно-программные комплексы по приему и обработке спутниковых данных.

Àì àñòà ñ ÑÎ ÐÀÍ

Сибирский центр НИЦ «Планета» давно и плодотворно сотрудничает с Сибирским отделением Академии наук. В рамках этого содружества в 2010 г. началось практическое воплощение идеи создания регионального центра мониторинга природных и социально-экономических процессов.

С объединением возможностей приемных аппаратно-программных средств Сибирского центра и инфор-

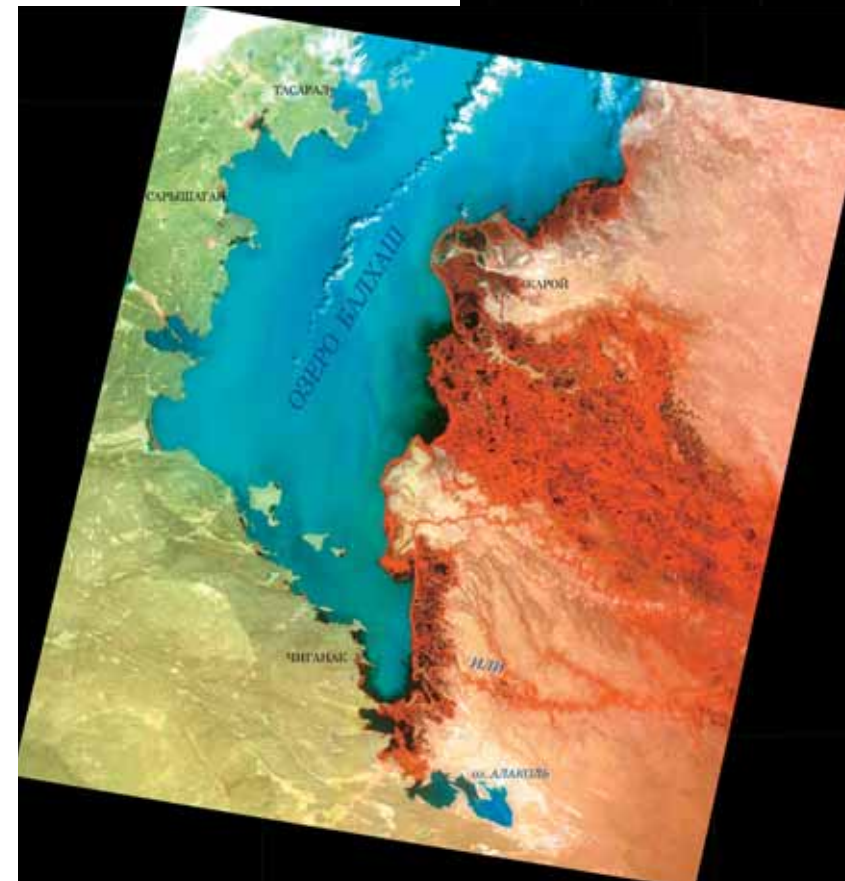
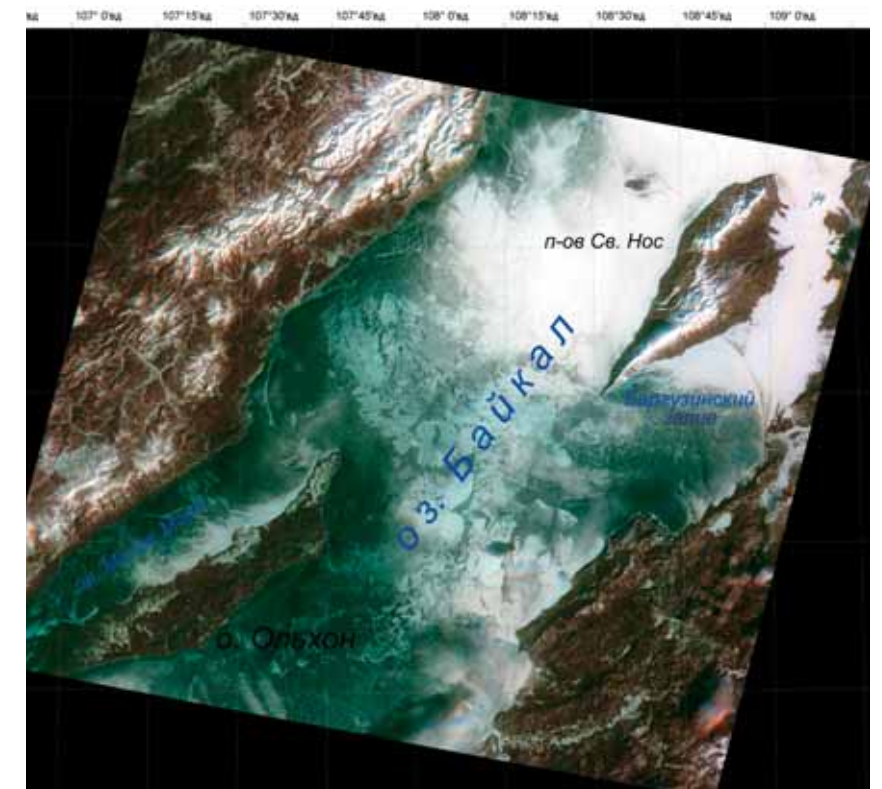
мационно-вычислительных ресурсов новосибирского Института вычислительных технологий СО РАН, при участии специалистов Алтайского государственного университета, стало возможным решать задачи по глубокой обработке спутниковой информации в оперативном режиме.

В результате на базе Вычислительного центра ИВТ был развернут технологический комплекс структурного восстановления данных, поступающих с американских научно-исследовательских спутников «Тегга» и «Аква». Комплекс осуществляет автоматическую распаковку «сырого» потока данных, первичную калибровку и последующую обработку данных сенсоров MODIS, AIRS, AMSR-E до уровня пользовательских продуктов. Архивирование и хранение поступающей и обрабатываемой информации идет в автоматическом режиме. Кроме того, проводится постоянная сверка получаемых результатов с данными наземных опорных пунктов.

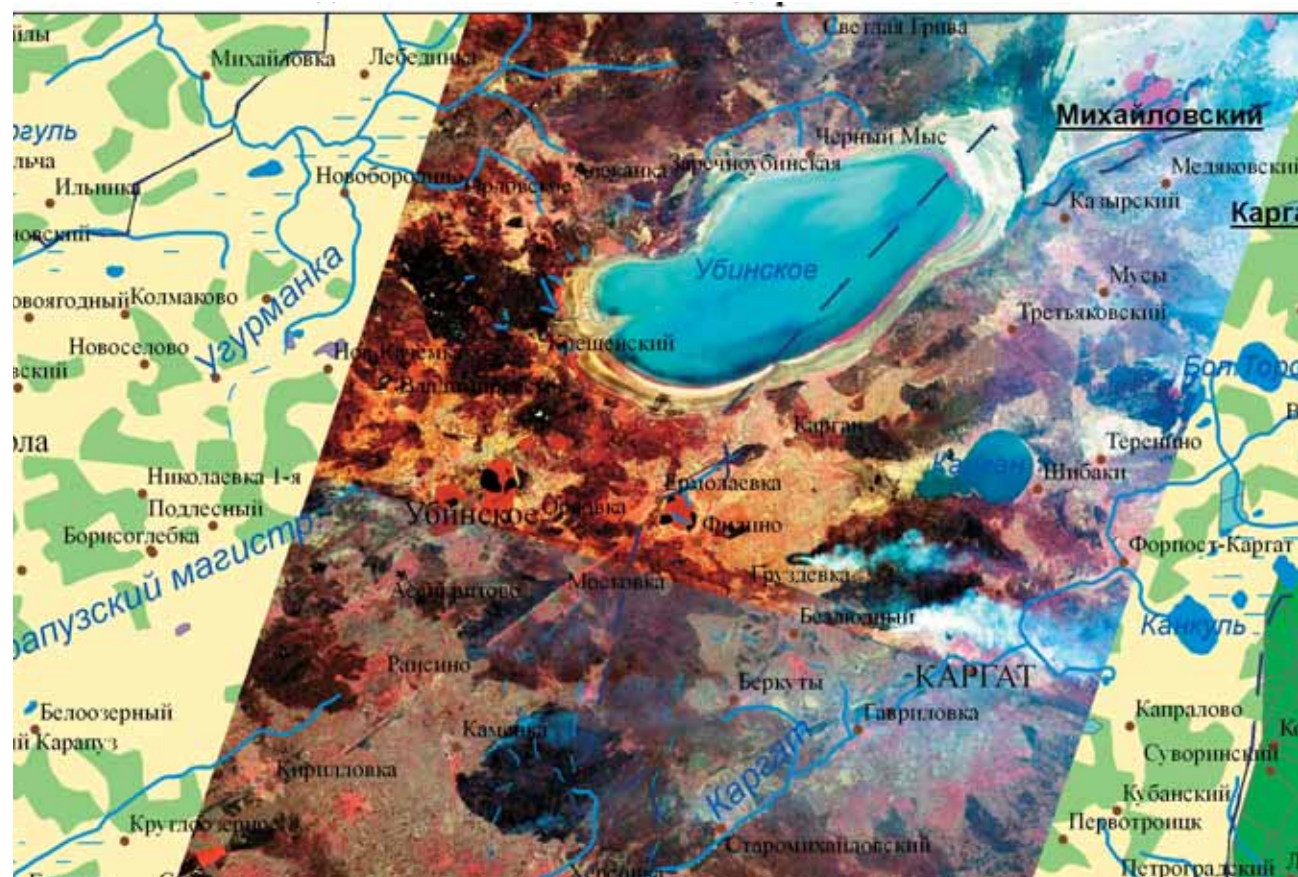
Доступ к обработанной в комплексе информации предоставляется как посредством FTP- и HTTP-сервисов, так и через сервисы WMS и KML, используемые



Сибирский научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» (вверху – уникальная антенна ТНА-57 Р высокого пространственного разрешения с диаметром зеркала 12 м)



Приемная станция «СПОИ» предназначена для устойчивого приема данных дистанционного зондирования Земли (диаметр зеркала – 3,6 м, диапазон 8,2 ГГц)



Со сходом снежного покрова в лесах Западно-Сибирского региона появляется опасность возникновения пожаров. На фото – карта пожароопасной обстановки, составленная по данным спутника «Spot-4», на которой видны шлейфы дыма и пожарища. Пространственное разрешение 20 м; 11 мая 2009 г.

в клиентских приложениях визуализации данных. Использование ряда особых технологических приемов позволяет актуализировать данные в режиме реального времени: в ряде случаев время получения пользовательских продуктов не превышает 20–30 минут после завершения орбитального витка.

Пакет продуктов для конечных пользователей может включать набор данных по атмосферным характеристикам, таким как содержание аэрозоля, водяного пара, озона, углекислого газа и метана, вертикальные профили температуры и т. д. Кроме того, в него может входить набор данных по состоянию подстилающей земной поверхности, включая суточное и многодневное альбедо, температуру и давление в приземном слое и на уровне земной поверхности, характеристики растительного покрова и др.

Нписок пользовательских продуктов, полученных на основе обработки спутниковой информации в сибирском комплексе, сегодня постоянно расширяется благодаря стабильному росту информационно-вычислительных ресурсов.

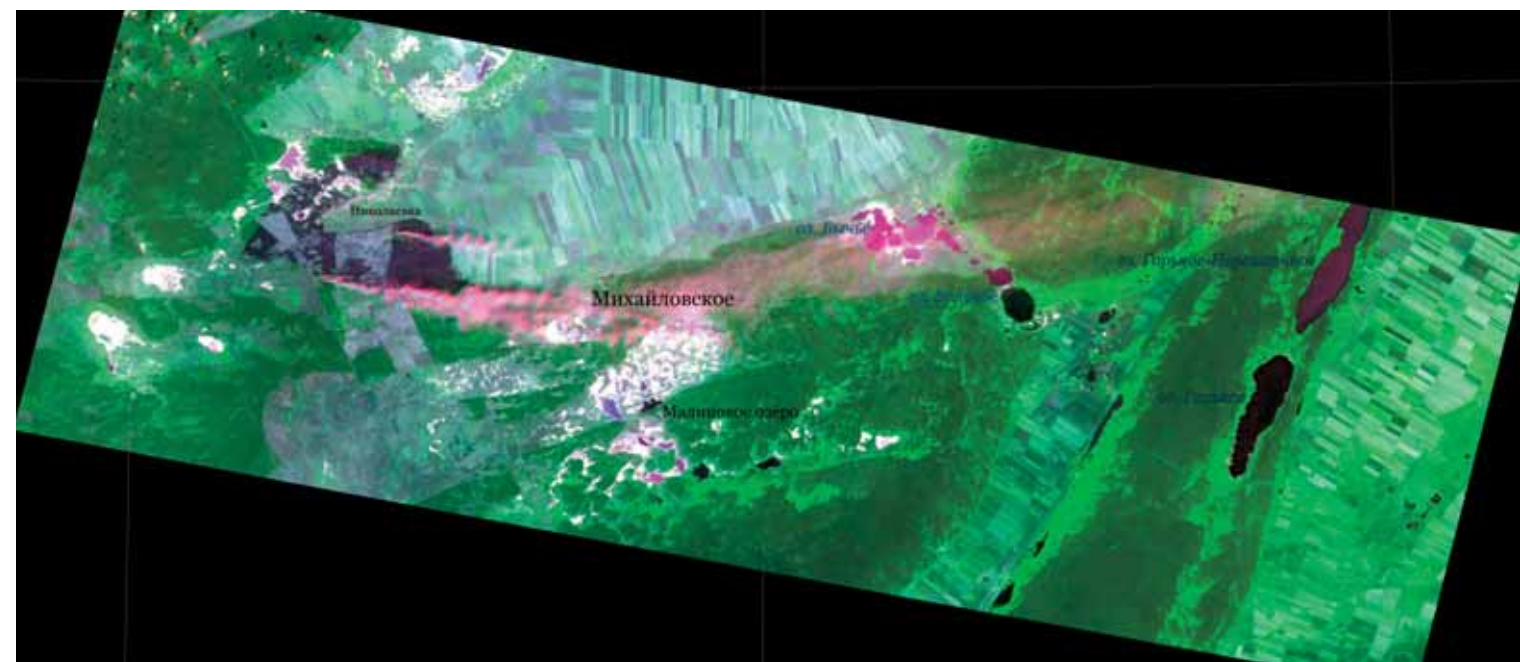
Результаты, полученные при обработке спутниковой информации, используются для мониторинга состояния природной среды: обнаружения лесных и степных пожаров, изучения ледовой обстановки и прогнозирования паводковых ситуаций, оценки состояния посевов и будущей урожайности сельскохозяйственных культур и др.

Новые оригинальные технологии обработки данных вместе с мощной вычислительной базой позволяют решать эти задачи на качественно новом уровне, значительно повышая точность и достоверность результатов.

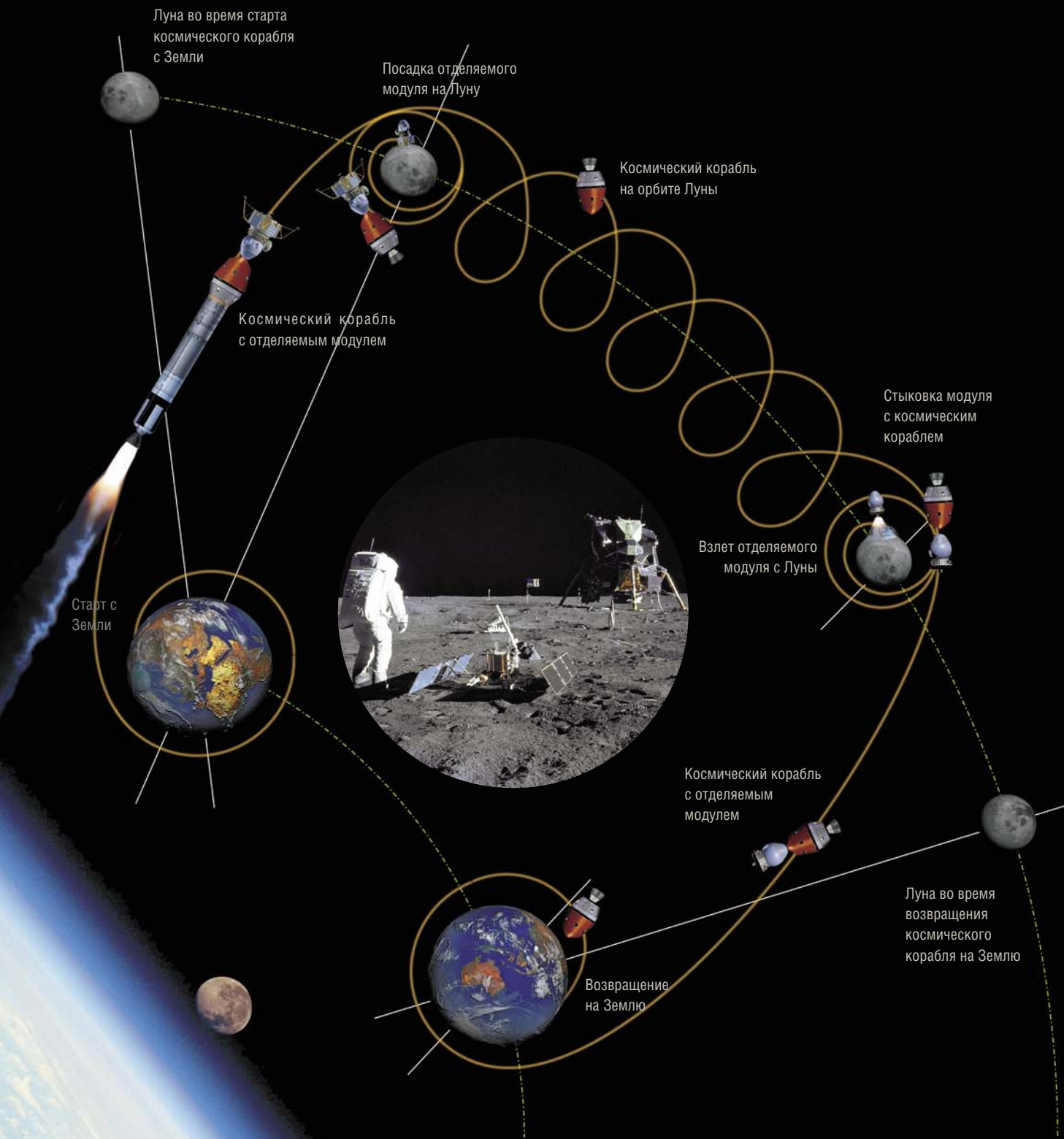


Вода и огонь... На карте паводковой обстановки в бассейне р. Обь (вверху), составленной по данным космического аппарата «Spot-4», ниже речного русла виден очаг пожара. Пространственное разрешение 20 м; 14 апреля 2011 г. Внизу – пожары в Алтайском крае на снимке со спутника «Метеор-М». Пространственное разрешение 50 м; 9 сентября 2010 г.

Литература
 Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Под ред. А.М. Берлянта. М.: Научный мир, 2003.
 Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008.



«...мы смогли бы такие вензеля выписывать по ВСЕЛЕННОЙ!»



В композиции использованы снимки НАСА, сделанные астронавтами «Аполлона-11» (1969 г.) и шаттла «Дискавери» (1995 г.). Johnson Space Center (NASA)

С давних пор человек мечтал побывать на Луне – самом крупном объекте в ночном небе. Об этом писали фантасты, размышляли философы, ломали голову ученые, уверенные в том, что Земля – всего лишь «детская комната» для человечества. С наступлением космической эры причудливая лунная фантазия превратилась в грандиозный инженерный проект. 21 июля 1969 г. американский астронавт Нил Армстронг ступил на поверхность Луны. «Это один маленький шаг для человека, но гигантский скачок для всего человечества», – его слова, облетевшие весь мир. В 1997 г. автор предлагаемой читателю статьи перевел на английский язык книгу Ю.В. Кондратюка «Завоевание межпланетных пространств», изданную в 1929 г., и отправил ее американскому исследователю Джону Хуболту, автору проекта полета на Луну. В ответ он получил детальный отчет НАСА, подготовленный в 1995 г., об истории проекта «встречи на орбите Луны» (LOR) и роли Кондратюка в его осуществлении. На обложке рукой Хуболта написано: «Интересно заметить, насколько близки были идеи Кондратюка и мои».

Таким образом, по признанию самого ученого реализованная американцами схема полета на Луну была придумана русским инженером за полвека до полета «Аполлона». Могли ли американцы воспользоваться идеей Ю.В. Кондратюка? Обсуждение этого вопроса получило широкое распространение в русскоязычной прессе, а траектория полета на Луну стала именоваться «трасса Кондратюка». Об этом и о том, кем на самом деле был Ю.В. Кондратюк, рассказывает автор в своей статье

Использовать ракету для полета человека к небесным телам предлагали и Сирано де Бержерак в «Путешествии на Луну», и Жюль Верн в романе «Вокруг Луны». С наступлением XX в. в разных странах начинают проводиться научные и инженерные разработки идеи ракетных полетов: Г. Обертом в Германии, Р. Эсно-Пельтри во Франции, Р. Годдардом в США и др. Приоритет в этой области безусловно принадлежит российскому ученому К. Э. Циолковскому, опубликовавшему в 1903 г. статью «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Эта работа стала фундаментом, на котором выросла вся наука о реактивном движении. И хотя в ней нет проекта, который бы позволил достичь поверхности Луны и вернуться обратно на Землю, важно то, что в этой работе содержится упоминание орбитальных космических станций.

Идея «встречи на орбите» очень важна для развития теории космонавтики. Только в фантастических рассказах космические корабли бороздят просторы Вселенной, не согласуясь с энергетическими затратами. В реальности



ЗАРКО Владимир Егорович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Института химической кинетики и горения СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 9 изобретений и более 160 научных работ. Председатель Новосибирского регионального отделения Федерации космонавтики России. На фото – автор на XXIII Международном симпозиуме по космической технологии и науке в Японии, 2002 г.

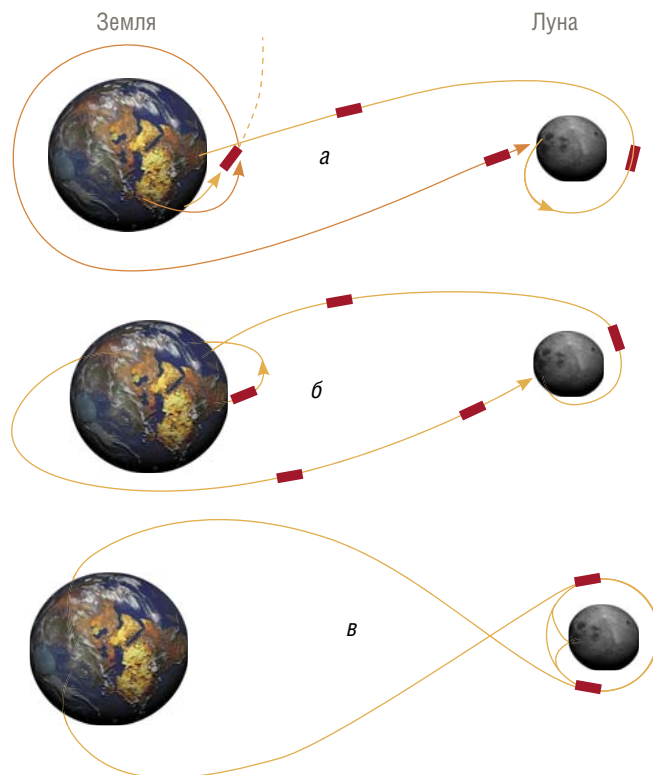
Ключевые слова: полет на Луну, Юрий Кондратюк, трасса Кондратюка, Джон Хуболт, «Аполлон-11», встреча на лунной орбите.
Key words: flight to the Moon, Yuri Kondratyuk, Kondratyuk's trajectory, John Houbolt, Apollo-11, Lunar-Orbit Rendezvous

объем топлива, необходимый, чтобы преодолеть земное тяготение, выйти на околоземную орбиту, затормозить перед посадкой на другую планету, а потом взлететь и разогнать корабль для возвращения на Землю, влечет такую стартовую массу ракеты, что делает невозможным сам полет. «Встреча на орбите» – необходимый пункт в маршруте дальних космических кораблей.

Встречи на орбите

Впервые идея использовать для дальних полетов космические станции прозвучала в 1897 г. в работе немецкого профессора К. Лазвитца «На двух планетах» (о развитии концепции «встречи на орбите» см. Hacker, 1974). В 1923 г. немецкий исследователь Г. Оберт выпустил небольшую книжку под названием «Ракета в межпланетном пространстве», в которой предложил построить для снабжения кораблей, стартующих на удаленные небесные тела, станцию-спутник Земли с обсерваторией, солнечной батареей и запасами топлива. Ряд статей на эту тему публикует в конце 1920-х гг. журнал Немецкого ракетного общества.

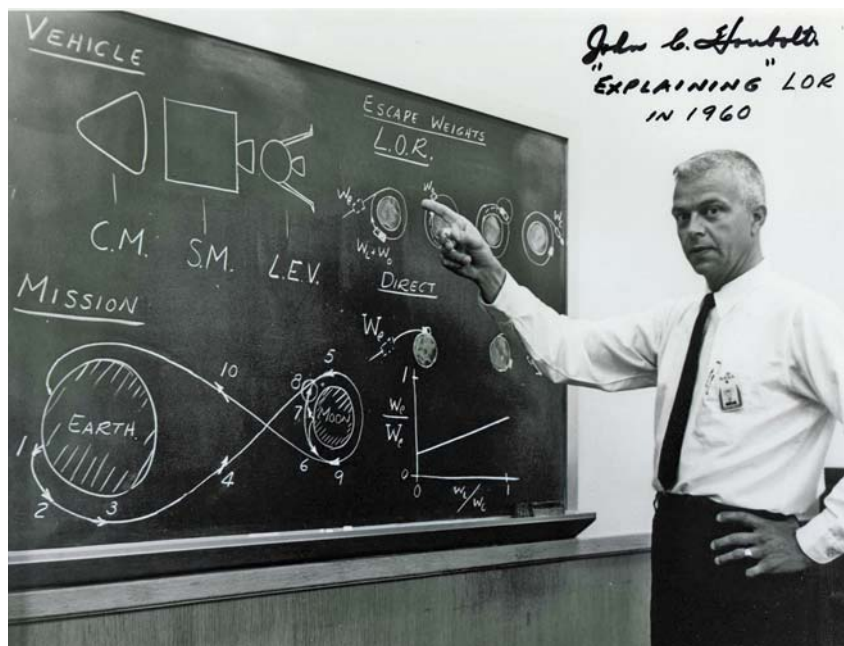
По окончании второй мировой войны серьезную работу по развитию космических исследований разворачивает Английское межпланетное общество (BIS). В январе 1949 г. в журнале BIS выходит статья «Орбитальные базы». Ее автор Г. Росс предлагает запускать с Земли не одну, а три ракеты, с последующей их стыковкой на околоземной орбите. Одна из ракет, выполнив дозаправку топливом, затем совершает полет к Луне и обратно. Предложенная схема требует запуска ракеты весом всего 1326 т вместо 3460 т, необходимых для прямого перелета с Земли на Луну. После некоторой



В начале 1960-х гг, когда только была принята программа «Аполлон», приоритет отдавался двум вариантам полета: *a* – предусматривал «встречу на орбите» Земли корабля с астронавтами и транспортного корабля с запасом топлива, *b* – предполагал отправку одной мощной ракеты для прямого перелета к Луне. В результате победил вариант (*v*), предложенный Хуболтом и предусматривающий доставку на орбиту Луны корабля с отделяемым модулем. По: (Life, 1969. Vol. 66, No 10).

На фото справа – восход Земли, снятый астронавтами «Аполлона-8» в декабре 1968 г. Справа внизу – пилот лунного модуля Базз Олдрин на поверхности Луны. Headquarters NASA

Дж. Хуболт объясняет схему полета на Луну (1960 г.). Фото из кн. Дж. Хансена (1995 г.). Надпись на фото сделана рукою Хуболта



доработки эта схема обнаружится на заседании Международного конгресса астронавтики, состоявшегося в Лондоне в 1951 г.

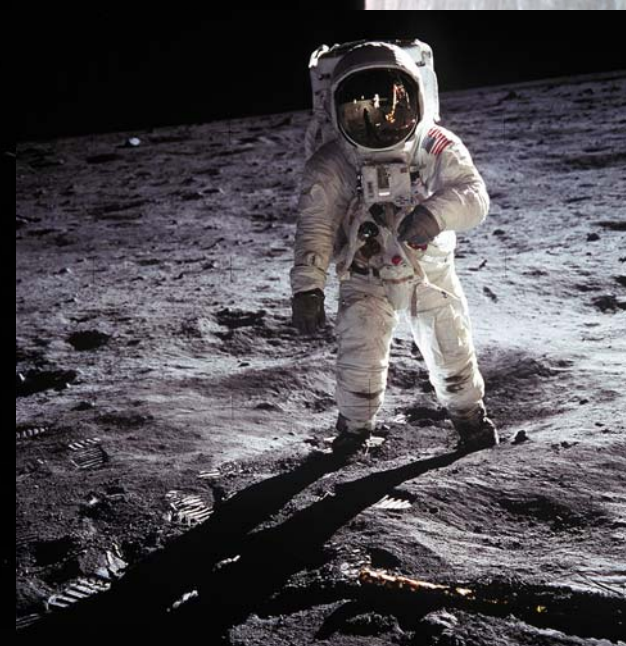
В начале 1960-х гг. в США провозглашается программа пилотируемого полета на Луну. При обсуждении возможных вариантов американское агентство по аэронавтике (НАСА) рассматривает проект прямой экспедиции на Луну с помощью супермощной ракеты массой более 5000 т – и это после того, как идея «встречи на орбите» получила международное признание!



И все-таки большинство ракетчиков НАСА во главе с Вернером ф. Брауном выступает за проект под условным названием EOR (earth orbit rendezvous) – «встреча на орбите Земли». Согласно этому проекту, в космос отправляются две ракеты: одна с топливом, другая – с космическим кораблем, после дозаправки на орбите Земли корабль с астронавтами отправляется напрямик к Луне.

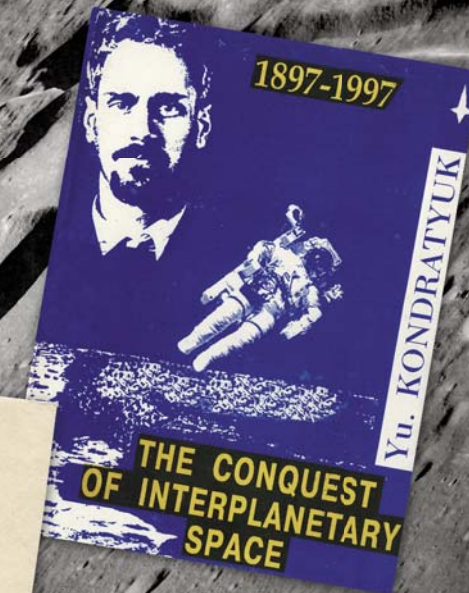
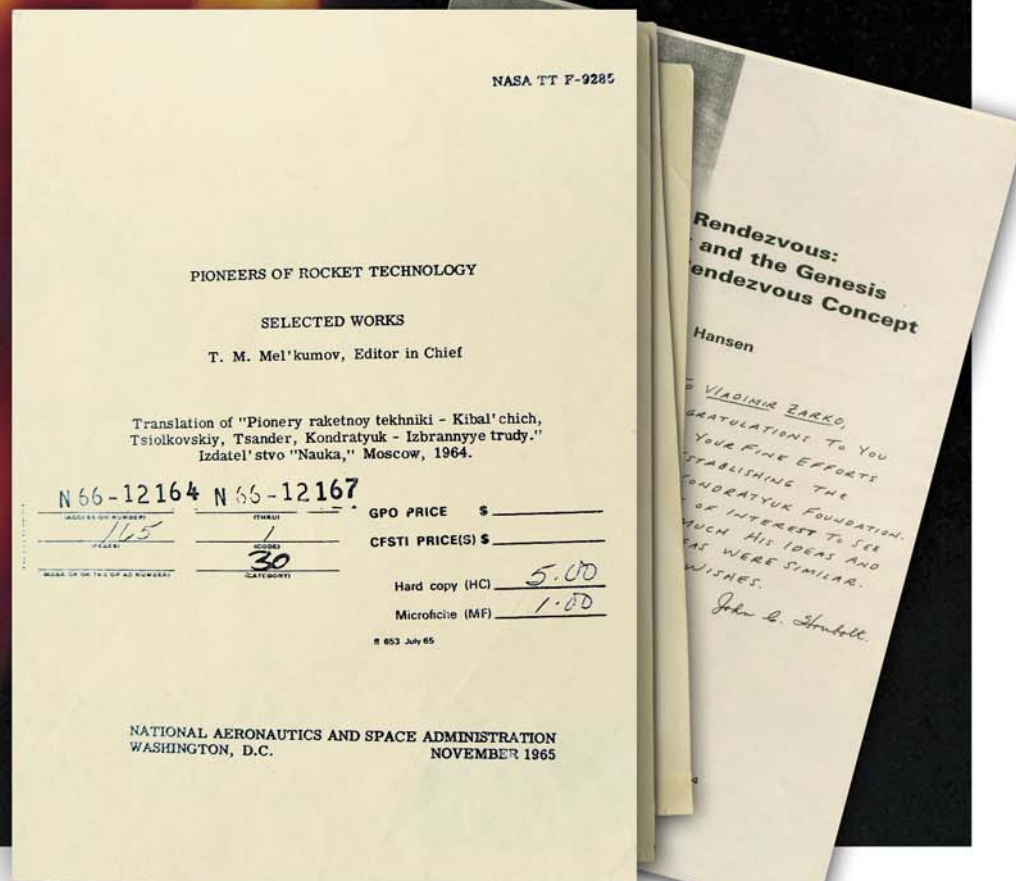
Он прошел через то же, что и я!

Альтернативный вариант «встречи на орбите» предложил сотрудник НАСА, инженер Джон Хуболт. Он посчитал, что самое разумное – это отправить на орбиту Луны одну мощную ракету с отделяемым модулем, который может спуститься к поверхности Луны, а затем вернуться на орбиту и произвести стыковку с основным кораблем. Поначалу предложение Хуболта по-



Запуск ракеты «Сатурн-5» с космическим кораблем «Аполлон-11». Kennedy Space Center (NASA).
Справа – поверхность Луны, сфотографированная астронавтами «Аполлона-10» в мае 1969 г. Johnson Space Center (NASA)

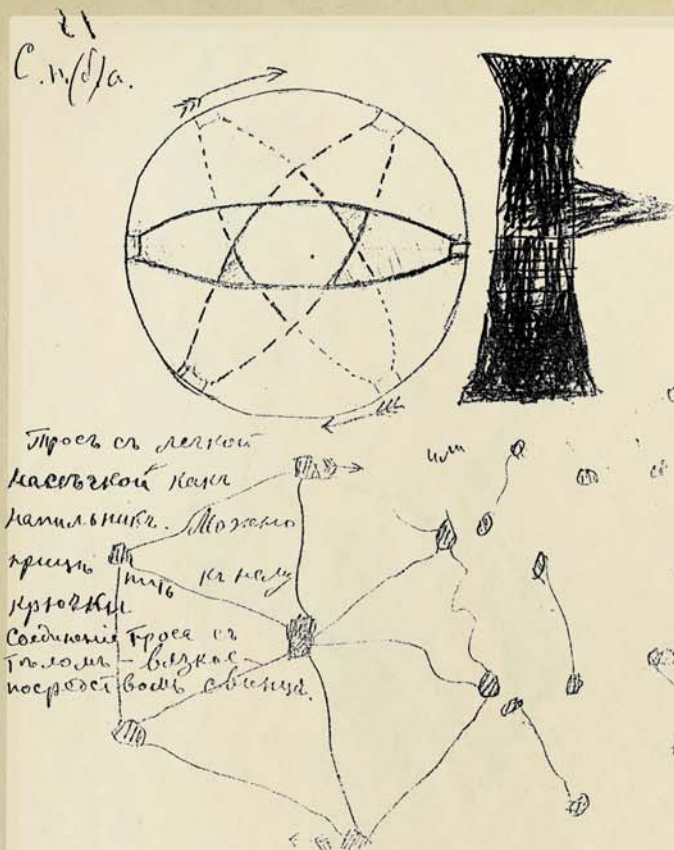
Обложка отчета НАСА (1995 г.) об истории проекта «встречи на орбите» и роли Кондратюка в его осуществлении, который прислал автору настоящей статьи Хуболт. На обложке его рукой написано: «Интересно заметить, насколько близки были идеи Кондратюка и мои»
На переднем плане – обложка, сделанного в НАСА перевода книги «Пионеры ракетной техники. Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избр. труды» (Москва, 1964 г.)



казалось слишком необычным, так что ему пришлось проявить завидное упорство, чтобы отстоять свое детище перед руководством НАСА. С подобной идеей выступали тогда и другие исследователи, в частности сотрудник НАСА В. Микаел и представитель «Vought Astronautics» Т. Долан. Но в результате наиболее перспективным и технически обоснованным был признан именно проект Хуболта.

О непростой истории проекта «Аполлон» рассказывалось в одном из мартовских номеров журнала «Лайф» за 1969 г. В заголовок статьи были вынесены слова Хуболта: «Если и была идея, которую стоило продвигать, то именно эта». Поводом послужил испытательный полет корабля «Аполлон-9». Наблюдая его старт, Хуболт, по словам автора статьи Дэвида Шеридана, вспомнил о русском инженере, «мечты которого разбились о скептицизм других». Как пишет журналист, «Хуболт совсем недавно прочитал работу Юрия Кондратюка, русского механика-самоучки, который 50 лет назад рассчитал, что LOR – лучшее средство для посадки на Луну. Советское правительство пренебрегло им...» «Господи, он прошел через

Юрий Васильевич Кондратюк (1897—1942) – один из основоположников космонавтики. В 1919 г. предложил при полетах к другим планетам выводить корабль на орбиту, а на поверхность спускать небольшой взлетно-посадочный корабль, предвосхитив идею «встречи на орбите», легшую в основу проекта «Аполлон». На фото – обложка репринтного издания книги «Завоевание межпланетных пространств» и ее перевода на английский язык, подготовленных к 100-летию со дня рождения Кондратюка



«Чем залетать каждый раз на Землю, выгоднее иметь базы с малым потенциалом силы тяготения – на самодельных спутниках Луны или на ней самой. В базах на Луне, если там найдется и вода, можно было бы, пользуясь солнечным освещением, вырабатывать активное вещество. А на летучих самодельных базах хранить запасы активного вещества, приборы, инструменты, съестные припасы.

...Мы можем получить возможность не только взлетать от Земли и возвращаться обратно, но и свободно передвигаться по всей Солнечной системе и даже улетать с нее вовсе.

Вот если бы можно было бы туда лететь при помощи пушки, а возвращаться при помощи атмосферы, то, захватив с собой на снаряд не особенно даже большое количество активного вещества, мы смогли бы такие вензеля выписывать по Вселенной»

Ю. В. Кондратюк, «Тем, кто будет читать, чтобы строить» (1918–1919 гг.)

«Для предотвращения качаний базы, могущих мешать наблюдениям в большой астрономический инструмент, массу ее следует разделить на четыре части, расположив их по вершинам тетраэдра и соединив между собой алюминиевыми фермами... Если на людях будет тяжело отражаться продолжительное отсутствие кажущейся тяжести, то... жилое помещение может быть устроено отдельно и соединено тросом длиной в несколько десятков метров с противовесом; если этой системе сообщить вращение вокруг общего центра тяжести, то появится центростремительное ускорение, которое будет ощущаться так же, как сила тяжести на Земле»

Ю. В. Кондратюк, «Завоевание межпланетных пространств», 1929

«Снаряд состоит из камеры, где находятся пассажиры и приборы и сосредоточено управление, сосудов, где находится активное вещество, и трубы, в которой происходит сгорание и расширение активного вещества и его газов... Сосудов нужно делать несколько, разных размеров. В каждом сосуде нужно сделать два отделения – для жидкого кислорода и водорода»

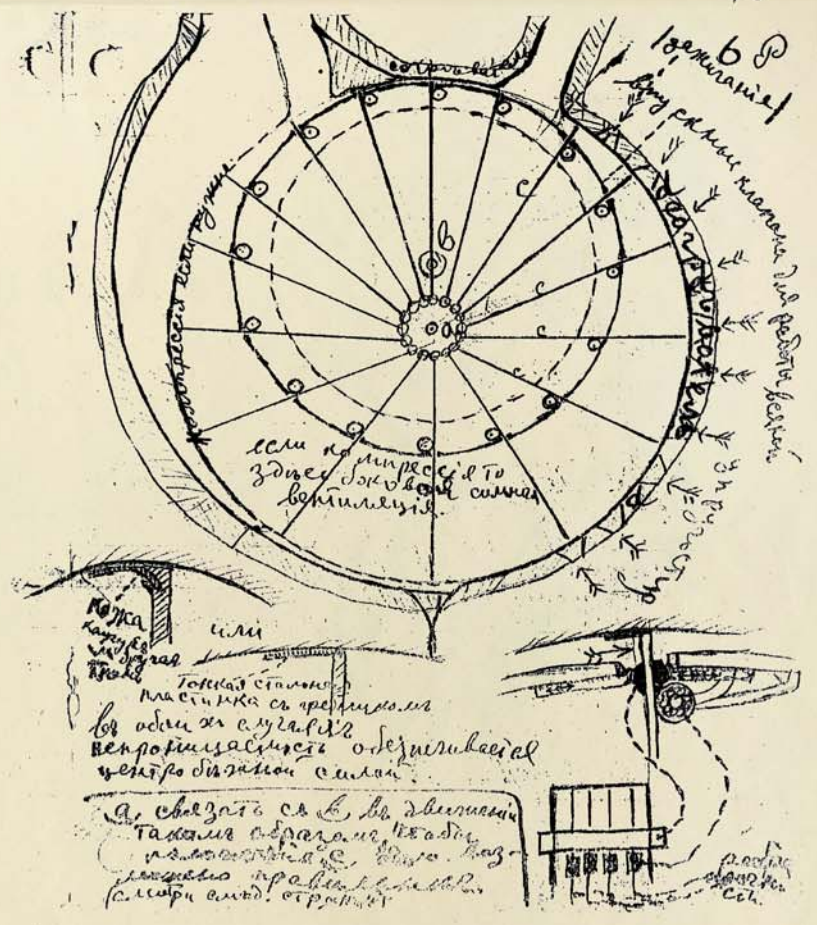
Ю. В. Кондратюк, «Тем, кто будет читать, чтобы строить», 1918–1919

«На снаряде (ракете) мы можем использовать солнечное освещение для предварительного нагревания кислорода и водорода перед их поступлением в трубу. Этим мы достигнем большой скорости при вылете – большей отдачи. Чтобы пользоваться на ракете солнечным светом, нужно захватить с собой зеркала весьма большой площади. Зеркала эти должны быть сделаны из тончайших листов какого-нибудь металла, который бы отражал хорошо возможно больший процент силы солнечного света.

Сделаем зеркала большой величины и в огромном количестве. Препроводим их на ракетах и приведем их в такое состояние, чтобы они стали земными спутниками. Развернем их там. Соединим в еще большие общими рамами. Станем управлять ими. Если эти зеркала будут исчисляться десятинами, то можно взять подряд на освещение столиц. Но, если привлечь к этому огромные средства, если сделать зеркал в огромных количествах и пустить их вокруг Земли так, чтобы они всегда были доступны солнечному свету, то можно ими согреть части земной поверхности, можно обогревать полюса тундры и тайги и сделать их плодородными. Может быть даже, пользуясь огромными количествами доставляемого ими тепла и энергии, можно было бы приспособить для жизни человека какую-нибудь другую планету, удалить с нее вредные элементы, насадить нужные, согреть».

Вообще же с такими огромными количествами энергии, которые могут дать зеркала, можно приводить в исполнение самые смелые фантазии».

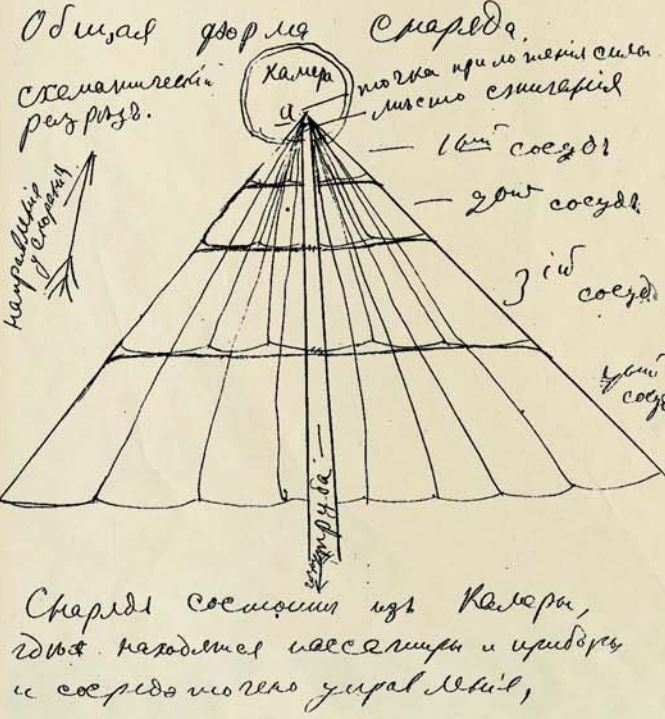
Ю. В. Кондратюк, «Завоевание межпланетных пространств», 1929



«Почему не решена на практике до сих пор задача межпланетных сообщений, и отнюдь не грандиозная в смысле потребных технических средств, но в то же время имеющая столь неизмеримо огромное значение – задавая себе этот вопрос, приходишь к выводу – от недостатка дерзости и инициативы, с одной стороны, и непонимания практического значения этой задачи – с другой. Если бы цель этой задачи выражалась бы в долларах да не так бы поражала своей экстраординарностью, американцы, наверное, уже владели бы ею, а не вели бы так же, как и немцы, лишь весьма предварительных опытов направленных при том, насколько можно судить по нашим газетным сведениям, по не совсем верному пути.

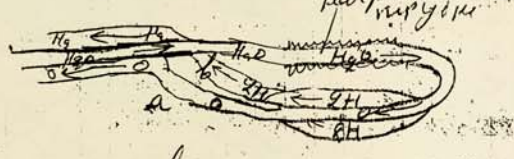
...В 1921 я пришел к весьма неожиданному решению вопроса об оборудовании постоянной линии сообщения с Земли в пространства и обратно, для осуществления которой применение ракеты... необходимо только один раз; в 1926 г. – к аналогичному разрешению вопроса о развитии ракетой начальных 1500–2000 м/с ее скорости улета без расходования заряда и в то же время без применения грандиозного артиллерийского орудия-тоннеля или сверхмощных двигателей, или вообще каких-либо гигантских сооружений. Указанные главы не вошли в настоящую книгу; они слишком близки уже к рабочему проекту овладения мировыми пространствами, – слишком близки для того, чтобы их можно публиковать, не зная заранее, кто и как этими данными воспользуется».

Ю. В. Кондратюк, «Завоевание межпланетных пространств», 1929



Страницы рукописей Кондратюка, сданных им в 1938 г. Б.Н. Воробьеву, хранителю архивов К.Э. Циолковского. Сейчас они находятся в архиве Института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН

меншой по мере кривой, а не
 сообразно мы можем воспринять
 кривую, обертываясь вокруг Земли
 разложения воды. Сильно утончить
 образом:



напрямее мое шило - трубка по которой
 проходит вода и она высокой температурой
 разлагается. Далее смесь поступает в
 трубу с двойными стенками (внутренней
 где она диффузия водорода, кислород
 тогда смешивается они кислород
 машин образом мы поступим
 в трубку а - воду и кислород, в трубку
 воду и водород. И то и другое, в трубку
 пускаем в встречном направлении
 воде поступают в нагреватель, чтоб
 передать ей сохранившуюся после
 разложения смеси тепла, а неразложившаяся
 и разложившаяся вода по трубе
 му же мы в трубку газ или кислород
 водород и водород мы можем по трубе

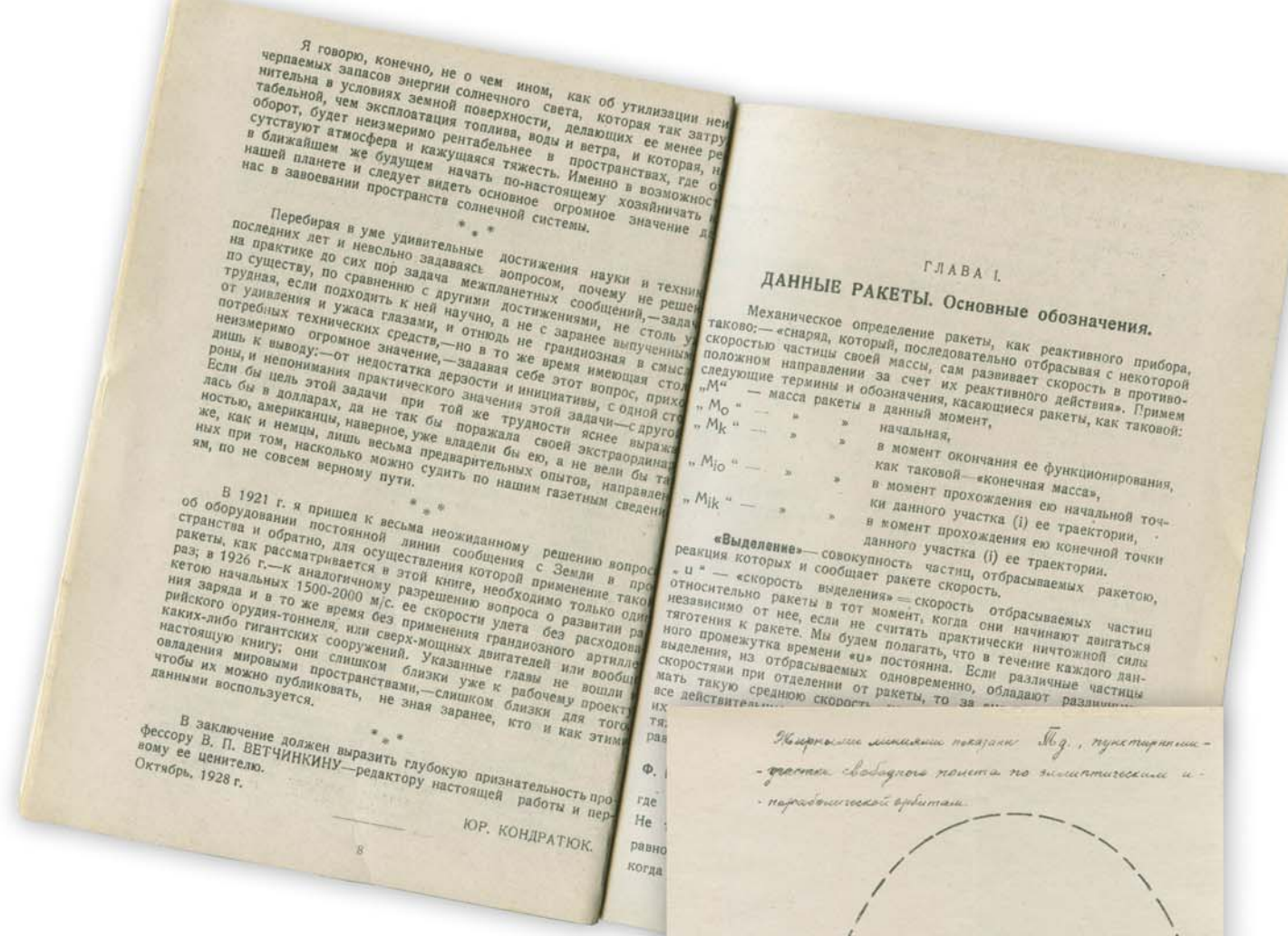
Страница рукописи Кондратюка «Тем, кто будет читать, чтобы строить», где описывается получение кислородно-водородного топлива для ракеты с помощью солнечной энергии. «...теплотой, полученной от солнца, мы можем воспользоваться кроме обычных способов еще и для разложения воды следующим образом: нагреваемое тело - трубка, по которой проходит вода и от высокой температуры разлагается. Далее смесь поступает в трубу с двойными стенками (внутренней пористой), где от диффузии водород частью отделяется от кислорода. Таким образом мы получили в трубке а - воду и кислород, в трубке б - воду и водород. И то, и другое, и третье пускаем встречным током мимо воды, поступающей в нагреватель, чтоб передать ей сохранившуюся после разложения часть тепла, а неразложившаяся (недиффундировавшаяся) вода поступает туда же. Гремучий газ или отдельно кислород и водород мы можем пустить [в двигатель внутреннего сгорания]».

Архив Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН

Об этом Кондратюк высказывается совсем в другой работе - «Тем, кто будет читать, чтобы строить». Это был первый труд Юрия Васильевича, написанный им еще в 1916-1919 гг. и существовавший до 1964 г. в рукописном виде. Он был опубликован только в 1964 г., когда Институт истории естествознания и техники АН СССР выпустил в свет книгу «Пионеры ракетной техники. Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избранные труды».

В следующем году американцы перевели книгу для работы. Вероятно, об этом техническом переводе рукописи Кондратюка и идет речь в статье Шеридана. И это означает, что Хуболту и другим специалистам из НАСА о схеме Кондратюка стало известно только в 1965 г.

Надо сказать, сам Кондратюк не воспринимал свое предложение как готовый проект. Это была всего лишь идея, одна из тех гениальных догадок, которыми изобилуют его сочинения. Дословно она звучит так: «Выгоднее не останавливать всего снаряда на планете, а пустить его спутником (вокруг планеты), а самому с такой частью снаряда, которая будет необходима для



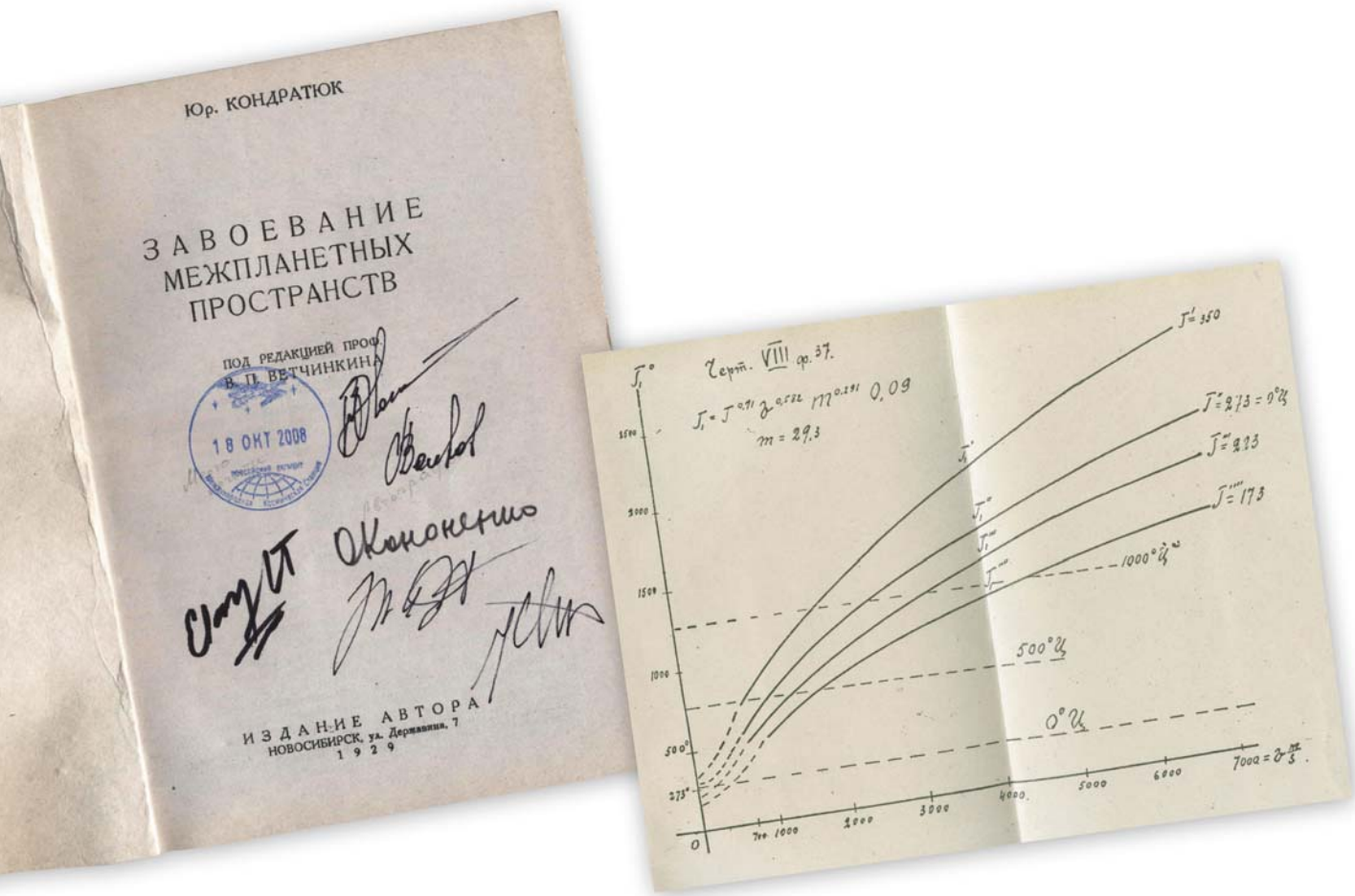
Единственным прижизненным изданием Ю. В. Кондратюка было «Завоевание межпланетных пространств», отпечатанное на средства автора в 1929 г. в типографии Сибкрайсоюза (Новосибирск). На фото - страницы репринтного издания книги, выпущенного в 1996 г.

остановки на планете и обратного присоединения к снаряду, совершить эту остановку». Очевидно, что использование для посадки малой части ракеты позволяет значительно сэкономить топливо, а значит, и уменьшить стартовую массу ракеты, согласно поздним расчетам, примерно вдвое, что делает такой план на сегодняшний день единственно возможным.

Замечательная идея делает честь русскому изобретателю, но говорить о том, что американские ученые ее «позаимствовали», неверно. В истории науки немало примеров, когда одни и те же идеи и технические решения приходят в голову совершенно разным людям. Это значит, что просто наступило их время. К XX в. человечество стояло на пороге космической эры, и неважно, кто первым приоткрыл дверь.

Опережая время

Идея Кондратюка относительно того, как следует совершать посадку на другие планеты, к сожалению, не единственная, открытая заново в работах более поздних исследователей космоса. По словам академика В. П. Глушко, одного из основателей отечественной космонавтики, труды Юрия Кондратюка «изобилуют интереснейшими идеями и предложениями, которые используются ныне и будут использоваться еще долгое



время в будущем». Его место – среди первых теоретиков космонавтики, рядом с Циолковским.

Многое из того, что предлагал Кондратюк, уже давно стало практикой космических полетов. Он оригинальным способом вывел основное уравнение движения ракеты; доказал, что ракета, не сбрасывающая топливных баков, вылететь за пределы земного притяжения не может; дал принципиальную схему и описание четырехступенчатой ракеты; одним из первых предложил использовать гравитацию небесных тел при расчете траекторий космических кораблей.

Для будущих полетов по Солнечной системе Кондратюк предлагал создавать «межпланетные промежуточные базы», в том числе на планетах с пониженной по сравнению с Землей силой притяжения. Эта идея, реализованная впервые в Советском Союзе, в настоящее время находит свое воплощение в работе Международной космической станции. Вероятно, в течение ближайших двадцати лет такая станция появится и на Луне. По крайней мере, это входит в амбициозные планы Китая.

Для покорения межпланетных пространств Кондратюк придумал «планероподобный снаряд», наглухо покрытый черепицей «из какого-либо вещества максимальной огнеупорности». Именно по такой технологии выполнены современные космические ракетопланы

В октябре 2008 г. на борту Международной космической станции состоялось почтовое гашение книги Кондратюка «Завоевание межпланетных пространств». На титульном листе – автографы космонавтов, участников экспедиций МКС-17 и МКС-18. Внизу – страница из книги с чертежом автора

«Шаттл» и «Буря». Более того, приземляются они по схеме, высказанной когда-то Кондратюком: для снижения скорости полета корабль рикошетным образом периодически входит в атмосферу Земли.

Выходить в открытый космос Кондратюк рекомендовал через шлюз, в специальных скафандрах, с запасом воздуха. Он предвидел, что во время старта и посадки корабля «слишком большое ускорение может оказаться вредным и даже смертельным для пилота». Чтобы помешать «перемещению масс крови», Кондратюк предложил «поместить обнаженное тело в гладкую, но везде облегающую форму». В настоящее время при взлете и посадке корабля космонавты располагаются в специальных креслах – ложементках.

Немало интересных мыслей высказано Кондратюком и по поводу топлива. Для своей четырехступенчатой ракеты он предлагал кислородно-водородное топливо. Именно на таком сейчас работают самые мощные ракетные двигатели американского и французского

производства. В целях повышения эффективности ракетного топлива исследователь предлагал добавлять в него металл: части ракеты, расплавленные в особом котле, или в виде порошка. Если первое выглядит на сегодняшний день неосуществимым, то второе уже нашло широкое применение в производстве различных видов топлива, в том числе и ракетного.

Большое значение Юрий Васильевич придавал использованию энергии Солнца. По его мнению, с помощью зеркал-концентраторов можно обеспечивать нужды космического корабля, а с помощью огромных зеркал на искусственных спутниках – освещать планеты, «обогревать полюса тундры и тайги и сделать их плодородными». Более того, «пользуясь огромными количествами доставляемого ими тепла и энергии можно было бы приспособить для жизни человека какую-нибудь другую планету».

Уникальный эксперимент, проведенный 4 февраля 1993 г. на российском орбитальном комплексе «Мир», показал, что это вполне возможно. На высоте 400 км над поверхностью Земли был развернут зеркальный зонт диаметром 20 м, и через Лион, Женеву, Мюнхен, Прагу, Брест, Гомель пробежал солнечный зайчик диаметром в несколько десятков метров.

В ближайшие десятилетия...

Этот пример показателен. Даже самые, казалось бы, фантастические идеи Кондратюка могут найти применение – не сейчас, так в будущем. Надо сказать, автор в своих предсказаниях и рекомендациях проявляет разумную осторожность. В первом предисловии к «Завоеванию межпланетных пространств» он предупредил читателя, что многие формулы и «почти все цифры даны с упрощениями и округлениями, часто даже довольно грубыми. По аналогичной причине в работе отсутствуют и конструктивные рисунки и чертежи: общие принципы конструкций легко могут выражены и словесно...». Кондратюк отдавал себе отчет в том, что для построения законченных инженерных проектов ему недостает данных, однако представить общее направление работы он считал уже вполне возможным.

Во втором предисловии к «Завоеванию межпланетных пространств» Юрий Васильевич изложил основные космические перспективы, ожидающие человечество «в ближайшие – максимум – десятилетия, считая от первого полета с Земли»:

«1) Несомненное огромное обогащение наших научных знаний с соответствующим отражением этого и в технике.

2) Возможное... обогащение нашей техники ценными веществами, которые могут быть найдены на других телах Солнечной системы и которые отсутствуют или слишком редки на земной поверхности.

3) Возможные иные дары солнечной системы, которые мы сейчас частью не можем и предвидеть, и которые могут быть и не быть, как, например, результаты общения с предполагаемым органическим миром Марса.

4) Несомненная возможность для человечества овладеть ресурсами, с помощью которых можно будет самым коренным образом улучшить условия существования на земной поверхности, – проводить мелиорацию ее в грандиозных размерах, осуществляя в недалеком будущем предприятия и такого порядка, как, например, изменение климата целых континентов» (Кондратюк, 1929).

Говоря об «овладении ресурсами», автор имеет в виду не топливо, воду и ветер, а неисчерпаемые запасы энергии солнечного света, эксплуатация которого «неизмеримо рентабельнее в пространствах, где отсутствует атмосфера и кажущаяся тяжесть», чем в условиях земной поверхности.

«Именно в возможности в ближайшем же будущем начать по-настоящему хозяйничать на нашей планете, – заключает исследователь, – и следует видеть основное огромное значение для нас в завоевании пространств Солнечной системы».

Удивительно, что идеи, сформулированные в первой половине XX в., остаются актуальными и сейчас. Трагические события минувшего века, отразившиеся в личной судьбе Кондратюка, не позволили в должной мере реализоваться его уникальному дару исследователя, изобретателя, первопроходца. Но его идеи стали той первой ступенью, взойдя на которую человечество смогло и запустить искусственный спутник Земли, и осуществить полет человека в космос, и ступить на поверхность Луны. Возможно, в будущем еще не раз представится случай с благодарностью вспомнить этого замечательного ученого, среди разрухи мечтавшего о покорении межпланетных пространств, ведь «...полет на ракете в мировые пространства ничего удивительного и невероятного собой не представляет».

Литература

Кондратюк Ю. В. Завоевание межпланетных пространств / Под ред. проф. В. П. Ветчинкина. Новосибирск, 1929. 72 с.

Пионеры ракетной техники: Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк: избр. труды / АН СССР; Ин-т естествознания и техники. М.: Наука, 1964. 672 с.

Barton C. Hacker. The Idea of Rendezvous: From Space Station to Orbital Operations in Space Travel Thought, 1895–1951 // Technology and Culture 15. July 1974. P. 373–388.

Sheridan, David. If there is any idea we must push, it's this one // Life. 1969. V. 66. N 10. P. 20–24.

Е. М. ЩУКИНА



ЗЕМНАЯ ПРОЕКЦИЯ ЗВЕЗДНОЙ СУДЬБЫ

Имя Юрия Кондратюка стоит в одном ряду с именами таких основоположников теоретической космонавтики, как Циолковский, Цандер, Кибальчич. В честь Кондратюка названы астероид, лунный кратер и одна из площадей Новосибирска. Но мало кто знает, что настоящее имя этого человека – Александр Шаргей. Вынужденный жить под чужой фамилией, он строил элеваторы и зернохранилища, судьба же предназначала ему быть первооткрывателем космических трасс

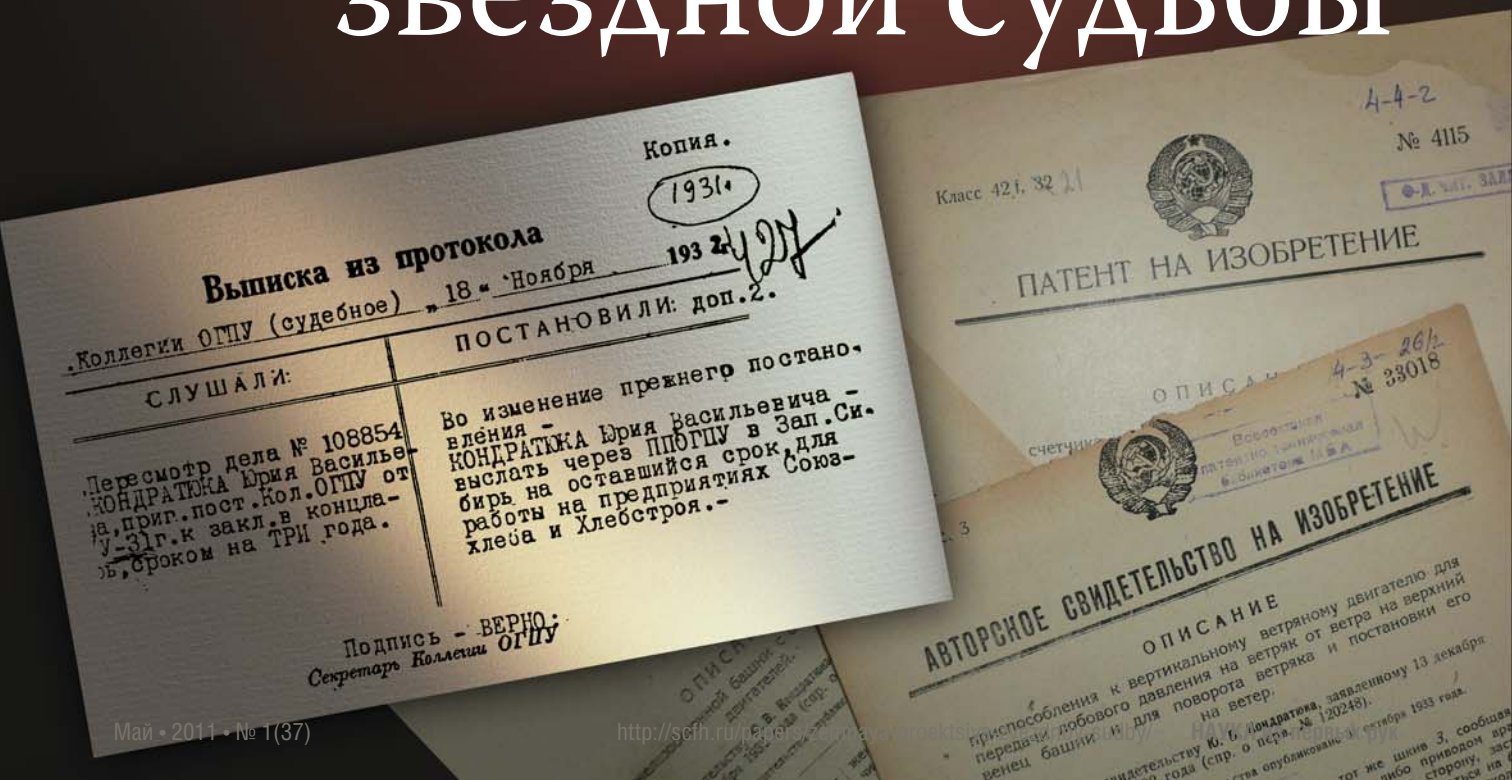
*Те, что украсили познания небосклон,
Взойдя светилами для мира и времен,
Не растопили тьму глубокой этой ночи,
Сказали сказку нам и погрузились в сон.
Омар Хайям (пер. В. Державина)*

Александр Иванович Шаргей родился в 1897 г. в Полтаве. Рано потеряв родителей, воспитывался в семье деда. В возрасте тринадцати лет поступил в третий класс 2-й Полтавской мужской гимназии. Учителя, заметив одаренного мальчика, направили его интерес в сторону высшей математики, физики, химии, общетеоретических основ техники.

С раннего возраста у Сашки проявилась склонность к изобретательству и самостоятельным исследованиям. «Мною были „изобретены“: водяная турбина типа колес Пельтона взамен мельничных водяных колес, считавшихся мною единственными водяными двигателями, гусеничный автомобиль для езды по мягким и сыпучим грунтам, беспружинные центробежные рессоры, пневматические рессоры, автомобиль для езды по неровной местности, вакуум-насос особой конструкции, барометр, часы с длительным заводом, электрическая машина переменного тока высокой мощности, парортутная



ЩУКИНА Елена Михайловна – директор Музея города Новосибирска. Область интересов: история отечественной и мировой космонавтики, история Новосибирска. Автор более 20 публикаций. Премия губернатора Новосибирской области (2004, 2011 гг.)

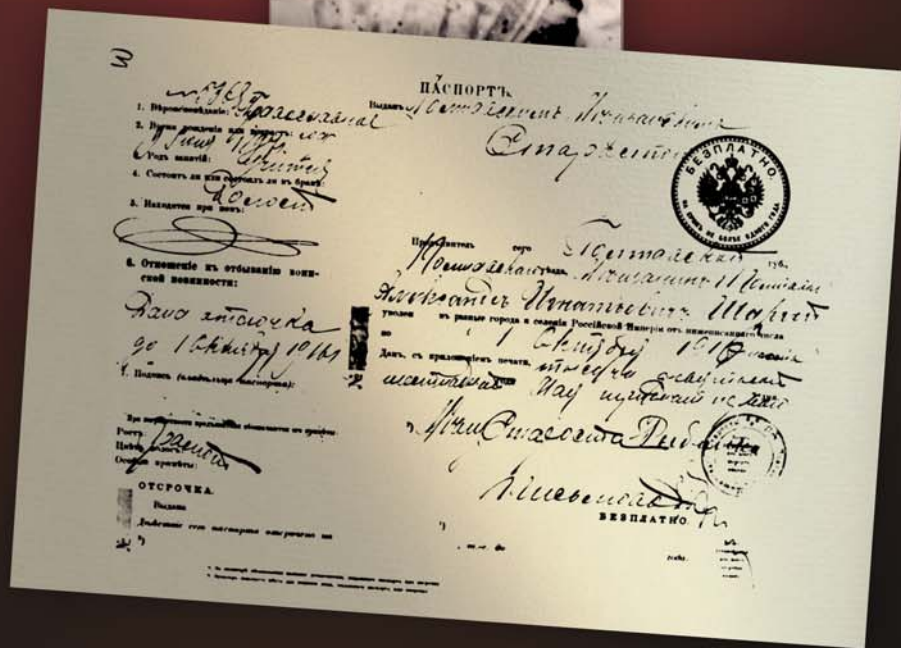


Репринтное издание книги Ю.В. Кондратюка «Завоевание межпланетных пространств», подготовленное в Новосибирске в 1996 г. Слева – выписка из протокола ОГПУ по делу Ю. В. Кондратюка. Архив УФСБ по Новосибирской области. Кондратюк был автором (или соавтором) 8 патентов и авторских свидетельств. Четыре из них хранятся в архиве Музея города Новосибирска, четыре – в Российском государственном архиве экономики

Ключевые слова: Юрий Кондратюк, Александр Шаргей, «Завоевание межпланетных пространств», зернохранилище «Мастодонт», Крымская ВЭС.
Key words: Yuri Kondratyuk, Aleksandr Shargei, The Conquest of Interplanetary Space, granary «Mastodont», Crimean Wind-Electric Plant



Мать Александра Шаргея, Людмила Львовна Шлиппенбах, происходит из дворянского рода Шлиппенбахов, отец, Игнатий Бенедиктович Шаргей, – крещеный в католичество еврей. Рано потеряв родителей, Александр воспитывался в семье второго мужа своей бабушки – земского врача А. Н. Даценко. Справа – паспорт, выданный на имя А. И. Шаргея старостой Полтавского Мещанского сословного общества. Государственный архив Санкт-Петербурга



Георгий (Юрий) Кондратюк – умерший от туберкулеза студент Киевского университета. Его документами вынужден был воспользоваться Александр Шаргей и под его именем прожить всю оставшуюся жизнь

турбина и многое другое – вещи, ставшие частью технически совершенно непрактичные, частью уже известные, частью и новые, заслуживающие дальнейшей разработки и осуществления», – так напишет впоследствии Ю. В. Кондратюк в письме профессору Н. А. Рынину, известному популяризатору идеи звездоплавания.

Наряду с техническими проектами, порой самыми невероятными, вроде использования с помощью глубокой шахты недр Земли и теплоты земного ядра, навеянного индустриальной поэмой Б. Келлермана «Туннель», очень рано Александра Шаргея захватила идея межпланетных полетов. «С 16-летнего возраста – с тех пор, как я определил осуществимость вылета с Земли, достижение этого стало целью моей жизни», – написал он в 1930 г. К. Э. Циолковскому. Полтавские родственники Александра вспоминали его упорный труд над огромными чертежами, умещавшимися в развернутом виде лишь на полу, его исключительное трудолюбие, доброту и честность.



Площадь Ленина в центре Новосибирска, 1920-е гг. Архив Музея города Новосибирска Внизу – здание 1924 г. постройки на пересечении улиц Советская и Потанинская, в котором работал Ю. В. Кондратюк. Сейчас это здание – памятник истории регионального значения. В нем размещен Музей города Новосибирска и его отдел – Мемориальный музей им. Ю. В. Кондратюка

Под чужим именем

Результатом работы молодого исследователя стала рукопись книги с красноречивым названием «Тем, кто будет читать, чтобы строить». Александр надеялся, что ему удалось воплотить идею межпланетных путешествий в виде реального проекта, хоть и не детально проработанного. В обращении к читателю он написал: «Прежде всего, чтобы вопрос этого труда не пугал вас и не отклонял от мысли возможности осуществления, все время твердо помните, что с теоретической стороны полет на ракете в мировые пространства ничего удивительного и невероятного собой не представляет».

Рукопись была завершена к концу 1916 г., когда Александр, закончивший с серебряной медалью гимназию, поступил в Петроградский политехнический институт. Однако учеба его продолжалась недолго – спустя два месяца после зачисления он был призван в армию. Александр закончил Петроградскую школу прапорщиков и в 1917 г. попал на Кавказский фронт.

После Октябрьской революции в стране была объявлена всеобщая демобилизация. Возвращаясь с фронта домой, Шаргей оказался на юге России, где в это время разгоралась гражданская война. Его, как офицера, мобилизовали в армию генерала Деникина, однако участвовать в братоубийственной войне Александр не хотел. При первой же возможности он сбежал из эшелона, отправлявшегося на фронт. Документы, оставшиеся в штабе, были утеряны безвозвратно.

Дальнейшие два года Шаргей прожил, перебиваясь случайными заработками, под постоянной угрозой ареста. В 1921 г., по совету родных, он получил паспорт на имя умершего от туберкулеза студента Киевского университета Георгия (Юрия) Васильевича Кондратюка. Под этой фамилией он проживет всю оставшуюся

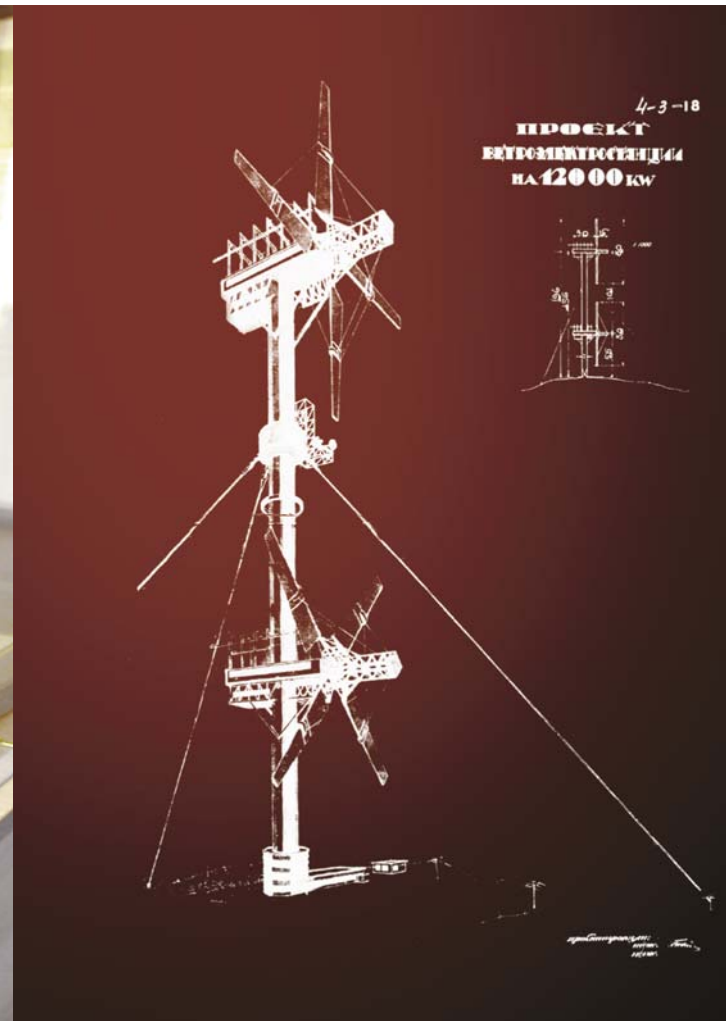
жизнь, под этой фамилией войдет в историю мировой космонавтики.

В проекте – завоевание Солнечной системы

В скором времени Александру Шаргею, а теперь Юрию Кондратюку, пришлось покинуть родную Украину, чтобы избежать разоблачения. Перебравшись на Северный Кавказ, он устроился работать на Крыловском элеваторе. Следующие несколько лет были, пожалуй, самыми плодотворными в его творческой жизни. Наконец он смог вернуться к любимому делу – разработке теории межпланетных полетов.

Еще в 1917 г., получив первые теоретические результаты, Кондратюк страстно мечтал найти кого-нибудь, кто бы, обладая достаточными материальными средствами, помог ему осуществить межпланетный полет. По его





ИЗОБРЕТАТЕЛЬ-САМОУЧКА

«Когда знакомишься с работами Ю. В. Кондратюка, поражает чрезвычайная оригинальность мышления... Всегда нестандартные решения и очень продуманные в инженерном плане». Так написал о работах Кондратюка академик Б. В. Раушенбах. А ведь Юрий Васильевич имел за плечами только гимназию и два месяца учебы в Петроградском политехническом институте. Работая механиком и инженером в различных организациях на Северном Кавказе, в Новосибирске и Москве, Кондратюк стал автором многочисленных оригинальных проектов. Один или в соавторстве он получил восемь патентов на изобретения, существенно облегчившие труд чернорабочих на элеваторах и сахарных заводах. Придуманная им конструкция ковша для элеваторо-транспортёра (1928 г.) находила применение в промышленности до 1980-х гг., а построенное по его проекту

зернохранилище на 10 000 т зерна, получившее название «Мастодонт» (1930 г.), простояло в Камне-на-Оби до конца XX века. Входил в этот комплекс и элеватор, чьи стены возведены без единого гвоздя. Вместе с коллегами Ю. В. Кондратюк разработал оригинальный проект Крымской ветроэлектростанции, аналогов которому нет и сейчас. Грандиозное сооружение высотой с 40-этажный дом, имея особые прочностные характеристики, могло устоять против напора морского ветра на горе Ай-Петри на высоте более 1200 м. По проекту станция имела два энергоблока, а с помощью хитроумного приспособления могла легко вращаться вокруг собственной оси. Смелый проект Ю. В. Кондратюка так и не был воплощен в жизнь: по объективным причинам сооружение Крымской ВЭС было остановлено, успели заложить только фундамент

предварительным расчетам, это требовало «меньшего количества материальных средств, нежели сооружение нескольких крупных военных судов». Однако спроектировать и построить ракету Юрию Кондратюку так и не довелось. Все, что отвела судьба этому гениальному изобретателю, — излагать на бумаге свои идеи, которые даже обсудить было не с кем.

А ведь в это же время, в далекой по тем временам Калуге, о завоевании космоса мечтал другой исследователь-самоучка — К. Э. Циолковский. Короткая заметка о его ракете попала на глаза Кондратюку еще в 1918 г. в одном из старых номеров «Нивы». Конечно, он был разочарован, узнав, что в этой области он не первый. И хотя «Вестник воздухоплавания», на который ссылаясь заметка, он увидел только в 1925 г., уже тогда он понял, что не только повторил исследования К. Э. Циолковского, используя совершенно другие

В Сибири были построены самые значительные и новаторские сооружения Ю. В. Кондратюка: подвесной мост в Новокузнецке, зернохранилище «Мастодонт» в Камне-на-Оби — самый большой деревянный амбар в мире. Каждый из этих объектов можно по праву назвать памятником инженерно-строительного искусства. К сожалению, уникальная Крымская ветроэлектростанция так и осталась проектом. На фото — макеты сооружений в экспозиции Музея им. Ю. В. Кондратюка. В центре — обложка проекта Крымской ВЭС (Российский государственный архив экономики)

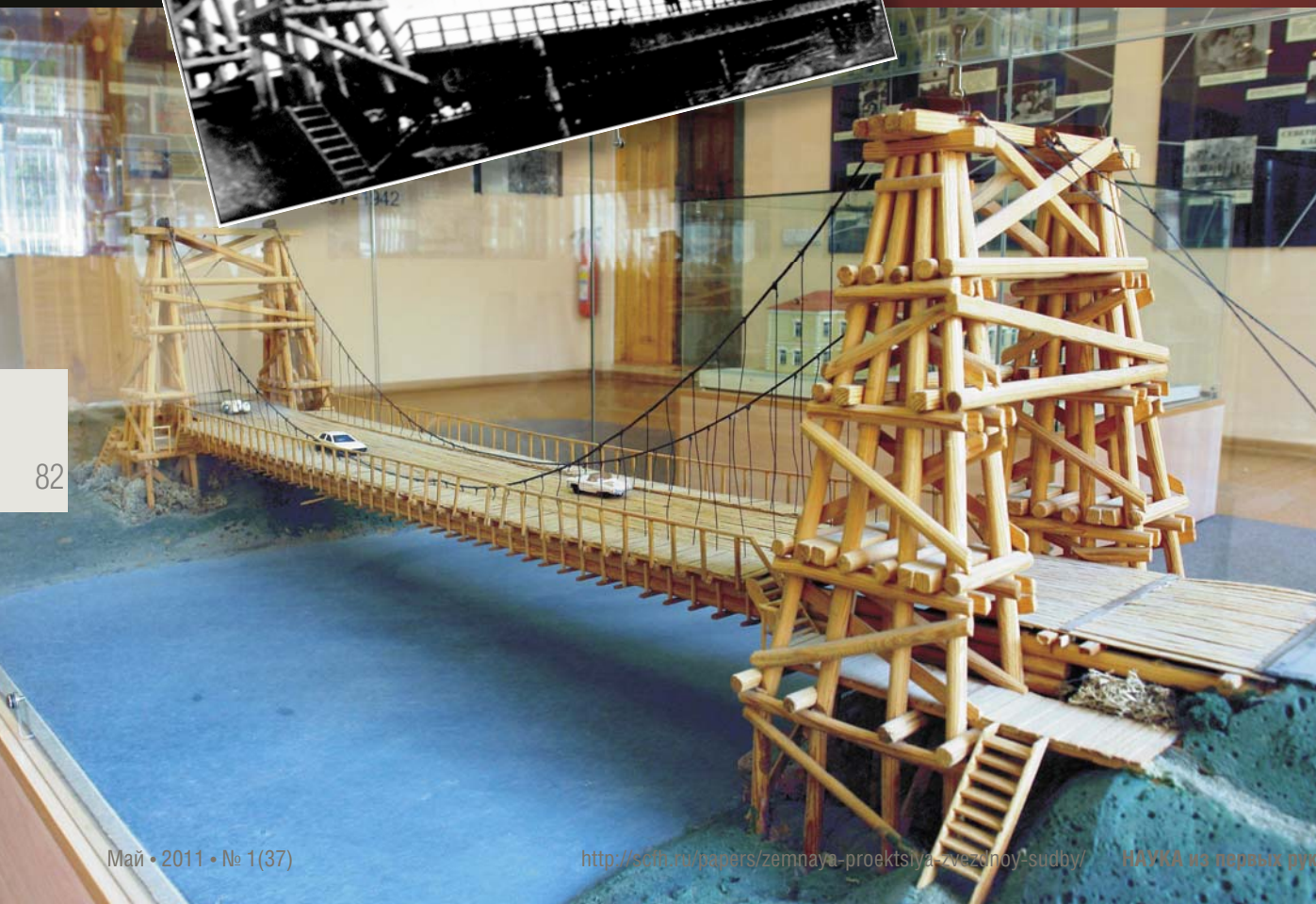
методы, но и внес много нового в разработку теории межпланетных полетов.

В течение 1925—1926 гг., живя в станице Октябрьской, Кондратюк написал главный труд своей жизни – «Завоевание межпланетных пространств». В этой работе он представил «задачу завоевания Солнечной системы» не в виде теоретических основ, а в виде «проекта, хотя и не детализированного, но уже с конкретными цифрами».

Юрий Васильевич пытался издать книгу в Москве, однако все попытки не увенчались успехом, несмотря

на положительный отзыв профессора В. П. Ветчинкина. Известный специалист в области аэрогидродинамики, ученик Н. Е. Жуковского Ветчинкин занимался динамикой ракетного полета, и потому сразу смог оценить труд Кондратюка. Все последующие годы Ветчинкин оставался единственным, кто не терял веру в самобытного ученого и всячески его поддерживал.

Подвесной (вантовый) мост через р. Аба в Новокузнецке, созданный по проекту Ю. В. Кондратюка. До настоящего времени не сохранился. Вверху – архивное фото. Внизу – макет моста в экспозиции Мемориального музея им. Ю. В. Кондратюка



Фрагмент титульного листа книги Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными двигателями», присланной Ю. В. Кондратюку, с дарственной надписью автора. Государственный музей космонавтики (Калуга)



По инициативе Мемориального музея им. Ю. В. Кондратюка 18 октября 2008 г. состоялось специальное почтовое гашение репринтного издания книги Кондратюка «Завоевание межпланетных пространств» на борту Международной космической станции. На титульном листе стоят автографы шести космонавтов, участников экспедиций МКС-17 и МКС-18: С. Волкова, О. Кононенко, Г. Шамитовф, М. Финка, Ю. Лончакова, Р. Гэрриота. Акция, проведенная совместно с Федеральным космическим агентством России, была приурочена к юбилею издания книги, став еще одним фактом признания заслуг Юрия Васильевича в развитии теории мировой космонавтики.

Архив Мемориального музея им. Ю. В. Кондратюка

По заданию Хлебопродукта

В 1927 г. Кондратюк по приглашению руководства сибирской краевой конторы «Хлебопродукт» приехал в Новосибирск. Владения этой организации простирались от севера Томской области до предгорий Алтая, от Омска до Иркутска. Повсюду на смену старым амбарам должны были прийти современные элеваторы, и человек, мечтавший о полетах к другим планетам, стал заниматься техническими вопросами хранения зерна.

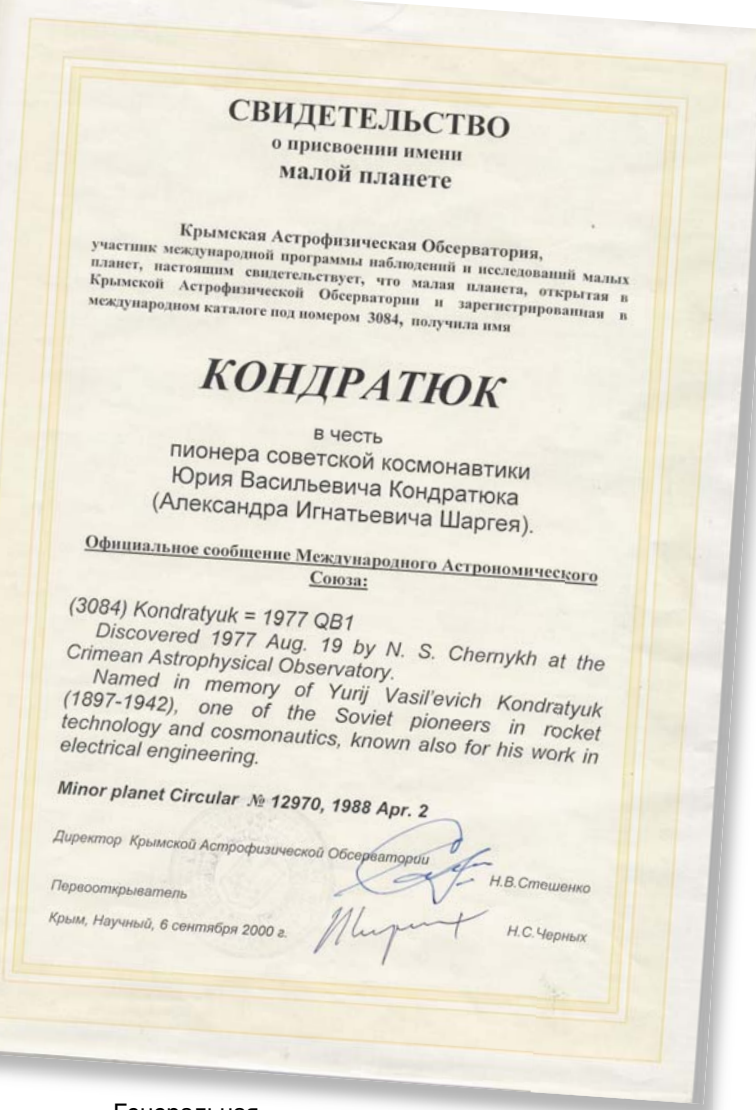
Обширные знания Кондратюка, удивительный талант изобретателя и колоссальное трудолюбие зарекомендовали его как умелого и грамотного специалиста, а простота в общении, доброжелательность, скромность, чувство юмора снискали ему уважение коллег. Однако мало кто из новых знакомых смог по достоинству оценить идеи Кондратюка о ракетостроении и космических полетах. Многие считали их чудачеством, над Юрием Васильевичем посмеивались, сочиняли смешные эпиграммы.

Он же вечерами, после тяжелого рабочего дня, а нередко и по ночам, возвращался к своей юношеской

мечте, которой оставался верен всю жизнь. Кондратюк не мог общаться с единомышленниками, проектировать ракетные двигатели, строить и запускать ракеты, но он оставался единственным человеком в Сибири, кто всерьез думал о перспективах космических полетов. И он продолжал бороться за свое детище – «Завоевание межпланетных пространств». После двухлетней волокиты интерес Главнауки к рукописи совершенно пропал, и тогда Кондратюк решил издать ее за свой счет.

«Издание автора»

На средства, полученные за изобретения и рационализацию и скопившиеся благодаря спартанскому образу жизни, Юрий Васильевич смог отдать рукопись в типографию Сибкрайсоюза. Работа продвигалась медленно. Поскольку литеры с математическими символами отсутствовали, нужно было найти им замену, например вместо знака интеграла появилась заглавная латинская S. Наборщики, не привычные к формулам,



Генеральная ассамблея Международного астрономического союза в 1967 г. присвоила одному из кратеров на обратной стороне Луны имя Кондратюка, а в 1993 г. его имя получила малая планета (астероид), открытая астрономом Крымской астрофизической обсерватории Н. С. Черных

часто делали ошибки – приходилось все набирать заново, часто работали сверхурочно.

И все же, несмотря на трудности, в январе 1929 г. книга «Завоевание межпланетных пространств» была отпечатана, тиражом 2 тыс. экземпляров. Она состояла из 72 страниц текста и 6 вкладок с чертежами и графиками. Книгу украшал рисунок автора – околоземная орбита и траектория выхода в космическое пространство.

Предисловие к книге написал В. П. Ветчинкин. Он охарактеризовал труд как наиболее полное исследование по межпланетным путешествиям из всех писавшихся в русской и иностранной литературе до последнего времени. Все вопросы, затронутые в этих

сочинениях, считал профессор, «в книжке освещены с исчерпывающей полнотой... и, кроме того, разрешен целый ряд новых вопросов первостепенной важности, о которых другие авторы не упоминают». По его мнению, книжка по праву может стать «настольным справочником для всех занимающихся ракетным полетом».

Весь тираж книги Юрий Васильевич принес на работу и раздал своим сослуживцам. Те поздравляли его с завершением труда, перелистывали страницы, некоторые даже читали предисловие Ветчинкина, но для многих она так и осталась чем-то фантастическим и непонятным, а ее автор – забавным чудачком.

Сразу же после выхода своего труда Кондратюк отправил один экземпляр К. Э. Циолковскому. Буквально через месяц он получил от него положительный отзыв и несколько изданных работ ученого с дарственной надписью. Прочитав их, Юрий Васильевич ответил Циолковскому: «Был чрезвычайно поражен, когда увидел, с какой последовательностью и точностью я повторил не только значительную часть из Ваших исследований вопроса межпланетных сообщений, но и вопросов философских. Видимо, это уже не странная случайность, а вообще мое мышление направлено и настроено так же, как и Ваше».

Юрий Васильевич считал, что «дальнейшая плодотворная разработка тем о межпланетном полете чисто теоретическими методами, по-видимому, невозможна... необходимы экспериментальные исследования». Однако выполнить их возможности ему не представилось.

В списках не значится

В июле 1930 г. по ложному доносу Юрий Васильевич вместе с другими пятью коллегами был арестован. Его обвинили в экономическом вредительстве по печально знаменитой «58-й» статье и осудили на три года лагерей. Впоследствии срок заменили «прикомандированием» на строительство завода горного оборудования на окраине Новосибирска, а после этого – работой в Особом бюро № 14 при ОГПУ, так называемой «шарашке». Там Кондратюк занимался проектированием оборудования для добычи угля в Кузбассе. Кроме того, вместе со своими коллегами он разработал оригинальный проект Крымской ветроэлектростанции – аналогов этому грандиозному сооружению нет и поныне.

В 1933 г., будучи по делам Крымской ВЭС в Москве, Ю. В. Кондратюк встретился с будущим главным конструктором космических ракет С. П. Королевым. Тот возглавлял ГИРД – группу изучения реактивного движения. Наслышанный о молодом талантливом сибиряке, Королев сразу же предложил ему место главного теоретика в группе. Однако, зная о том, что каждый новый сотрудник ГИРД проходит тщательную проверку

Заслуги выдающегося ученого-изобретателя Юрия Кондратюка со временем были оценены по достоинству. В 1964 г. в книге «Из истории ракетной техники» вышла статья Б. Н. Воробьева и В. Н. Тростникова «О неопубликованной работе Ю. В. Кондратюка «Тем, кто будет читать, чтобы строить», в которой были приведены фрагменты рукописи, переданной в свое время на хранение одному из авторов статьи. В том же году в издательстве «Наука» вышла книга «Пионеры ракетной техники. Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избранные труды», где эта работа уже была опубликована полностью, а также было включено «Завоевание межпланетных пространств».

В 1969 г., после высадки американской экспедиции «Аполлон-11» на поверхность Луны, в «Комсомольской правде» появилась статья В. Львова «Человек, который предвидел», по сути, открывшая для широкого читателя имя Юрия Васильевича Кондратюка. В 1970 г. Судебная коллегия по уголовным делам Верховного суда РСФСР приняла решение о прекращении уголовного дела в отношении Кондратюка и пяти его коллег. Юрий Васильевич был полностью реабилитирован, его доброе имя восстановлено.

В 1972 г. в Институте истории естествознания и техники АН СССР состоялось заседание, посвященное 75-летию со дня рождения Кондратюка, на котором была дана высокая оценка его творческих заслуг. Вскоре после этого на стендах павильона «Космос» на ВДНХ СССР среди основоположников теоретической и практической космонавтики появилась экспозиция, посвященная Кондратюку

особым отделом РККА, Кондратюк с болью в сердце вынужден был отказаться от этого предложения.

Позднее, в 1938 г., несколько видных ученых обратились во Всесоюзную аттестационную комиссию Академии наук с ходатайством о присвоении Ю. В. Кондратюку ученой степени доктора технических наук без защиты диссертации – так высоко специалисты в области аэродинамики оценили его теоретические работы. Но, к сожалению, ходатайство отклонили. В том же 1938 году, опасаясь за сохранность своих рукописей, Ю. В. Кондратюк передал их на хранение Б. Н. Воробьеву – хранителю архивов К. Э. Циолковского. Этот шаг позволил сохранить уникальные документы – две первые рукописи ученого. В настоящее время они хранятся в архиве Российской академии наук. Судьба последней, третьей, рукописи до сих пор неизвестна. По некоторым сведениям, он вел ее даже на фронте, в перерыве между боями.

Как только началась война, Юрий Васильевич вместе с другими сотрудниками Московской проектно-экспериментальной конторы записался в дивизию народного

ополчения Киевского района Москвы. Его зачислили в роту связи 62-го стрелкового полка. В обязанности Кондратюка входило обеспечение связи между штабом полка и батальонами.

Последний бой, в котором, как известно, принимал участие Юрий Васильевич, произошел 25–26 февраля 1942 г. на левом берегу Оки в Орловской области. После этого почта, отправляемая в полевую часть на имя Ю. В. Кондратюка, уже возвращалась без объяснения причин. Не значился Кондратюк и в списках на довольствие.

В конце 1945 г. в Берлин направилась госкомиссия по ознакомлению с немецкой ракетной техникой. Возглавлял ее досрочно освобожденный из заключения С. П. Королев, будущий главный конструктор ракетно-космических систем.

В 1957 г. на торжественном заседании Академии наук СССР, посвященном 100-летию со дня рождения К. Э. Циолковского, Королев упомянул в своем докладе и Кондратюка. С появлением реактивных снарядов и развитием ракетной авиации его идеи о межпланетных полетах оказались как никогда близки к осуществлению.

Знаменательно, что всего через несколько дней после заседания, 4 октября 1957 г., был осуществлен запуск первого в мире искусственного спутника Земли, а спустя три с половиной года состоялся полет Гагарина. Наступила космическая эра, о которой так мечтал Юрий Васильевич.

Сейчас, когда многие идеи Кондратюка уже реализованы, а полеты в космос стали привычным и даже обыденным делом, его слова о людях, которые когда-то подходили к этому делу «с заранее выпученными от удивления и ужаса глазами», могут вызвать разве что улыбку. Но это было. Меньше ста лет назад завоевание межпланетных пространств казалось невозможным, фантастическим, безумным. И только благодаря тем, кто свято верил в свою мечту, ситуация изменилась. Ведь, как сказал Наполеон Бонапарт, «гений состоит в умении отличать трудное от невозможного».

Литература

Даценко А. В. Александр Шаргей – Юрий Кондратюк, сын Украины. Полтава, 1997.

О Ю. В. Кондратюке (материалы к 100-летию со дня рождения). М.: ИИЕТ РАН, 1998.

Раппопорт А. Траектория судьбы. Документальная повесть о Ю. В. Кондратюке (А. И. Шаргее), изд 2-е, переработанное и дополненное. Новосибирск: Сиб. кн. изд-во, 2008.

Романенко Б. И. «Я знал его, когда он был Кондратюком» // Великие тайны великих людей. М.: Современник, 1998.

Е. В. ДМИТРИЕНКО, Р. Д. БУЛУШЕВ,
И. А. ПЫШНАЯ, Д. В. ПЫШНЫЙ

«СЛЕПКИ» ЖИЗНИ – ПОЛИМЕРЫ С МОЛЕКУЛЯРНОЙ ПАМЯТЬЮ



Мысль о создании веществ, способных заменить природные, а еще лучше – превзойти их, издавна волнует ученых. Но возможно ли создать, например, искусственные антитела, способные распознавать и захватывать чужеродные объекты? Большой шаг в этом направлении уже сделан. Современные технологии получения «слепков» молекул на синтетических полимерах позволяют имитировать процессы природного молекулярного распознавания, причем спектр применения таких памятливых пластиков может быть необычайно широк

Ключевые слова: молекулярно импринтированные полимеры (МИПы), капрон, молекулярное распознавание.
Key words: molecular imprinted polymers (MIPs), nylon, molecular recognition

Каждый момент в нашем организме протекает множество саморегулируемых биохимических процессов, о которых мы не задумываемся. Работа ферментативных систем, направленный транспорт молекул, иммунные реакции – вот лишь малый перечень подобных межмолекулярных взаимодействий. Согласованность разнообразных биохимических процессов служит основой «взаимопонимания» между отдельными клетками, которое превращает их скопление в гибкую систему – живой организм, способный к самоконтролю, защите и воспроизведению.

В роли сенсорных элементов, регулирующих большинство внутриклеточных процессов, выступают большие молекулярные конструкции (например, белки-рецепторы), которые способны связываться с биологически активными веществами (*лигандами*). Таким образом, в основе саморегуляторных механизмов лежит свойственная биополимерам способность распознавать и связывать определенные молекулы с образованием межмолекулярных комплексов.

Но чтобы молекулы могли специфически взаимодействовать между собой, они должны подходить друг к другу как ключ к замку, то есть быть взаимно комплементарными. Это означает, что на участке (*сайте*) молекулы-рецептора, где происходит связывание, должен располагаться набор химических групп, обеспечивающий в том числе и достаточно тесный контакт со всей молекулой лиганда или с ее наиболее важными фрагментами. Другими словами, стенки полости такого сайта должны плотно облепать распознаваемую молекулу.



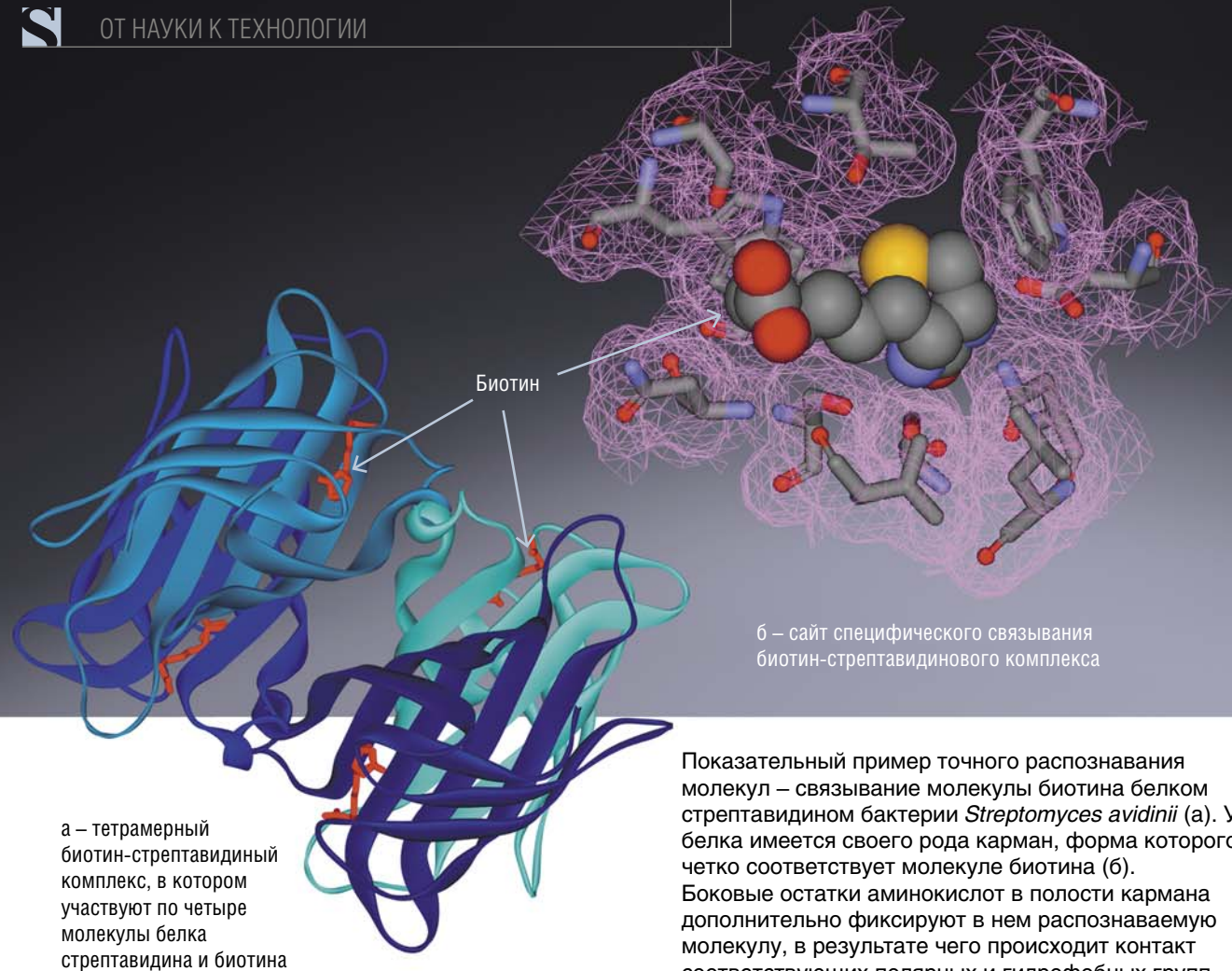
ДМИТРИЕНКО Елена Владимировна – старший лаборант-исследователь лаборатории бионанотехнологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Лауреат Открытого конкурса Министерства образования и науки РФ на лучшую научную работу студентов вузов (2006 г.). Автор и соавтор 4 научных публикаций

БУЛУШЕВ Роман Дмитриевич – лаборант лаборатории бионанотехнологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Студент IV курса Новосибирского государственного университета. Лауреат премии им. Д. К. Беляева для молодых ученых СО РАН (2010/2011)

ПЫШНАЯ Инна Алексеевна – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории бионанотехнологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Лауреат премий журнала «Биоорганическая химия» (1997, 1998 гг.). Автор и соавтор более 40 научных публикаций

ПЫШНЫЙ Дмитрий Валентинович – кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией бионанотехнологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Лауреат VII конкурса молодых ученых Европейской Академии наук (1999 г.). Автор и соавтор более 110 научных публикаций

Наглядной демонстрацией важности специфического распознавания по принципу «ключ–замок» служит взаимодействие *антитело–антиген*. Как известно, при попадании в организм высших животных и человека чужеродного агента (белка, вируса, бактерии или отдельного белка) специальные иммунные клетки-лимфоциты начинают вырабатывать огромное количество белков-антител. Цель антител – нейтрализовать непрошенного «гостя», для чего в их структуре имеются специальные участки, ответственные за специфичное распознавание и связывание чужака-антигена (к примеру, поверхностного белка вируса гриппа). Поскольку у разных антител эти участки могут значительно различаться, эффективно будут работать лишь некоторые из антител – те, что наиболее «комплементарны» антигену. Популяция клеток, производящих антитела-«победители», будет



а – тетрамерный биотин-стрептавидиновый комплекс, в котором участвуют по четыре молекулы белка стрептавидина и биотина

Биотин

б – сайт специфического связывания биотин-стрептавидинового комплекса

Показательный пример точного распознавания молекул – связывание молекулы биотина белком стрептавидином бактерии *Streptomyces avidinii* (а). У белка имеется своего рода карман, форма которого четко соответствует молекуле биотина (б). Боковые остатки аминокислот в полости кармана дополнительно фиксируют в нем распознаваемую молекулу, в результате чего происходит контакт соответствующих полярных и гидрофобных групп. Благодаря такой топологической комплементарности, связи внутри молекулярного комплекса оказываются сопоставимы по прочности с ковалентными. По данным *Protein Data Bank 3MG5*

также нано- и микроразмерные биологические объекты. Иными словами, речь идет о синтетических аналогах природных антител.

Антитела из пластика

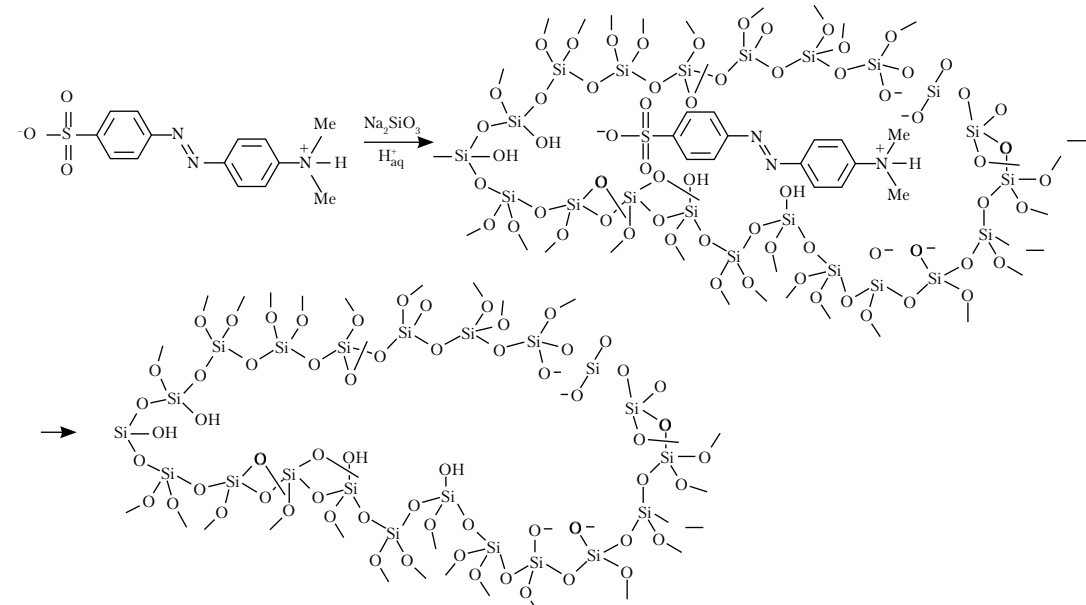
Идея создания искусственных антител была впервые высказана в 1940 г. знаменитым химиком и дважды нобелевским лауреатом Л. Полингом (Pauling, 1940). Через девять лет его ученик Ф. Дики предпринял удачную попытку синтезировать на основе силикатов полимерные матриксы, связывающие краситель метиловый оранжевый (Dickey, 1949). Справедливости ради надо отметить, что двумя десятилетиями ранее русский химик М. В. Поляков (1931) на основе силикагеля создал первые материалы, обладающие повышенной специфичностью к молекуле определенного углеводорода. Чтобы добиться такого эффекта, углеводороды



добавлялись в то время, когда твердотельный силикатный каркас еще не был сформирован.

В 1960-е гг. начали появляться публикации, посвященные неорганическим полимерам с повышенным сродством к определенному типу молекул. Однако реальный интерес к новому направлению возник лишь в 1972 г., когда группа профессора Г. Вульфа (Дюссельдорф, Германия) сообщила об успешном синтезе органических полимеров, содержащих «отпечатки» молекул-шаблонов. При их создании шаблоны закреплялись ковалентными связями в исходном материале перед началом его полимеризации (Wulff, 1972). Такие вещества стали называть *молекулярно импринтированными*

На основе силикатов в 1949 г. был создан полимер с молекулярными отпечатками красителя метилового оранжевого – один из первых полимеров с молекулярной памятью. По: (Dickey, 1949)



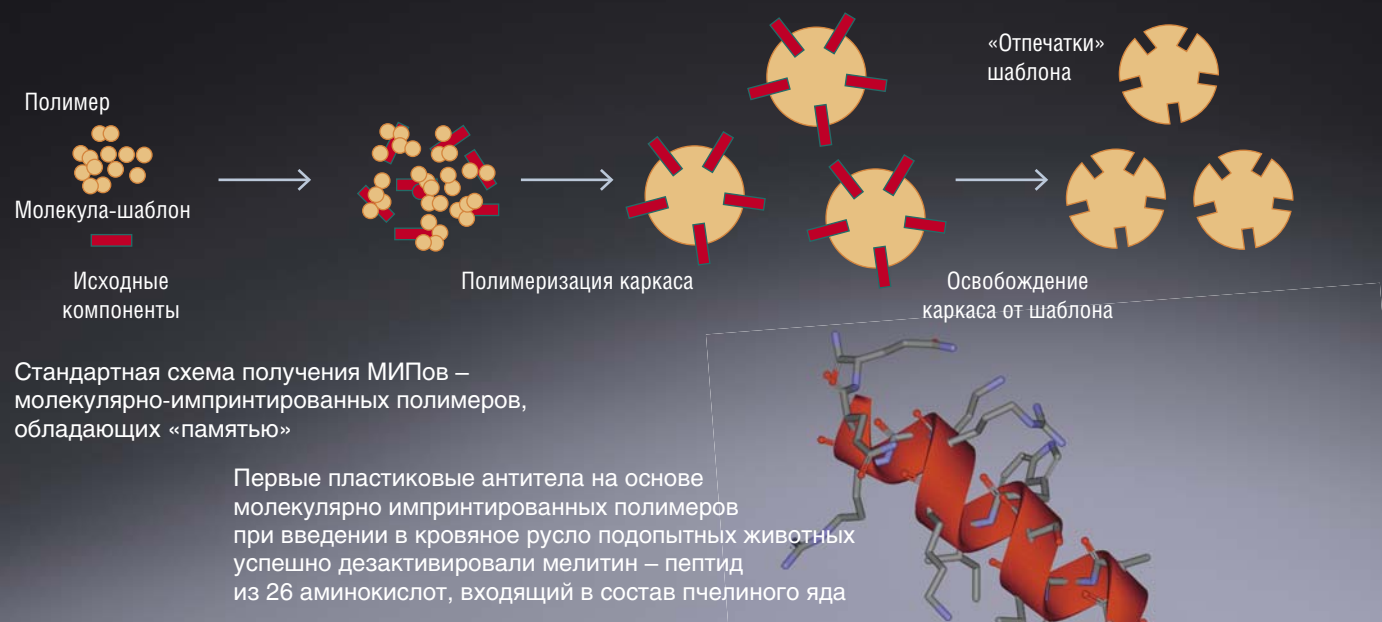
ваные полимеры (МИПы), а процесс их получения, соответственно, молекулярным импринтингом.

Очередной технологический прорыв в получении МИПов произошел спустя десятилетие, когда импринтированные полимеры удалось получить в присутствии свободных молекул-шаблонов, которые соединялись с исходным материалом будущего твердотельного каркаса за счет уже нековалентных связей (Arshady and Mosbach, 1981). Это открытие вызвало настоящий взрыв интереса к молекулярному импринтингу. С использованием «нековалентной» технологии удалось получить полимеры с отпечатками сложных органических молекул: в конце 1980-х – начале 1990-х гг. были обнародованы первые результаты о создании МИПов, способных к специфическому связыванию молекул белков (Kempе and Mosbach, 1995).

Мечта о создании искусственных «пластиковых» антител начала осуществляться. Однако синтез полимеров, содержащих отпечатки крупных биомолекул и биологических объектов, таких как пептиды, белки или даже целые клетки, до сих пор остается нетривиальной задачей.

Очередной бум в области молекулярного импринтинга произошел летом 2010 г. Причиной послужили работы профессора К. Ши (Калифорнийский университет) и его коллег из Японии, где МИПы выступили в роли «пластиковых» антител в системах *in vivo*, т.е. непосредственно в живом организме (Hoshino et al., 2010). В качестве подопытных «кроликов» были использованы лабораторные мыши, в качестве чужеродного антигена – пептид *мелитин*, входящий в состав пчелиного яда и смертельно опасный в больших концентрациях.

Исследователи подобрали композицию на основе замещенных акрилатов, которая при полимеризации в присутствии мелитина давала твердотельный



Процесс получения молекулярно импринтированных полимеров сводится к получению «четких» отпечатков молекулярных мишеней в полимерном матриксе. Полимерный каркас формируется непосредственно вокруг молекулы-шаблона, а после ее удаления в каркасе остаются полости, соответствующие по размерам и форме шаблону и (или) близким к его структуре соединениям. Молекулярная мишень может удерживаться в исходном матриксе, во-первых, за счет тесных «телесных» контактов (типа замок-ключ). Во-вторых, за счет специфичных взаимодействий между функциональными химическими группами шаблона и полимера, таких как водородные связи, электростатические и гидрофобные контакты, координационные взаимодействия и т. д. Таким способом можно синтезировать органические и неорганические полимерные материалы, обладающие своеобразной «молекулярной памятью». В качестве молекулярного шаблона могут быть использованы как относительно простые соединения, например, кофеин, так и высокомолекулярные (белки, вирусы и даже целые клетки)

полимерный каркас, который в обычных лабораторных условиях эффективно связывал молекулы токсина. Для введения в кровяное русло использовали наноразмерные частицы полимера.

Всем подопытным мышам вводили смертельную дозу мелитина – животные из контрольной группы действительно погибли через 2 часа. Экспериментальной группе мышей сразу после инъекции токсина вводили «пластиковые антитела» – импринтированные полимерные наночастицы, связывающие мелитин. Еще одной группе мышей делали инъекции наночастицами неимпринтированного полимера, синтез которого осуществлялся в отсутствие шаблона – молекулы мелитина.

Оказалось, что введение «пластиковых антител» имело выраженное дезактивирующее действие: более половины отравленных животных выжили. Кстати сказать, выживаемость повысилась и в контрольной группе, получавшей неимпринтированные наночастицы, хотя и не так значительно, как в экспериментальной.

Очень разборчивые

Хотя работа доктора Ши и его коллег на настоящий момент является единственной, где описывается действие МИПов непосредственно на животных, она убедительно демонстрирует их перспективность для использования в терапевтических целях. Действительно, искусственные «пластиковые» антитела действуют подобно природным, а их накопление и разрушение вместе с захваченным антигеном происходит в печени. И если вспомнить, какое огромное молекулярное разнообразие присутствует в живом организме, то специфичность связывания полимера при таком обилии «конкурентов» поражает.

Однако есть и ряд спорных моментов. Например, исследователи не касались вопроса возможной токсичности «пластиковых» анти-

тел; неясной осталась и причина повышения выживаемости животных при введении неимпринтированных полимерных частиц. Кроме того, мелитин все же является относительно простой и небольшой молекулой, поэтому остается открытым вопрос: насколько данная технология будет действительна в отношении более сложных антигенов?

Нужно сказать, что в настоящее время уже интенсивно разрабатываются технологии синтеза полимеров, способных к специфичному распознаванию и связыванию не только белковых шаблонов, но и достаточно больших биологических объектов.

Уже есть примеры успешного импринтинга вирионов (вирусных частиц). Специфичность связывания вирусов на поверхности таких МИПов в большинстве случаев определяется особенностями формы вирусной оболочки. Так, вирус табачной мозаики – широко известный патогенный вирус растений – имеет характерную палочкообразную форму, почему является очень удобным объектом для молекулярного импринтинга. Полученные МИПы оказались способны захватывать вирус не только из растворов, но даже из смеси с вирусом некроза табака, имеющего другую (сферическую) форму (Hayden, 2006). Имеются доказательства, что с помощью МИПов можно также разделять штаммы, вирусные частицы которых схожи по форме, но различаются по структуре белковых фрагментов на внешней стенке оболочки.

Уже разрабатываются подходы и к получению пластиковых антител против патогенных бактерий, хотя пока эти исследования находятся на начальном этапе. То же самое можно сказать и про импринтинг клеток млекопитающих: пока с использованием в качестве модельных объектов эритроцитов была показана лишь принципиальная возможность такого подхода.

Сделаны из капрона

В России работы по созданию молекулярно импринтированных полимеров ведутся лишь в нескольких научных центрах (в Москве, Санкт-Петербурге, Воронеже, Новосибирске).

Российские ученые, так же как и их зарубежные коллеги, в основном занимаются разработкой МИПов на низкомолекулярные шаблоны, которые можно использовать как сорбенты или сенсорные элементы в аналитических устройствах.

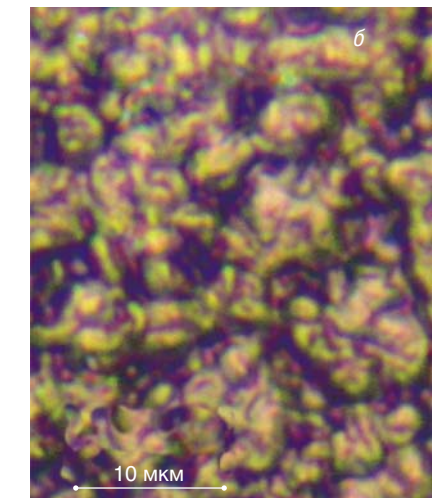
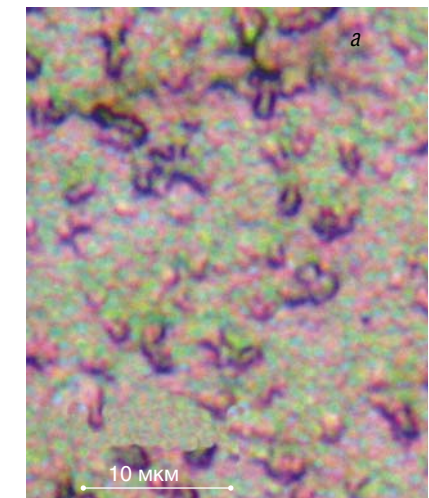
Созданием МИПов на сложные биологические объекты занимаются в новосибирском Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН. Здесь в лаборатории бионанотехнологии предложен новый подход к получению МИПов на основе капрона (Дмитриенко и др., 2010). Отличительная особенность метода – отсутствие этапа полимеризации при переходе в твердое состояние: формирование капронового каркаса идет из уже готовых полимерных цепей, находящихся в растворе.

Было показано, что микроструктура полученного таким способом капрона определяется композицией исходного раствора полимера. Так, из раствора чистого капрона на

плоской поверхности образуется полимерная мембрана с равномерной и гладкой структурой. А добавление в раствор протяженных сложных молекул (например, поливинилпирролидона), будет существенно менять «рельеф» полимера – в нем появятся крупные углубления (полости).

Соответственно, если в исходный раствор капрона добавлять молекулы различных белков, то в результате получаются полимеры, так же различающиеся по своей структуре: полости в них будут соответствовать очертаниям молекулярных шаблонов, присутствовавших при «застывании» полимерного каркаса. Мягкие условия формирования специфически структурированного полимера – отсутствие самой химической реакции полимеризации, сшивающих агентов и молекул-инициаторов – позволяют сохранить

Микроструктура капронового полимерного матрикса определяется исходной композицией раствора полимера: а – чистый капрон; б – капрон с добавлением молекул поливинилпирролидона (масса 360 кДа)





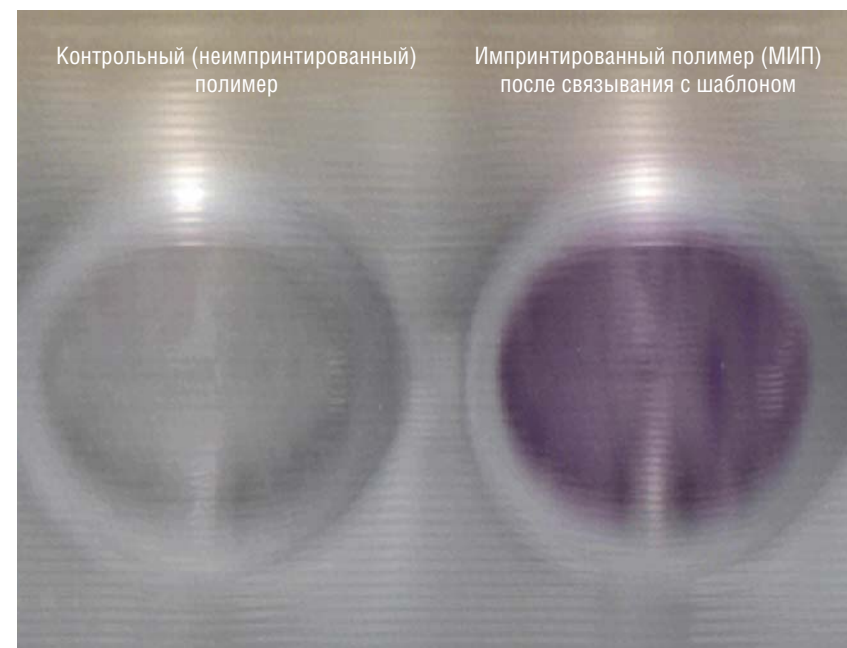
В ИХБФМ СО РАН разработан метод получения молекулярно импринтированных полимеров на основе капрона. Формирование специфически структурированного каркаса при этом происходит из уже готовых полимерных цепей, находящихся в растворе. С помощью такого подхода можно создать как объемные, так и плоские МИПы в виде мембран или пленок

всю внешнюю целостность сложноорганизованного биологического шаблона. В результате «слепки» и соответственно сами МИПы получаются более высокого качества.

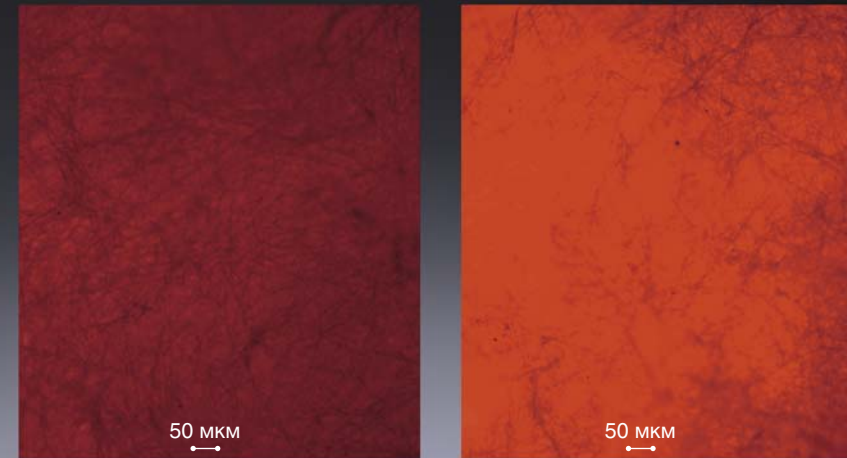
Исследования доказали, что молекулярно импринтированные полимеры на основе капрона обладают повышенным сродством к молекулярным шаблонам, присутствовавшим при их синтезе. При этом капроновые МИПы можно получать разных форматов. Так, при формировании полимера на поверхности плоской

подложки получается пленка с «отпечатками». Можно получать полимер и в виде объемных структур, например, микрочастиц.

В случаях использования объемных сложноорганизованных шаблонов наиболее удобным является двумерный формат импринтинга, поскольку именно в этом случае специфические сайты полимерного каркаса наиболее доступны для взаимодействия с крупными белковыми молекулами. Кроме того, из таких полимеров проще удалить молекулярный шаблон после



В ИХБФМ СО РАН в формате трехмерного импринтинга получены капроновые микрочастицы, обладающие повышенным сродством к молекулярному конъюгату стрептавидин-щелочная фосфатаза. Он был выбран в качестве модельного на стадии разработки, поскольку существующая система детекции щелочной фосфатазы позволяет контролировать специфическое связывание МИПа с белком и эффективность его удаления из пор полимера. Факт связывания белка фиксировался с помощью красящих субстратов: окрашивание полимерных частиц происходило только после его специфического связывания с белком



Чтобы визуализировать специфическое связывание с МИПом белковых молекул-шаблонов, последние можно метить флуоресцентной репортерной группой: слева – контрольный (неимпринтированный) полимер, справа – МИП после связывания. Флуоресцентная микроскопия



импринтинга, а также «пойманные» молекулы перед повторным использованием МИПа.

В таком двумерном формате (пленки, нанесенные на плоские поверхности или пористые фильтры) уже получены капроновые МИПы для связывания целого ряда белков: гемоглобина, бычьего сывороточного альбумина, сывороточного альбумина человека, яичного альбумина и др. А учитывая относительную простоту разработанного в ИХБФМ подхода, по предложенной схеме могут быть созданы МИПы на любые другие высокомолекулярные шаблоны.

Хотя многие ученые до сих пор скептически относятся к теории возникновения у полимеров «молекулярной памяти», число публикаций, им посвященных, стремительно растет. При этом наиболее значимыми импринтируемыми объектами сегодня становятся сложные биомолекулярные шаблоны.

«Памятливые» полимеры привлекают внимание широкого круга исследователей и технологов, поскольку могут быть использованы для самых разных целей: для выделения индивидуальных соединений, в качестве катализаторов химических реакций, сорбентов для очистки воды, подложек для анализа биологического материала и т. п.

Уже созданы МИПы для селективного и эффективного связывания низкомолекулярных органических молекул, в том числе обладающих биологической активностью. Ведутся интенсивные разработки химических сенсоров на основе МИПов, предназначенных для измерения содержания лекарственных средств,

пестицидов и других соединений в биологических и экологических пробах (Haupt, 2001).

Что касается МИПов с «отпечатками» белков, не говоря уже о «пластиковых» антителах, то на сегодняшний день это направление, безусловно, находится на самом начальном, исследовательском этапе. Однако доказательства самой возможности создания искусственных материалов, демонстрирующих биологическую активность в живых системах, подогревает интерес к поиску эффективных путей получения таких «памятливых» полимеров. Ведь их практическое применение открывает перед человечеством перспективы, которые сегодня даже трудно себе представить!

Литература

Гендриксон О.Д., Жердев А.В., Дзантиев Б.Б. Молекулярно импринтированные полимеры и их применение в биохимическом анализе // *Успехи биологической химии*. 2006. Т. 46. С. 149–192.

Патент № 2385889 РФ / Дмитриенко Е.В., Пышная И.А., Рогоза А.В., Пышный Д.В. Новосибирск; опубл. 10.04.2010. Бюл. № 10.

Haupt K. *Molecularly imprinted polymers in analytical chemistry* // *Analyst*. 2001. V. 126, P. 747–756.

Hoshino Y., Koide H., Urakami T., et al. *Recognition, Neutralization and clearance of target peptides in the bloodstream of living mice by molecularly imprinted polymer nanoparticles: a plastic antibody* // *J. Amer. Chem. Soc.* 2010. V. 132. P. 6644–6645.

Hayden O., Lieberzeit P., Blaas D., et al. *Artificial antibodies for bioanalyte detection – sensing viruses and proteins* // *Adv. Funct. Mater.* 2006. V. 16. P. 1269–1278.

Свет далекой Эллады

«НАУКА из первых рук» уже не раз писала об удивительных находках, обнаруженных при раскопках российско-монгольской экспедицией в 2006 г. одного из курганов знаменитого могильника хуннской знати Ноин-Ула в Северной Монголии. Одной из самых неожиданных и поистине выдающихся оказалась серебряная бляха с античным сюжетом, покоившаяся среди богатого могильного убранства на глубине 18 метров...



Ключевые слова: Ноин-Ула, хунну, Северная Монголия, конская упряжь, серебряная бляха, Артемида, герма, вакхический культ.
Key words: Noin-Ula, Xiongnu, North Mongolia, horse harness, silver plate, Artemis, herm, bacchic cult



Судя по расположению серебряной бляхи в погребальной камере, она входила в состав конской упряжи. Диаметр изделия – 143,1 мм. Внутренний диск изготовлен практически из чистого серебра, тогда как окаймляющая его рамка шириной 6,4 мм – из сплава. Рамка прикреплена к пластине с помощью четырех серебряных гвоздиков. При последующем использовании по внешнему краю рамки были пробиты десять неровных круглых сквозных отверстий. Изделие изготовлено чеканкой с оборота с последующей гравировкой отдельных деталей, золочением и амальгамированием

ПОЛОСЬМАК Наталья Викторовна – доктор исторических наук, главный научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск).
 Лауреат Государственной премии РФ (2004), лауреат Национальной премии «Достояние поколений».
 Автор и соавтор более 130 научных работ, в том числе 12 монографий.



96

Образ женщины на бляхе из кургана хунну имеет очевидное сходство с известной скульптурой Венеры Милосской и головой Афродиты из Пергама – выдающимися эллинистическими памятниками греческого искусства (2 в. до н.э.). Вероятно, в этих изображениях нашел отражение идеальный женский образ новой эпохи

Шел конец октября – начало малоснежной монгольской зимы, шестой месяц работы экспедиции. Этот удивительный серебряный диск покоился на дне погребальной камеры, в затянувшей пол замерзающей глине. Перевернув его лицевой стороной, мы испытали настоящее потрясение. С диска отрешенно и грозно смотрели нереальной красоты лица. В окутывавшем нас зимнем холоде обнаженные фигуры мужчины и женщины, от которых исходило теплое сияние солнца античной Греции, были беззащитны и прекрасны. Красота вещи поражала.

Судя по расположению находки среди другого погребального инвентаря, серебряную бляху хунну использовали в качестве фалара – украшения конской упряжи. Но, конечно, эта удивительная вещь не предназначалась для украшения коня. Прежде чем она попала в монгольские степи к кочевому правителю, у нее должна была быть длинная и полная приключений жизнь.

«...И старый прибор серебра, и кубки с козлами»

Серебряная находка из кургана хунну, очевидно, первоначально являлась так называемой эмблемой (от греч. букв.: «вставка», «вкладка») – отдельно изготовленным украшением, которое затем соединялось с предметом, например, блюдом или чашей. Декорированные такими эмблемами изделия обычно не использовались в быту, а выставлялись в богатых домах в качестве украшений. Примером такого рода изделий служит великолепное блюдо с фигурой, олицетворяющей африканскую провинцию Рима, найденное на вилле Пизанеллы недалеко от Помпей в составе богатейшего клада серебряных вещей (Боскореальский клад).

В начале нашей эры подобное украшение настольных чаш и блюд, крышек зеркал, шлемов, конской упряжи рельефными чеканными медальонами из серебра или бронзы с позолотой было широко распространено в Греции, Риме и его провинциях, а так же в Бактрии, Индии, Ливии (Тревер, 1961).

Художественное серебро греков служило объектом преклонения в императорском Риме, его коллекционировали; за обладание выдающимися произведениями могли преследовать и убивать. Чеканные серебряные вещи ценились, по свидетельству Плиния, «по одной только их старинности», даже стертые от употребления до неузнаваемости изображения имели большой спрос (кн. XXXIII, LV, 157). Их передавали по наследству, как фамильные драгоценности. Так, одно блюдо из вышеупомянутого клада у виллы Пизанеллы к моменту извержения Везувия в 79 г. н.э. служило своим хозяевам уже триста лет!

О ценности этих изделий и преступлениях, на которые шли за обладания ими, можно судить



по дошедшим до нас высказываниям древних авторов. «В нашем пышном и прекрасном городе, – говорит Цицерон в своей обвинительной речи против сицилийского наместника Верреса, – есть ли хоть одна картина или статуя, которая бы нам досталась не от побежденных врагов? <...> Как вы думаете, куда исчезли богатства чужеземных народов, ныне прозябающих в нищете, когда в нескольких виллах разом видите Афины, Пергам, Кизиик, Милеет, Хиос, Самос, всю Азию, Ахайю, Грецию, Сицилию?» (Против Верреса. О казнях. XLVIII. 127). Ему вторит Ювенал: «Лишь преступленьем себе наживают сады и палаты, яства, и старый прибор серебра, и кубки с козлами» (Ювенал, Сатира I, 70)

Разграбление художественных богатств Греции привело к новой моде, охватившей



Античные изображения в серебре чаще всего повторяли образы, созданные великими греческими скульпторами – Лисиппом, Праксителем, Фидием, Скопасом и др. Один из величайших мастеров древности – Мирон был известен не только как непревзойденный скульптор, но и как мастер-торевт: серебряные сосуды его изготовления высоко ценились римскими коллекционерами (Виппер, 1972). У оратора Лициния Красса было два кубка работы другого знаменитого мастера – Ментора, купленные им за 100 тыс. сестерциев, однако он, по его признанию, никогда не осмеливался ими пользоваться из благоговения перед ними (Плиний, кн. XXXIII, LIII, 147)

Мастерство автора серебряной эмблемы-бляхи можно оценить, используя современные методы увеличения изображения. Удивительно, но фигуры не только не проигрывают от многократного увеличения, но наоборот, приобретают скульптурную монументальность. Это изделие можно рассматривать бесконечно, меняя угол зрения, и наблюдая за тем, как неожиданно меняются выражения лиц персонажей. Попадая невольно под обаяние вещи, от которой уже невозможно оторвать взгляд, начинаешь понимать римлян в их преклонении перед греческим серебром



Слева от женского изображения – тирс, увитый плющем и листьями винограда и увенчанный шишкой пинии деревянный посох. Это – жезл бога Диониса и его спутников. Оружие вакханок, менад и Артемиды, тирсы изначально служили копьями (Иванов, 1994)



эллинистический мир. В 4–3 вв. до н.э. с оригиналов греческой работы, созданных в Малой Азии, Южной Италии, Греции и на Родосе, делались слепки для копирования. Эти многочисленные копии находят везде – в Беграме (древний Капиши, Афганистане), в Таксиле (Индия), в Мит Рахине в развалинах Мемфиса (Египет), в Херсонесе. Зато сами греческие оригиналы известны в очень небольшом количестве: как и многие знаменитые греческие статуи, до нашего времени они дошли лишь в римских и провинциальных копиях.

Нужно заметить, что в римское время эмблемы, представлявшие главную ценность серебряных изделий, нередко выламывались из них «коллекционерами». (Особенно прославился этим уже упомянутый Веррес: по свидетельству Цицерона, у этого любителя древнего серебра была даже своя мастерская, где старые эмблемы использовались для украшения новых изделий.) Не исключено, что такая же судьба постигла и найденный в Ноин-Уле серебряный диск.

Время и место

Классическое греческое искусство нашло свое недолгое продолжение в ряде художественных школ раннеэллинистического периода. Речь идет в первую очередь о пергамской школе – одной из вершин искусства древнего мира. Наряду с копированием серебряных вещей классического периода, мастера по художественной обработке цветных металлов создавали новые произведения, отражающие дух времени. Найденную в кургане хунну бляху по стилю можно отнести именно к такого рода оригинальным произведениям искусства. Она была создана, скорее всего, для украшения пиришественной утвари во второй половине 2 в. до н.э. мастером, работающим в традициях пергамской школы.

Удивительно, но изображения на серебряной бляхе (этом камерном произведении искусства) очень напоминают образы знаменитого Пергамского алтаря, воздвигнутого в начале 2 в. до н.э. в честь победы над варварами-галлами. Тема фриза – битва богов с гигантами. Как и в случае с нашей бляхой, изображения на пергамском фризе сделаны в очень высоком рельефе, это почти скульптура. Главное сходство – в общем состоянии трагичности, которое присутствует

Сатир полулежит на распластанной шкуре пантеры. Шкура выделена, кроме невысокого рельефа, мелкими частыми насечками: хорошо видна морда, когтистые мощные лапы, длинный хвост. Пантера считалась обычным спутником сатиров, и они часто изображались со шкурой пантеры, развевающейся за плечами (например, на глиняных рельефах из музея искусств Метрополитен)

в алтарных образах и в изображенных на серебряной бляхе персонажах – суровом выражении женского лица, мучительной гримасе страдания на мужском, что не соответствует игривому, на первый взгляд, содержанию сцены; в мастерстве исполнения фигур, расположенных в сложных ракурсах.

Эта незаурядная вещь не имеет прямых аналогов среди известного сегодня древнего серебра. Наиболее близкими по форме и деталям обрамления (круглой рельефной рамки, пробитой по краям грубыми отверстиями для крепления к несохранившейся основе), но не по содержанию являются две серебряные бляхи из Мзымтинского клада, найденного в окрестностях Сочи. Одна из них, с изображением Сциллы, выполненная в высоком рельефе, также, скорее всего, относится к произведениям пергамской школы (интересно, что эти изделия тоже использовались их последними владельцами в качестве фаларов), так же как и служившие украшениями днищ серебряных сосудов рельефы из Мелитополя близ Пергама с изображениями головы Силена и Демосфена (сер. 2 в. до н.э.) (Максимова, 1948).

В центре – Женщина

На серебряном диске из Ноин-Улы в высоком рельефе изображена женщина, сидящая на правом колене мужчины. Она обнажена. Один конец покрывала, накинутого на согнутую правую ногу, свешивается красивыми ровными складками между ног. Другой его конец обвит в два оборота вокруг левого предплечья и заходит за спину.

Через левое плечо женщины перекинута шкура козы, прикрывающая правую грудь – под ней свешиваются две ножки с копытцами, на плече видна круглая гладкая пряжка (застежка). Верхний край шкурки, пересекающей грудь женщины, оформлен так же, как край козьеи шкуры на известной мраморной статуе сатира («Сатир с пантерой»), хранящейся в Королевском музее искусства и истории в Брюсселе, римской реплики версии известной эллинистической группы второй половины 2 в. до н.э. Фактура шкурки передана гравировкой мелкими насечками.

Эта шкура, вероятно, являлась перевязью, поскольку из-за левого плеча женщины выглядывает часть лука. Он изображен не так, как это было принято. С первого взгляда этот фрагмент изображения напоминает неестественным образом взметнувшееся вверх покрывало (такие примеры есть в греческой вазописи). Но чуть больше внимания – и можно увидеть четкую изогнутую линию лука.

На предплечье правой руки женщины виден толстый гладкий браслет; такие же браслеты украшают и оба



запястья. Подобные браслеты были нарисованы золотом на руках мраморной статуэтки Венеры, найденной в Помпеях.

Лицо женщины овальное, с большими глазами под ровными бровями. Прямой нос мягко закруглен на конце, если посмотреть на лицо в профиль, – совсем не греческий нос, но он, возможно, был слегка приплюснут в процессе эксплуатации изделия. Рот небольшой, с пухлыми, крепко сомкнутыми губами, образующими в уголках вертикальные складки. Позолоченная диадема (лента) отделяет локоны от гладко зачесанных на прямой пробор волнистых волос. Волосы уложены

На бляхе слева от женского изображения выделяется маленькое позолоченное изображение гермы – особого вида греческой (римской) скульптуры. Герма представляла собой четырехгранный столб, увенчанный грубо или тщательно обработанной головой мужского божества (первоначально – Гермеса). Обычно бог изображался с бородой, подчеркивались половые органы; на некоторых гермах фаллос изображался в состоянии возбуждения



в виде валиков вдоль лица и приподняты на затылке; на щеках резцом обозначен загнутый к щеке завиток. На шее – гладкий обруч.

Между бровей, над переносицей аккуратным округлым вдавлением изображена урна (санскр.) – «третий глаз», символ духовной сущности и духовного видения. Это вдавление появилось уже во время использования вещи (не исключен и случайный характер появления этого знака). В соответствии с представлениями новых хозяев, женщина, изображенная на серебряном диске, стала женским проявлением божества ранга будды. Возможно, тогда же был слегка видоизменен и ее нос – ему могли придать более мягкую «восточную» форму, скруглив острый «греческий» кончик. (Если греческие изображения Аполлона стали прообразом раннегандхарских изображений Будды, то его женским воплощением, хотя бы на этой бляхе, могла стать сестра Аполлона Артемида.) Где и когда это произошло? Ответив на эти вопросы, мы узнаем и часть истории этой вещи.

Из свиты Диониса

Молодой безбородый атлетически сложенный мужчина с красивым лицом полулежит на распластанной шкуре пантеры, опираясь на согнутую левую руку и широко раскинув ноги. Выражение лица мужчины страдальческое – это подчеркивают две глубокие складки у переносицы. Меж пышными, откинутыми со лба, но нависающими сбоку волосами, увенчанными позолоченным венком из плюща, проглядывает призаостренное ухо. За спиной отчетливо виден позолоченный кончик рельефно выделенного лошадиного хвоста.

Это сатир, получеловек-полуживотное из мужского окружения Диониса – бога виноделия и плодоносящих сил земли. Сатиры невоздержанны в выпивке, не знают приличий и неизменно бегут на запах вина. Практически всегда изображали их в виде прекрасных юношей, животную природу которых выдавала только форма ушей.

Что касается позы сатира, то изображение полулежащего юноши впервые появляется на восточном фронто-не Парфенона, датированном 5 в. до н.э., и, возможно, является работой самого Фидия. Оно, как, впрочем, и все скульптуры Парфенона и его рельефный фриз, – самое ценное из дошедшей до нас греческой скульптуры. В эллинистический период в этой позе в основном изображался пьяный сатир.

Мужская фигура на серебряной бляхе напоминает известную римскую мраморную копию с греческого оригинала 220–210 г. до н.э. неизвестного мастера пергамской школы (этот так называемый «Фавн Барберини», или Пьяный сатир, хранится в Мюнхенской глипотеке). Существует еще много других изображений в подобных позах, например, бронзовая статуя сатира

из Национального музея в Неаполе. А страдальческим выражением молодого лица «наш» сатир напоминает бронзовый бюст сатира из Помпей.

У самых ног персонажей лежит посох, на который упала когтистая лапа пантеры. Посох типичен для вакхических, дионисийских сцен и представляет собой крюк (палку с загнутым концом). Крюк орнаментирован узором, напоминающим раскраску змеиной шкурки, что неслучайно – он и сам напоминает змею, спутницу сатиров и менад. Существует очень древний миф о возникновении виноделия, согласно которому Дионис научился использовать дикий виноград для приготовления вина именно от змеи. Самые ранние изображения менад на греческих вазах свидетельствуют, что принадлежащие им змеи были ядовиты и опасны (Кереньи, 2007).

Справа от женщины изображен тирс – жезл, атрибут Диониса. Его макушка, увенчанная шишкой пинии, выглядывает из-за головы женщины. Выпуклое изображение тирса полностью покрыто крестообразными насечками, имитирующими увитость плющом и виноградными листьями. Такой прием орнаментации тирса иногда использовался и в скульптурных изображениях.

Чуть дальше к краю пластины выделяется изображение гермы – особого вида греческой (римской) скульптуры. Герма представляла собой четырехгранный столб, первоначально увенчанный головой вестника богов, покровителя путников и проводника душ умерших Гермеса. Впоследствии на гермах стали изображаться и другие божества.

Изображенная на бляхе маленькая позолоченная герма представляет собой поясное изображение фигуры пышноволосого, бородатого мужчины. Его лицо повернуто к зрителю в три четверти. Мужчина одет, предположительно, в женскую одежду с рукавами и поясом. По Аполлодору, именно женскую или подобную женской одежду Дионис получил от фригийской богини Кибелы (Иванов, 1994). Согнутая в локте правая рука мужчины удерживает что-то у груди, возможно, бурдюк с вином. Натуралистично передан фаллос.

Герма, вероятнее всего, изображает Диониса, каким его представляли в эллинистический период – женоподобным. «В эллинистическом искусстве бородатый Дионис нередко наряжен в женские одежды, иногда у него и женские формы тела» (Даркевич, 1972).

В вакхическом экстазе

Главная в сцене – женщина. Выражение ее лица очень суровое, если не сказать грозное. Этот женский образ наиболее близок (если не идентичен) погрудному изображению Артемиды на серебряном медальоне, найденном в Фессалии, датированном 3 в. до н.э. (ныне



он хранится в Национальном Археологическом музее в Афинах) (Collection Helen Stathatos, Les bijoux antiques par Pierre Amandry, 1953): то же одухотворенное лицо, перекинутая через правое плечо шкура с копытцами, переданная мелкими частыми насечками, сбегаящимися к центру; прическа, перетянутая лентой, отдельно обозначенные завитки волос на щеке.

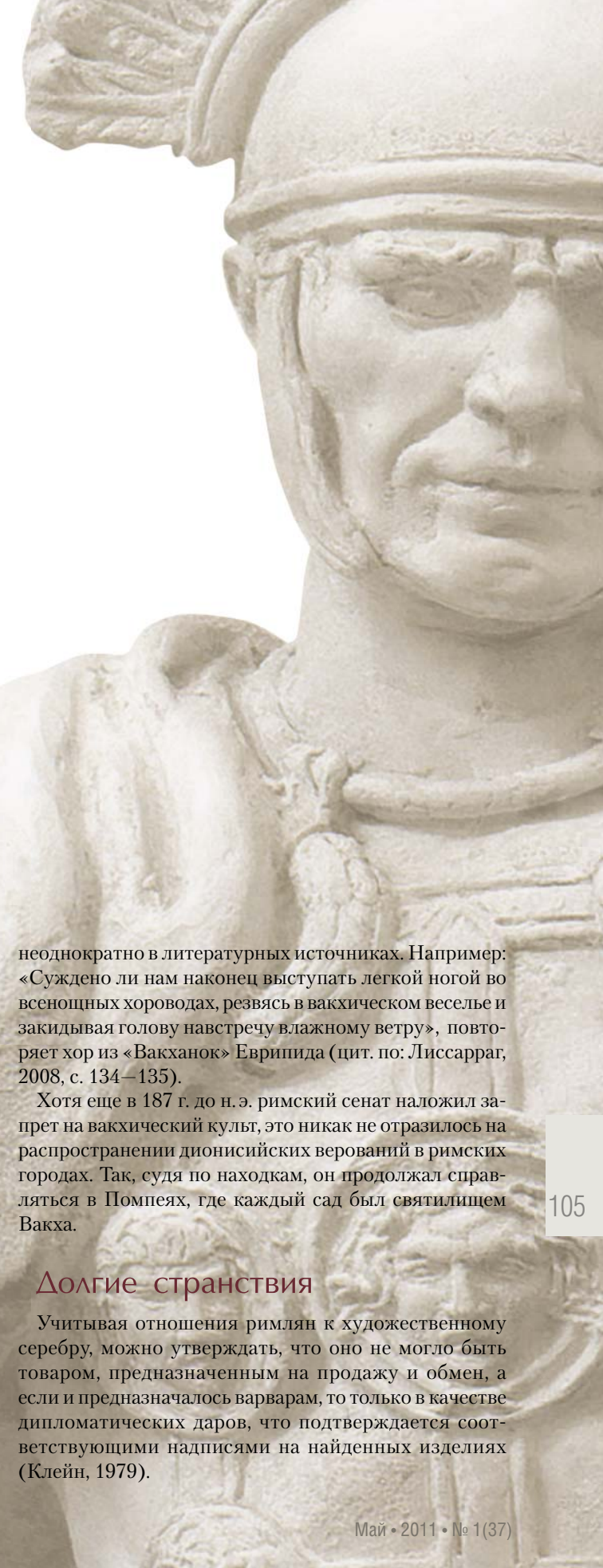
Судя по луку за плечом, перед нами действительно Артемида. Другим вариантом может быть мифическая охотница Атланта, которую, впрочем, считают ипостасью Артемиды (Ботвинник. 1991). На груди женщины повязана козлиная шкурка, напоминающая, вероятно, об обычае, по которому Артемиде посвящали коз, которых содержали и приносили ей в жертву в ее храме в Икаре (Кагаров, 1913).

Левой рукой богиня отталкивает сатира, пальцами и кистью упершись ему в подбородок. Это вполне профессиональный удар, способный сбить с ног. Сюжет, где образу пьяного сатира противопоставляется величавый женский образ (например, Марсий и Афродита), часто встречается в рисунках на краснофигурных вазах. Подобная сцена есть и на хранящемся в неаполитанском Национальном музее мраморном рельефе, изображающем бородатого сатира, схватившего за обе руки нимфу в ниспадающем покрывале, отталкивающей его тем же характерным жестом.

В нашей сцене богиня-девственница, известная своими мужененавистническими поступками, изображена как обычная нимфа, подвергшаяся приставаниям пьяного сатира. Все пространство под ногами персонажей покрыто прерывистыми волнистыми линиями, изображающими воду. Вода – местообитание нимф, извечных объектов страсти сатиров. Похоже, произошла ошибка, и пьяный сатир принял богиню-охотницу, пришедшую отдохнуть и искупаться в ручье, за обитавшую в нем нимфу. Всякий, кто видел нимфу в полуденную жару, сходил с ума: «Середина дня была временем, когда нимфы являли себя. Тот, кто видел их в это время был охвачен нимфолептической манией, подобно Актеону, увидевшему Артемиду с ее нимфами» (Элиаде, 1999). Что после этого произошло с Актеоном хорошо известно – он был превращен Артемидой в оленя и растерзан собственными собаками.

Презрительно грозное выражение, с которым богиня величественным жестом, без видимого усилия легко отталкивает обезумевшего сатира, подчеркивает ее божественную сущность. Можно напомнить, что в день праздника Артемиды практиковался древний обычай – надрезание кожи на горле мужчин, указывающий на существование в древности человеческих жертвоприношений в ее честь.

Вся сцена в целом дионисийская, вакхическая. Затылок мужчины запрокинут назад движением, характерным для дионисийского экстаза, подчеркнутым



неоднократно в литературных источниках. Например: «Суждено ли нам наконец выступать легкой ногой во всеобщих хороводах, резвясь в вакхическом веселье и закидывая голову навстречу влажному ветру», повторяет хор из «Вакханок» Еврипида (цит. по: Лиссарраг, 2008, с. 134–135).

Хотя еще в 187 г. до н.э. римский сенат наложил запрет на вакхический культ, это никак не отразилось на распространении дионисийских верований в римских городах. Так, судя по находкам, он продолжал справляться в Помпеях, где каждый сад был святилищем Вакха.

Долгие странствия

Учитывая отношения римлян к художественному серебру, можно утверждать, что оно не могло быть товаром, предназначенным на продажу и обмен, а если и предназначалось варварам, то только в качестве дипломатических даров, что подтверждается соответствующими надписями на найденных изделиях (Клейн, 1979).



Карта древних государств, на территории которых происходили описываемые события.
По: (Ставиский, 1966)

Попробуем в качестве рабочей гипотезы восстановить возможный путь античной серебряной бляхи до кургана кочевников. Сегодня имеются письменные и археологические доказательства факта существования очень ранних непосредственных контактов между хунну и римлянами: римские легионеры сражались на стороне хунну во время битвы с китайцами на р. Талас в 36 г. до н.э.

Эта история связана с неудавшимся военным походом римского консула Марка Лициния Красса в Парфию (54–53 гг. до н.э.). В битве при Каррах римляне потерпели сокрушительное поражение от парфян. Сам Красс и его сын были убиты, а из 42 тыс. римских воинов уцелело менее четверти, причем они были взяты в плен и отправлены в Маргиану (в современной Туркмении) для несения службы в парфянском войске, охраняющем восточные границы государства.

Красс недаром носил прозвище Богатый – он был несметно богат и продолжал заниматься грабежом во время парфянского похода. Возможно, бляха, бывшая в то время частью чаши или другой парадной посуды, была собственностью именно Красса. Такая посуда могла сопровождать полководца в походе: как известно, римские военачальники не любили терпеть походные лишения (нередко они возили с собой даже статуи, с которыми не могли расстаться!). После поражения она могла вместе с пленными легионерами, в числе других трофеев попасть на восточные границы парфянской империи.

Где-то здесь греческая богиня, изображенная на серебряной бляхе, и могла быть отмечена буддийским

знаком – урной. Известно, что буддизм в юго-восточных районах Парфянского государства был распространен по крайней мере уже с 1 в. до н.э., в том числе он попал и в Маргиану (Литвинский, 1967). Возможно, кто-то из новых хозяев этой вещи – может быть, один из тех парфян, кто возглавил римских легионеров, – дополнил серебряное украшение буддийским знаком. Вероятно, именно тогда бляха превратилась в фалар: у кочевников было принято отдавать все лучшее для украшения лошади.

Часть этих римских легионеров оказалась в Согдиане (современный Таджикистан) в войсках хунну под предводительством шаньюя Чжи-чжи. Этот непокорный правитель откочевал с исконных территорий хунну после того, как шаньюй Хуханье подчинился Китаю. По предположению Л. Н. Гумилева, Чжи-чжи вступил в союз с парфянами и получил от них помощь в виде центурии римских легионеров, которые помогли ему построить укрепленный лагерь на р. Талас с характерными для римской фортификации валом, сторожевыми башнями и двойным частоколом. А во время сражения при штурме хуннского укрепления китайцы были удивлены странным построением войск в виде «рыбьей чешуи» – именно так могли выглядеть сомкнутые римские прямоугольные щиты (этот факт изложен в 70-й главе «Истории Ранней династии Хань»).

В этой битве хунну потерпели поражение, Чжи-чжи и его близкие были убиты. Более тысячи человек, среди которых были и римские наемники, были взяты в плен. Их дальнейшая судьба в точности не известна: по одним сведениям, часть пленных была роздана 15 правителям

полунезависимых от Китая малых владений, поддержавших ханьцев в их кампании против Чжи-чжи.

И вот здесь следы нашей бляхи теряются. Возможно, вместе с другой добычей она попала в столицу и была в качестве уже китайского подарка передана мирному шаньюю Хуханье, оставшемуся единственным владыкой хунну.

Но все это только предположения... Фактом, свидетельствующим, что прекрасное серебряное украшение конской сбруи было принесено в глубины Центральной Азии римскими легионерами, является находка рядом с ним настоящего римского серебряного фалара. Из изделий, которые никогда не были предметом торговли, эта находка – самая восточная. Оба фалара входили в один «сборный» набор серебряных украшений упряжи, в составе которого были также изделия китайских мастеров – бляхи с драконами и единорогами. Такая дорогая упряжь могла входить в число подарков китайского двора хуннскому правителю.

Вот так, прежде чем обрести покой в могиле неизвестного высокопоставленного хунну в горах Северной Монголии, драгоценное серебряное украшение могло существовать более полутора столетия в разных обличьях, переходя из рук в руки, чтобы в конце концов стать фаларом. Завидная судьба – из обоза перейти на грудь боевого коня и мчаться вместе с ним по бескрайним степям навстречу врагу.



Литература
Виннер Б. Р. *Искусство Древней Греции*. М.: Наука, 1972
Плиний Старший. *Естественное искусство*. М.: Научно-издательский центр «Ладомир», 1994.
Соколов Г., Мирон. *Поликлет*. М.: Государственное издательство изобразительного искусства, 1961.
Кагаров Е. Г. *Культ фетишей – растений и животных в древней Греции*. СПб., 1913
Кереньи К. *Дионис: прообраз неиссякаемой жизни*. М.: Научно-издательский центр «Ладомир», 2007.
Collection Helen Stathatos, *Les bijoux antiques par Pierre Amandry, Strasburg, 1953, Pl. XXXVI, 233.*
Полосьмак Н. В., Богданов Е. С. «На 18 метров в глубь веков». *«НАУКА из первых рук»*. 2006. № 6 (12). С. 14–23.

В публикации использованы фотографии С. Зеленского, М. Власенко

Под знаком Козерога



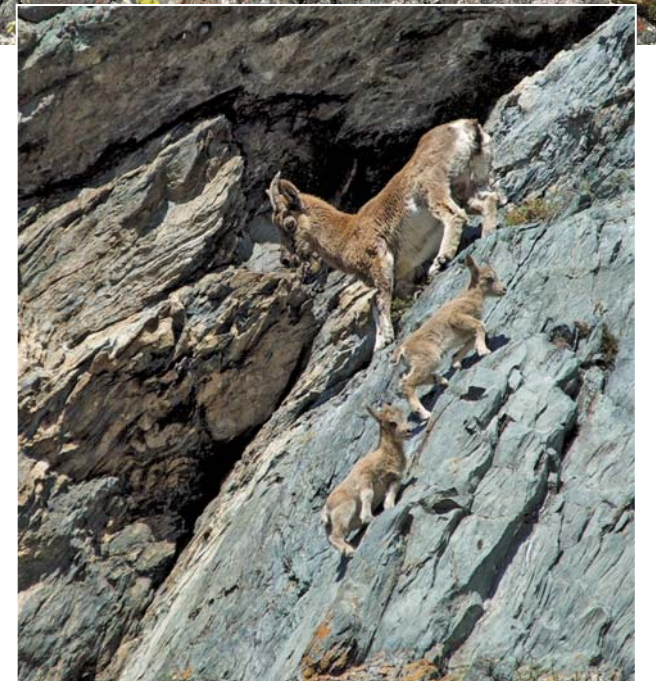
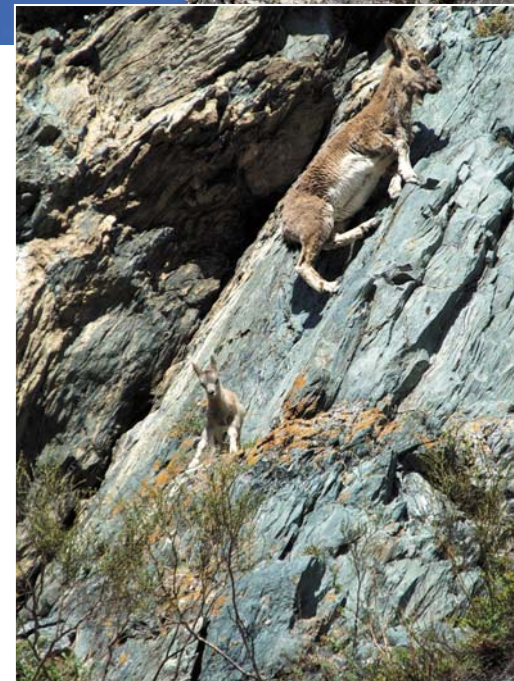
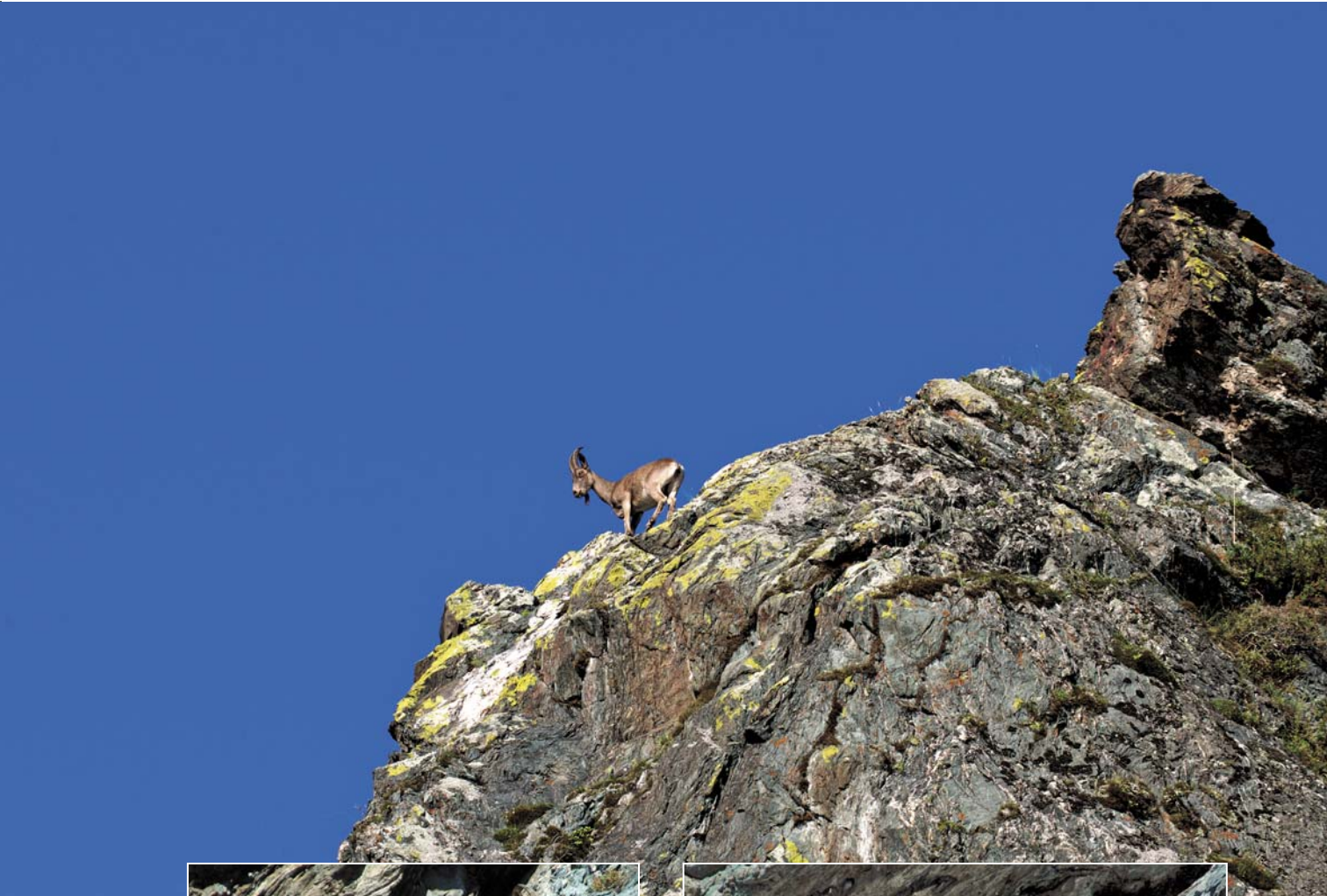
Длина массивных рогов у самца сибирского горного козла может достигать до 120 см. У самок рога менее развиты

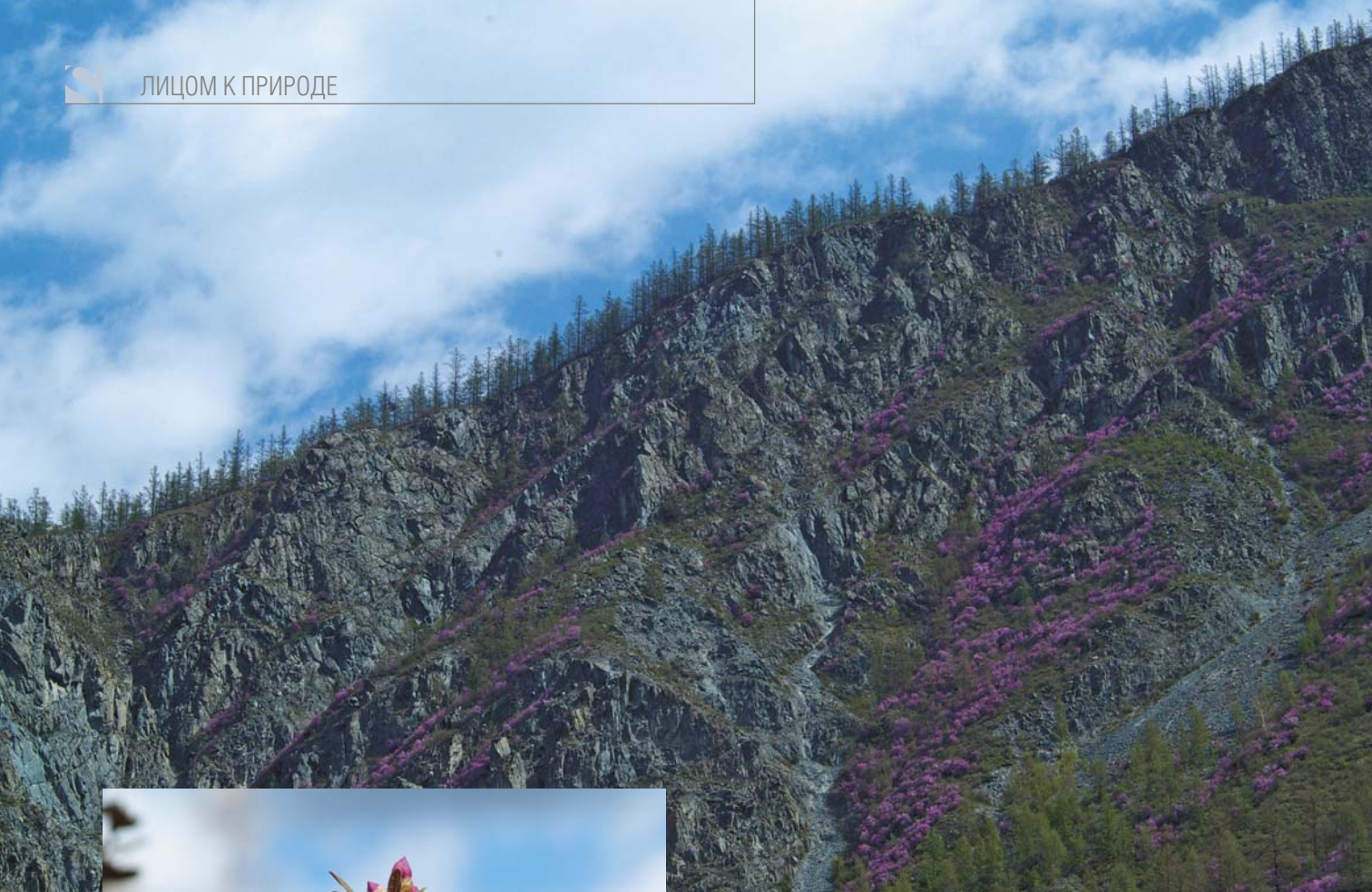


ГИЛЬБЕРТ Андрей Эрнэстович – фотограф-натуралист Саяно-Шушенского биосферного заповедника

Этих отважных скалолазов на Памире зовут «тэк», на Алтае – «бун», в Саянах – «джим». В последнее время среди охотоведов и натуралистов стало популярным название «козероги». Официально же эти сильные и ловкие животные именуются сибирскими горными козлами, или *Capra sibirica*. Это одни из самых крупных представителей своего рода: высота в холке у самцов может достигать одного метра, а вес – ста килограммов. Места их обитания приурочены к скалистым участкам гор: в нашей стране они встречаются на Алтае и в Саянах. Не первый год автор статьи приезжает на юг Саяно-Шушенского биосферного заповедника, чтобы запечатлеть жизнь козлерогов, в том числе одного из самых удивительных событий – прибавления в стаде

Ключевые слова: сибирский горный козел, козероги, Саяно-Шушенский биосферный заповедник, Саяны.
Key words: *Capra sibirica*, Sayan-Shushensky biosphere reserve, Sayan Mountains





Большую часть года самцы сибирского горного козла держатся отдельно от самок и лишь осенью, во время гона, соединяются с ними в большие стада.

Через пять-шесть месяцев, когда в горных расщелинах еще лежит снег, а багульник на солнечных склонах покрывается розоватыми бутонами, к скалистым выступам над долинами рек и речушек собираются козы, чтобы произвести на свет потомство.

Эти места, недоступные большинству хищников, местные жители называют «козерожьими роддомами». С первыми весенними цветами здесь появляются и первые козлята.

Ранней весной, когда на деревьях и кустарниках еще не появились листья, горные склоны окутывает нежнейшая сиреневая дымка. Это «багульник на сопках цветет...», хотя, с точки зрения ботаники, правильнее говорить рододендрон даурский (*Rhododendron dauricum*). Полувечнозеленый кустарник, широко распространенный в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, неприхотлив: растет на каменистых склонах, по берегам горных рек, в хвойных лесах

Первые уроки

Мы приехали на кордон Ак-Хем в Саяно-Шушенском заповеднике, чтобы поспеть к тому моменту, когда стадо козерогов пополнится новыми членами.

Поначалу просто наблюдали за неторопливой жизнью животных. С рассветом садились в лодку и, стараясь не шуметь и не делать резких движений, плыли мимо скал, где в это время уже паслись козы.

За день козы несколько раз выходили на прогулку, а в перерывах удалялись отдохнуть в тени скальных выступов. По вечерам они подолгу стояли над обрывом, будто провожали заходящее солнце, а потом располагались на ночевку в густых зарослях багульника. Мы хорошо изучили распорядок дня козерогов и потому знали, где и когда они проводят время. Но вот наконец наступил момент, когда расписание козерожьей жизни было нарушено.

В тот солнечный день мы с инспектором заповедника Виктором Макашовым поднимались на моторке вверх по неширокой речке и вдруг увидели на склоне горы группу коз. Одна стояла на ярко освещенной голой скале, а остальные внимательно наблюдали за ней с гребня. По «расписанию» козы должны были отдыхать в тенистом логу. Мы сразу поняли, что произошло что-то неординарное. Причालив к противоположному берегу реки, достали бинокли и

При опасности матери-козы убегают, пуская малышей перед собой. Если это не удается, они прячут козлят в пещерках под нависшими скалами. Если же опасность застаёт их врасплох, матери заслоняют малышей своим телом. Так часто происходит при приближении плывущей по реке лодки





Самки сибирского горного козла приносят одного, реже двух козлят. Чаще всего двойни рождаются у вполне взрослых самок и в зоопарках

Расщелина представляется новорожденному козленку неодолимым препятствием. Но малышу все-таки придется совершить свой первый в жизни прыжок

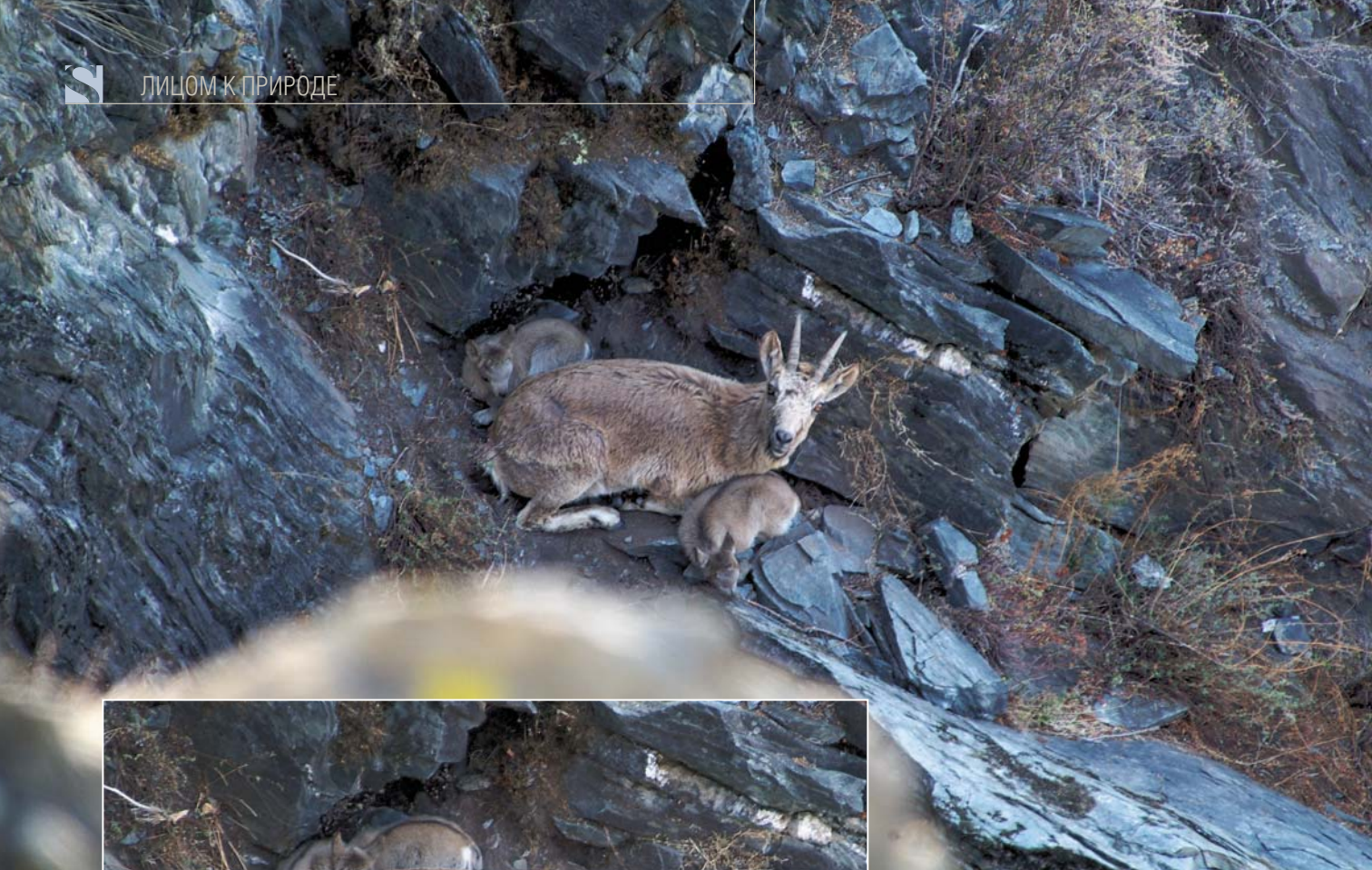
начали осторожно приближаться к месту, откуда хорошо было видно, что там происходит.

Коза со сломанным рогом (по этой примете мы ее впоследствии отличали от других), одиноко стоявшая на уступе скалы, внимательно на что-то смотрела вниз. Нам не сразу удалось разглядеть среди камней небольшой бурый комочек – только что родившегося козленка. Он стоял на практически отвесной скале и боязливо осматривался по сторонам. Его мать проявляла заметное беспокойство, ведь на открытом месте малыш – легкая добыча для пернатых хищников. Она то спускалась к нему, ободряюще водила носом по спинке, то перепрыгивала на соседний уступ, показывая ему путь через глубокую трещину. Козленок же боялся прыгать, он пытался обойти коварную трещину то снизу, то сверху, но каждый раз терпел неудачу – срывался и падал на камни. Терпеливая мать внимательно следила за ним, снова и снова возвращалась, указывая ему верный путь.

Тогда я впервые обратил внимание на то, как козы внимательно смотрят друг другу в глаза в трудных ситуациях. Мать смотрела на козленка, он на нее, потом она переглядывалась с остальными козами, будто советовалась, как поступить, а те не уходили, зорко следя за окрестностями, готовые в любой момент подать сигнал тревоги.

Когда коза в очередной раз спустилась к малышу, он поднырнул под нее и на несколько секунд припал к вымени. Утолив голод, малыш решительно «пошел на штурм» преграды. В этот раз у него все получилось. Выбравшись





На отдыхе в скалистой расселине. Козлята спят у самой стены, а мать лежит, прикрывая малышей своим телом

Подросшие козлята остаются под присмотром «нянек», пока их родительницы ходят по своим делам



на пологий участок склона, козленок резво побежал за матерью, и вскоре они скрылись в тени спасительных расселин.

Волк и шестеро козлят

Следующим утром, в предрассветных сумерках, мы вернулись продолжить наблюдения. Только солнце озарило вершины, показались козы, а с ними – уже три козленка.

Мальши вели себя как все дети: пока не очень ловко, зато весело прыгали по камням, пытались догнать друг друга, совали свои любопытные мордочки во все трещинки и расселины, то и дело стремились выбраться на освещенные места. Матери зорко следили за своими детенышами, не давая им удаляться от спасительной тени скалистых выступов.

Весна, между тем, вступила в свои права. Склоны покрылись цветущим багульником, листовенницы обрядились в нежно-зеленый наряд, а в стаде козерогов произошло пополнение – еще трое малышей, причем у одной из коз родилась двойня. Редкая удача!

Козы – терпеливые воспитательницы. Они сносили все шалости и проказы малышей, по нескольку раз показывали им, что нужно делать в той или иной ситуации. Если малыш боялся перепрыгнуть через препятствие, мать возвращалась к нему и ободряюще гладила мордой

по спине. Когда он делал что-то не так, просто смотрела ему пристально в глаза, но стоило раздаться сигналу тревоги, могла весьма ощутимо ткнуть его рогами.

Опасности подстерегают козлят на каждом шагу. С воздуха за шестерыми малютками внимательно следили беркуты и коршуны, а под скалами уже через два дня после рождения первого козленка появилась цепочка волчьих следов.

Неразлучные друзья

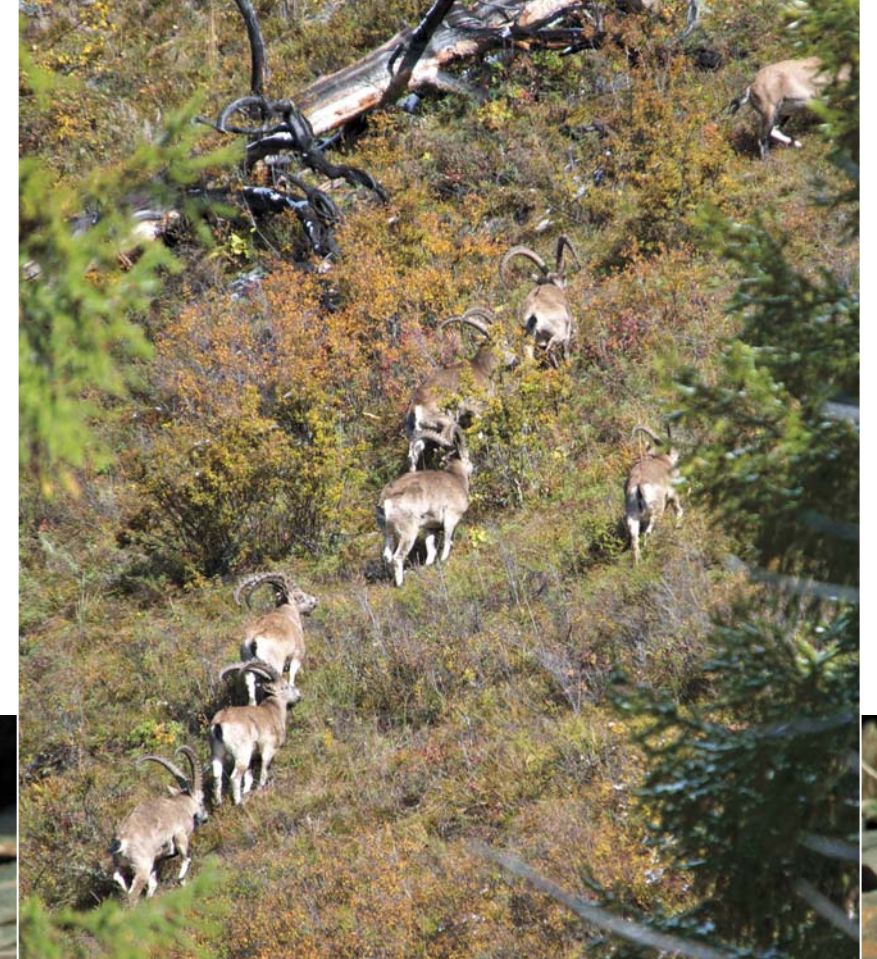
Особенно интересно было наблюдать за двойняшками. Один козленок был задиристый и бойкий, а другой – тихий и спокойный. По всей видимости, это были брат с сестренкой.

Когда сестренка устраивалась отдохнуть на теплых камнях, братец тут же подскакивал к ней, пытался боднуть, заставляя подняться и поиграть с ним. Несмотря на его грубоватые манеры, двойняшки были очень привязаны друг к другу. Они всегда старались держаться рядом, касаясь друг друга боками, и отдыхали всегда вместе.

На отдых козы удалялись в одну глубокую, плохо просматриваемую расселину. Рано утром я осторожно поднялся по соседнему распадку и подполз к краю скалы, нависшей прямо над расселиной. Внизу отдыхало семейство: мать с двумя козлятами. Малыши лежали у



Молодые самцы козорогов образуют самостоятельные стада, в которых устанавливают иерархию с помощью поединков. Во время осеннего гона их турниры принимают ожесточенный характер и нередко заканчиваются гибелью одного из соперников



самой стены, свернувшись клубочком, мать спала, прикрывая их своим телом. Через некоторое время козлята проснулись и стали возиться. Коза еще немного полежала, а потом поднялась и повела своих детей вниз.

Следом за ней из глубин распадка потянулись и остальные козы, которых я до этого не мог разглядеть. Замыкала стадо наша знакомая однорогая коза.

Они выросли

Козлята развивались очень быстро, с каждым днем им все лучше удавались прыжки по камням. На третий день они уже пытались бодаться друг с другом: привстав на задние ножки, резко, со всей силы стучались лбами, на которых уже намечались небольшие рожки.

Когда малышам исполнилась неделя, козы начали выводить их на более пологие и богатые кормом участки склона. В случае опасности они успели бы добежать до спасительных скал. На второй неделе жизни козлята почти не отставали от взрослых: бесстрашно прыгали через расщелины, ловко карабкались по отвесным стенкам, при сигнале тревоги, точно маленькие бурые мячики, неслись по скалам впереди всех.

Пока козлята были маленькие, козы почти все время находились рядом с ними. Но как только те подросли, стали оставлять малышей своим подругам и уходить куда-то по делам. Однажды козлята остались под присмотром всего двух коз, пока их родительницы бродили по сопкам. Как-то раз, возвращаясь на кордон после съемки, я встретил в соседнем лесу нашу однорогую козу. Что ж, малыши выросли, став настоящими козорогами – отважными покорителями скал.

Для всех натуралистов появление козлят, первые дни их жизни – один из самых интересных и волнующих моментов.

Из года в год, на протяжении многих сотен лет, к скалистым уступам над долинами рек приходят по весне козы, чтобы под цветение багульника дать жизнь новым поколениям козорогов. Хочется надеяться, что так будет всегда.



Козлята-двойняшки на прогулке стараются держаться друг друга

ПОДПИСКА для ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Стоимость подписки на полугодие – 1080 руб.
Стоимость подписки на год – 2160 руб.



Чтобы оформить подписку на 2011 г., заполните заявку:

1. Полное наименование организации _____
2. Юридический адрес _____
3. ИНН/КПП _____
4. Тел./ факс _____
5. E-mail _____
6. Контактное лицо (Ф.И.О. полностью) _____
7. Ваши реквизиты для получения изданий по почте _____
Почтовый адрес (включая индекс) _____
8. Получатель издания в организации (отдел, Ф.И.О.) _____
9. Прошу выслать счет на подписку
журнала «НАУКА из первых рук» на первое, второе полугодие, год (нужное подчеркнуть),
количество экземпляров _____
почтой факсом e-mail

и вышлите ее по адресу:

**Редакция журнала
«НАУКА из первых рук»
630055, г. Новосибирск,
ул. Мусы Джалиля, 15.**

или отправьте по факсу:
8 (383) 332-15-40

или по e-mail: zakaz@infolio-press.ru

Счет на оплату будет выслан
в течение трех рабочих дней после
получения заявки

По всем вопросам обращаться:

Тел.: 8 (383) 332-15-40, 332-67-33.

Факс: 8 (383) 332-15-40,

e-mail: zakaz@infolio-press.ru

Вы также можете оформить
подписку на нашем сайте:

www.sciencefirsthand.ru

www.sibsciencenews.org

Платежные реквизиты:

ООО «ИНФОЛИО»,
ИНН 5408148073
КПП 540801001
Р/счет 407 02 810 603 120 002 214
в ОАО «МДМ БАНК»,
г. Новосибирск
Кор/счет 30101810100000000821,
БИК 045004821

Подписка по каталогам:

Каталог агентства

«Роспечать»:

46495 — для индивидуальных подписчиков

46498 — для предприятий

и организаций

Объединенный каталог

«Пресса России»:

индекс **42272**





Медведица – одна из самых нежных и заботливых матерей. У камчатской бурой медведицы за всю ее жизнь рождается в среднем 12–15 медвежат, из которых менее половины доживает до половой зрелости. Медведицу на фото не даром прозвали Мамашей – она обладает необычайно развитым материнским инстинктом. Имея двух собственных малышей, она усыновила маленького полугодовалого сироту – первый задокументированный случай среди медведей.
Фото И. Штиленка, Кроноцкий заповедник, Камчатка