идеи и новации

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА:

КОСМОС. ПЛАНЕТА. НАУКА

2015 #03

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель – Дугин Евгений Яковлевич, доктор социологических наук, профессор, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии».

Главный редактор – Коханов Евгений Федорович, доктор филологических наук, профессор, Государственный университет управления.

Зам. главного редактора – Речицкий Леонид Антонович, кандидат исторических наук доцент, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии»

Барковский Андрей Львович, доктор микробиологических наук и окружающей среды, профессор, Университет Свободных искусств Штата Джорджия, США

Болдычева Вера Анатольевна, кандидат философских наук, главный редактор журнала «Моя Москва»

Бурак Петр Иосифович, доктор экономических наук, профессор, вице-президент Российской академии естественных наук (РАЕН), директор Института региональных экономических исследований

Валеева Людмила Владимировна, кандидат филологических наук, доцент, Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского

Губарев Владимир Степанович, писатель, драматург, научный журналист

Гусев Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Президент Российской и международной академий

Данилов Анатолий Порфирьевич, кандидат исторических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Демчук Артур Леонович, кандидат философских наук, доцент, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Егорова Людмила Александровна, президент «Русского клуба»,

Елисеев Борис Петрович, доктор технических наук, доктор юридических наук, профессор, ректорМосковского государственного технического университета гражданской авиации

Игнатов Евгений Иванович, доктор географических наук, академик РАЕН, Московский государственный университета имени М.В.Ломоносова

Кветный Дмитрий Семенович, генеральный директор Творческого объединения «Союз»,

Комиссаров Валерий Петрович, кандидат филологических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Коханова Людмила Александровна, доктор филологических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Левашова Валентина Андреевна, кандидат филологических наук, доцент, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Либерзон Марк Романович, доктор физико-математических наук, профессор, Вице-президент Российской инженерной академии

Одинак Мирослав Михайлович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Академии медицинских наук, Российская академия медицинских наук

Самойлов Вячеслав Александрович, доктор экономических наук, Университет «Синергия»

Семенова Виктория Владимировна, доктор социологических наук, профессор, Государственный академический университет гуманитарных наук

Сольнов Николай Михайлович, кандидат медицинских наук, полковник медицинской службы

Тарасов Борис Петрович, кандидат химических наук, Институт проблем химической физики РАН

Тикунов Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Тимошин Виктор Григорьевич, кандидат экономических наук, доцент

Фомченков Сергей Вячеславович, профессор, Немецкий институт системной биокоррекции

Черняк Александр Викентьевич, доктор исторических наук, профессор, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии»

Шалыгин Леонид Дмитриевич, доктор медицинских наук, профессор, академик, ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И.Пирогова»

Штепа Виктор Иванович, доктор филологических наук, доцент, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.

Щерев Георги Георгиев, Председатель Союза отельеров «Золотые пески», Болгария

Редакционная коллегия:

Литературный редактор – **Патракова О.Н.**

Технический редактор – **Леушина Е.**

Издатель – **Филиппов Георги,** Президент фирмы «ФИЛ» ООД, Болгария

СОДЕРЖАНИЕ

Губарев В.С.
Крым для науки России 4

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Леонов А.А.
Риски, связанные с выходом человека
в открытый космос, и их преодоление 8

Климук П.И.
Наука о космосе – в этом величие страны 16

Иванов В.А., Купреев С.А., Либерзон М.Р.
Перспективные направления практического
использования технологий
космических тросовых систем 27

Довгань В.Г.
Лунная одиссея советской космонавтики 43

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Степанов Б.А.
Исследование штамповки методом осадки
с кручением на специализированных
гидравлических прессах
с вращающимся штамподержателем 60

Лунин В.В., Перминова В.В.
Полезная химия: хорошая новость 21-го века 64

**Захарова Е.В., Калмыков С.Н.,
Новиков А.П., Романчук А.Ю.**
Закономерности сорбционного поведения
ионов актинидов на минеральных
коллоидных частицах 68

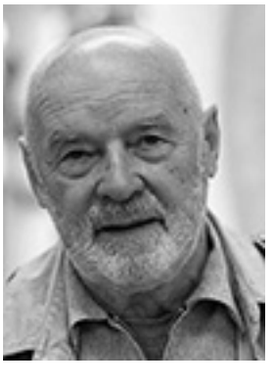
Зефиров Н.С., Зефирова О.Н.
Рациональный дизайн лекарств..... 80

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Георгиева Т.С.
О русском языке и о том, кто же такой русский 86

Иванова Е.А., Фань Юйсинь
Семиотическая составляющая
как часть российско-китайских
массовых коммуникаций 93

Цымбалюк Е. В.
К вопросу о предикативном значении
непроизводных предлогов 98



В.С. ГУБАРЕВ
Писатель, драматург, журналист
V.S. Gubarev
Writer, journalist, playwright

КРЫМ ДЛЯ НАУКИ РОССИИ

CRIMEA FOR RUSSIAN SCIENCE

В жизни каждого человека нашей страны Крым занимает особое место, но видится по-разному. Для большинства – это обычно Южный берег Крыма. Он ассоциируется с морем, солнцем. Вспоминаются дни замечательного отдыха, проведенные в этих местах. Если говорить о познавательной стороне поездок на полуостров, то это, прежде всего, посещение Ботанического сада. Это действительно уникальный природный мир субтропиков, который известен нам еще по школьным учебникам. Он по-прежнему до конца не изучен и представляет интерес как для людей, увлеченных природой, так и для специалистов. Есть еще горный Крым, который также уникален. Он привлекает спелеологов, которые продолжают изучение пещер, во многом еще также полностью не исследованных.

Крым долгие годы был и Всесоюзной здравницей, и культурной Меккой. Сюда приезжали писатели, поэты, музыканты, артисты. В судьбе каждого из них он сыграл свою роль. А.С. Пушкин здесь был влюблен. А.С. Грибоедов предвидел свой печальный конец. Страдающий Н.В. Гоголь надеялся на выздоровление. А.П. Чехову, больному туберкулезом, который сюда переехал из Москвы, целебный воздух этих мест продлил жизнь. Он увидел в постановке МХАТа, приехавшего в Ялту, свою пьесу. Обо всем этом сегодня можно узнать, посетив уникальный музей «Дом Чехова».

Конечно, надо вспомнить историческую и политическую значимость Крыма сначала для России, а потом для Советского Союза. Многие русские цари стремились проводить какое-то время в Крыму, и на это время он становился центром политической жизни страны. Из исторической литературы мы знаем, что Александр Третий провел в Ливадии последние свои часы, и здесь же начался период царствования Николая Второго, последнего русского самодержца.

Что касается советского периода, то достаточно вспомнить знаменитую встречу Сталина, Рузвельта и Черчилля в Ялте весной 1945 года. Она подвела итоги Второй мировой войны и определила миропорядок вплоть до настоящего времени, поэтому недавний юбилей Победы столь торжественно отмечался во всем мире.

Все это – классическое представление о Крыме. Оно вполне естественно и отвечает действительному вкладу этого региона в историю нашей страны. Но лично для меня Крым – другой, мало кому известный.

Более тридцати лет моей жизни напрямую связаны с этим полуостровом. Мало того, что я туда ездил регулярно, бывали случаи, когда я половину месяца проводил в Крыму, так как в качестве корреспондента «Комсомольской правды», а затем и «Правды» рассказывал на полосах этих газет о том, как наша страна осваивала космос. Одной из них была лунная программа. Во время пуска лунохода и когда луноход бегал по Луне, одиннадцать месяцев в году я проводил в Крыму. Каждый день писал о походе лунохода в лунные моря.

Поэтому для меня Крым, точнее всего, – научный. В силу того, что в 1960-м году занялся атомным проектом, я столкнулся с работами двух великих людей, чья жизнь связана с Крымом. Первым был Владимир Иванович Вернадский. Дома я храню 24 тома его произведений, которые мне подарил академик Галимов, подготовивший их к изданию. Тираж этого выпуска небольшой – всего несколько десятков.

В этих интереснейших работах Владимир Иванович Вернадский обосновал созданную им теорию ноосферы Земли. Этот человек заставил на нашу планету посмотреть иначе, как бы с высоты птичьего полета, а может быть, и выше – из космоса, используя при этом другие неведомые до того меры измерения. Для него Земля как планета стала своеобразным объектом исследований. У меня такое ощущение, что Вернадский – будто бы сам инопланетянин, который изучает, что это такое. Вот ему в руки дали этот шарик со всем своим живым и неживым миром, и он попытался обосновать, как это должно выглядеть, как это должно развиваться, как это было в прошлом.

Он абсолютно великий ученый. Таких людей в истории науки, да и вообще в истории человечества, было очень мало. Это люди масштаба Аристотеля или Леонардо да Винчи, который был не только художником, но и большим ученым. Такого же масштаба был и Вернадский.

Кстати, мало кто знает вообще, что он открыл науку нашей страны всему миру и сделал ее составной частью мировой науки. Именно он предугадал развитие атомного века еще в самом начале прошлого столетия. При этом не стоит забывать, что его личная судьба начиналась в Крыму. Здесь он работал, создавал Академию наук Украины. Именно здесь он заложил многие научные направления, которые со временем стали предметом исследования многих ученых в самых разных странах и положили начало формированию научных школ. Поэтому вполне логично, что его имя все эти годы носит Крымский университет в городе Симферополе, сегодня преобразованный в федеральный вуз.

Вторым человеком, который связан с Крымом, с этим же Крымским университетом, был, конечно же, Игорь Васильевич Курчатов. Думаю, что его имя хорошо известно не только в нашей стране, но и во всем мире. Но мало кто знает, что он находился в Крыму во время Великой Отечественной войны. Они вместе с академиком Александровым занимались разработкой технологий, которые позволили защитить корабли от магнитных мин.

Эти ученые заложили настолько высокий уровень научной деятельности в этом регионе, что при всех сложностях бытия, при всех политических и экономических колебаниях он сохранялся таковым на протяжении всех последующих лет. Наука по-прежнему в чести в Крыму. Даже дети разных возрастов занимаются в МАН – Малой академии наук, которая существует все это время. Ее выпускники – молодые люди стремятся в вузы, конкурсы в которые при поступлении здесь по-прежнему очень высокие.

Крым по-прежнему, как магнит, притягивает к себе многих известных ученых. С ним связаны знаменательные события в истории отечественной науки. Речь идет, прежде всего, об

освоении космоса, так как именно здесь, под Симферополем, находился Центр управления полетами (ЦУП) откуда велись наблюдения за космосом. Сюда, с самого начала космических программ, мне и приходилось ездить. К примеру, сейчас мы отмечаем юбилей выхода в открытый космос Алексея Леонова. Но выходил-то он над Крымом, и первое, что увидел он тогда – этот полуостров и Черное море. Мы наблюдали за ним отсюда из этого Центра.

Но этот Центр был не единственным в Крыму. Уникальное расположение этого полуострова позволяло вести наблюдения за космосом при любой погоде, поэтому вторым был Центр дальней космической связи в Евпатории, откуда мы наблюдали первые запуски наших орбитальных станций на Марс и на Венеру.

Как-то, когда еще мы работали в Крыму в рамках программы по луноходу, ехали ночью на машине в Евпаторию, где находился Центр дальней космической связи. На восходе, когда чуть-чуть небо просветлело, я увидел гигантскую звезду, яркую такую. Никогда ничего такого не видел, как будто какая-то новая звезда зажглась. Оказалось – это Венера. Было такое впечатление, будто она нас звала. Собственно, так и случилось. Мы уже знали, что готовятся новые запуски и уже пошла новая станция. Буквально через некоторое время мы увидели, как была осуществлена посадка нашей станции на эту планету. Я на всю жизнь запомнил эту поездку. И это было в Крыму.

Именно здесь я познакомился со всеми знаменитыми людьми. Это Президент академии наук Мстислав Всеволодович Келдыш, Главный конструктор Георгий Николаевич Бабакин и мой очень хороший друг, ведущий конструктор ракеты, на которой полетел Юрий Гагарин, Олег Ивановский. Он был заместителем Главного конструктора, когда мы вместе с ним работали на Луноходе. Очень много замечательных людей я там встретил, и именно там мы с ними подружились. Поэтому Крым для меня в первую очередь – Космический Крым.

Никак не могу забыть еще одну встречу на Ай-Петри. Зима, снег, метель, все замело, мы едем на машине. На дороге нет ни одной машины, дорога обледенела. Мы поднимаемся в горы, где наверху расположился ресторанчик. В нем горит свет. В этом ресторанчике сидит один человек, который ждет нас. Это – директор Крымской астрофизической обсерватории, тогда еще член-корреспондент Боярчук. Позже он стал академиком, потом директором института. Мы встретились, пообщались, а потом спустились в обсерваторию по этой же скользкой дороге.

Еще одна из замечательных встреч, которая по-доброму вспоминается. Однажды мы, корреспонденты «Правды», «Комсомольской правды» и «Красной Звезды», которые работали по космическим программам, решили съездить в Севастополь и познакомиться с деятельностью Института биологии южных морей. Так как такой приезд корреспондентов был впервые в истории института, нас приняли за проверяющую комиссию. Поэтому все заведующие лабораториями стали рассказывать о проделанной работе. Оказалось, что в этом институте ведутся интересные исследования по Черному морю и по южным морям. Никогда не забуду, когда одна из заведующих лабораторией, доктор биологических наук Петипа оказалась внучкой знаменитого театрального деятеля Петипа.

Вот таким остается Крым в моих воспоминаниях, и это позволяет понять, что значит этот полуостров для истории отечественной науки. Какие бы политические передряги ни происходили, Крым – это жемчужина не только Российской Империи, Советского Союза, Украины или России, если говорить о временном исчислении. Это все условно. На самом деле он – мировая жемчужина. Он уникален. Это следует признать. Я много ездил по миру, бывал в самых разных местах, видел много потрясающих мест. Их десятки, если не сотни в самых разных странах. И вот одно из этих потрясающих мест – это, конечно, Крым.

Конечно, грустно осознавать, что такой мощный Крымский научный центр несколько сдал за по-

следние два десятилетия. Так считает и академик Борис Евгеньевич Патон. Часто я бывал у него в гостях в Киеве. Уже очевидно, что и вся наука Украины, как и академии наук бывших республик, к сожалению, после распада Советского Союза начали деградировать. Это, естественно, сказалось на всей науке в целом, потому что, когда мы были вместе, было динамичное развитие многих научных направлений, когда мы стали порознь – это отразилось на качестве этих исследований, а многие просто прекратили свое существование, и это – плохо. Я до сих пор в этом убежден и глубокого сожалею о том, что произошло в 1991 году.

Сегодня мы начали понемногу наверстывать упущенное. Уже говорим о развитии науки в Крыму. Прежде всего, полагаю, что будет развиваться вся биология во главе с Никитским ботаническим садом. Возродятся виноградники, естественно, винные погреба вернут свою мировую славу. Вообще виноделие – это очень серьезная наука, и на полуострове у нее большое будущее, так как в нее приходит молодое поколение селекционеров, потомственных виноделов, сохранивших традиции научных школ, которые здесь были. Без сомнения, будет развиваться биология южных морей. Знаменитый и единственный в стране Институт биологии южных морей в Севастополе обретет вторую молодость.

Я думаю, что произойдет возврат и к космическим технологиям и космическим центрам. Почему? Потому, что здесь очень хорошие условия для космических исследований и для наблюдения за теми аппаратами, которые запускаются с Байконура, с Севера и из любых других географических точек в мире. Хочу заметить, что до сих пор продолжается спор о том, были американцы на Луне или не были. Со всей определенностью могу подтвердить, что за всеми лунными пусками наши специалисты наблюдали из Крыма и тому есть неопровержимые научные доказательства. Мы четко видели, как Нейл Армстронг расхаживал по Луне, поэтому все досужие вымыслы по этому поводу просто смешны.

Я думаю, что сейчас все будет интенсивно восстанавливаться, потому что это разумное и рациональное решение. Это выгодно не только для Роскосмоса, который этим должен заниматься по роду своей деятельности, но и для всей мировой космонавтики. Как показали прошедшие два десятилетия, распад Советского Союза ударил по космическим исследованиям не только России, Украины и Казахстана. Если раньше мы с американцами были почти равными или где-то немного уступали и шли вторых позициях, то из-за распада сначала Советского Союза, а потом и космической индустрии мы скатились на пятое-шестое место в мире. Сейчас приходит понимание, что просто необходимо восстанавливать эти технологии, возрождать космические программы. Люди должны отбросить политические амбиции и подходить ко всему разумно. Ведь все проходит. Войны заканчиваются. Конфликты прекращаются. Жизнь продолжается. Значит, по-прежнему Крым остается хорошим место для рыбалки.

Кроме редакционных поездок я там очень часто отдыхал. Обычно это была Нижняя Ореанда, где ловил рыбу и обсуждал с коллегами с дореволюционным партийным стажем будущее нашей страны. Меня туда отправляли после Чернобыля, чтобы немножко подлечиться. Я попросил врача написать, что для восстановления здоровья мне рекомендуется рыбная ловля. Так полуостров еще надолго остался в моей жизни, что позволяет и сегодня наблюдать, как идет его восстановление и, прежде всего, Космического Крыма.

С уваженьем,

Владимир Губарев

А.А ЛЕОНОВ
Летчик-космонавт-испытатель,
Дважды Герой Советского Союза
A.A. LEONOV
Cosmonaut, Twice Hero of the Soviet Union

РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ВЫХОДОМ ЧЕЛОВЕКА В ОТКРЫТЫЙ КОСМОС, И ИХ ПРЕОДОЛЕНИЕ

Ключевые слова: *открытый космос, Марс, скафандр, шлюз, космический корабль, нештатная ситуация.*

Аннотация: *50 лет назад, 18 марта 1965 года, впервые был совершен выход человека в открытый космос. Первопроходцем стал советский космонавт Алексей Леонов. Во время этих 23 минут и 41 секунды, проведенных вне космического корабля, он навсегда изменил историю космических программ. В этом году дважды Героя Советского Союза летчика-космонавта Алексея Леонова чествовали на 58-й сессии Комитета ООН по исследованию космического пространства в мирных целях в ознаменование этой даты и 40-летия полета «Союз – Аполлон» в 1975 году, в котором он также участвовал. Своим докладом о рисках, связанных с первым выходом человека в открытый космос, А. Леонов открыл Восьмой Международный Аэрокосмический Конгресс IAC'15, который проходил в августе 2015 года в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Данный доклад публикуется в нашем журнале.*

MAN AND SPACEWALK: RISKS AND OVERCOMINGS

Keywords: *outer space, Mars spacesuit, gateway, spaceship, emergency situation*.

Abstract: *Exactly 50 years ago, on 18th March 1965 Alexey Leonov became the first person to step out of a spacecraft and walk in space. During these 23 minutes and 41 seconds spent outside the spacecraft, he forever changed the history of the space programs.These days, twice Hero of the Soviet Union cosmonaut Alexei Leonov was honored at the 58th session of the UN Committee on the study of outer space for peaceful purposes, in commemoration of that date and 40th anniversary of the flight of "Soyuz – Apollo" in 1975, in which he also participated. A.Leonov started the Eighth International Aerospace Congress IAC'15, which took place in August 2015 in Lomonosov Moscow State University with his report on risks associated with the first man spacewalk.The report is published in our magazine.*

Совсем недавно я был приглашен на симпозиум, посвященный 50-летию внеземной деятельности человечества и 40-летию программы «Союз – Аполлон». Он проходил в Хьюстоне (США) 6 июня 2015 года. В его работе принимали участие представители многих стран. С докладами выступили известные ученые, американские астронавты. В частности, Юджин Сернан, который выходил в открытый космос, рассказал о проблемах, стоящих сегодня перед космонавтикой, и перспективах ее развития. Я также сделал доклад о первом выходе человека в открытый космос и о состоянии космической науки в нашей стране.

Хочу отметить, что в большинстве выступлений прозвучала мысль о том, что дальнейшее развитие космоса – это полет на Марс. Очевидно, этому пришло время. Но вряд ли это стало бы возможно, если бы не было столь продолжительного времени освоения космического пространства и наших полетов. Поэтому вспомним о том, как все начиналось.

Наш полет вместе с Павлом Беляевым начался с того, что в 1962 году Генеральный конструктор Сергей Павлович Королев пригласил к себе группу космонавтов, в которой был и я, и показал нам корабли. Мы увидели известные нам корабли «Восток», «Восход» и еще один корабль странной конструкции. В нем было что-то и от «Востока», и от «Восхода», в общем, непонятное сочетание деталей.

Королев сказал: «Знакомьтесь, вот это корабль, с помощью которого мы должны решить одну сложнейшую задачу». Затем он пояснил: моряк, находясь на борту океанского корабля, должен уметь плавать в океане. Точно так же космонавт, находящийся на борту космической станции, должен уметь плавать в открытом космосе и выполнять монтажные и демонтажные работы. При этом, посмотрев на всех нас, он обратился лично ко мне: «А ты, орёлик – так называл С.П. Королев космонавтов, – надень скафандр и вместе с летчиком-испытателем пройди по этой трассе. Через два часа доложи о результатах техническому руководству». Больше всего я испугался полученного поручения сделать доклад. Мне было тогда всего двадцать семь лет, я еще мало знал о специфике космической деятельности. Что касается технической стороны полетов, то этим вообще никогда не занимался. Конечно, я пытался понять, случайно или не случайно мне было дано такое поручение.

Оказалось, что это было не случайно. Накануне обсуждались кандидаты для выполнения этого задания, и выбор пал на меня. Поэтому мне и была поручена эта задача – опробовать на себе скафандр. Так, по Циолковскому, я стал называться «балахонщиком».

Он в своем романе «Вне Земли» описал выход человека в открытый космос. К тому же он показал, какой должна была быть для этого конструкция скафандра. По его мнению, на скафандр должен был быть надет специальный балахон, то есть должна быть сделана термоизоляция с повышенной отражающей способностью. Так как он тогда не знал, как это назвать, то и назвал «балахон». Точно так же, как ученый не знал в то время, как назвать фал, соединяющий космонавта с кораблем, и назвал его «цепочка».

Следует признать, что он достаточно точно описал психологическое состояние человека, когда он выходит в открытый космос. Многие пытались сделать это. У Циолковского точнее, насколько я могу судить об этом, прочитав практически все, что писали про Луну и о том, как должен чувствовать себя человек, перед которым открытый космос. У него это описано так: я открыл комнату, стал на порог, посмотрел вниз, сделал шаг и обмер. Что-то внутри подкатилось, я болтался, влево-вправо, я должен был понимать, где верх, а где низ.

Как оказалось, впоследствии, это была одна из основных задач – определить координаты человека в пространстве. Низ – это была нижняя часть шлюза, верх – это солнце. Вот такие координаты надо было, прежде всего, и нам отработать перед тем, как открыть люк в открытый космос. Что мы об этом знали на начало подготовки к эксперименту? В общем-то – практически ничего, если не считать описаний фантастов и мечтателей, к которым долгое время относили и К. Циолковского.

Вскоре для меня и Павла Беляева началась интенсивная подготовка к полету, когда только на стадии чертежей была работа над созданием самого корабля, на котором нам предстояло лететь. Как таковой системы обучения не было, она создавалась в процессе подготовки. Так, мини-

мум два раза я присутствовал при сборке корабля на заводе, знакомился с его устройством.

Сегодняшние молодые люди этого не знают. Они явно не встречались с тем, как готовятся космические полеты. Поэтому я сейчас постараюсь показать на схеме, как все это делалось в те годы, когда мы начали к этому полету готовиться.

Прежде всего, нам предстояло изучить корабль «Восток», который на орбиту к тому времени выводился пять раз. Он состоит из спускаемой капсулы, приборно-агрегатного отсека, двигателя и, конечно, антенн. Корабль «Восход» устроен практически так же. Остается тот же самый корпус, но уже плюс запасной двигатель. На этом корабле уже смогли полететь три человека, а на «Востоке» летал всего один человек. Он располагался в кресле-катапульте. Именно в нем на высоте четырех тысяч метров космонавт катапультировался. Он приземлялся отдельно от корабля. Корабль также приземлялся отдельно. Долгое время считали, что космический корабль – это объект, который должен облететь земной шар и вместе с экипажем приземлиться в расчетной точке. Так как в данном случае этого не происходило, то такое отдельное приземление считали аварией. Значит, космический полет не состоялся и не регистрировался. Собственно, так случилось с полетом Ю.А. Гагарина, который долго не хотели регистрировать. Но все-таки в итоге признали, и 12 апреля 1961 года стало датой, определяющей начало человеческой деятельности в космосе. Сегодня – это уже международный день космонавтики, о котором американский астронавт Нейл Армстронг сказал, что именно в этот день Юрий Гагарин позвал нас всех в космос.

Следующий корабль «Восход-2», на котором нам предстояло лететь, был устроен точно так же, но без катапультных сидений, экипаж приземлялся внутри корабля. По другим параметрам он был сделан более мощно, сохраняя при этом многие характеристики «Востока». Так, на двигательную установку поставили две телекамеры, и самое главное – создали шлюзовую камеру. Эта мягкая конструкция в раскрытом виде имеет 2,8 метра, а в диаметре – 1,2 метра. На выведении она укладывалась в контейнер высотой всего 70 см. Носитель тоже был подобран под этот корабль. И на блоке, и на обтекателях были сделаны приливы, выступающие на величину убранной шлюзовой камеры. Это было отличительной особенностью «Восхода-2», так как шлюзовая камера позволяла выполнять работы вне его, и при этом корабль не надо было разгерметизировать. Это было очень важно, так как в случае аварии или если бы при выходе в открытый космос была какая-нибудь нештатная ситуация, не произошла бы разгерметизация всего корабля.

Итак, мы начали работать с такой системой: 3 сектора по 12 аэробалок итого 36 аэробалок. Даже если 2 сектора выходили из строя, то один сектор, состоящий из 12 аэробалок, обеспечивал достаточно жесткую конструкцию, чтобы выйти через неё в открытый космос.

Выход в космос предполагался через люк, который открывался вовнутрь. Причем он имел очень небольшой диаметр. У меня от каждого плеча было всего лишь по 2 сантиметра пространства. Поэтому при возвращении в корабль позже это стало серьезным препятствием, которое пришлось преодолевать. Но это было уже позже, в космосе.

Сложности поджидали нас еще на земле. За три дня до старта был пробный пуск нашего корабля, в котором были учтены все параметры выходящего в шлюз человека в скафандре. Все штатно работало. Но после отстрела шлюза корабль начал сильно вращаться. Это было ожидаемое поведение корабля, так как знали, почему это происходит. Однако при посадке случайно была сформирована команда на его подрыв. Конечно, о том, что корабль взорвался, мы скоро узнали. К нам в гостиницу приехали Сергей Павлович Королев и президент Академии

наук СССР Мстислав Всеволодович Келдыш. Они полагали, что нам об этом еще неизвестно, и начали издалека. Дескать, знаете, что случилось. Мы признались, знаем, что корабля нет.

Нас спросили: «Ваша позиция?». Сообщили, что уже запущено строительство нового корабля, который будет готов через девять месяцев. Мы однозначно ответили: «Наша позиция – работать». В качестве главного аргумента выдвинули глубокое знание корабля, программы, высокую физическую подготовку. К тому же, сказал я, нами отработано более трех тысяч аварийных ситуаций, которые могли бы случиться в полете. «А в полете будет три тысячи первая», – ответил на это С.П. Королев. В полете случилось семь аварийных ситуаций, которые до того нигде не были описаны, мы с ними столкнулись впервые. Это произошло потому, что мы полетели на опытном корабле, лишившись результатов испытаний беспилотного корабля-аналога.

Старт состоялся 18 марта 1965 года. Подняли нас точно по расписанию. Тогда я впервые увидел заснеженный космодром. По программе было предусмотрено, что после выведения корабля на орбиту надо было раскрыть шлюзовую камеру, надеть автономную систему и проверить все показания. Затем надо было выровнять давление корабля со шлюзовой камерой и открыть ее для перехода внутрь.

Как и было запланировано, после старта корабля и выведения его на орбиту нами были выполнены все действия. Над Камчаткой я вошел в шлюзовую камеру и закрыл за собой люк. Мы начали выравнивать давление в шлюзе и наружное. Над Африкой оно выровнялось. На 20-й –30-й широте мы открыли люк. Я видел, как появляется Земля. Было очень интересно смотреть, как это происходит. Подошли к Средиземному морю, вышел на связь с Землей. Спрашивают: «Как вы? Мы вас видим. Начинайте работать». Сам выход в открытый космос занял полторы-две секунды.

К сожалению, во время выведения корабля на орбиту была допущена ошибка. Мы оказались на высоте почти 500 километров вместо плановых 320-350 километров. Чтобы быть точным, без двух километров 500 километров. Это было опасно, так как если бы у нас что-то произошло с двигателями, надо было рассчитывать на естественное торможение. На этой высоте это было бы через месяц-два, а система жизнеобеспечения имела ресурс 5-6 дней. Сам же корабль мог летать несколько месяцев. В случае отказа маршевого двигателя мы могли использовать пороховой двигатель. Он работал всего 0,3 секунды, и за эти мгновения развивал тягу в 3 тонны. Но для этого надо было еще уловить такой момент, чтобы корабль встал против вектора движения. Иначе другими путями уже невозможно было попасть на Землю. Это был аварийный случай, но обошлось.

Как только мы вышли на орбиту и открыли шлюз, я практически выскочил в открытое пространство. Сам момент выхода из корабля произошел над Крымом. Потом за эти секунды я увидел все Черное море с запада на восток, с юга на север: Болгария, Румыния, Средиземное море – Греция, Италия. Поднял голову – Балтийское море. Все видно, как на карте. «А земля-то ведь круглая!» – невольно вырвалось.

На тот момент мы не знали, на какой высоте находимся. Когда же по формуле подсчитали, то получилось, что я видел круг радиусом 1750 км. Это было удивительно интересно – увидеть нашу Землю за Северный полюс, черное небо и яркое солнце. В районе 20 градусов звезд не было видно, но дальше они были хорошо видны. И это были звезды порядка шестой, четвертой величины. Мы хорошо знали звездное небо. Но это было не то, что на Земле. Звезды здесь были большими и яркими.

И второе – было тихо. Наверное, минут пять было тихо, потом я услышал в этой тишине, как бьется сердце. Слышал свое дыхание, тяжелое, натруженное, чего обычно мы не слышим.

Вдруг в этой обстановке слова Левитана: «Внимание, внимание! Человек вышел в открытое космическое пространство и находится в свободном плавании». У меня первая мысль: «Кто это?» Потом уже понял – говорят о нас. В наушники донеслось: «Алексей, вот мы здесь все собрались, члены политбюро. Заканчивай свое кувыркание, мы тебя ждем на Земле». Это были слова первого человека страны, сказанные им от души. Это подхлестнуло: я должен сделать все наилучшим образом.

Дальше все развивалось следующим образом: на восьмой минуте я почувствовал, что у меня фаланги пальцев вышли из перчаток, ноги стали болтаться в сапогах. У меня первая мысль, как же я буду сматывать фал, который я размотал на пять с половиной метров. На этом фале через каждые 50 см есть кольца диаметром два с половиной сантиметра. Я должен эти кольца надеть на замок-крюк, смотав это в бухту. А если я этого не сделаю? Тогда я не войду в корабль и не закрою шлюз. Следует учесть, что я находился в безопорном состоянии. Казалось бы, элементарная вещь, которую можно было бы предусмотреть – сделать, крепление в виде ободков, как на детских лыжах. Тогда бы я вставил в него ноги и стоял. Руки были бы свободны. Мне же предстояло выполнить операцию, то есть смотать фал, не понимая, как это сделать. К тому же, когда я начал работу, солнце било прямо в лицо. Причем так сильно, что когда солнечный поток попал на объектив фотокамеры, то прожег ее диафрагму. Я решил без светофильтра посмотреть на Землю и приоткрыл светофильтр. Ощущение, будто смотрел на электросварку или в яркий день на юге. Желтое пятно расплылось в глазах и долго не уходило. Светофильтр поглощал 98% потока.

Оттолкнулся от корабля, и меня вдруг закрутило. Стал парить в пространстве, приближаясь к антеннам. Появилась угроза запутаться в антенном поле с выпущенным на всю длину фалом. Собственно, я до сих пор не понял, как я тогда управлялся с ним и, в конце концов, ухитрился его смотать перед возвращением в корабль. На Землю не стал докладывать о своих действиях. Хотя меня предупреждали, что я должен обо всем сообщать. Но у меня на этот счет другое было суждение. Что будет дальше? Связь открытая, мне надо на весь мир заявить, что у меня проблемы. Просто начал действовать.

Когда уже после полета разбирались, что произошло, и Сергей Павлович Королев попросил объяснить мне мой поступок, я ответил, что мы просто бы потеряли время на процедуру согласований и распоряжений. Пока нашлось бы решение, меня бы уже просто не было в живых.

К сожалению, таких непросчитанных ситуаций было в полете достаточно. В тот момент я на свой страх и риск сбросил давление в скафандре и попал в зону закипания азота. Стали проявляться признаки кессонной болезни. Начали пощипывать пальцы. Но поскольку я уже находился около часа на чистом кислороде, произошло вымывание азота. Зато облегчил себя, у меня появилась подвижность. Когда пошел ногами, то понял, что у меня не хватает сил. Сунул кинокамеру в шлюз. Под руку попался леер, схватился за него правой рукой, затем за другой – левой и, как сказал академик Черток, я надел на себя корабль.

Но в нем-то надо разворачиваться, прежде всего, затем, чтобы закрыть люк. А перед этим проверить все на отсутствие посторонних предметов, но и, конечно, в случае отказа электродвигателя люка закрыть его вручную, используя вороток. Значит, я должен проделать разворот до входа в корабль, в который можно было попасть только ногами вперед. Оказалось, что это была по физической нагрузке самая сложная операция. Напряжение было столь велико, что оно вызвало у меня обильное потоотделение. Я ничего не видел, так как пот выедал глаза. Но я смог это сделать. Развернулся и вошел в корабль. Люк закрыт. Правда, уже не смог закрыть переходной люк, так как в этот момент уже совершенно ничего

не видел – пот заливал глаза. Пытался протирать глаза перчатками, но это не помогало.

Вот этим закончился мой выход в открытый космос. Моя температура за какие-то пять-шесть минут выросла на 1,8 градуса. Если же тело здорового человека нагреть больше двух градусов, то он гибнет. Мне повезло, так как мне недоставало двух десятых до обозначенной температуры. Правда, я потерял порядка шести литров влаги за это время. Потом на Земле пришлось выливать ее из скафандра.

Итак, я внутри корабля. Доложили на Землю, что задание выполнили. Продолжили выполнять программу, которая была разработана специально для этого корабля. Отстрелили шлюз. Корабль начал вращаться со скоростью 17-200 в секунду. На 16-м витке с Земли включили программу «СПУСК 1». В соответствии с программой корабль должен сориентироваться, чтобы занять устойчивую, а главное – стабильную позицию маршевым двигателем против движения. Идет ориентация. По времени корабль должен остановить вращение, однако это не происходит. Осталось 5 минут до включения двигателя. Ориентации нет. Мы находимся на другой стороне земного шара. Связи с Землей нет, советоваться не с кем и тебе никто ничего не скажет. Первое, что приходит на ум: отключить запущенную из Центра программу, а вдруг, через несколько секунд корабль займет нужное положение.

Уже много позже, когда я руководил полетами и инструктировал командиров экипажей, то советовал смело выключать программное обеспечение и переходить на ручной режим. Но предпринимать это они должны были бы в том случае, если до включения двигателя осталось 5-7 минут, а корабль не занял нужное положение и не стабилизирован.

Сейчас очевидно, что так надо делать. Но тогда никто ничего не знал. Когда мы оказались над территорией нашей страны, мы вышли на связь с ЦУПом и доложили о том, что у нас произошло. Мы уже израсходовали топливо на стабилизацию, что не было предусмотрено ранее, и попросили разрешение воспользоваться ручной ориентацией. Теперь резервная система стала основной. Но и тут оказалось не все гладко. Визир системы ориентации конструктивно был смещен на 900. Поэтому управлять кораблем в таких условиях было непросто – образно говоря, командир должен управлять машиной, глядя в боковое стекло.

Потом Сергей Павлович Королев спросил, почему мы это делали. Ведь полностью расчет был сделан на автоматическую систему, а она отказала. Пришлось вставать из кресла и ориентировать корабль. Но это было опасно, так как смещался центр тяжести корабля, и он мог закрутиться. Мы пошли на это и заняли свои места только тогда, когда включили двигатель. При расшифровке телеметрии увидели, что мы находились на границе устойчивости системы.

К тому же непонятно, почему начало расти давление кислорода. 160 мм – это нормальное давление. Давление кислорода растет, перешло критическую отметку 340 мм (гремучий газ). Оно увеличивается дальше, достигает 400 мм, 430 мм. Это – критическая ситуация. Если бы что-то заискрило, мы бы перешли в молекулярное состояние. Это больше чем бомба. Повезло, мы боролись с этой ситуаций: давление, влажность, температуры убрали до минимума. Семь часов мы боролись с аварией и даже уснули. Во сне я случайно включил тумблер поддавливания. Давление в корабле выросло до 1025 мм. Сработал клапан полета. Парциальное давление кислорода стало падать и, в конце концов, пришло в норму, упав до 160 мм. Видимо, это гигантское давление поставило все на свои места. Может тому есть еще и другая причина. До сих пор единого мнения нет.

Еще при подготовке полета на земле я решил на всякий случай просчитать аварийные витки посадки, для чего взял обычную физическую карту. Зная наклонения и все параметры орби-

ты, с помощью лекала нанес проекции 18-го и 19-го витков, определил точки включения двигателя. Зная точно время работы двигателя, наметил место посадки. Я специально ушел из центральной части страны на Север, в тайгу, где нет больших строений, труб и линий электропередач. За три дня до старта С.П. Королев застал меня за этой работой и очень удивился, когда узнал, чем я занимаюсь. Он сказал, что у нас есть целый вычислительный центр, который может это сделать. На что я ответил, что полковая кухня – это хорошо, но сухари в рюкзаке не помешают, а если связи нет? Значит, мы должны быть готовы к тому, чтобы делать это полностью в автономном режиме.

Собственно, так и получилось. Мы сделали все по карте. Приземлились с ошибкой 80 км от расчетной точки в глубокой непроходимой тайге. Сработал двигатель мягкой посадки, корабль стал проседать в глубоком снегу.

Открываем выходной люк. Он и запасной были прижаты березами. Открываем главный люк (сработал пиропатрон), расшатываем его, и он падает. Паша выбирается из корабля, проваливается в снег. Одна голова торчит оттуда. Я за ним и тоже проваливаюсь в снег. Это было 19 марта, но снег еще лежал глубиной в полтора метра.

Представьте себе картину: тайга, стоит корабль и около него из снега торчат две головы. Развернули радиостанцию, начали телеграфным ключом передавать наши координаты, которые замерили по высоте солнца системой «Сатурн». Минут через двадцать нужно было второй замер сделать, но в это время пошел такой шелестящий снег. Мы залезли в корабль, посидели, наступила темнота и тишина. Только лес трещит, как будто кто-то стреляет. Вокруг березки, звезды и никого нет.

Вентилятор в корабле еще работает, гонит воздух. Я беру палку, ткнул в него, и двигатель сгорел. Мы еще успели немного погреть руки. Днем было минус 10-12 градусов, а ночью температура упала до минус 25 градусов. Чуть позже мы вышли из корабля и тут же вернулись обратно. Начали замерзать, к тому же находиться в своем скафандре я просто не мог. Поэтому мы на этом морозе полностью скафандры с себя сняли. Паша Беляев тоже разделся, хотя ему не надо было, он решил меня поддержать. Я вылил из скафандра по три литра воды из одной ноги и из другой. Надеваю белье, оно не надевается. Спороли мягкую экранно-вакуумную изоляцию, надели на себя, а жесткую часть положили под ноги. Стропами перебинтовались и превратились в два кокона около корабля.

Над нашими головами был гигантский купол в полторы тысячи квадратных метров, но мы не смогли его стащить. Он лёг на деревья, накрыв полтора гектара леса. Нам никак было его не снять. На тренировках случалось в него заворачиваться. В нем можно при любом морозе находиться, поэтому мы попытки не прекращали. Ночью попытался еще раз стащить хоть часть купола, но не смог. Упал головой в снег и заснул.

Сквозь сон слышу рев самолета. Это прилетел ИЛ-14 и начал над нами ходить кругами. Утром услышали шум вертолета и дальние голоса людей. Оказалось, что он сутки летел из Казахстана. Мы стали стрелять, чтобы навести на себя группу спасателей. Они быстро на нас вышли. В группе были врач, инженер поиска и многие другие. Они срубили быстро домик, матрасы положили. Затем разожгли костер. На него поставили котел, литров на шестьсот, и набросали туда снега. Наша эпопея закончилась такой картиной: космический корабль, костер, котел и в нем сидят два голых человека. И дым отечества нам сладок и приятен.

Позже был очень короткий доклад «Как жить и работать в открытом космосе» на Государственной комиссии. После его окончания меня стали спрашивать, почему я не докладывал о нештатных ситуациях. Пытался объяснить, что в итоге все обошлось. Последним был вопрос: почему я

выключил вентилятор палкой? Отвечаю, что поступил так, потому что он никак не выключался.

Мне парируют: «Вы не знаете корабль!» Тут Сергей Павлович Королев говорит: «А ну, пойдем на корабль!». Корабль уже внизу стоял, его привезли. Он просит специалиста показать, где это находится. Тот входит в корабль, ищет это место под обшивкой. Затем он снимает ее и показывает два штекера, залитых эпоксидной смолой. Сергей Павлович поворачивается к нему: «Чтобы я тебя здесь больше не видел». Действительно, я больше этого специалиста не видел.

Как показал в дальнейшем анализ нашего полета, мы многое предвосхитили по сравнению с американскими астронавтами. Например, у меня был скафандр со светофильтром. Он поглощал 98 процентов светового потока. У них этого не было. Также у них не было еще клапана сброса давления в скафандре, хотя воздух подавался так же, как и мне.

Конечно, американские астронавты работали технологично. Но некоторые действия, которые у них считались штатными, у нас воспринимались аварийными. Например, полная разгерметизация корабля.

После полета мы передали НАСА полностью всю документацию о нем. Так у нас начались совместные программы, которые идут уже долгие годы. Одной из первых был совместный полет «Союз – Аполлон» в 1975 году, которому и был посвящен недавний симпозиум в день 40-летнего юбилея их стыковки. Прежде всего, это были эксперименты, связанные совместной деятельностью двух кораблей. Это и оказание помощи друг другу, и исследование солнечной короны, кислорода, азота, водорода в атомарном состоянии, и многое другое. Главное, что эту программу можно было осуществить только усилиями двух кораблей.

Конечно, для этого надо было уметь понимать друг друга. Поэтому одной из задач, которые перед нами стояли, было изучение языка. Когда мы начали работать, мы уже знали английский язык, они – русский. В общем, получился язык, который назывался «рустан» или «русский хьюстон». По нашему убеждению, мы использовали три языка: русский, английский и «оклахомский».

За эти годы мы многому научились друг у друга и сделали соответствующие выводы. В итоге изменили и сам процесс подготовки космонавтов. Прежде всего, мы учим английский язык как язык общения. Сейчас всех, кто приходят в отряд, мы учим работать в открытом космосе. Если раньше для выполнения этой работы отбиралась отдельная группа людей, то сейчас обучаются все. К тому же мы существенно изменили скафандр. Если мой скафандр я сам не мог надеть, и мне помогали коллеги, то теперь он надевается самостоятельно. У него открывается спина, и ты заходишь в него, как в холодильник. Если у меня было 60 литров воздуха для вентиляции дыхания, то сейчас – 360. Появилась терморубашка, которой у меня и в помине не было. Поэтому странно слышать, что космонавты жалуются: у них мерзнут ноги.

Видно невооруженным глазом, что мы за эти годы шагнули далеко вперед в освоении космического пространства. Особенно это относится к работе человека в открытом космосе. Недавно был выход Анатолия Соловьева, который работал одиннадцать часов в открытом космосе, и еще в запасе у него было время. На счету у него шестнадцать таких выходов. Очевидно, и этот далеко не последний.

Внекорабельная деятельность становится важной частью российской программы по дальнейшему освоению космоса, особенно в рамках подготовки к длительным полетам.

П.И. КЛИМУК

Космонавт, дважды Герой Советского Союза

P.I. KLIMUK

Cosmonaut, Twice Hero of the Soviet Union

НАУКА О КОСМОСЕ – В ЭТОМ ВЕЛИЧИЕ СТРАНЫ

Ключевые слова: *космические технологии, внеатмосферные астрономии, дистанционное зондирование, космическая обсерватория, безопасность.*

Аннотация: *Каково состояние науки о космосе на сегодняшний день? Есть ли у нее будущее? Что нужно сделать, чтобы она была востребована в стране, чтобы мы гордились ее историей? Насколько знание того, как Россия осваивала космос, будет способствовать тому, чтобы многие дети сегодня мечтали стать космонавтами и покорять просторы Вселенной? На эти вопросы нашим корреспондентам Николаю Сердюку и Алене Руснак отвечает дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт, генерал-полковник авиации в отставке, доктор технических наук Петр Климук.*

SPACE SCIENCE ADDS TO THE COUNTRY'S GREATNESS

Keywords: *space technology, space astronomy, remote sensing, space observatory, safety.*

Abstract: *What is the state of space science today? Does it have a future? What you need to do it to be in demand in the country, that we were proud of its history? How far the knowledge of domesticating space in Russia will help to promote today's children the dream of becoming astronauts, and to conquer the Universe. Twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut, Colonel-General Retired, Ph.D. Peter Klimuk meets the questions of our correspondent Nikolai Serdyuk and Alena Rusnak.*

П.К.: Начну с главного – с определения места науки о космосе в контексте космической деятельности, которая на данный момент многогранна. Определение космической деятельности полностью заимствованно из Договора по космосу 1967 года (ст. III), в котором записано: «Государства – участники Договора осуществляют деятельность по исследованию и использованию космического пространства, в том числе Луны и других небесных тел, в соответствии с международным правом, включая Устав Организации Объединенных Наций, в интересах поддержания международного мира и безопасности и развития международного сотрудничества и взаимопонимания».

В год юбилея ООН это для нас очень важно, так как говорит о том, что исследование космоса возможно только совместными усилиями мирового сообщества. В то же время страны, освоившие соответствующие технологии его изучения, займут лидирующее положение в мире. Поэтому даже принятое в Законе РФ «О космической деятельности» определение космической деятельности уже нуждается в определенной корректировке, так как не в полной мере отражает современное состояние дел в отечественной и ми-

ровой космонавтике. Поэтому, принятый 20 августа 1993 года, он дополнялся 29 ноября 1996 года и 10 января 2003 года.

На данный момент в соответствии с ним «под космической деятельностью понимается любая деятельность, связанная с непосредственным проведением работ по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела» (ст. 2 – «Понятие космической деятельности», п. 1).

Космическая деятельность также «включает в себя создание, в том числе разработку, изготовление и испытания, использование (эксплуатацию) космической техники, космических материалов и космических технологий и оказание иных связанных с космической деятельностью услуг, а также международное сотрудничество Российской Федерации в области исследования и использования космического пространства» (ст. 2, п. 2).

Таким образом, по мнению исследователей, национальная космическая деятельность – любая деятельность, связанная с доступом в космос, непосредственно в космосе, через космос и из космоса для достижения определенных целей: политических, научных, экономических, военных, информационных, экологических, коммерческих и т.д. В ряду ее важнейших направлений являются:

- научные космические исследования;
- использование космической техники для связи, телевизионного и радиовещания;
- дистанционное зондирование Земли из космоса, включая экологический мониторинг и метеорологию;
- использование спутниковых навигационных и топогеодезических систем;
- пилотируемые космические полеты;
- использование космической техники, космических материалов и космических технологий в интересах обороны и безопасности Российской Федерации;
- наблюдение за объектами и явлениями в космическом пространстве;
- испытания техники в условиях космоса;
- производство в космосе материалов и иной продукции;
- другие виды деятельности, осуществляемой с помощью космической техники.

Вот, собственно, это и есть спектр научного познания космоса, который определяет ее сегодняшний день и ее развитие. Как видите, научные исследования находятся на первой позиции.

КОРР.: Раз мы определили место науки в космической деятельности и основные ее направления, то, очевидно, необходимо задаться вопросом: как они реализуются в нашей стране в последние десятилетия?

П.К.: Буквально в последние годы определилась государственная политика России в области космической деятельности. Очевидно, что ряд юбилейных дат заставил нас обратить более пристальное внимание на космические исследования, уровень и качество которых свидетельствовали о мировом престиже нашей страны в освоении космоса. Это и пятидесятилетие в 2011 году первого полета Юрия Гагарина, и пятидесятилетие в 2015 году выхода в открытый космос Алексея Леонова, и другие менее значимые, но важные для науки даты.

Как следствие, по мнению генерального директора НПО им. С.А. Лавочкина Виктора Хартова, в ближайшие 15 лет на спутнике нашей планеты должна появиться специальная космическая обсерватория, а после 2030 года – и постоянно действующая космическая база. Как утверждает ученый, первоначально освоение Луны будет вестись роботами, а впоследствии – и человеком. В рамках лунной программы российские инженеры трудятся также над созданием космического аппарата «Луна-Глоб», который позволит ученым производить изучение спутника Земли как дистанционными, так и контактными методами.

КОРР.: В данном случае это в определенной степени возвращение к истокам нашего изучения космоса, так, вы с января 1967 до 1969 года проходили подготовку в группе космонавтов для полета на КК Л-1 по программе облета Луны в качестве командира экипажа.

П.К.: Да, я участвовал в подготовке лунного проекта, мы отрабатывали навыки пилотирования СА корабля при входе в атмосферу Земли со второй космической скоростью. Более основательно изучали вычислительную технику. Но, к сожалению, он был закрыт. Однако не будем забывать, что американские астронавты побывали на Луне, да и наш луноход тоже достиг лунной поверхности. Поэтому строительство лунной базы – это вполне реальный проект, который возвращает нас к начатому нами же изучению Луны, так же как и дальнейшее изучение Марса и полет на него.

Полномасштабное освоение космоса жителями Земли – это сложный процесс, который состоит из этих и других событий, таких как практически признанное состоявшимся взятие пробы грунта с астероида, попытки достичь другие планеты солнечной системы. Так, другая миссия российских ученых и инженеров обращена в более далекое космическое пространство: к спутнику Юпитера – Ганимеду. Работу по проекту в настоящее время ведут сотрудники Института космических исследований РАН, Института прикладной математики им. М.В. Келдыша и ряд других российских институтов. По прогнозам ученых, современная наука сможет справиться с возникающими техническими трудностями, связанными с обеспечением радиационной защиты космических кораблей, примерно к 2026 году.

КОРР.: Каким образом? Что является научной основой исследований о космосе?

П.К.: Если судить по моему опыту работы в космосе, то эксперимент – это основа исследовательских программ, которые в каждом полете были в достаточном количестве. Очевидно, экспериментально они найдут решение, как справиться с ними и обеспечить радиационную защиту космических кораблей.

Сужу по собственному опыту. Я принимал участие в трех полетах. Провел в космосе в общей сложности 78 суток 18 часов 18 минут 42 секунды. Конечно, все эти полеты имели основные экспериментальные программы, но с дополнительными работами. Так, с 18 по 26 декабря 1973 года в качестве командира экипажа КК «Союз-13» мы работали вместе с Валентином Лебедевым по основной астрофизической программе «Орион-2» и ряду других, ее дополняющих.

Второй полет состоялся с 24 мая по 26 июля 1975 года, в котором я летал в качестве командира экипажа КК «Союз-18». Мы вместе с Виталием Севастьяновым, который был бортинженером, принимали вторую экспедицию на ДОС «Салют-4». Провели 63 дня в космосе – сегодня такое не производит впечатления. На станции «Мир» летали по году и даже полтора. Но в 1975 году это было фантастическим достижением и абсолютным рекордом нашей страны. За нас очень волновались на земле, так как до нас в невесомости никто и месяца не провел, поэтому нам ничего не оставалось, как все время шутить и веселиться. Кто кого подбадривал: мы землю или она нас, сегодня не разобраться.

Но простой ту экспедицию назвать никак нельзя, так как помимо наших основных исследовательских программ, мы принимали гостей. Как раз во время нашего полета в космосе состыковались «Союз» и «Аполлон». Вполне очевидно, что экипажам Леонова и Стаффорда было уделено больше внимания на земле. Особенно запомнилось, когда Леонов говорит на прощание: вы летайте, а мы включаем двигатели «на домой». У нас такого нет, двигатели «на торможение». Вот тут мы с Виталием сели, и нам уже не до смеха, грустно стало. Мы остаемся, а «Союз» и «Аполлон» уже садятся. Но работа остается работой.

В том полете мы много занимались изучением невесомости, проводили комплексные исследования реакций организма человека на действия факторов длительного космического полета и испытывали различные средства профилактики неблагоприятного действия невесомости. Так же выполняли достаточно напряженную программу научных экспериментов по исследованию Солнца, планет и звезд в широком диапазоне спектра электромагнитных излучений. Мы впервые проводили комплексное фото- и спектрографическое исследование полярных сияний, а также редкого явления природы – серебристых облаков.

Третий полет состоялся с 27 июня по 5 июля 1978 года, в котором я опять был в качестве командира экипажа КК «Союз-30» и советско-польской экспедиции посещения ДОС «Салют-6», вместе с М. Гермашевским. В нем были свои центровые исследования и им сопутствующие эксперименты.

Корр.: Не могли бы вы более подробно рассказать о научной программе одного из ваших полетов.

П.К.: Каждый полет – это одновременно самостоятельная научная программа и продолжение той, которую вели космонавты в предыдущих полетах. Так, главная задача «Союза-13», которую нам пришлось выполнять вместе с Валентином Лебедевым, – орбитальная астрофизическая обсерватория. Для проведения астрофизических исследований на корабле «Союз-13» был установлен комплекс аппаратуры «Орион-2», задачей которой было получение снимков спектров (спектрограмм) звезд в ультрафиолетовой области. Телескоп системы «Орион-2» с фотоприставкой устанавливался снаружи орбитального отсека на месте стыковочного узла, который имеется на некоторых кораблях серии «Союз».

Но это было и продолжение исследований, которые проводил в 1971 году экипаж орбитальной станции «Салют-1» с помощью установленных на ней звездного телескопа «Орион-1» и гамма-телескопа. Эти работы дали первые результаты. Они полностью подтвердили правильность выбранных методов внеатмосферной астрономии и схемы их реализации.

В данном случае для нас было важно, что коллеги опробовали принципы работы с внеатмосферной обсерваторией. Они, собственно, и выстроили эксперимент, который нам уже было проще повторить.

КОРР.: Петр Ильич, как пример – расскажите, пожалуйста, как проводится этот эксперимент?

П.К.: Экспериментов было много, но раз заговорили о программе первого полета, то данный эксперимент проводился следующим образом. Командир ориентирует корабль так, чтобы через иллюминатор бортинженер видел определенный участок неба. Тот находит там нужную опорную звезду для системы ориентации и стабилизации, затем направляет на нее трубку визирного устройства. После этого вступает в действие автоматика. Один из звездных датчиков захватывает эту звезду, а второй – другую, расположенную под довольно большим углом от нее.

Обсерватория автоматически стабилизируется так, чтобы все время держать в поле зрения датчиков эти две опорные звезды. Бортинженер включает автоматику системы, которая с той или иной экспозицией проводит съемку звездного неба.

Благодаря коллегам мы уже знали, где могут возникнуть трудности, и были к ним готовы. Это позволило многие фазы эксперимента провести быстрее. Например, для того чтобы предохранить приборы от вибрации, ударов и перегрузок, неизбежных во время работы двигателей при выводе на орбиту, система жестко крепится к корпусу корабля с помощью пирозамков в специальном транспортном положе-

нии. Мы уже в первый же день после старта вместе с В. Лебедевым освободили обсерваторию от «захвата» этих замков и приступили к настройке аппаратуры.

Как результат, в ходе восьмисуточного орбитального полета было проведено 16 сеансов спектрографирования излучения звезд различных участков неба. Тем самым была полностью выполнена намеченная программа.

КОРР.: Каковы ее результаты?

П.К.: О них уже говорят ученые. Кстати, замечу, что каждая программа имеет свое научное руководство. Так, научным руководителем данного эксперимента был член-корреспондент Академии наук Армянской ССР Григор Арамович Гурзадян. Он достаточно высоко оценил нашу работу, сказав о нашей работе с «Орионом-2», что космонавты действовали просто великолепно – слаженно, четко, быстро. Конечно, это важно для нас.

Когда кассеты с отснятой пленкой вернулись на Землю и их проявили, то астрономы получили возможность изучать Вселенную в ультрафиолетовом свете. А именно в ультрафиолетовом излучении зашифрована ценнейшая информация о многих процессах, разыгрывающихся в атмосфере звезд. Снимки ультрафиолетовой части спектра столь слабых звезд тогда были получены впервые. Это доказывает большую перспективность использованного метода изучения звездных спектров.

Позже просмотр астрономами фотографий неба показал, что нам удалось получить богатейший материал – зарегистрированы спектрограммы нескольких тысяч звезд (общее число спектрограмм порядка 10.000). Причем в отдельных случаях было зарегистрировано излучение весьма удаленных светил – до 12-й звездной величины и слабее! Мы осуществили съемку отдельных областей звездного неба в созвездиях Тельца, Ориона, Близнецов, Возничего.

Но чтобы получить эти материалы, мы работали с «Орионом» по девять часов в сутки, ясно, что это непросто. Не жаловались, работали с большим желанием и еще просили руководителей полета изучить возможность проведения дополнительной программы исследований.

КОРР.: Результаты ваших наблюдений, на ваш взгляд, нужны больше для науки или все-таки они применимы и для развития экономики страны? Ведь не секрет, что потеря интереса к космосу в 90-е годы во многом имела конкретные причины. Дескать, СССР создал мощнейшую космическую индустрию, запрограммированную на устойчивое производство инновационных технологий. Однако для экономики страны эти технологии оставались чересчур «штучными», «витринными». Сегодня что-то изменилось в этих подходах?

П.К.: Безусловно, прежде всего, научные исследования, проводимые в космосе, способствуют развитию науки о Вселенной в целом, а также появлению новых чрезвычайно важных и интересных научных направлений. Так, одному из них положило начало спектрографирование сумеречного ореола на восходе и заходе Солнца, тех самых знаменитых космических зорь. Благодаря этим нашим наблюдениям ученым Санкт-Петербургского государственного университета во главе с членом-корреспондентом АН СССР К. Кондратьевым удалось создать глобальную оптическую картину атмосферы Земли. Было официально зарегистрировано открытие вертикально-лучевой структуры дневного излучения верхней атмосферы. А все потому, что мы увидели, будто бы с поверхности Земли направлены вверх мощные лучи прожекторов.

Таких примеров за десятилетия, что наша страна пребывает в космосе, много, когда развитие этих визуальных исследований с помощью спектральных приборов позволяет наладить глобальное изучение атмосферы земного шара. В частности, ее запыленности, загрязненности бурно развивающейся промышлен-

ностью. Увеличение интенсивности стратосферных полетов у некоторых вызывает тревогу за существование слоя озона, который задерживает губительное ультрафиолетовое излучение на больших высотах и не пропускает его к земной поверхности. Исследование динамики структуры всей атмосферы, влияния на нее человеческой деятельности весьма важно для понимания сущности метеорологических процессов, изменений климата. Охрана природы в наши дни уже должна распространяться и на космические просторы.

Что касается внедрения достижений космической науки в народное хозяйство, то всегда у нас были с этим недоработки. Мы все время запаздываем. И все-таки это не значит, что ничего не надо делать. Скажем, мы доставили новый материал наблюдений для ученых, занимающихся космическим землеведением, и сегодня это стало одним из самых перспективных народнохозяйственных направлений использования космической техники.

Научившись надежно расшифровывать спектры тех или иных природных образований, мы все-таки начали вести регулярные наблюдения за состоянием лесов, быстро выявлять площади, пораженные вредителями, предупреждать о пожарах, оценивать, имеет ли смысл вырубать горелые участки. Пусть пока это делается не в должных масштабах, порой в критических ситуациях, но делается. Для сельского хозяйства космическая наука открыла заманчивую перспективу быстрой оценки будущих урожаев на больших территориях, определение степени зрелости посевов, влажности почв, прогноз интенсивности паводков. Что-то из этого уже вошло в нашу жизнь, что-то вот-вот будет востребовано, хотя бы потому, что мы сейчас серьезно начали заниматься сельским хозяйством в условиях санкций. Наконец, в развитии этой народнохозяйственной отрасли увидели проблему безопасности страны, что позволяет говорить о ее техническом перевооружении. Следовательно, без наработок космической науки не обойтись.

Уже не только Россия, но и наши ближайшие соседи этими наработками пользуются. Сейчас я занимаюсь проблемами дистанционного зондирования в Белоруссии, так как родом оттуда. Родился в партизанском отряде, куда спешно ушла вся семья. Как и у большинства детей того времени, отец погиб в Великую Отечественную войну. Кстати, мы с В.В. Коваленком, который тоже родом из Белоруссии, до сих пор считаемся белорусскими космонавтами. Еще белорус среди наших космонавтов Олег Новицкий.

Так вот сейчас в Белоруссии есть мощное проектно-конструкторское предприятие в области оптико-электронного приборостроения «Пеленг», которое строит целевые аппараты для дистанционного зондирования с разрешением в два метра. В данном случае это необходимо и достаточно для сельского и лесного хозяйства, для экологического мониторинга и решения других производственных задач.

В России создан такой же космический аппарат «Конопус-В» с белорусской целевой аппаратурой, который был запущен вместе с белорусским спутником дистанционного зондирования «БКА» российским ракетоносителем. Так была создана Российско-Белорусская космическая группировка спутников дистанционного зондирования Земли.

Сейчас Россия еще заказала Белоруссии четыре таких аппарата. Это пример и сотрудничества, а у нас с Белоруссией есть космическая группировка, и постепенного внедрения результатов космической науки, инновационной по своей сути, в отечественное производство.

КОРР.: Это свидетельство значимости пилотируемой космонавтики, которая тоже в определенное время бралась под сомнение: нужна она или нет?

П.К.: Сегодня вроде это стало очевидным, но все-таки такое мнение существует: полностью

заменить человека роботами в космических полетах. Но вряд ли это получится. Еще раз говорю о том, что многие научные направления и реализация достижений космической науки в практику закладывались в 70-е годы во время первых пилотируемых полетов, а развивались на протяжении всех последующих пилотируемых полетов.

Сужу по собственному опыту. Научная программа корабля «Союз-13» не была ограничена только вопросами астрофизики. Спектр исследований на нем, которые мы проводили, был весьма широк, разнообразны были и объекты изучения – от микроорганизмов до целых галактик. Регулярно мы фотографировали Солнце с помощью прибора, включенного в систему «Орион». С его борта провели также эксперимент по фотографированию земной поверхности в различных участках солнечного спектра.

Но параллельно мы выполняли очень много медико-биологических экспериментов по соответствующей программе с использованием аппаратуры «Левкой», что позволило изучать особенности кровообращения головного мозга в различных стадиях периода адаптации. В условиях невесомости с помощью системы «Оазис-2» исследовались возможности получения белковой биомассы.

Причем мы с В. Лебедевым включили биологотехническую систему, именуемую «Оазис-2», буквально в первый же день после выхода на орбиту «Союза-13». Это действительно был маленький оазис жизни, который в будущем позволит человеку обжить космическое пространство. И опять это было продолжение исследований, начатых на борту «Салюта-1», где успешно работал «Оазис-1» с высшими растениями, на котором проверялась возможность создания космических оранжерей и огородов. Теперь эстафету исследований на нашем корабле приняли микроорганизмы – водородные бактерии и уробактерии.

Полагаю, роботы смогут выполнить все эти работы. Запускать аппаратуру и считывать получаемые данные. Но смогут ли дать доподлинную информацию о том, как человек может выжить в столь неприемлемой для себя среде, не уверен.

Я уже не говорю об эмоциональном восприятии космоса, что тоже немаловажно и для научного осмысления Вселенной. Если же говорить о самом необыкновенном, самом впечатляющем зрелище из тех, что мне довелось увидеть, так это гроза в тропиках. Я когда увидел ее, то буквально обомлел. Громадное пространство Земли пронизывают зигзаги огня, сполохи, непрерывные вспышки света. До сих пор стоит перед глазами эта картина. Запомнилось также северное сияние – громадные волны света перекатывались под нами. Грандиозно и красиво. Да и много другие явления в космосе необычны, к которым трудно привыкать.

КОРР.: Правда, что за одни сутки в космосе, вы видели 16 рассветов и 16 закатов? Время в космосе проходит как-то быстрее или медленнее?

П.К.: Нет, время течет одинаково с Землей. Единственное, что оно воспринимается по-другому. Космическая станция за сутки облетает Землю 16 раз, так как она вращается вокруг Земли 90-95 минут, а сама Земля поворачивается в течение 24 часов. Вот и получается, что за одни сутки космонавты проживают 16 восходов и 16 закатов солнца. С временами года происходит такая же неразбериха: на севере – зима, на юге – лето, и наоборот. В этих условиях человеку необходимо научиться жить, но сначала узнать о них, понять, почему в космосе многое по-иному устроено.

КОРР.: Петр Ильич, вы имеете в виду программы по жизнеобеспечению?

П.К.: Да, конечно, программы по жизнеобеспечению. Ими мы в большей степени занимались уже во время второго моего полета с Виталием Севастьяновым. Очевидно, пища для человека играет первостепенную роль. Космонавт – не

исключение, но питание в космосе – это особая тема разговора. В Москве был создан специальный комбинат, который готовил пищу для полетов в специальных тубах, вакуумной упаковке.

Сначала мы пробовали ее на Земле, а потом заказывали на борт. Причем учитывались наши пожелания. Правда, обычно съедалось то, что нравилось, а потом, что оставалось на корабле. Поэтому мы ответственно готовились к встрече экипажей кораблей «Союз» и «Аполлон», которые прилетели к нам по программе. Начали мы с дегустации отечественной еды, а потом пробовали американскую пищу. Все остались довольны супом-харчо, телятиной, черносмородиновым соком и прочим содержимым туб, консервных баночек и полиэтиленовых пакетов.

Но, конечно, жизнеобеспечение – это не только еда. Со времени наших полетов многое изменилось. Комфортнее стало летать: больше выбор продуктов питания, душ есть, развлекательные программы предусмотрены. А в наших полетах была только система профилактики, состоящая из вакуумной емкости, беговой дорожки и еще каких-то незначительных добавлений. Мы не только это осваивали, но и привносили свое.

КОРР.: Петр Ильич, ведь вы получили Государственную премию именно за разработку системы безопасности при длительном космическом полете, не так ли?

П.К.: Совершенно верно. Мы с В. Севастьяновым работали по программе Института медико-биологических проблем. Среди множества экспериментов, которые нами были выполнены, были и исследования влияния невесомости на мозговое кровообращение. Мы работали с помощью современной, для тех времен, аппаратурой «Левкой», регистрировали наполнение сосудов головного мозга кровью как в спокойном состоянии, так и после дозированных нагрузок – тридцатикратного растягивания эспандера с усилием в пятнадцать килограммов.

Благодаря этим исследованиям у медиков появилось представление об изменениях головного кровообращения. И не только у медиков. Например, математическими расчетами при образовании невесомости на центрифуге занимался ректор МГУ имени М.В. Ломоносова В.А. Садовничий и его коллеги из университета.

Может быть, объединив усилия, ученые когда-нибудь изобретут «противоядие» даже от невесомости, что, конечно, во многом упростит пребывание человека в космосе. Наверное, поэтому у всех, кто в той или иной степени соприкоснулся с внеземной жизнью, потребность в улучшении условий пребывания в космосе становится постоянной величиной. Конечно, мы делимся опытом не только между собой, но и на международном уровне. Были польщены, когда американцы в лице Стаффорда, который нас посещал во время полета, многое из технологий жизнеобеспечения у нас позаимствовали.

КОРР.: Очевидно, стремление экспериментировать заложено практически в каждом космонавте, так как он оказывается в непривычной для себя среде?

П.К.: Оно становится естественной потребностью, если определить более точно. Так, в нашей среде космонавтов принято считать, что со второго белорусского космонавта Владимира Коваленка началась эра экспериментов в космосе. Перед его вторым полетом на пресс-конференции девочка Таня спросила: «Дядя-космонавт, а как горит спичка в космосе?» Вопрос всех поставил в тупик. И тогда он тайком пронес спичку на борт корабля и там ее зажег. Эта история со спичкой была на уровне хулиганства, но в итоге получился научный эксперимент.

В 2007 году мы нашли в Крыму эту девочку Таню. Она стала учительницей и больше 50 лет не знала, что благодаря ее вопросу в космосе стали экспериментировать. Так, В. Коваленок стал первым, кто узнал, как горит спичка в космосе. Оказалось, совсем не так, как на Земле.

Таких примеров я могу привести много. Главное, что на сегодня многие из тех исследований, которые мы проводили, получили свое развитие на более совершенной аппаратуре с отработанными методиками. В начале прошлого века Циолковский в своем труде «Исследования мировых пространств реактивными приборами» писал, что «... только с момента применения реактивных приборов начнется новая великая эра в астрономии – эпоха более пристального изучения неба». Как и многие другие прогнозы основоположника космонавтики, этот оказался пророческим. Ракетная техника открыла перед астрономией, и не только перед ней, а перед всем комплексом научных исследований космоса и новые заманчивые горизонты исследований.

Но при этом не следует забывать, что все научные программы могут быть реализованы только при наличии постоянно обновляющейся технической базы и многоуровневой и многофункциональной инфраструктуры на Земле. Для того, чтобы при выполнении научных экспериментов можно было отрабатывать усовершенствованные приборы и методы ориентации, обеспечивающие высокую точность их проведения, необходимо, чтобы полет корабля надежно обеспечивался средствами наземного командно-измерительного комплекса. Он включает в себя измерительные пункты, расположенные на территории всей нашей страны и наших соседей, научно-исследовательские суда Академии наук и другие инфраструктурные объекты. В их число входит и Звездный городок со всем комплексом подготовки космонавтов.

КОРР: Об этом свидетельствует уже ваш опыт руководителя РГНИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, который вы возглавляли с 1991 года по 2003 год?

П.К.: Да, в определенной степени, так как это было сложное время для космических исследований. Начало 90-х годов многим запомнилось тем, что Россия была готова отказаться не только от станции «Мир», но и от всей пилотируемой космонавтики. Она закрывала одну за другой амбициозные программы. Сокращались расходы на космос. Здания в Звездном городке надо было ремонтировать, нужны были деньги, а денег государство не давало. Тогда никто не знал, как правильно заключать контракты, часть денег центра пропала в развалившемся банке, проблемы казались неразрешимыми.

Именно в этот кризисный момент я и принял в качестве командира Звездный городок. Порой казалось, что руководить ЦПК в те годы было сложнее, чем работать в космосе, на одной из первых орбитальных станций «Салют».

Однако за 26 лет, в течение которых я был одним из руководителей Центра, многое удалось построить в Звездном городке, отремонтировать все здания, построить новые современные тренажерные залы. Они представляют собой целые комплексы с космическими кораблями, гидробассейном глубиной 12 метров, на дне которого также находится космический корабль, где для подготовки космонавтов создаются условия невесомости. За эти же годы удалось наладить контакты с США и Европой. Правда, приходилось находить новые подходы. Так родилась идея космического туризма, когда не от хорошей жизни пришлось брать на борт наших космических кораблей туристов. Но оказалось, что именно за счет космического туризма у Центра появилась возможность поддерживать в нормальном состоянии всю инфраструктуру не только Звездного городка, но и далеко за его пределами.

Все-таки следует признать, что мы многое в эти годы потеряли, и потери эти порой были невосполнимы. Не говорю о Байконуре, который сейчас в определенной степени заменяет Плесецк, а в будущем Восточный.

Но есть еще один пример – это крымский сегмент наземных структур, с помощью которых велось наблюдение за космосом. В Крыму, начиная с 70-х годов, работал Центр управления полетами, откуда шло общение с космонавта-

ми. Нам пришлось его перевести из Евпатории в Подлипки.

Утратили мы в Крыму и хорошую базу для подготовки космонавтов в критических условиях, например, приводнения. Все космонавты первых наборов именно там отрабатывали прыжки с парашютом не только на воду, но и на сушу. Это могла быть степь, а могли быть и горы. Программу случайного приводнения мы с Мирославом Гермашевским, которая рассчитана на несколько часов, отрабатывали именно здесь. В спускаемом аппарате, в который нас посадили, нас и выбросили за борт. Море было неспокойно – стояла так называемая «мертвая зыбь». Ветра не было, а волны двигались беспорядочно, сталкиваясь и разбегаясь. Спускаемый аппарат кувыркался, как щепка в ручье. Не то чтобы выполнять какую-либо работу, но даже чтобы только усидеть на одном месте, приходилось упираться и цепляться за все, что придется.

Мирослав, раскрывая один из пакетов, наклонился, и вдруг прямо перед ним на брезент попала струйка воды. Он испугался и кричит мне:

—Петр, мы прохудились.

Я смотрю на него и смеюсь. Мирослав ничего не понимает.

— Давай сигнал, пусть забирают нас отсюда. Видишь, течем.

А я не могу остановиться, так Мирослав не чувствует, что от перенапряжения эти частые капли падают с его лица.

— Утонем?! – кричит он, но уже с некоторым сомнением в голосе.

— Ну, – отвечаю ему, – если из тебя выжмется тонны две пота, тогда, может, и утонем. Вот так в экспериментальном порядке мы отрабатывали условия приводнения.

Так что Крым мне дорог и личными воспоминаниями. В последние годы мы морские испытания проводим в Подмосковье.

КОРР.: Но очевидно сейчас появилась возможность все это вернуть, так как Крым теперь – это Россия?

П.К.: Да, думаю, что сегодня мы возвращаем эту структуру, и это одна из наших первоочередных задач. Но вопрос в том, что мы сегодня получим?

К сожалению, она находится в плачевном состоянии. Разрушено практически все. Одни из самых на тот момент современных антенн и посадочная полоса для «Бурана» были уничтожены в 1991 году. Знаменитая на весь мир Крымская обсерватория существует, но находится на грани выживания.

Когда мы с В. Лебедевым готовились к выполнению исследовательской программы по спектрографированию, то обучаться ездили к сотрудникам этой обсерватории. Без их помощи мы вряд ли так качественно справились бы с поставленными перед нами задачами в том, да в последующих полетах.

Нам следует признать, что вывод телескопов в открытый всем излучениям космос – шаг поистине революционный. Орбитальный телескоп с диаметром зеркала в один метр, по расчетам, оказывается эквивалентным примерно пятиметровому наземному. А трехметровый орбитальный телескоп был бы эквивалентен наземному телескопу с диаметром зеркала в 15 – 20 метров. С помощью такого телескопа можно было бы фотографировать крупные планеты типа Юпитера у ближайших к нам звезд. Но создание таких крупных орбитальных телескопов – дело будущего. Когда они появятся, тогда земная наука сможет исследовать излучение Вселенной, которое вообще не доходит до земной поверхности.

Но и сегодня наличие уже существующей ракетной техники во многом обязано тому, что у нас в стране были созданы обсерватории, подобные Крымской, которые отвечали самым высоким технологическим требованиям на тот

момент. Используя результаты исследований, проведенных их сотрудниками, мы смогли на «Союзе-13» запустить, в сущности, внеатмосферную обсерваторию и начать исследование звезд на принципиально другом технологическом уровне.

Таких прорывов сделано было немало, но, полагаю, еще много будет сделано в ближайшем будущем. Конечно, восстановим мы и крымскую базу, но на это потребуется время и средства.

КОРР.: Петр Ильич, вашему оптимизму можно позавидовать, собственно, как и вашей биографии. Вы трижды летали на орбиту в 70-е годы, прослужили в ВВС 44 года, стали одним из четырех космонавтов, дослужившихся до звания генерал-полковник. Под вашим руководством подготовлено 28 экипажей для «Мира» и МКС, а все награды ваши едва умещаются на парадном кителе. Вы автор книг «Рядом со звездами: книга одного полета» и «Атака на невесомость», соавтор патента «Способ профилактики термодинамических нарушений». К тому же 12 июня 2014 года в Культурно-просветительском центре имени В.В. Терешковой в рамках проекта «Дорога к Звездам» состоялось торжественное мероприятие, посвященное открытию вашей звезды на «Аллее космонавтов». Все ваши должности и звания сложно перечислить. Имея такой жизненный опыт и успев столько сделать, скажите, пожалуйста, что нужно предпринять, чтобы вернуть России ее былой статус космической державы?

П.К.: Сегодня нашей стране не просто, но у нее есть все шансы определять стратегию исследования космоса, так как его освоение вызвано, прежде всего, научными целями. Оно обладает ценностью общечеловеческой. Вообще, серьезные успехи в космонавтике невозможны без объединения усилий всех людей Земли, и, соответственно, объединяться они будут только ради всеобщих целей – познания Вселенной, чтобы лучше познать Землю.

Сейчас в космосе 43 страны имеют на орбите свои космические аппараты. У России их около 100, у США – больше 400, у японцев – 30. Свои спутники есть даже у Таиланда. Всего на околоземной орбите находится около 800 летающих аппаратов. Как видите, в космосе места хватает всем.

Теперь заниматься космосом не только престижно, это значит обладать самыми передовыми технологиями, обогащающими национальную промышленность. Мобильная связь, спутниковое телевидение, радио, навигация, разведка земных недр, метеорология, картография – это далеко не полный спектр научных направлений, которые стали результатом освоения космоса на данный момент. Если у страны нет выхода в космос, она остается на обочине прогресса и будет вынуждена за огромные деньги покупать «космическую» информацию у других.

Поэтому нам очень важно, чтобы у космической науки было будущее. Для этого нужны молодые люди, которые в нее придут и будут заинтересованы в разработке этих перспективных направлений. Но для этого они должны знать историю науки о космосе – это очень важно для страны, для подрастающего поколения. Они должны увидеть, что этим можно гордиться. Собственно, об этом мы и говорили сегодня, вспоминая отдельные эпизоды недавнего прошлого.

История науки о космосе сегодня – это лучшее доказательство тому, что Россия никогда не уходила из него, и никогда не уйдет. Именно она свидетельствует о величии нашей страны.

КОРР.: Спасибо за беседу!

В.А ИВАНОВ,
Доктор технических наук, профессор
V.A. IVANOV
Doctor of Technical Sciences, Professor

С.А. КУПРЕЕВ
Кандидат технических наук, доцент
S.A. KUPREEV
Ph.D. in technical sciences, Associate Professor

М.Р. ЛИБЕРЗОН
Доктор физико-математических наук, профессор,
вице-президент Российской инженерной академии
M.R. LIBERZON
Doctor of physical and mathematical sciences, Professor,
Vice-president of the Russian Academy of Engineering

УДК 629.76

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОСМИЧЕСКИХ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: *космические тросовые системы (ТС), связка космических аппаратов (КА), базовый объект (БО), привязной объект (ПО), летательный аппарат (ЛА), эксперимент.*

Аннотация: *в статье отражен опыт практического использования технологий тросовых систем (ТС) для решения научных, народнохозяйственных и специальных задач, комплекс всесторонних исследований механики, электродинамики и радиофизики ТС.*

PROMISING COURSE FOR PRACTICAL USE OF THE SPACE CABLE SYSTEMS

Keywords: *space tether system (STS), a bunch of spacecraft (BS), the base object (BO), a tethered object (TO), aircraft, an experiment.*

Abstract: *the experience of the practical use of technology cable system (TS) for scientific, national economic and special tasks, the complex comprehensive studies of mechanics, electrodynamics and radiophysics vehicle has been reflected in this article.*

Космические тросовые системы (ТС) являются новыми нетрадиционными космическими структурами, позволяющими выполнять задачи, которые невозможно, нецелесообразно или неэкономично решать с помощью существующих средств космической техники. По современным представлениям, ТС – это комплекс искусственных космических объектов (спутников, кораблей, грузов), соединенных гибкими элементами (тросами, кабелями, шлангами), совершающий орбитальный полет. Чаще всего ТС представляют в виде связки двух космических аппаратов (КА). Космические ТС характеризуются следующими свойствами:

1) различная протяжность ТС, от нескольких метров до сотен километров, обеспечивающая выполнение многих практических задач с сохранением механической, энергетической и других связей между концевыми телами – базовым объектом (БО) и привязным объектом (ПО);

2) возможность гибкого изменения конфигурации: управление дальностью между объектами ТС, ориентацией и угловой скоростью объектов ТС относительно центра масс; изменение положения трех и более объектов вдоль ТС, построение различных форм; активное взаимодействие с внешними полями Земли.

При взаимодействии с гравитационным полем возникает гравитационный момент, который может быть использован для управления движением ТС вокруг центра масс, в частности для гравитационной стабилизации объектов по местной вертикали. При взаимодействии токопроводящей ТС с магнитным полем Земли величина ЭДС, индуцированная в прямолинейном проводнике, пропорциональна длине проводника. Это обстоятельство может быть использовано для получения электроэнергии в космосе за счет применения специальных электродинамических тросовых систем (ЭДТС). В процессе движения ТС возникают условия создания искусственной тяжести на связанных объектах системы. Эта сила тяжести обусловлена как разностью гравитационных сил, так приращением центробежных сил, возникающих в результате вращения связки как целого вокруг центра Земли. Кроме того, при движении в гравитационном поле можно обеспечить устойчивую ориентацию и радиальную конфигурацию протяженной ТС, создавая тем самым, как бы радиальный «каркас» для сложной орбитальной конструкции. Разработка современной концепции ТС берет начало, по-видимому, в 1972–1974 годах, когда сотрудники Смитсонианской астрофизической обсерватории (США) M. Grossi и G. Colombo высказали предположения по развертыванию с борта Space Shuttle длинного (20-100 км) электронного кабеля-троса для радиофизических магнитосферных, геофизических, в частности по гравиметрии и аэрономии, и других исследований. Наряду с этим предполагалось также изучение динамических и конструктивных проблем ТС при наличии как электродинамического, так и высокопрочного неэлектропроводного тросов. После 1974 года появилось значительное число работ и проектов [1], посвященных различным аспектам ТС. Эти работы были вдохновлены достаточно удачными космическими экспериментами (таблица). Первый в мире эксперимент по созданию искусственной силы тяжести был выполнен на американских кораблях «Gemini-11» и «Gemini-12» и ракетных ступенях «Agena» в сентябре и ноябре 1966 года. Во время выходов в открытый космос астронавты привязывали корабль нейлоновой лентой к «Agena». Затем связка корабль-ступень приводилась во вращение.

В период с 1980 по 1985 годы в рамках американо-японской программы были осуществлены четыре запуска на высоту 328 км зондирующих ракет. В ходе полета полезный груз удалялся на электропроводном тросе до 400 м. В первых двух экспериментах тросы удалось выпустить только на длину 30 м и 65 м. В двух последних экспериментах CHARGE (Cooperative High Altitude Rocket Gun Experiment) тросы были

выпущены полностью, что позволило выполнить исследования по активному воздействию на ионосферу и атмосферу за счет выбрасывания пучка электронов.

Первый итало-американский эксперимент TSS-1 (Tethered Satellite System-1) был проведен 31 июля 1992 года на корабле «Space Shuttle Atlantis». Предполагалось отвести от корабля на электропроводном тросе длиной 20 км итальянский привязной спутник диаметром 1,6 м и выполнить электродинамические и радиофизические исследования. ТС удалось развернуть только на 265 м, после чего трос был втянут обратно.

В ходе полета корабля «Space Shuttle Columbia» (STS-75) 22 февраля 1996 года была сделана попытка повторить неудавшийся эксперимент (TSS-1R). Теперь ТС развернули почти на всю длину, однако трос неожиданно оборвался («пережегся») из-за короткого замыкания, вероятная причина – механическое повреждение изоляции. Из-за аварии дорогостоящий итальянский спутник вместе с тросом ушел на другую орбиту и был потерян. Тем не менее в экспериментах серии TSS была проведена часть запланированных электродинамических исследований.

Таблица – **Запуски ТС и ближайшие ожидаемые проекты**

Год	Длина	Название	Страна	Комментарий
1966	30 м	Gemini-11	США	Создание искусственной тяжести
1966	30 м	Gemini-11	США	Стабилизация вдоль местной вертикали
1980	30 м	H-9M-69	США	Неполное развертывание (400 м)
1981	65 м	S-520-2	США	Неполное развертывание (400 м)
1983	400 м	CHARGE-1	США, Япония	Суборбитальный запуск (высота 328 км)
1984	400 м	CHARGE-2	США, Япония	Суборбитальный запуск
1988	< 0	ECHO-7	США	Суборбитальный запуск
1989	985 м	OEDIPUS-A	США, Япония	Стабилизация продольным вращением
1992	500 м	CHARGE- 2B	Канада, США	Суборбитальный запуск
1992	265	TSS-1	Италия, США	ЭДТС, не полное развертывание (20 км)
1993	20 км	SEDS-1	США	Спуск груза с орбиты
1993	500 м	PMG	США	Развертывание ЭДТС вдоль местной вертикали
1994	20 км	SEDS-2	США	Развертывание ТС в вертикальное положение
1995	1 км	OEDIPUS-C	Канада, США	Стабилизация продольным вращением
1996	19.6 км	TSS-1R	Италия, США	ЭДТС, потеря КА, ток силой 0,5 А
1996	4 км	TiPS	США	Долговременный (10 лет) полет троса-антенны
1999	< 30 м	ATEx	США	Управляемая ТС, сработала защита (6 км)
2000	30 м	Picosat-21, 23	США	Два спутника по 250 г (технология MEMS)
2001	30 м	Picosat-7, 8	США	Два спутника по 250 г (технология MEMS)
2002	15 м	MEPSI	США	Прототип спутника-инспектора МКС
2003	–	DTUSat-1	Дания	Спутник стандарта CubeSat, на связь не вышел
2007	< 10 м	MAST	США	Три модуля CubeSat, не развернута ТС (1 км)
2007	30 км	YES-2	ЕЭС, Россия	Спуск капсулы с орбиты
2009	–	STARS	Япония	Два спутника CubeSat, не развернута ТС (5 м)
2010	300 м	T-Rex	Япония	ЭДТС, трос-лента без изоляции
2015	1 км	TEPCE	США	CubeSat, ЭДТС: поднять или понизить орбиту
2017	2км	ПС-2	Россия	Торможение и увод КА с орбиты
2018	5 км	Трос-МГТУ	Россия	Наблюдение колебаний с амплитудой 30°
2019	2019	STARS-2	STARS-2	Торможение и увод КА с орбиты за счет ЭДТС

После проведения экспериментов TSS-1 и TSS-1R, затраты составили почти миллиард долларов, была пересмотрена программа работ США в области ТС. Планировавшийся эксперимент TSS-2 с атмосферным зондом, опускаемым вниз с корабля «Space Shuttle» на тросе длиной 100 км, был тогда отменен. Однако работы по этому проекту с применением современных технологий в настоящее время возобновлены. Следует также отметить значимые, успешные эксперименты с ТС. В ходе эксперимента SEDS-1 (Small Expendable Deployer System) на эллиптической орбите 195 км × 705 км была развернута ТС длиной 20 км и осуществлен спуск с орбиты малого КА массой 25 кг. SEDS-2 продемонстрировал на круговой орбите высотой 350 км возможность развертывания ТС вдоль местной вертикали с привязным объектом массой в 25 кг. В эксперименте PMG (Plasma Motor Generator) на эллиптической орбите электропроводный трос длиной 500 м был развернут вблизи местной вертикали. ЭДТС продемонстрировала возможности генерации тока за счет снижения орбиты и увеличения орбиты при подаче тока в обратном направлении. В эксперименте OEDIPUS-A (Observations of Electric-field Distribution in the Ionospheric Plasma – a Unique Strategy) ЭДТС длиной 958 м при суборбитальном запуске была стабилизирована продольным вращением концевых тел массами 84 кг и 131 кг с угловой скоростью 0,7 об./мин для исследований слабых электромагнитных полей Земли. В ходе аналогичного эксперимента OEDIPUS-C ЭДТС длиной в 1 км была развернута на высоте 843 км. Наиболее успешным был эксперимент TiPS (Tether Physics and Survivability Experiment). В мае 1996 года состоялся запуск двух американских аппаратов морской разведки (названными «Ralph» и «Norton») с тросом-антенной длиной в 4 км. По официальным сообщениям, программа длительного полета предполагала исследование стойкости троса к воздействию метеорных частиц. Полет связки продолжался до 2006 года и мог наблюдаться с Земли в бинокль или телескоп астрономами-любителями (рис. 1).

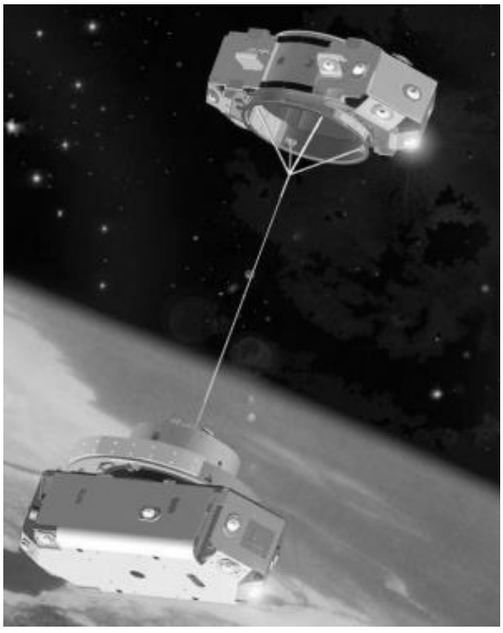


Рисунок 1 – TiPS (выполнен US Naval Research Laboratory's)

В 1999 году другой эксперимент американской морской разведки ATEx (Advanced Tether Experiment) оказался неудачным.

Предполагалось развернуть трос с управляемой длиной до 6 км и массой 13,4 кг с привязным объектом массой 11,8 кг на эллиптической орбите. После развертывания ТС на 22 м трос отклонился от ожидаемого угла разведения. В результате сработала автоматическая система защиты, и ни одна из целей эксперимента, включая управление длиной и поперечными колебаниями ТС, не была достигнута. В последние десятилетия появились тенденции расширения оптимальных областей применения малоразмерных КА, в том числе пико- и наноспутников (НС). Эксперименты PICOSAT (название «PICO» объединило первые буквы от всех предыдущих четырех экспериментов: Polymer Battery Experiment (PBEX), Ionospheric Occultation Experiment (IOX), Coherent Electromagnetic Radio Tomography (CERTO), On Orbit Mission Control (OOMC)) включают пару пикоспутников массой по 250 г, изготовленных по технологии MEMS, соединенных тросом длиной 30 м для осуществления межспутниковой связи. Трос обеспечивает возможность слежения

за системой с помощью радаров. В эксперименте MEPSI (Micro Electro-Mechanical Systems-based PicoSat Inspector) ТС длиной 15,2 м состояла из двухкилограммовых модулей CubeSat, оборудованных фотокамерой и миниатюрным передатчиком. Испытывался прототип спутника-инспектора состояния поверхности Международной космической станции (МКС). Трос применялся с целью облегчить обнаружение и отслеживание системы наземными радарами. В эксперименте DTUSat-1 (Danmarks Tekniske Universitet Satellite), разработанном в Датском техническом университете (dtusat1.dtusat.dtu.dk), спутник был выполнен по стандарту CubeSat. Трос представлял собой неизолированную медную проволоку диаметром 0,2 мм и длиной 700 м, которую предполагалось разматывать с катушки, являвшейся второй концевой массой, подобно игрушке «йо-йо». Запущенный на орбиту в 2003 году DTUSat-1 на связь не вышел. Три килограммовых модуля CubeSat на тросе длиной в 1 км составляли ТС в эксперименте MAST (Multi-Application Survivable Tether) в 2007 году. Два модуля CubeSat («Ted» и «Ralph») были концевыми массами ТС, в то время как третий («Gadget») мог двигаться вдоль троса. Эксперимент должен был проверить и доказать долгосрочную жизнеспособность ТС в космосе – уклонение от микрометеоритов, обломков космического мусора, изучить динамику вращения ТС и продемонстрировать обмен объектов импульсами, но связка не развернулась.

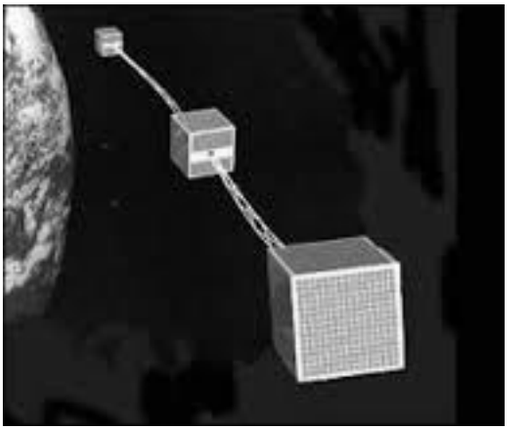


Рисунок 2 – MAST

Японская ТС в эксперименте STARS (Space Tethered Autonomous Robotic Satellite) из двух модулей CubeSat («Ku» и «Kai») была развернута только на несколько сантиметров, вместо 5 м, из-за проблем в механизме развертывания троса. Прототип спутника-инспектора состояния поверхности МКС. Цель проекта – получить фотографии основного спутника с борта привязного спутника. В ходе проведения японского эксперимента T-REX (Tether Technologies Rocket Experiment) в 2010 году на высоте 309 км была успешно развернута ЭДТС длиной в 300 м. Видео развертывания троса-ленты было передано на Землю.

Проект подтвердил возможность применения ЭДТС в качестве двигателя малой тяги. Эксперимент TEPCE (Tether Electrodynamic Propulsion CubeSat Experiment), запланированный в сентябре 2013 года военно-морской научно-исследовательской лабораторией США, перенесен. ЭДТС длиной в 1 км состоит из трех модулей CubeSat, которые будут оснащены GPS и другими датчиками для точного измерения колебаний троса и параметров орбиты движения связки. В ходе эксперимента планируется увеличение или снижение орбиты центра масс ЭДТС на несколько километров в день, а также управление колебаниями и совершение активных маневров. В 2019 году планируется японский эксперимент STARS-2. ЭДТС длиной в 300 м при взаимодействии с магнитным полем Земли будет применена для увода отработавшего КА с орбиты. Совместный европейско-российский с ТС эксперимент по спуску малой капсулы с орбиты был реализован в конце сентября 2007 года в рамках проекта YES2 (Young Engineers' Satellite). Основная цель проекта YES2 – отработка технологии развертывания ТС и оценка возможности ее использования для обеспечения доставки малых капсул с низких орбит в заданный район земной поверхности. В соответствие с принятой программой научных экспериментов проект YES2 был реализован на КА «Фотон-М3» на последних сутках полета. После ориентации КА

вдоль местной вертикали от блока FLOYD, состоящего из системы отделения, катушки с тросом, тормозного устройства, предназначенного для управления процессом размотки, было совершено отделение блока MASS, содержащего набор датчиков и измерительных устройств, и сверхлегкой сферической капсулы Fotino (рис. 3). После развертывания самой протяженной к настоящему времени ТС (длиной = 30 км) в определенный момент времени от блока MASS планировалось отделение капсулы Fotino, которая, относительно с небольшими тепловыми нагрузками, должна была осуществить вход в верхние слои атмосферы, планировались гашение скорости до величины порядка 35-40 м/с и приземление в заданном районе, где эту капсулу предполагалось оперативно найти и эвакуировать.

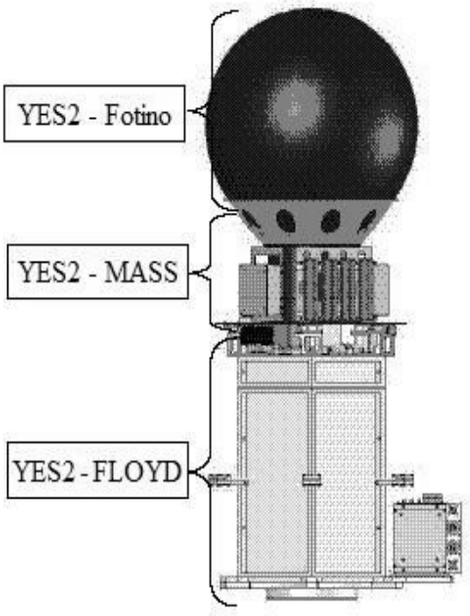


Рисунок 3 – Эксперимент YES2

В связи с нештатным режимом работы ТС на КА «Фотон-М3» вследствие неправильных показаний датчика скорости размотки троса с длины 3 км началось неуправляемое развертывание троса.

Эксперимент YES2 закончился частичным успехом. Трос был размотан на полную длину, спускаемая капсула вошла в атмосферу. Однако спускаемая капсула в заданном районе не приземлилась, и ее поиски оказались безрезультатными. В России были созданы научные школы, занимающиеся теоретическим исследованием космических ТС.

С конца 60-х годов эти исследования велись главным образом в Институте прикладной математики (ИПМ) АН СССР такими крупными учеными, как В.В. Белецкий, В.А. Сарычев, Е.М. Левин. Исследования механики ТС давно ведутся в МАТИ (под руководством В.А. Иванова), в последние годы подобные исследования ведутся в МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СГАУ, Военной инженерной космической академии им. Н.А. Можайского, ЦНИИМаш, РКК «Энергия», НПО машиностроения, Институте радиотехники и электроники РАН. В НПО машиностроения совместно с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн разрабатывался проект эксперимента на станции «Алмаз», где предполагалось отвести на тросе платформу с аппаратурой для геофизических исследований.

В НПО им. С.А. Лавочкина разрабатывались проекты марсианского тросового генератора на базе межпланетной станции «Фобос» и ТС для обслуживания орбитальной станции на базе спутника «Прогноз». Институтом космических исследований РАН был предложен проект ТС в форме тетраэдра для исследования электрических и магнитных полей в околоземном пространстве. В Московском техническом университете связи и информатики ведутся исследования антенны систем с «бегущими» тросами. Впервые в мире подготовка к космическому эксперименту с ТС началась в 1965 году в РКК «Энергия» (бывшая ЦКБМ) под руководством С.П. Королева.

Разработанный проект «Союз-ИТ» предусматривал создание искусственной тяжести на космическом корабле «Союз», соединенном километровым стальным тросом с последней ступенью ракеты-носителя, путем приведения этой связки во вращение. Но после кончины

С.П. Королева проект был закрыт, и работы по ТС в РКК «Энергия» возобновились только через 20 лет. Наиболее активные работы по космическим ТС велись в РКК «Энергия» в период 1987–1999 гг. Они были направлены на освоение и применение таких систем в рамках пилотируемых космических станций [2]. Разработанная концепция развития отечественных работ в этой области предусматривала следующее. На первом этапе – проведение на орбитальных станциях серии космических экспериментов с ТС «Трос-1», «Трос-1А», «Вулкан» и «Трос-2». В перспективе – создание и опытная эксплуатация на новой орбитальной станции ТС транспортного, энергетического и исследовательского назначения. Также предполагалось создание орбитального пилотируемого комплекса с многофункциональным использованием технологий ТС. Космический эксперимент «Трос-1» предусматривал исследование механики развертывания, полет и разделение ТС с отработкой орбитального маневра.

В программе «Трос-1» предполагалось создать на орбите ТС, состоящих из станции «Мир», корабля «Прогресс-М», соединенных 20-километровым тросом из синтетического волокна. В течение недели связка должна была совершать орбитальный полет с последующим ее разделением. При этом ожидалось, что корабль перейдет на более низкую орбиту, а станция увеличит высоту орбиты (такой маневр экономит около 150 кг топлива). Проведение этого эксперимента было намечено на вторую половину 1999 года. Эксперимент «Трос-1А» по своему замыслу был аналогичен «Трос-1» и отличался от него увеличением длины троса до 50 км. Применение троса такой длины позволяет без затрат топлива осуществить спуск грузового корабля с орбиты и его затопление в заданном районе Тихого океана. При этом орбитальная станция повышает высоту орбиты почти на 10 км, а экономия топлива составляет до 400 кг.

В эксперименте под названием «Вулкан» предполагалось развернуть на орбите модельный аналог ЭДТС: из грузового корабля выдвигается 100-метровая штанга с приборным контейнером на конце. Размещенная в корабле и в контейнере электронная аппаратура с плазменными контакторами сможет выполнить исследование электродинамических характеристик системы и различных явлений в магнитном поле Земли и ионосферной плазме. Кроме того, на борту орбитальной станции и на наземных пунктах планировалось принимать и анализировать излучаемые сверхнизкочастотные радиосигналы. В ходе 20-суточного полета планировалась отработка функционирования ЭДТС в генераторном, двигательном, электропередающем и излучательном режимах, а также управление ориентацией на орбите. Заключительный эксперимент «Трос-2» был задуман как комплекс всесторонних исследований механики, электродинамики и радиофизики ТС, состоящей из орбитальной станции и грузового корабля, соединенных 20-километровым кабелем, по которому движется лифтовая тележка. Размещенная на станции, корабле и тележке аппаратура позволила бы осуществить опытную эксплуатацию системы в различных режимах и провести уточненные исследования ее динамических и электромагнитных свойств.

Орбитальный полет ТС планировался не менее месяца, после чего, как в экспериментах «Трос-1» и «Трос-1А», заканчивался ее разделением. Успешное проведение экспериментов «Трос-1» и «Трос-1А» позволило бы приступить к созданию и последующей эксплуатации на орбитальной станции транспортной ТС многократного использования для спуска с орбиты возвращаемых капсул, отработавших кораблей и модулей, ферм и панелей. Эта же система применима и для периодического подъема высоты орбиты станции без затрат топлива. По предварительным проработкам основой системы станет включаемый в состав станции специальный модуль. В его состав войдет лебедка для развертывания 60-километрового троса, механизм выдвижения и втягивания 100-метровой фермы

и устройство захвата и сброса грузов. В МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Специального машиностроения – 1» (СМ-1) был коллектив под руководством профессора В.И. Усюкина, участвовавший в работах РКК «Энергия» по тросам. Сейчас продвижением образовательного эксперимента «Трос-МГТУ» занимается В.В. Коровин [3], успешно защитивший эскизный проект в 2013 году. Эксперимент включен в состав «Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС». В настоящее время требуют решения вопросы, связанные с финансированием технической части проекта и созданием лабораторной базы для наземной экспериментальной отработки конструктивных элементов ТС. В ходе эксперимента планируется осуществить неуправляемое развертывание ТС длиной в 5 км. В качестве БО планируется использовать ТГК «Прогресс», отстыкованный от МКС. Масса ПО составит 20-25 кг. Связка должна совершать колебания с амплитудой 30°. Полет ТС прекратится после нескольких десятков витков, после перерезания троса в тросовом модуле. Задачи эксперимента направлены на получение практических навыков разработки и реализации космических экспериментов студентами и аспирантами, проверку теоретических разработок математических моделей, освоение технологий неуправляемого развертывания ТС в космосе, исследование динамики полета ТС, отработку процесса разделения объектов связки. Проведенные исследования и эксперименты показывают перспективные направления практического использования технологий ТС для решения научных, народнохозяйственных и специальных задач [4–10]. К числу этих задач можно отнести:

- вывод объектов на орбиту (рис. 4);
- спуск объектов с орбиты на Землю (рис. 5), испытание летательных аппаратов (ЛА) на баллистических траекториях;
- выполнение операций транспортного обслуживания космических объектов, включая маневры сближения и встречи в космосе, орбитальные переходы между круговыми и эллиптическими орбитами;
- зондирование верхних слоев атмосферы;
- создание искусственной тяжести, микрогравитации и устойчивой ориентации;
- пространственное функционирование привязного объекта ТС в окрестности и орбитальной станции;
- маневрирование ЛА на баллистических траекториях за счет применения специальных ТС;
- обеспечение безопасности космических полетов.

Перспективность использования ТС при решении указанных и ряда других задач состоит в том, что эти задачи решаются при меньших энергетических затратах и с применением более простых и легких технических средств [5, 6]. Это обусловлено тем, что во многих случаях ТС заменяет двигательную установку, когда сила реакции натянутого соединительного троса играет роль управляющей реактивной силы. Применение ТС вместо реактивного двигателя позволяет решать многие задачи в космосе с помощью более простых, легких и, следовательно, более дешевых технических устройств, так как ТС включает в себя всего три элемента: лебедку (или шпуль), трос и устройство для регулирования силы натяжения или скорости разматывания или сматывания троса. Суммарная масса этих элементов намного меньше массы реактивного двигателя с топливными баками. Так суммарная масса одноразовой ТС при длине троса 40 км составляет 35-50 кг, а многоразовой ТС при той же длине троса – до 150 кг. Помимо этого, следует отметить, что для ряда задач ТС вообще являются единственными средствами их выполнения. К числу таких задач можно отнести создание искусственной тяжести, скрытное маневрирование (без включения двигательной установки), продолжительное зондирование верхних слоев атмосферы и геофизические исследования на

высотах, недоступных другим техническим средствам, а также длительное наблюдение за земной поверхностью с высот, которые слишком низки для обычных КА и слишком высоки для авиации. В ближайшее десятилетие ожидается качественный скачок в изготовлении тросов из углеродных нанотрубок [4]. В настоящее время работы по созданию материалов из углеродных нанотрубок еще не вышли за пределы лабораторий. По прочности этот материал в 200 раз превосходит сталь, в 80 – прочнее Kevlar 49, в 14 раз прочнее углеволокна, и в 7 раз его предел прочности превосходит нить из алмазного волокна [9].

Вывод КА на орбиту

При выводе КА на заданную круговую или эллиптическую орбиту с низкой промежуточной орбиты ТС заменяет последнюю ступень ракеты-носителя (РН). В состав ТС входит: сама отработанная ступень и выводимый на орбиту КА. Выигрыш в энергетике достигается за счет того, что вывод КА на орбиту завершается без использования двигательной установки. После расцепления ТС выводимый КА переходит на конечную орбиту, а отработанная ступень РН – на траекторию снижения. В процессе развертывания ТС происходят увеличение высоты и скорости полета КА и уменьшение высоты и скорости отработанной ступени. При этом часть механической энергии передается от отработанной ступени выводимому на орбиту КА.

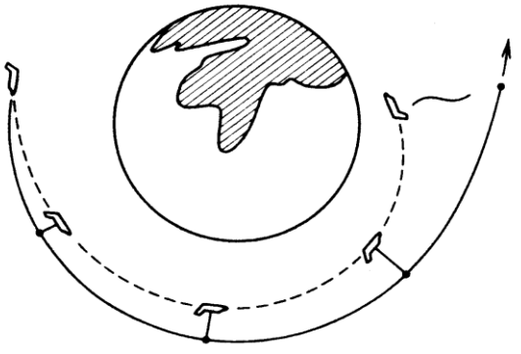


Рисунок 4 – Вывод КА на орбиту
с использованием тросовой системы

После расцеплении ТС радиус апогея орбиты выводимого КА превышает радиус исходной орбиты на 7 длин троса, в случае применения равновесного стационарного режима движения ТС или режима прямолинейного развертывания до 13,8 – в режиме колебаний ТС и свыше 15 – в режиме вращения. Аналогично уменьшается радиус перигея отработанной ступени РН.

Выигрыш в энергетике за счет использования ТС для вывода КА на орбиту определяется величиной характеристической скорости, необходимой обычному маневрирующему КА для перевода его с промежуточной орбиты на заданную конечную орбиту, и соответствующей величиной массы экономии топлива.

Расчеты показывают, что для вывода КА с промежуточной орбиты радиуса 6560 км на эллиптическую орбиту с перигеем 6610 км экономия характеристической скорости возрастает с увеличением радиуса апогея конечной орбиты с 126 м/с (при радиусе апогея 6950 км) до 501 м/с (для радиуса апогея 8500 км). В этом случае, при массе выводимого КА, равной 5000 кг, экономия топлива увеличивается с 215 кг до 908 кг. При этом надо учесть, что масса ТС меньше массы реактивного двигателя с топливными баками. Поэтому уменьшение суммарной массы системы выведения будет больше массы экономии топлива.

Спуск объектов с орбиты на Землю

Применение ТС позволяет реализовать безымпульсный сход спускаемого аппарата (СА) с орбиты, т.е. без включения двигательной установки, и переход на траекторию спуска на Землю. При использовании ТС для спуска объектов с орбиты на Землю имеет место двойная экономия топлива. Не только гашение орбитальной скорости СА происходит без затрат топлива, но и второй БО связки получает приращение высоты и скорости полета тоже без использования двигательной установки. Это

происходит за счет передачи части механической энергии от СА базовому объекту.

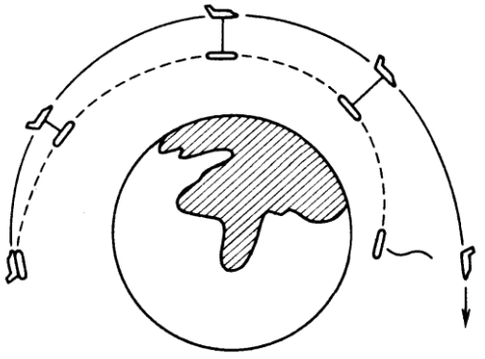


Рисунок 5 – Спуск объекта с орбиты с использованием тросовой системы

Суммарная экономия топлива зависит от количества операций спуска с использованием данной системы, от длины троса и режима движения ТС, а также от массы СА и не зависит от массы БО. При пятикратном выполнении спуска объекта массой 4000 кг с орбиты радиусом 6671 км с использованием режима колебаний ТС с максимальной амплитудой с увеличением длины троса между БО и СА от 30 до 50 км суммарная масса экономии топлива возрастает с 2019 до 2556 кг. Увеличение экономии топлива связано с тем, что с ростом длины троса траектория спуска становится более крутой и время спуска уменьшается. Спуск КА с орбиты с использованием ТС характеризуется большими скоростями и малыми углами входа СА в плотные слои атмосферы. Это позволяет считать целесообразным применение ТС для испытаний и отработки новых типов летательных аппаратов (ЛА), движущихся по пологим баллистическим траекториям. Основным достоинством проведения летных испытаний ЛА с использованием ТС является возможность поэтапного проведения испытаний отдельных элементов ЛА. Это позволит сократить сроки создания и отработки новых типов ЛА. Выполнение операций транспортного обслуживания космических объектов. Рассмотрено обслуживание системы КА на круговых орбитах. Орбитальное движение ПО (привязного объекта) связки происходит со скоростью, отличной от круговой скорости для данной высоты. Это обстоятельство позволяет считать возможным применение ТС для облета и обслуживания системы КА, движущихся по круговой орбите. Если радиус орбиты БО (базового объекта) связки меньше радиуса орбиты, по которой движутся КА, то ПО последовательно один за другим нагоняет КА (рис. 6). Если же радиус орбиты БО больше радиуса орбиты КА, то, наоборот, все КА последовательно один за другим нагоняют ПО (рис. 7).

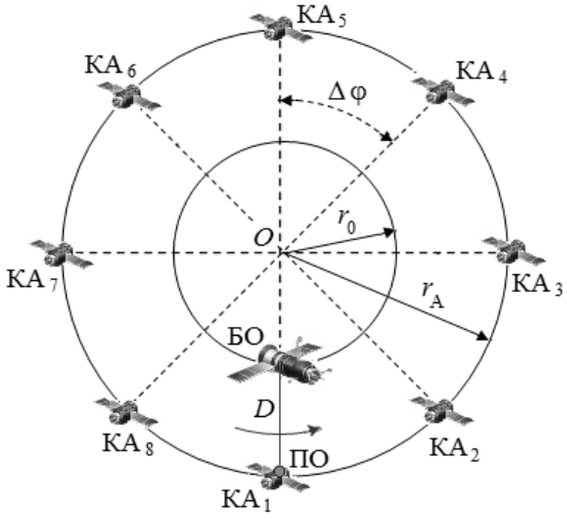


Рисунок 6 – Обслуживание системы КА на круговых орбитах, ПО нагоняет КА

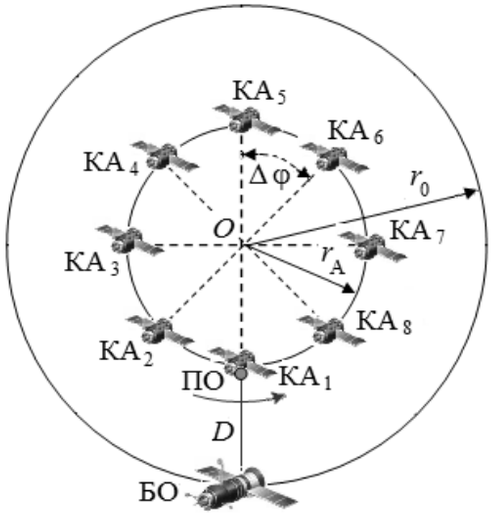


Рисунок 7 – Обслуживание системы КА на круговых орбитах, КА нагоняет ПО

Были проведены расчеты экономии топлива, при последовательном облете системы КА, состоящей из нескольких аппаратов (от 3 до 12), движущихся по орбите радиусом 8000 км. При массе ПО, равной 2000 кг, экономия топлива при облете трех КА составляет 255 кг, при облете шести КА – 699 кг, а при облете двенадцати КА уже 1867 кг. Такая величина экономии топлива свидетельствует о перспективности применения ТС для последовательного облета и обслуживания системы КА.

Рассмотрено применение ТС для обслуживания системы КА на стационарной орбите. При проведении расчетов предполагалось, что обслуживаемые КА располагаются на орбите в угловом секторе. Время обслуживания системы КА определяется разностью орбитальных угловых скоростей ТС, которая движется в равновесном вертикальном режиме, и угловой скоростью движения КА по стационарной орбите. Чем меньше разность угловых скоростей, тем больше продолжительность процесса обслуживания. С уменьшением длины троса разность угловых скоростей тоже уменьшается. Для того чтобы время обслуживания не превышало 35 суток, длина троса должна быть не менее 400 км. При таких длинах троса встает вопрос о массе троса и относительной скорости ПО в процессе обслуживания КА. Для троса из кевлара при концевых массах ТС, равных 2500 кг, с увеличением длины троса с 400 до 1000 км масса троса оказывается весьма небольшой и возрастает с 5 до 32 кг, а относительная скорость в момент встречи ПО и обслуживаемого КА возрастает с 0,1 до 0,66 м/с. Выигрыш в энергетике за счет применения ТС для обслуживания КА на стационарной орбите оценивался величиной характеристической скорости, необходимой для перемещения маневрирующего КА по рассматриваемому участку стационарной орбиты под действием малой радиальной тяги. Для длин троса от 400 до 1000 км этот выигрыш в энергетике в угловом секторе величиной градусов возрастает с 9739 до 9861 м/с. Приведенные результаты свидетельствуют о перспективности применения ТС для обслуживания КА на стационарной орбите. Использование ТС для реализации маневров сближения и встречи КА [6] (рис. 8, 9) дает возможность решать эти задачи при меньших затратах топлива, по сравнению с применяемыми в настоящее время методами, и с использованием более простых технических средств. При этом возможно многократное использование одной и той же ТС для многоразового решения задачи сближения, а также для выполнения ряда других операций в космосе. Существенное значение имеет также скрытность выполнения операции сближения и встречи КА.

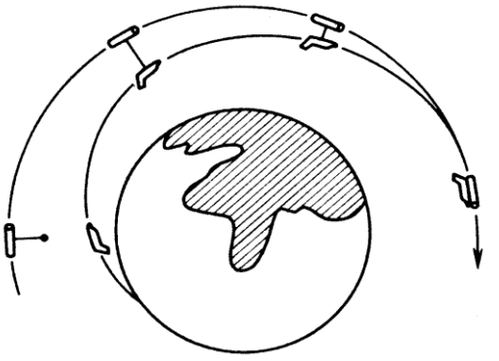


Рисунок 8 – Встреча орбитального самолета со станцией, снабженной привязным стыковочным узлом

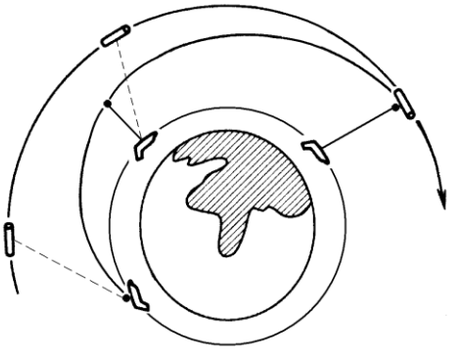


Рисунок 9 – Сближение привязного объекта тросовой системы с КА

Процесс сближения может выполняться с расцеплением ТС или без ее расцепления. Если расстояние между орбитами БО и КА, с которым должно произойти сближение ПО, сравнительно невелико и не превышает располагаемую

длину троса, то сближение осуществляется без расцепления ТС. Если же орбиты БО и КА удалены друг от друга на расстояние больше располагаемой длины троса, то процесс сближения реализуется с расцеплением связки. После расцепления связки ПО совершает свободный полет в расчетную точку встречи с КА. В случаи необходимости в конце сближения может быть введен участок самонаведения. Встреча ПО и КА может осуществляться с жестким или мягким контактом. Мягкая встреча с нулевой относительной скоростью с КА, движущимся по круговой орбите, реализуется из режима колебаний ТС с амплитудой. Мягкая встреча с КА, движущимся по эллиптической орбите, возможна только в апогейной или перигейной точке орбиты КА. Экономия топлива за счет использования ТС для решения задач сближения в космосе в основном определяется разностью высот орбит БО и КА, а также массой ПО, решающего задачу встречи с КА. Так, при сближении на круговых орбитах с использованием режимов колебания и вращения связки при длине троса в 59 км для орбиты БО радиусом 6621 км для массы ПО 2000 кг экономия топлива с увеличением радиуса орбиты возрастает при пятикратном выполнении операции сближения с 397 кг (при радиусе 7100 км) до 1199 кг (при радиусе 8000 км). В случае сближения с КА, движущимся по эллиптической орбите, экономия топлива существенным образом зависит от положения выбранной точки встречи на орбите КА. Так, при сближении с КА, движущимся по эллиптической орбите с радиусом перигея 6800 км и радиусом апогея 8000 км, для ПО (массой 2000 кг и с длиной троса 50 км) перенос точки встречи от перигея к апогею приводит к увеличению экономии топлива при пятикратном сближении со 124 кг до 1129 кг.

Применение технологии ТС позволяет дешевле и эффективнее решать такие задачи обеспечения функционирования, как вывод, замена, спуск новых современных систем малогабаритных КА и НС. Для обеспечения высокой эффективности применения НС необходимо предусмотреть возможность их функционирования в составе системы определенным образом по круговой или эллиптической орбите. С энергетической точки зрения развертывание такой системы целесообразно производить с использованием блока разведения (БР), буксируемого специальной ТС, состоящей из соединенных тросом БО (МКС или специальных КА) и БР, с которого через определенные промежутки времени один за другим отделяются все НС системы с переходом на заданные орбиты (рис. 10). Предполагается, что движение базового объекта осуществляется по круговой орбите. Длина троса подобной ТС находится в диапазоне от 5–40 км, и при существующих технологиях может достигать 100 км.

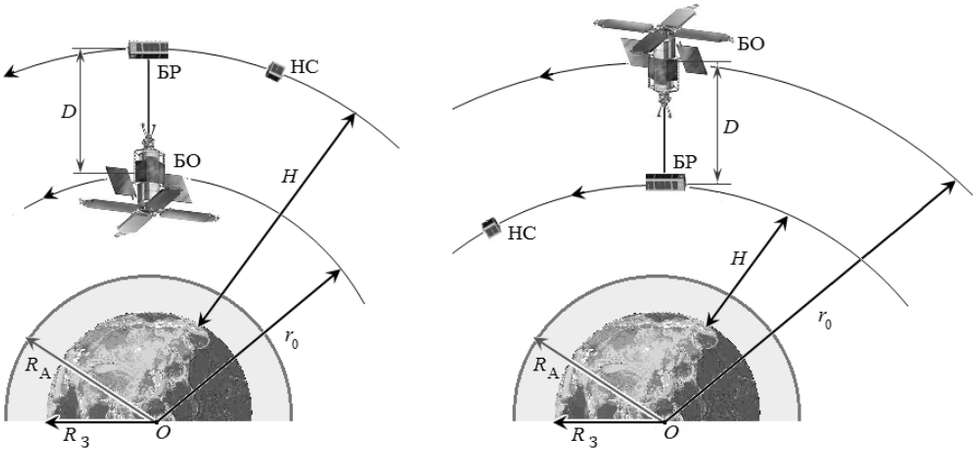


Рисунок 10 – Обслуживание системы НС, с применением технологии ТС на верхних и нижних по отношению к БО орбитах

Зондирование верхних слоев атмосферы

Предполагается, что исследование проводится с помощью аппаратуры спускаемой на тросе до высот 100-150 км. На этих высотах спутник может существовать несколько часов, а зондирование с помощью метеоракет оказывается менее продолжительным. Применение же ТС позволяет практически на два порядка увеличить продолжительность зондирования верхних слоев атмосферы (рис. 11). Изучение этих слоев с доставкой приборов в нижнюю термосферу и, возможно, в мезосферу имеет большое научное и практическое значение. Практический интерес к изучению этих районов обусловлен тем, что в них нижняя нейтральная атмосфера контактирует с космической плазмой. Эффект этого взаимодействия еще недостаточно изучен. Кроме того, в атмосфере на этих высотах молекулярная диффузия является причиной турбулентности и ветров, а солнечное электромагнитное излучение и частицы высоких энергий являются основными источниками энергии. Этот район представляет собой важную часть атмосферной глобальной электрической циркуляции.

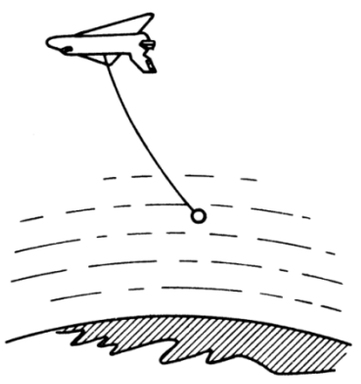


Рисунок 11 – Привязной зонд опускается с орбитального самолета в атмосферу до высот 110–130 км

В состав аппаратуры спускаемого зонда могут войти электронные, массовые и ионные спектрометры, приборы для измерения магнитного и электрического полей, параметров нейтральной атмосферы. Могут быть также установлены магнитные и гравитационные градиометры. Данные, полученные в результате экспериментов, будут полезны при предсказании погоды, исследовании механизмов транспорта смога и загрязнений, образования озонных дыр, исследовании солнечно-земных связей и в изучении геофизических процессов.

Создание искусственной тяжести

При продолжительных пилотируемых космических полетах или для проведения научных экспериментов может возникнуть необходимость в создании искусственной тяжести на борту КА. Известно, что поле тяготения Земли, ускоренное движение и центробежная сила оказывают одинаковое воздействие на тело, находящееся на опоре. Исходя из этого был высказан ряд идей по созданию искусственной тяжести на космическом корабле [5].

В частности, предлагалось создать искусственную тяжесть путем поддержания непрерывной работы реактивного двигателя, хотя бы на пониженной мощности. Однако такое решение требует чрезмерно большого расхода топлива. Рассматривался способ создания искусственной тяжести при использовании вращающегося тороидального космического объекта. Недостаток этого способа заключается в том, что с учетом реальных размеров объекта, потребуются весьма большие угловые скорости вращения. Так, для создания искусственной тяжести всего в несколько сотых от значения ускорения тяжести на Земле (например, 0,05 g) на тороидальном объекте диаметром 50 м необходимо обеспечить угловую скорость вращения объекта порядка 0,15 $с^{-1}$. Эта угловая скорость более чем в 100 раз превосходит орбитальную угловую скорость КА при полете его по сравнительно низким околоземным орбитам. Помимо чисто технических трудностей вращение космического объекта с весьма большой угловой скоростью вызовет нежелательный эффект из-за действия ускорения Кориолиса. Кроме того, будет иметь место перепад в тяжести между полом и потолком орбитального отсека.

Указанных недостатков удается избежать в случае использования для создания искусственной тяжести системы двух гибко связанных КА (рис. 12). При этом для сокращения размеров ТС целесообразно использовать режим вращения связки вокруг центра масс при ограниченных значениях угловых скоростей.

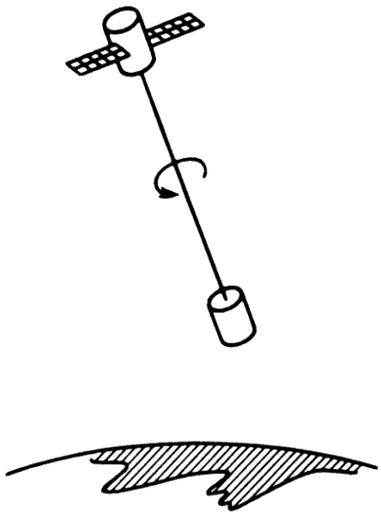


Рисунок 12 – Создание искусственной силы тяжести за счет использования вращающейся тросовой системы

Для обеспечения стабильных условий предлагается вращение ТС осуществлять при постоянной угловой скорости. Для достижения ускорения от искусственной силы тяжести порядка десятых долей от наземного ускорения при длине троса 50 км достаточно иметь угловую скорость вращения ТС не более 0,003 $с^{-1}$. При увеличении угловой скорости до 0,01 $с^{-1}$ ускорение от искусственной силы тяжести достигает значений 7,3-7,7 м/с, т.е. приближается к ускорению силы тяжести на поверхности Земли. В равновесном стационарном режиме (ориентация ТС вдоль местной вертикали) предлагается применять ТС для стабилизации собственных колебаний КА [5]. При этом трос крепится не непосредственно к спутнику, а к дополнительному телу (приставке), шарнирно связанному со спутником [4]. Такая схема позволяет эффективно стабилизировать угловое движение КА.

Пространственное функционирование привязного объекта в окрестности орбитальной станции

Управление относительным движением в заданной плоскости осуществляется за счет определенного регулирования длины троса. Удержание ПО в заданной плоскости относительного движения происходит за счет двигателя малой тяги. Применение технологий ТС совместно с двигателями малой тяги позволяет реализовать широкий класс траекторий движения ПО в окрестности БО: прямолинейное удаление или сближение; зависание ПО в заданной окрестности БО; колебания ПО относительно положения равновесия; круговой облет БО, вращение ПО вокруг БО; удаление ПО от БО по траекториям, асимптотически приближающимся к прямолинейным траекториям; сближение ПО с БО по траекториям, которые отходят от прямолинейной траектории сближения, а также для решения задач мониторинга и инспекции, многоточечных измерений на базе изменяемых масштабных структур различной формы и др.

Маневрирование летательных аппаратов на баллистических траекториях за счет применения специальных ТС

В конце активного участка ЛА отделяется от последней ступени ракеты-носителя (РН) но остается связанным с ней тросом, образуя ТС, развертывание которой достигается за счет регулирования длины троса по определенному закону. После завершения развертывания связка, состоящая из ЛА и отработанной ступени РН, совершает полет по сложной траектории, соответствующей выбранному режиму относительного движения ТС.

В процессе движения связки ЛА совершает полет по траектории, отличной от траектории свободного баллистического полета, т.е. осуществляет маневрирование без использования двигательной установки, роль которой играет сама ТС. Так как маневр выполняется без включения двигате-

ля, сам факт выполнения такого маневра определить достаточно сложно. Этот маневр может быть использован для затруднения функционирования системы обнаружения, распознавания и прогнозирования движения ЛА с определением точки падения на Землю, а также может применяться для перенацеливания ЛА на пассивном участке траектории.

В расчетный момент времени производятся расцепление ТС и переход ЛА в свободный полет по баллистической траектории. За счет определенного выбора параметров ТС, режима ее движения и момента расцепления связки можно осуществить требуемый маневр ЛА, заключающийся в определенном изменении вида траектории и дальности полета ЛА (изменение дальности может достигать сотни километров) до точки падения.

Обеспечение безопасности космических полетов

В околоземном пространстве скопилось большое количество опасного для полетов космического мусора: частицы размером более 10 см – около 13 тысяч шт., из них около 7% – это обломки от пятидесятилетней космической истории освоения космоса человеком. Размером от 1 см до 10 см – сотни тысяч шт., а менее 1 см – десятки миллионов шт. С учетом космических скоростей на орбите даже малые объекты способны нанести серьезный урон КА.

Рассматриваются следующие способы защиты КА от космического мусора:

- покрытие объектов специальным материалом, который затягивается после небольших повреждений;
- установка специальных защитных экранов;
- уклонение от космического мусора;
- сбор и уничтожение космического мусора;
- увод с орбиты отработавших КА.

По мнению специалистов, из них последние три являются наиболее эффективными. В зависимости от размеров и потенциальной опасности приближающегося элемента космического мусора принимается решение либо об уклонении, или о его захвате, или переводе на другую траекторию, или уничтожении.

Причем задача уклонения от космического мусора может быть успешно решена за счет применения технологий космических ТС [4, 6, 11]. Например, для орбитальных станций, состоящих из двух и более сегментов, разделение их на два блока, соединенных тросом, которые в заранее рассчитанный момент времени расталкиваются в противоположных направлениях и разводятся от первоначальной орбиты на безопасные расстояния. Затем с помощью троса по определенному закону происходит опять сближение двух блоков с их стыковкой на первоначальной орбите. Применение ТС позволяет значительно уменьшить энергетические затраты по сравнению с обычным маневром перехода станции на другую орбиту с последующим возвращением на прежнюю орбиту. Для защиты космических объектов могут использоваться ТС со специальным ПО, оснащенным специальной аппаратурой и средствами активного воздействия на приближающиеся к охраняемому объекту элементы космического мусора. В зависимости от размеров и потенциальной опасности приближающегося элемента принимается решение либо о его захвате, или переводе на другую траекторию, или уничтожения.

Для развертывания ТС с переводом ПО в требуемое положение могут использоваться методы комбинированного управления, которые наряду с простотой приборной реализации отличаются достаточно высокой энергетической эффективностью.

Для увода с орбиты отработавших КА предлагается использование тормозящей силы, создаваемой с помощью технологии ЭДТС [4]. Под действием тока, текущего в неизолированном тросе, возникает сила Ампера, направленная против движения системы и обуславливающая электродинамическое торможение.

Отработке увода с орбиты посвящен проект ПС-2 (Простейший спутник-2), работы над которым ведет ИКИ РАН совместно с ЦНИИМаш, МАТИ и МАИ. Предполагается после выполнения основного полетного задания НС на низкой околоземной орбите развернуть ТС вдоль местной вертикали общей массой с концевыми объектами около 8 кг и длиной до 2 км. Торможение обеспечивает аэродинамическая сила сопротивления атмосферы (эффективная площадь миделя троса составляет до 2 м^2). В случае успеха проекта в дальнейшем для более высоких орбит предусматривается использование ЭДТС.

Приведенные примеры подтверждают перспективность использования ТС.

Литература

1. *Cosmo, M.L.* Tethers in space hand-book / *M.L. Cosmo, E.C. Lorenzini*. – Cambridge: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1997. – 274 p.

2. *Осипов, В.Г.* Космические тросовые системы: история и перспективы / *В.Г. Осипов, Н.Л. Шошунов* // Земля и Вселенная – 1998. – № 4. – С. 19-29.

3. *Коровин, В.В.* Динамика неуправляемого развертывания космической тросовой связки / *В.В. Коровин, А.В. Попов, В.И. Усюкин* // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана Сер. Машиностроение. – 2012. – Спец. вып. – С. 33-40.

4. *Волошенюк, О.Л.* Космические тросовые системы – перспективное направление космической техники и технологии / *О.Л. Волошенюк, А.В. Пироженко, Д.А. Храмов* // Космическая наука и технология. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 32-44.

5. *Иванов, В.А.* Космические тросовые системы. Некоторые аспекты практического использования / *В.А. Иванов, С.А. Купреев, М.Р. Либерзон*; под общ. ред. М.Р. Либерзона. – М.: СИП РИА, 2005. – 100 с.

6. *Иванов, В.А.* Сближение в космосе с использованием тросовых систем / *В.А. Иванов, С.А. Купреев, М.Р. Либерзон*; под общ. ред. М.Р. Либерзона. – М.: Хоружевский, 2010. – 360 с.

7. *Иванов, В.А.* Комплексный подход к оценке эффективности применения тросовых систем для решения практических задач / *В.А. Иванов, С.А. Купреев, М.Р. Либерзон* // Седьмой международный аэрокосмический конгресс IAC'12. Пленарные и избранные доклады. – М., 2012. – С. 290- 298.

8. *Иванов, В.А.* Основные свойства космических тросовых систем и перспективы их практического использования / *В.А. Иванов, С.А. Купреев, М.Р. Либерзон* // Авиакосмическая техника и технология. – 2013. – № 4(72). – С. 6-12.

9. *Щербаков, В.И.* Орбитальные маневры космической тросовой системы / *В.И. Щербаков*. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 185 с.

10. *Aslanov, V.S*. Dynamics of the Tethered Satellite Systems / *V.S. Aslanov, A.S. Ledkov*. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012. – 331 p.

11. *Иванов, В.А*. Повышение безопасности космических полетов за счет применения специальных тросовых систем / *В.А. Иванов, С.А. Купреев* // Актуальные проблемы защиты и безопасности: XIV Всерос. науч.-практ. конф. – СПб., 2011. – Т. 1. – С. 670-682.

В.Г. ДОВГАНЬ
кандидат военных наук, профессор
N.G. DOVGAN
Ph.D. of Military Sciences, Professor

УДК 629.788

ЛУННАЯ ОДИССЕЯ СОВЕТСКОЙ КОСМОНАВТИКИ

Ключевые слова: *освоение космического пространства, исследование Луны, Лунный космический аппарат (ЛКА), ракетно-космическая промышленность, Луноходы, забор лунного грунта, космическое телевидение.*

Аннотация: *В статье отражен опыт создания и использования лунных самоходных аппаратов. Начиная с первого старта для доставки на Луну советских вымпелов до посадки возвращаемого аппарата «Луна-24» с лунным грунтом в Советском Союзе были осуществлены 53 старта различных типов ракет-носителей с ЛКА. Более 56 лет с начала исследования Луны отечественной космонавтикой – это обеспечение ресурсных интересов, национальной безопасности и технологической независимости России.*

MOON ODYSSEY OF SOVIET COSMONAUTICS

Keywords: *space exploration, lunar exploration, lunar spacecraft (LCA), aerospace industry, Lunokhod lunar soil sampling, Space TV.*

Abstract: *The experience of creating and using the lunar-governmental self- propelled vehicles been reflected in this article. Since the first launch to deliver on the moon before the Soviet pennants landing recovery vehicle «Luna-24» from the lunar soil in the Soviet Union have implemented 53-lo launch various types of rockets with LCA. More than 56 years from the beginning of lunarstudy by national cosmonautics is to provide interests for national security and technological independence of Russia.*

Человечество на протяжении многих веков стремилось заглянуть в необъятное. Четвертого октября 1957 года в 22 часа 28 минут 34 секунды история зафиксировала начало отсчёта НОВОЙ эры – Космической. С советского полигона Тюра-Там (ныне – всемирно известный космодром «Байконур») стартовала двухступенчатая ракета-носитель, которая вывела на околоземную орбиту рукотворное изделие – космический аппарат. Он стал первым в мире искусственным спутником Земли (ИСЗ) и первым искусственным небесным телом в Солнечной системе.

А вскоре, 3 ноября 1957 года в 5 часов 30 минут 42 секунды, состоялся запуск второго ИСЗ. Это был первый в мире биологический спутник Земли с подопытным животным – собакой по кличке «Лайка». Напомним, что первый американский ИСЗ «Эксплорер-1» (по массе – на порядок меньше, чем советский) был выведен РН «Юпитер-С» 31 января 1958 года.

Запуск третьего советского ИСЗ состоялся 15 мая 1958 года, и в космосе заработала первая в мире научная лаборатория. Двенадцать научных приборов впервые выполнили прямые измерения магнитного поля Земли, мягкой корпускулярной радиации Солнца, химического состава и давления атмосферы, электронной концентрации в ионосфере и метеоритного вещества вокруг Земли.

Премьеры достижений советской науки и техники в космосе продемонстрировали всему миру высокий уровень и мощный потенциал, духовную силу и талант нашего народа. Таким образом, параллельно решались две задачи колоссальной государственной важности: обеспечение военно-стратегического паритета и достижение научно-технического первенства нашей страны. Определяющим в этих достижениях, безусловно, явилось то, что разработка ракетно-космических программ и их реализация велись выдающимися учёными, компетентными руководителями отрасли при внимательном и конструктивном отношении государственного руководства.

Для решения всех принципиальных вопросов было образовано неформальное объединение – Совет Главных конструкторов. Хотя Совет не имел официального государственного статуса, авторитет принимаемых им решений был определяющим для ЦК КПСС и СМ СССР. В его первый состав входили В.П. Глушко – главный конструктор ракетных двигателей, Н.А. Пилюгин – главный конструктор автономной системы управления, М.С. Рязанский – главный конструктор систем радионавигации и радиоуправления, В.П.Бармин – главный конструктор наземного заправочного, транспортного и стартового оборудования и В.И. Кузнецов – главный конструктор гироскопических командных приборов. Позднее туда вошёл А.Ф. Богомолов – главный конструктор средств радиотелеметрии и траекторных измерений. Во главе с основоположником практической космонавтики главным конструктором ракетной системы в целом С.П. Королёвым Совет стал впоследствии самым влиятельным органом в развитии всей отечественной космонавтики.

Совет Главных конструкторов.
Слева направо: А.Ф. Богомолов, М.С. Рязанский, Н.А. Пилюгин, С.П. Королёв, В.П. Глушко, В.П. Бармин, В.И. Кузнецов

Газета «Правда» от 10 декабря 1957 года опубликовала статью С.П. Королёва (под псевдонимом профессора К.Сергеева), в которой были такие слова: «Наступит и то время, когда космический корабль с людьми покинет Землю и направится в путешествие на далёкие планеты, в далёкие миры. Сегодня многое из сказанного кажется лишь увлекательной фантастикой, но на самом деле это не совсем так. Надёжный мост с Земли в космос уже перекинут запуском советских искусственных спутников, и дорога к звёздам открыта! Можно предположить, что в будущем именно Луна, являющаяся естественным и вечным спутником нашей планеты, станет основной промежуточной станцией на пути с Земли в глубины космоса...»

И «космическим объектом No 1» для наших учёных, конструкторов, инженеров становится – Луна. Президент Академии наук СССР Мстислав Всеволодович Келдыш, которого в те годы в публикациях на космическую тематику называли «Главным теоретиком космонавтики», в конце 1957 года впервые предложил разработать несколько научно-технических проектов по исследованию Луны космическими аппаратами. Сергей Павлович Королёв, которого в тех же публикациях называли «Главным конструктором», уже в январе 1958 года выступил с докладом «О программе исследования Луны».

А в начале марта Сергей Павлович Королёв и Михаил Клавдиевич Тихонравов (один из первопроходцев нашей отечественной космонавтики) подготовили и представили в государственные органы, а именно в ЦК КПСС и Совет Министров СССР, записку «О перспективных работах по освоению космического пространства». Результатом рассмотрения изложенных в «Записке» предложений явилось принятие 20 марта 1958 года постановления «О запусках космических объектов в направлении Луны» (Программа «Е»).

М.В. Келдыш и С.П. Королёв
на полигоне Тюра-Там

Она содержала научные исследования на трассе полёта космического аппарата «Земля–Луна» по траектории прямого попадания на Луну; получение фотографий Луны; выведение космического аппарата на орбиту искусственного спутника Луны (ИСЛ); мягкую посадка на Луну; доставку на Луну подвижного исследовательского аппарата, управляемого с Земли. Таким образом, С.П. Королёв после запуска первых ИСЗ приступил к штурму дальнего космоса. В 1958 году наступил черёд выполнить задачу Программы «Е» – попасть в Луну космической ракетой. Осуществление мечты Человека о познании небесных тел по соседству с нашей планетой. Началось создание первого поколения лунных космических аппаратов (ЛКА). Для получения научной информации с борта ЛКА был принят оптимальный вариант развёртывания передающих и приёмных радиотехнических средств вблизи самого южного Отдельного научно-измерительного пункта страны – 79 ОНИП, который располагался в 18 км от Симферополя, вблизи посёлка Школьное. Этот пункт входил в состав Командно-измерительного комплекса (КИК) с 1957 года, его персонал имел определённый опыт, участвуя в работах по первым спутникам. Состоялось решение о развёртывании временного измерительного пункта ИП-41Е на горе Кошка, около черноморского посёлка

Симеиз, рядом с научной станцией Физического института АН СССР (ФИАН). Выбранный район обеспечивал благоприятные условия приёма научной информации, расширял зону радиовидимости над ОНИ-Пами на территории СССР, увеличивал длительность сеансов радиосвязи. Связь крымского ИП-41Е с 79 ОНИП, командным пунктом Центра Командно-измерительного комплекса (КИК) Москва, Координационно-вычислительным центром (КВЦ) НИИ-4 МО (г. Болшево, ныне г. Юбилейный Московской области), полигоном Тюра-Там осуществлялась радиорелейными станциями через ретранслятор на горе Ай-Петри. Комплексные испытания наземной аппаратуры проводились при техническом руководстве В.И. Аппеля представителями НИИ-885, тогда ещё молодыми инженерами первой категории Е.Н. Галиным, Е.П. Горбуновым, А.И. Дунаевым, В.С. Кузнецовым, А.М. Малаховым. Вместе с ними в испытаниях участвовали и военнослужащие ИП-41Е, осваивая технические средства и приобретая опыт эксплуатации новых радиотехнических систем.

2 января 1959 года в 19 часов 41 минуту 21 секунду по московскому времени боевые расчёты Ракетных частей Министерства обороны СССР с 1-й стартовой площадки Научно-исследовательского и испытательного полигона в Тюра-Таме Казахской ССР (ныне космодром «Байконур») произвели старт РН «Восток-Л» с ЛКА.

3 января радио, телеграф и все газеты мира передали сообщение ТАСС «О запуске космической ракеты в сторону Луны». Однако она пролетела мимо диска Луны на расстояние 5995 километров. «Луна-1» вышла на свою гелиоцентрическую орбиту 7-8 января и стала первой в мире искусственной планетой Солнечной системы, получившей с чьей-то лёгкой руки имя «Мечта».

Она до сих пор совершает за 450 земных суток один оборот вокруг Солнца, неся на борту вымпелы с Государственным гербом Советского Союза и надписью: «Союз Советских Социалистических Республик. Январь 1959».

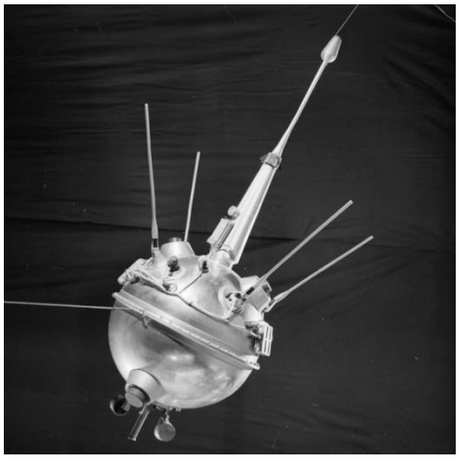


Рисунок 1 – «Луна-1»

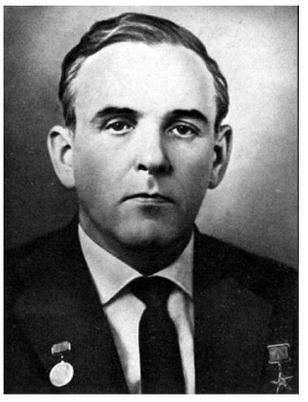
12 сентября 1959 года стартовала «Луна-2». В сообщении ТАСС говорилось: «Сегодня, 14 сентября, в 00 часов 02 минуты 24 секунды московского времени вторая советская космическая ракета достигла поверхности Луны. Впервые в истории осуществлён космический полёт с Земли на другое космическое тело. В ознаменование этого выдающегося события на поверхность Луны доставлены вымпелы с изображением Герба Советского Союза и надписью: «Союз Советских Социалистических Республик. Сентябрь 1959».

4 октября 1959 года состоялся старт третьей советской космической ракеты – «Луна-3». «Лунный фотограф» 7 октября, зайдя за Луну, начал первый в истории человечества успешный эксперимент по фотографированию и передачи из космоса на Землю изображений другого небесного тела. Это событие ознаменовало рождение «КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ».

1959 год вошёл в историю мировой науки и техники как год начала совершенно нового этапа исследования Луны и окололунного пространства советскими космическими ракетами. Мягкая посадка на Луну была одной из труднейших технических проблем космонавтики.

Согласно Постановлению ЦК КПСС и СМ СССР от 22 марта 1962 года срок запусков космических аппаратов по этой программе был запланирован на 1963 год. Однако все 11 стартов ЛКА с января 1963 года по декабрь 1965 года оказались

неудачными. В июне 1965 года Сергей Павлович Королёв на совещании руководителей ракетно-космических промышленных предприятий представил главного конструктора ОКБ Машиностроительного завода (ныне Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина) Георгия Николаевича Бабакина как главного конструктора автоматических межпланетных станций для исследования Луны и планет Солнечной системы. Приняв из рук С.П. Королёва почётную эстафету, Г.Н. Бабакин стал достойным преемником основоположника отечественной практической космонавтики по непилотируемым межпланетным космическим аппаратам. Он оформил это направление в самостоятельное, востребованное и эффективное средство познания землянами окружающего мира.



Георгий Николаевич Бабакин

Г.Н. Бабкин является создателем отечественных роботизированных КА, перенесших из мира человеческих фантазий в мир реалий уникальнейшие по своей сложности и научной информативности исследовательские экспедиции на Луну, Венеру и Марс.

Качественно новый этап в исследовании Луны был открыт 31 января 1966 года запуском «Луны-9». 3 февраля на Луну были доставлены вымпелы с надписью: «Союз Советских Социалистических Республик. Февраль 1966» и Государственным гербом Советского Союза. 4 февраля в Симферопольском ЦДКС была получена первая панорама лунного ландшафта.

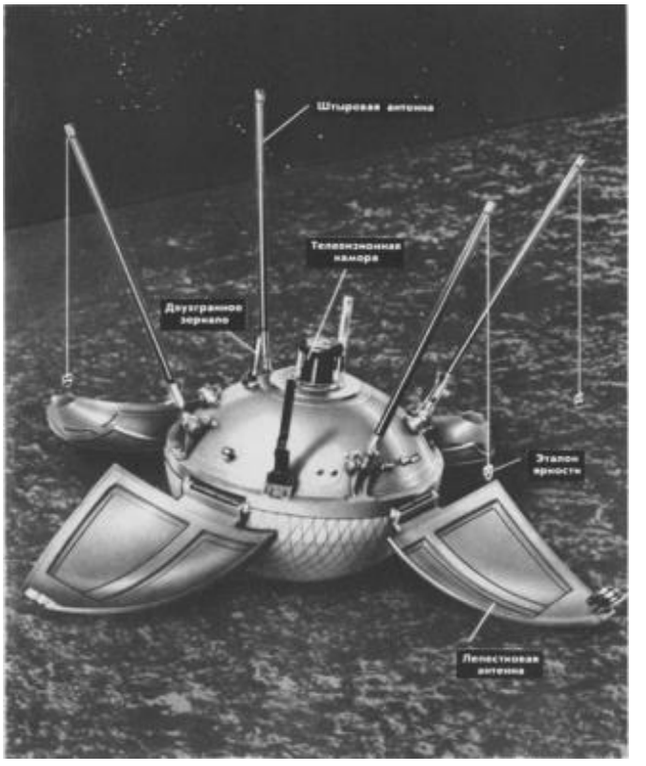


Рисунок 2 – Посадочное устройство «Луны-9»

31 марта 1966 года был произведён старт РН с ЛКА «Луна-10», который 3 апреля 1966 года стал первым в мире искусственным спутником Луны.

10 апреля 1968 года был выведен на окололунную орбиту четвёртый советский ИСЛ. Это была «Луна-14», стартовавшая 7 апреля 1968 года. «Луна-14» завершила программу исследования Луны и окололунного пространства с помощью «лунников» второго поколения, выводимых РН «Молния». К десятилетию начала космической эры советская ракетно-космическая промышленность в процессе совершенствования подошла к возможности создания более мощных РН и многофункциональных ЛКА. Новое поколение ЛКА сочетали в себе комплекс автоматических устройств и телеуправления, позволявших проводить исследования как с орбиты искусственного спутника Луны, так и непосредственно с её поверхности, изучать самые различные участки видимой и обратной сторон Луны и доставлять образцы лунного вещества на Землю.

Каждый новый шаг в исследовании космического пространства грандиозен и достоин высокой оценки. Таким новым шагом в те годы явились создание и использование лунных самоходных аппаратов (ЛСА) – луноходов. Ещё в ноябре 1965 года между МЗ им. С.А. Лавочкина и ВНИИ-100 (ныне – ОАО «ВНИИТрансмаш», С.-Петербург) был заключён договор на предстоящие работы по лунной тематике. В новой кооперации окончательно определились задачи: МЗ им. С.А. Лавочкина отвечал за создание ЛКА, ВНИИ-100 – за создание самоходного шасси лунохода с блоком автоматического управления и системой безопасности движения. К исходу 1967 года шасси лунохода доставили на МЗ им. С.А. Лавочкина. Таким образом, луноход – это научная лаборатория, установленная на дистанционно управляемое самоходное шасси транспортного средства (ТС) высокой проходимости. После анализа результатов, полученных «Луной-13», директор ГЕОХИ им. В.И. Вернадского академик А.П. Виноградов от имени АН СССР высказал просьбу «о доставке всего 100 граммов лунного грунта» с помощью непилотируемого КА.

Георгий Николаевич отдавал предпочтение варианту, при котором одна и та же ракетно-космическая система могла доставлять на Луну в одном случае луноход, а в другом – грунтозаборное устройство (ГЗУ), возвратный носитель и возвращаемый аппарат с образцами лунного грунта. Коренным образом изменялся облик ЛКА. В первую очередь это коснулось ракетной ступени коррекции и торможения (КТ). Теперь она представляла собой корректирующе-тормозной модуль, аппаратуру управления перелётом и посадкой с исполнительными органами. Для посадки на поверхность Луны использовались четыре амортизированные опоры.

Таким образом, создавался базовый для всех непилотируемых ЛКА третьего поколения новый универсальный служебный модуль – орбитально-посадочный блок (ОПБ), включавший унифицированное посадочное устройство: посадочную ступень (ПС) и полезную нагрузку. В зависимости от целевой задачи ЛКА на его ПС могли устанавливаться либо луноход (объект Е8), либо ГЗУ, ракета «Луна–Земля» с возвращаемым аппаратом (объекты Е8-5, Е8-5М), либо научные приборы для дистанционного исследования Луны (объект Е8-ЛС).

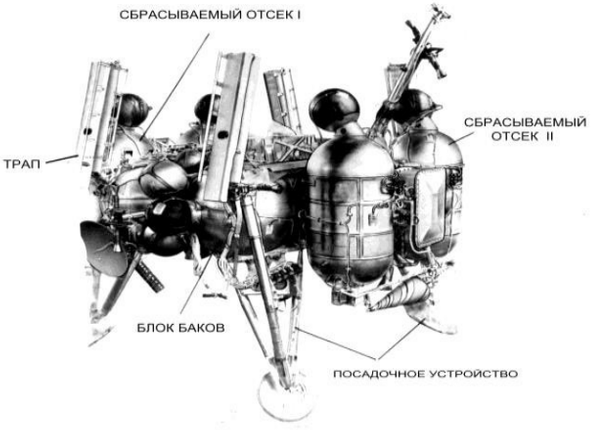


Рисунок 3 – Корректирующе-тормозной модуль

Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР за № 19-10 от 08.01.1969 года были установлены сроки запусков ЛКА в 1969 году: объекты проекта Е-8 назначены на февраль, октябрь и ноябрь; объекты проекта Е-8-5 – апрель, май, июнь, август и сентябрь. Старт РН «Протон-К» с объектом Е-8 был назначен на 19 февраля 1969 года. Но на 52-й секунде полёта разрушился головной обтекатель, произошло аварийное выключение двигателей первой ступени, РН взорвалась. 13 июля 1969 года стартовала РН «Протон-К» с ЛКА, получившим название «Луна-15» с задачей посадки на Луну, забора грунта и доставки его на Землю. «Луна-15» стала первым космическим аппаратом нового поколения, выведенным к Луне РН «Протон-К». После торможения ЛКА был выведен на орбиту ИСЛ с заданными параметрами. 21 июля 1969 года ЛКА сделав вокруг Луны 53 витка, после включения тормозной двигательной установки, пошёл на посадку. Но касание Луны произошло не через

6 минут, согласно предварительным расчётам, а через 4 минуты, и аппарат разбился. Тем не менее полёт «Луны-15» подтвердил правильность технических решений, жизненность организации весьма сложного процесса управления и явился новым шагом в познании космоса. 12 сентября 1970 года – произведен успешный запуск «Луны-16». 17 сентября ЛКА перешёл на селеноцентрическую круговую орбиту, а 20 сентября осуществил мягкую посадку. Кроме забора грунта в течение 26 часов 25 минут проводились температурные и радиационные измерения, уточнялись координаты места посадки, проводилась проверка функционирования бортовых систем и агрегатов.

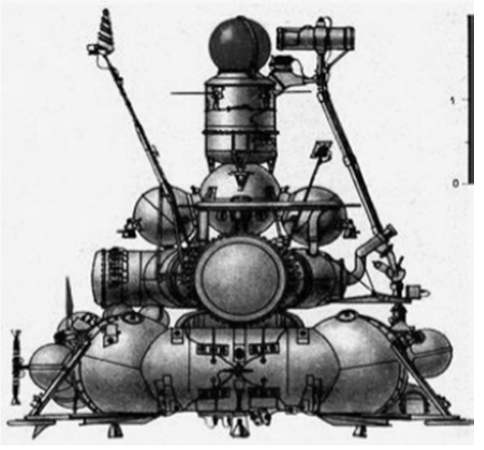


Рисунок 4 – «Луна-16»

21 сентября 1970 года дежурный расчёт выдал радиокоманду на пуск ракеты «Луна–Земля», и в 10 часов 43 минуты 32 секунды ракета с возвращаемым аппаратом устремилась к Земле. Полёт проходил по баллистической траектории, коррекция её не предусматривалась. 24 сентября возвращаемый аппарат был отделён от приборного отсека ракеты и вошёл в плотные слои атмосферы Земли. После аэродинамического торможения и раскрытия парашюта он совершил посадку в 80 километрах юго-восточнее г. Джезказган, откуда подавал радиосигналы. Поисково-спасательная служба, оснащённая авиационными средствами и радиолокационными станциями, обеспечила быстрое обнаружение и эвакуацию контейнера с образцами лунного грунта. Образцы грунта массой 105 граммов, после карантина, были переданы нескольким институтам АН СССР для исследований. Советская космическая наука и техника блестяще решили новую научно-техническую проблему. 10 ноября 1970 года состоялся старт РН «Протон-К» с ЛКА «Луна-17». Главная задача – доставка на поверхность Луны первой передвижной научной лаборатории – лунохода.

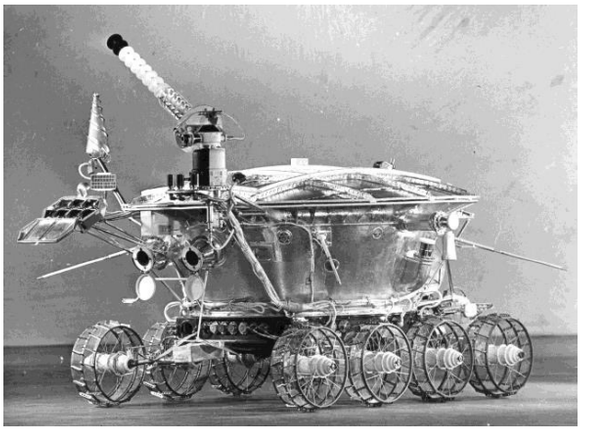


Рисунок 5 – «Луноход-1»

17 ноября посадочная ступень «Луны-17» совершила мягкую посадку в районе Моря Дождей. Накануне Государственная комиссия для ведения первого сеанса связи с луноходом утвердила расчёт экипажа в составе: Н.М. Ерёменко (командир), Г.Г. Латыпов (водитель), Н.Н. Козлитин (оператор ОНА), К.К. Давидовский (штурман) и Л.Я. Мосензов (бортинженер).

Экипаж занял свои рабочие места. У своих пультов заняли места дежурные расчёты командной радиолинии, телеметристы, телевизионщики, селенологи и другие специалисты. «Луноход-1» начал отпечатывать свою первую колею по лунной поверхности, удалившись от посадочного устройства на 20 метров.

В следующий сеанс с луноходом рабочие места за пультами занял расчёт экипажа в составе: И. Фёдорова (командира), В. Довганя (водителя), Н. Козлитина (оператора ОНА), В. Самаля (штурмана), А. Кожевникова (бортинженера).

В течение одиннадцати лунных дней, а каждый длится 14,5 земных суток, «Луноход-1» выполнял запланированную программу. Сеансы с Землей проводились 157 раз. Лаборатория прошла по поверхности Луны 10 540 метров. Телефотометры передали на Землю 211 лунных панорам, телекамеры – 25 тысяч фотографий. В 537 точках определялись физико-механические свойства грунта Луны, в 25 местах проведён его химический экспресс-анализ. Суммарная длительность активного существования «Лунохода-1» составила 301 сутки 06 часов 37 минут. Создание и успешная работа «Лунохода-1» уже вошли в мировую историю развития науки и техники.

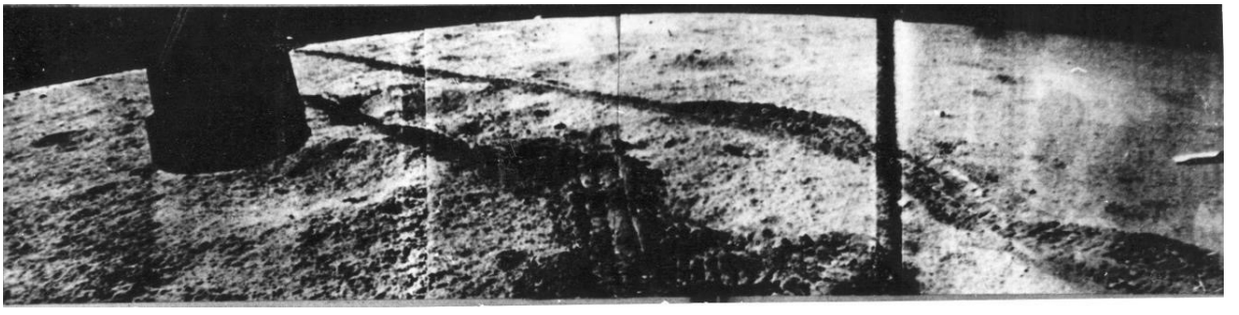


Рисунок 6 – Первая колея на Луне

Пункт управления луноходом.
Слева направо: командир экипажа И. Фёдоров, оператор ОНА Н. Козлитин, водитель лунохода В. Довгань

Члены Государственной комиссии с экипажем лунохода. Симферопольский ЦДКС, 22.11.1970 г.

Справа налево (сидят): Г.Н. Бабакин – Технический руководитель Государственной комиссии (ГК), Г.А. Тюлин – Председатель ГК, А.А. Большой – руководитель Главной оперативной группы управления (ГОГУ), В.П. Пантелеев, А.П. Романов, Н.И Бугаев – заместители руководителя ГОГУ; стоят: В.Г. Самаль, Г.Г. Латыпов, В.И. Чубукин, А.К.Чвиков – руководитель группы управления, И.Л. Фёдоров, Н.Я. Козлитин, Л.Я. Мосензов, К.К. Давидовский, Н.М. Ерёменко, В.М. Сапранов, А.Е. Кожевников, В.Г. Довгань

После изучения лунного грунта, доставленного «Луной-16», учёные проявляли большой интерес теперь уже к получению грунта, добытого с горной поверхности Луны. Именно такая цель была поставлена перед миссией нового объекта Е8-5 № 407.

И вновь «Протон-К» со станцией стартовал 2 сентября 1971 г. в 16 часов 40 минут 40 секунд. Согласно заложенной в систему управления РН программе, аппарат был выведен на околоземную орбиту (т.н. опорную орбиту ИСЗ), а затем в 19 часов 52 минуты 39 секунд и на траекторию полёта к Луне. С этого момента ЛКА получил наименование «Луна-18». По своей конструкции и составу бортовой аппаратуры он был аналогом «Луны-15» и «Луны-16». 11 сентября после радиокоманды на включение режима посадки на 54-м витке вокруг Луны ЛКА сошёл с орбиты и направился к Луне. Однако прилунение оказалось жёстким, и в 10 часов 47 минут 16,5 секунд связь с «Луной-18» прервалась в точке с координатами 3°34′ северной широты и 56°30′ восточной долготы.

Но изучение Селены продолжилось по запланированной программе, которая следующим этапом предусматривала проведение комплекса научных исследований межпланетного, окололунного пространства и Луны с орбиты её искусственного спутника и картографическую съёмку Луны в зонах возможных посадок как непилотируемых, так и пилотируемых ЛКА.

Для выполнения такой задачи 28 сентября 1971 года в 13 часов 00 минут 22 секунды стартовала РН «Протон-К» с ЛКА Е8-ЛС No202. В открытой печати аппарат был назван «Луной-19». Это был первый представитель ЛКА третьего поколения, предназначенный для научных исследований

окололунного пространства и Луны с орбиты её искусственного спутника. «Луна-19» проработала 398 суток, совершив более 4000 витков. В итоге было проведено 23 цикла гравитационных измерений длительностью от 4 до 14 суток, что позволило уточнить параметры гравитационного поля Луны. За 12 сеансов фотосъёмки удалось передать на Землю 41 фотографию лунной поверхности. Однако по-прежнему требовала решения задача взятия образцов грунта из горных районов Луны и доставки их на Землю. Государственная комиссия приняла решение о запуске ЛКА Е8-5 No408.

Старт РН «Протон-К» состоялся с космодрома «Байконур» 14 февраля 1972 года в 06 часов 27 минут 58,5 секунд. С промежуточной околоземной орбиты ЛКА вышел на траекторию полёта к Луне, получив название «Луна-20». Она являлась полным аналогом предшествующих станций. 21 февраля в 22 часов 19 минут на естественный спутник Земли были доставлены грунтозаборное устройство (состояло из бурового станка, механизмов забора лунного грунта, упаковки его в герметичный контейнер) и стартовое устройство с возвратной ракетой для автоматической доставки лунного грунта на Землю. На посадочной ступени вмонтирован Государственный вымпел в виде прямоугольной пластины. На лицевой её стороне надпись: «Союз Советских Социалистических Республик» и Герб Советского Союза. На оборотной – «Луна-20, февраль 1972», изображения: старта ракеты с Луны, трассы Луна–Земля, земного шара с очертаниями территории СССР и обозначением места посадки возвращаемого аппарата. По командам с Симферопольского Центра в 23 часа 14 минут было включено грунтозаборное устройство, и началась операция по взятию грунта. Общая глубина проникновения снаряда в грунт составила около 300 миллиметров. Процесс отбора вещества продолжался около 16 минут. Взятые образцы с помощью управляемого с земли манипулятора были помещены в контейнер возвращаемого аппарата возвратной ракеты и загерметизированы. Затем по командам из ЦУПа были включены телефотометры, чтобы провести повторную съёмку места взятия пробы.

Рисунок 7 – Свидетельство успешной работы грунтозаборного устройства «Луны-20». На снимке чётко видна цилиндрическая вмятина, оставленная торцом бурового снаряда, а в центре – отверстие от извлечённой буровой колонки

25 февраля в 22 часа 12 минут в 40 км от города Джезказган Казахской ССР лунный грунт благополучно прибыл на Землю. Поисковая служба в исключительно неблагоприятных погодных условиях (сильный ветер, метель, низкая облачность) обнаружила шар возвращаемого аппарата и обеспечила его эвакуацию. Образцы лунного грунта массой 55 граммов были переданы в АН СССР. Отечественная космическая наука и техника ещё раз продемонстрировали широкие возможности исследования Луны и окололунного пространства непилотируемыми космическими аппаратами. В историю изучения Солнечной системы была вписана ещё одна золотая страница.

8 января 1973 года в 09 часов 55 минут 38 секунд боевыми расчётами РВСН с космодрома Байконур произведён старт РН «Протон-К» с ЛКА «Луна-21». Главная задача – доставить передвижную научную лабораторию на поверхность естественного спутника Земли «Луноход-2». Программа новой экспедиции была составлена в соответствии с комплексной задачей изучения

основных физико-механических и химических свойств поверхности Луны в зоне перехода морского района небесного тела в район материковый.

Следует отметить, что новая космическая лаборатория не стала точной копией предыдущей. На луноходе усовершенствовали некоторые системы. Прежде всего, конструкторы прислушались к пожеланиям экипажей и сделали третью верхнюю телекамеру на уровне роста человека. При этом подняли её на кронштейне вверх до высоты 1,5 метров и вынесли на 0,5 метра вперёд. Это значительно расширило обзор впереди лежащей местности, позволило качественнее оценивать обстановку (до 10-12 метров) и в конечном счёте увеличить среднюю скорость движения. Тем не менее следует признать, что при этом «мёртвая» (невидимая) зона от передних колёс лунохода достигла 3 метров (на «Луноходе-1» такая зона составляла 1,2 метра). Теперь водитель мог осмотреть местность и с положения «как бы присев» (при использовании нижних телекамер), и с высоты человеческого роста.

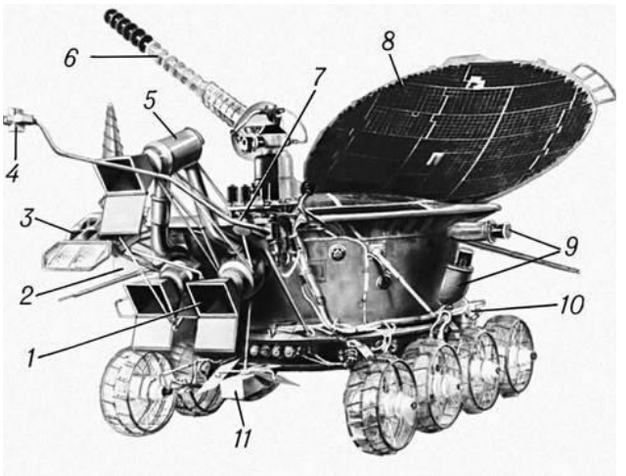


Рисунок 8 – «Луноход-2»:
1 – телекамера; 2 – астрофотометр;
3 – уголковый отражатель; 4 – магнитометр;
5 – выносная телекамера;
6 – остронаправленная антенна; 7 – фотоприемник;
8 – панель солнечной батареи; 9 – телефотометры;
10 – прибор оценки проходимости;
11 – выносной блок аппаратуры «РИФМА»

16 января 1973 года в 01 часов 35 минут в район Моря Ясности был доставлен «Луноход-2». Место посадки находилось в непосредственной близости от материкового района, представлявшего большой научный интерес. Долгое время поверхность Моря Ясности не исследовалась космическими средствами. В декабре 1972 года на его восточной окраине совершил посадку американский аппарат «Аполлон-17». Советский луноход «прилунился» в 180 километрах к северу от места его посадки. Впервые в практике исследования Луны космическими средствами советский и американский аппараты совершили мягкие посадки в такой близости друг от друга. Первый сеанс связи с луноходом Государственная комиссия поручила расчёту экипажа в составе инженеров-испытателей лаборатории 3 (лунные самоходные аппараты), отдела 25 Научно-координационного вычислительного центра КИК майору Игорю Леонидовичу Фёдорову (командиру экипажа), Вячеславу Георгиевичу Довганю (водителю лунохода), Николаю Яковлевичу Козлитину (оператору ОНА), Викентию Григорьевичу Самалю (штурману) и Альберту Евстафьевичу Кожевникову (бортинженеру).

После контроля состояния бортовых систем лунохода было установлено, что во время полёта вышли из строя датчики курса и местной вертикали блока автоматики шасси, в связи с чем «Луноход-2» лишился навигационной системы. Но опыт экипажа, полученный при управлении «Луноходом-1», позволил второму лунному вездеходу успешно начать свой первый сеанс движения. После оценки с помощью телевизионных камер окружающей местности в 04 часа 14 минут с пульта водителя была выдана радиокоманда «Вперёд-1», и «Луноход-2».

Сначала по трапам луноход сошёл на поверхность Луны, а затем продолжил свой путь. Второй сеанс связи осуществлял расчёт в составе: Николай Михайлович Ерёменко (командир), Габдулхай Гимадутинович Латыпов (водитель),

Валерий Михайлович Сапранов (оператор ОНА), Константин Константинович Давидовский (штурман) и Леонид Яковлевич Мосензов (бортинженер). Экипаж в сеансах движения управлял луноходом, не имея телеметрических показаний значений углов крена и дифферента, а также курса, доверяясь интуиции водителей, которые ориентировались на собственные ощущения об его угловых координатах относительно горизонта Луны. К тому же водитель не мог рассчитывать на срабатывание систем защиты и аварийную остановку лунохода при положении шасси выше расчётно-допустимых углов. «Лунной акробатикой» назвали тогда движение «Лунохода- 2» по гребню вала кратера в Море Ясности. За четыре месяца (пять лунных дней и ночей) с 16 января по 10 мая 1973 года с «Луноходом-2» было проведено 60 сеансов радиосвязи. Передвигаясь в условиях сложного лунного рельефа, луноход преодолел 37 километров. С помощью телевизионной аппаратуры, установленной на борту вездехода, на Землю были переданы 86 фототелепанорам и более 80 тысяч телевизионных снимков лунной поверхности.

В 493 точках определялись физико-механические свойства грунта, а в 23 точках был проведен его химический экспресс-анализ. В ходе съёмки были получены стереоскопические изображения наиболее интересных особенностей лунного рельефа, позволившие провести детальное изучение его строения. Полученная с помощью «Лунохода-2» уникальная научная информация послужила дальнейшему расширению сведений о Луне, Солнце и космическом пространстве. Успешное выполнение программы в значительной степени было обеспечено чёткой работой Командно-измерительного комплекса, членов экипажа лунохода. За пять лунных дней «Луноход-2» проделал в 3,5 раза больший путь, чем «Луноход-1».

Слева направо: В. Довгань, В. Сапранов,
Н. Козлитин, Г. Латыпов

На протяжении более 40 лет эта оценка не подвергалась сомнению, хотя измерения пройденного пути с помощью одометра, по определению, не могли иметь высокую точность, так как погрешность составляла 10-15%. До последнего времени точное местонахождение «Лунохода-2» и последняя «остановка» аппарата были неизвестны в связи с отсутствием оптических данных о поверхности Луны с высокой разрешающей способностью. Благодаря запуску к Луне орбитального зонда Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO, NASA) в 2009 году, у исследователей появилась возможность увидеть поверхность Луны с высоким разрешением (0,4-1,6 м/пиксель). Архивные данные и новые снимки позволили восстановить с высокой точностью маршрут «Лунохода-2» (таблица).

Путь, пройденный «Луноходом-2»

№	Лунный день	Пройденное расстояние, м
1	16-24 01.1973	1148
2	07-22.02. 1973	9919
3	09-23.03. 1973	16533
4	08-23.04. 1973	8600
5	07-10.05. 1973	880

*Значения примерные, так как отказала навигационная система.

Публикация детальных снимков, сделанных американским КА LRO, позволило Московскому государственному университету геодезии и картографии (МИИГАиК) в рамках работ Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий (КЛИВТ) под руководством И.П. Карачевцевой сопоставить результаты, проведенные в луноходных миссиях и снятые путевыми картами со следами, оставленными луноходами. Расчеты показали, что фактическая длина пройденного пути «Луноходом-1» составила 9,93 км, а «Луноходом-2» – 42,1-42,2 км. 29 мая 1974 года в 11 часов 56 минут 51 секунду ракета-носитель «Протон-К» вывела на траекторию полёта к Луне станцию «Луна-22» (Е8-ЛС No206). По поставленным задачам, конструкции и составу бортовой аппаратуры она практически повторяла «Луну-19». Несколько изменился состав комплекса научной аппаратуры. Для получения изображений отдельных районов лунной поверхности на борту аппарата были установлены две оптико-механические телевизионные камеры. Общее время активного существования «Луны-22» составило 18 месяцев, что превысило запланированное время в шесть раз. Программа полёта была выполнена полностью.

С целью ещё раз доставить образцы лунного грунта на Землю 28 октября 1974 года в 17 часов 30 минут 32 секунды «Протон-К» вновь направил ЛКА к нашей соседке – Луне. На сей раз это была «Луна-23» (Е8- 5М No410). Примечательно, что начиная с «Луны-15» стартовая масса всех последующих «лунников» была примерно одинаковой – 5700-5800 килограммов. Возвращаемая капсула, то есть «сухой остаток» миссии – 34-35 килограммов. На посадочной платформе стояло новое усовершенствованное грунтозаборное устройство (ГЗУ). Оно было создано Конструкторским бюро общего машиностроения (КБОМ) и его Ташкентским филиалом (впоследствии ТашКБМ) под руководством академика В.П. Бармина. Заказчиком ГЗУ и практически одним из создателей его являлось НПО имени С.А. Лавочкина. В связи с жёсткой установкой ГЗУ на корпусе посадочной ступени из состава аппаратуры были исключены телефотометры и светильники. Конструкция возвратной ракеты и спасаемого аппарата остались без изменений, за исключением герметизируемой капсулы для размещения грунта, диаметр которой был увеличен с 68 до 100 мм. 6 ноября была включена ДУ для схода ЛКА с орбиты. Первый этап торможения прошёл штатно и закончился на высоте 2 километров 280 метров. После выключения двигателя включился доплеровский измеритель скорости ДА-018. На высоте 400–600 метров переключения на второй диапазон измерений по каналу дальности не произошло, поэтому скорость к моменту посадки более чем вдвое превысила

допустимую (11 м/с вместо 5 м/с). К тому же площадка места посадки оказалась с углом наклона 10–15°. При скорости и перегрузках, вдвое превышавших допустимые, в момент посадки произошло опрокидывание аппарата, что привело к механическому повреждению объекта, разгерметизации приборного отсека и отказу дециметрового передатчика. Попытки команд с Земли включить ГЗУ и подготовить возвратную ракету к старту ни к чему не привели, что подтвердила информация от радиокомплекса возвратной ракеты. Доставка образцов грунта на Землю стала невозможной, и 9 ноября работа с «Луной-23» была прекращена.

Очередная попытка челночного рейса и доставки лунного грунта была предпринята 16 октября 1975 года. Старт РН «Протон-К» состоялся в 17 часов 04 минуты 56 секунд. Однако ЛКА Е8-5М No410 на трассу полёта к Луне не вышел из-за отказа ДУ разгонного блока.

Год спустя, 9 августа 1976 года в 18 часов 4 минуты 12 секунд с космодрома Байконур за грунтом отправился новый «бурильщик-грузовик» – «Луна-24» (Е8-5М № 413). По конструкции это был полный аналог «Луны-23». После включения тормозного двигателя 18 августа в 9 часов 36 минут «Луна-24» совершила мягкую посадку в юго-восточном районе Моря Кризисов в точке с координатами 12°45′ северной широты и 62° 12' восточной долготы, на расстоянии 2,3 километра от не выполнившей свою миссию «Луны-23».

Через 15 минут после проверки состояния бортовых систем, определения положения посадочной ступени на лунной поверхности по команде с Земли было включено грунтозаборное устройство. ГЗУ было предназначено для бурения поверхности Луны до глубины 2,5-3 метров, забора керна по всей глубине бурения в специальный грунтонос, перегрузки грунтоноса с забранным грунтом в возвращаемый аппарат (ВА) для дальнейшей доставки его на Землю. Полная масса с блоком управления составляла 54 килограмма, а масса забираемого грунта – 130–250 граммов. Время полного цикла работы (по штатной циклограмме) было рассчитано на 70-110 минут. При заборе грунта до глубины 120 сантиметров использовался режим вращательного бурения, а далее происходила смена способов пенетрации – с вращательного на ударно-вращательный. Общая глубина бурения составила 225 сантиметров. В связи с тем, что оно производилось с наклоном, общее заглубление составило около 2 метров.

Рисунок 9 – «Луна-24»

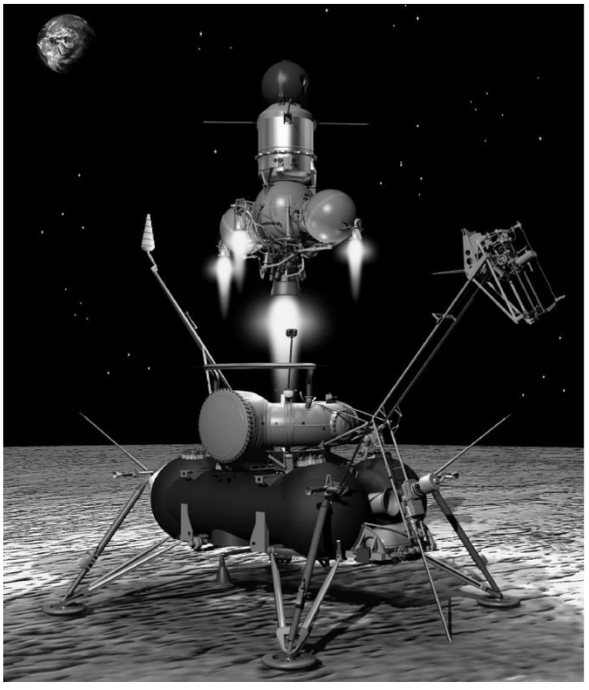


Рисунок 10 – Старт с Луны

Возвратная ракета с образцами грунта стартовала к Земле 19 августа в 8 часов 25 минут.

Продолжительность обратного перелёта составила 84 часа. 22 августа она приблизилась к Земле со второй космической скоростью. В расчётное время, за 8 часов до входа в атмосферу Земли, произошло отделение ВА от возвратной ракеты. На высоте 15 километров была введена в действие парашютная система, и ВА совершил посадку в 200 километрах юго-восточнее Сургута (Тюменская область). Новые образцы грунта массой 170,1 грамма были переданы в ГЕОХИ им. В.И. Вернадского. Небольшую порцию привезённого грунта учёные вручили в декабре 1976 года коллегам из НАСА. «Луна-24» завершила список непилотируемых космических аппаратов, направленных к Луне с территории СССР.

Время отсчитало более 56 лет с начала исследования Луны отечественной космонавтикой. Начиная с первого старта 23.08.1958 года для доставки на Луну советских вымпелов до посадки 22.08.1976 года возвращаемого аппарата «Луны-24» с лунным грунтом в Советском Союзе было осуществлено 53 старта различных типов ракет-носителей с ЛКА, для облёта Луны 7К-Л1П (упрощённый вариант) и «Зонд» (7К-Л1), в том числе 15 – аварийных. Полностью выполнили программу полёта 14 ЛКА, частично – 9 (из них 3 – пролетели мимо диска Луны, а 5 – разбились при прилунении) и остались на околоземной орбите 9 ЛКА. Из 8 «Зондов» выполнили программу полёта – 4, частично – 2 и аварийных – 2.

После выполнения первых проектов Программы «Е» и осуществления мягкой посадки на Луну в НПО им. С.А. Лавочкина начались проектирование и изготовление непилотируемых многоцелевых ЛКА третьего поколения.

В течение десятилетия (с 1966 по 1976 гг.) состоялось 24 старта РН «Протон-К» с ЛКА. Не все они закончились выведением на трассу полёта к Луне (5 аварийных стартов, 4 – остались на орбите ИСЗ), удачной посадкой («Луна 15», «Луна 18», «Луна 22»). Но каждый пуск требовал тщательной предстартовой подготовки. Полёты ЛКА, доставивших образцы лунных пород из морских и материковых районов, многомесячная работа передвижных научных лабораторий внесли громадный вклад в изучение нашего естественного спутника и системы «Земля–Луна». По своему техническому совершенству они оказались первоклассными космическими аппаратами, которыми может гордиться отечественная и мировая наука. Эксперименты по автоматическому забору лунного вещества до сих пор не повторены ни одной страной в мире.

В ходе реализации Программы «Е» с применением самоходных лунных аппаратов был сформирован большой коллектив уникальных специалистов. Они решали задачи баллистики, управления, связи, телеоператорного управления транспортным средством, находящимся на поверхности иного небесного тела на расстоянии сотен тысяч километров. Богатый опыт был накоплен в процессе работы с «Луноходом-1». Конструктивные повышения манёвренности и мобильности позволили его последователю «Луноходу-2» в условиях сильно пересечённой местности, сыпучих грунтов, крутых склонов и обширных каменных россыпей изучить два главных типа местности на Луне – морской и материковый, а также тектоническое образование – региональную трещину сжатия «Борозда Прямая». Значимые исследования проведены по трассе длиной более 42 километров. Экипаж лунохода постоянно совершенствовал своё мастерство и, как показали результаты работ, сумел с честью справиться со всеми трудностями, возникавшими на пути. Результаты этих миссий, в которых реально воплощены новые формы сочетания автоматики и операторской работы наземной группы управления экипажем лунохода, будут в течение ещё долгого времени предметом внимательного анализа и обсуждения.

Надо признать, что потенциальные возможности, заложенные в «луноходную» программу, оказались значительными, но далеко ещё не исчерпаны. После того, как были созданы и отработаны в реальных условиях средства телевизионного управления автоматами на космических расстояниях, напрашивался следующий шаг – создание аналогичных средств для использования на Земле в тех экстраординарных условиях, где использовать человека бесполезно или опасно. Например, поступали предложения по созданию малогабаритного транспортного средства (минитрактора), способного двигаться в экстремальных условиях Арктики, Антарктиды, в зонах радиационного заражения. В 1986 году для расчистки завалов и дезактивации кровель 3-го энергоблока Чернобыльской АЭС в ВНИИтрансмаш был создан робототехнический комплекс «Клин-2», получивший впоследствии название «Комплекс СТР-1». В его в состав входили два специализированных транспортных робота (СТР-1), пульты управления с приёмопередающим радиоканалом, приёмным и видеоконтрольным устройствами. Хочется верить, что знания и опыт, полученные при создании и эксплуатации луноходов, ещё не раз найдут своё применение.

Прошедшие десятилетия показали, что и советские и американские лунные экспедиции опередили время. Новый виток возрастания интереса к исследованию и освоению Луны наступил вновь. В настоящее время все ведущие космические державы в перспективные планы исследования Солнечной системы включают изучение Луны.

Актуальность результатов научных исследований, полученных с луноходов, возросла в связи с подготовкой новых российских миссий к Луне («Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс»). Будущее в изучении Луны, планет и других небесных тел Солнечной системы трудно представить без транспортных средств. Каждый новый шаг в исследовании космического пространства грандиозен и достоин высокой оценки. Таким новым шагом в прошлом столетии явились создание и использование лунных самоходных аппаратов.

Но с течением времени это уже стало историей. Всё изменилось в марте 2010 года, когда учёные с помощью космического аппарата LRO обнаружили и провели крупномасштабное фотографирование местонахождения американских посадочных лунных моделей, посадочных ступеней советских ЛКА, а также «Лунохода-1», «Лунохода-2» и следы их колёс. Современная точная информация о территориях, где луноходы действовали, позволила переосмыслить и интерпретировать данные, полученные более сорока лет назад, на новом уровне понимания. Необходимо отдать должное вкладу луноходчиков в лунную географию. Для того, чтобы учёные имели возможность лучше понимать друг друга при обсуждении полученных более сорока лет назад научных данных, Рабочая группа по планетной номенклатуре при Международном астрономическом союзе (МАС) утвердила 12 названий кратеров, расположенных по маршруту «Лунохода-1». Эти кратеры невелики от 100 до 400 метров в диаметре, и по правилам МАС для них были выбраны личные имена, в отличие от наименований больших кратеров, называемых в честь конкретных учёных. Ещё двенадцать названий добавлены в электронную энциклопедию Луны (Moon-Wiki). Новые имена объектов на лунной поверхности в честь:

«Альберт» – Кожевникова Альберта Евстафиевича – бортинженера второго расчёта;

«Боря» – Непоклонова Бориса Викторовича – почётного члена экипажа, руководителя оперативной научной группы от АН СССР;

«Валера» – Сапранова Валерия Михайловича – оператора ОНА первого расчёта;

«Вася» – Чубукина Василия Ивановича – члена экипажа первого расчёта;

«Витя» – Самаля Викентия Григорьевича – штурмана второго расчёта;

«Гена» – Латыпова Габдулхая Гимадутиновича – водителя лунохода первого расчёта;

«Игорь» – Фёдорова Игоря Леонидовича – командира экипажа второго расчёта;

«Коля» – Козлитина Николая Яковлевича – оператора ОНА второго расчёта;

«Костя» – Давидовского Константина Константиновича – штурмана первого расчёта;

«Леонид» – Мосензова Леонида Яковлевича – бортинженера первого расчёта;

«Николя» – Ерёменко Николая Михайловича – командира экипажа первого расчёта;

«Слава» – Довганя Вячеслава Георгиевича – водителя лунохода второго расчёта.

Основоположник космонавтики К.Э. Циолковский писал: «Нет ничего важнее, чем наше счастье и счастье всего живого в настоящем и будущем. Мы живём более жизнью космоса, чем жизнью Земли, так как космос бесконечно значительней Земли по своему объёму, массе и времени. Множество насущных вопросов сейчас не может быть решено, между тем как жизнь требует их решения во что бы то ни стало. Отсюда потребность иметь твёрдые, непоколебимые взгляды и решения трудных задач, чтобы не топтаться на одном месте, а идти вперёд, хотя бы рискованным путём».

Прошло почти сто лет, но мысли, предвидения, научные открытия великого русского учёного актуальны и в наши дни. Активное исследование космоса и освоение Луны – это обеспечение ресурсных интересов, национальной безопасности и технологической независимости России, это престиж нашего государства как ведущей космической державы.

Литература

1. *Глушко, В.П.* Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР / *В.П. Глушко*. – М.: Изд-во АПН, 1973. – 96 с.

2. *Александров, А.А.* Путь к звездам. Из истории советской космонавтики / *А.А. Александров*. – М.: Вече, 2011. – 400 с.

3. Мировая пилотируемая космонавтика. История. Техника. Люди. – М.: РТСофт, 2005. – 752 с.

4. *Дыбала, Н.В.* Миссия «Космос». История покорения человеком Вселенной / *Н.В. Дыбала*. – М.: Эксмо, 2011. – 96 с.

Б.А. СТЕПАНОВ
Доктор технических наук, профессор
B.A. STEPANOV
Doctor of Technical Sciences, Professor

УДК 620.162

ИССЛЕДОВАНИЕ ШТАМПОВКИ МЕТОДОМ ОСАДКИ С КРУЧЕНИЕМ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ШТАМПОДЕРЖАТЕЛЕМ

Ключевые слова: *штамподержатель, кручение, осадка, штамповка, цилиндр, комбинированное нагружение.*

Аннотация: *Автор описывает эффективность метода штамповки с кручением, который принципиально изменяет механику контактного трения и вызывает интенсивные сдвиговые деформации.*

INVESTIGATION BY STAMPING PRECIPITATION TORSION SPECIALIZED HYDRAULIC ROTATING PRESS WITH THE SHOE

Keywords: *the shoe, twisting, sludge pressing, cylinder, combined loading.*

Abstract: *The author describes the effectiveness of the method of forming a torsion, which fundamentally changes the mechanics of contact friction and causing intense shear deformation.*

Необходимость облегчения машиностроительной продукции выдвигает ряд актуальных задач получения крупногабаритных тонкостенных изделий, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Однако на этом пути встречаются технологические трудности, прежде всего высокие удельные силы, многократно превосходящие напряжение текучести σ_S материала при температуре обработки. При этом резко снижается стойкость штампов и увеличиваются погрешности в размерах штампуемых деталей. Эта особенность пластического течения в тонких слоях связана с действием контактных сил трения, влияние которых тем больше, чем больше отношение диаметра D детали к ее высоте H (D/H). Существенно снизить внешнее трение при горячей штамповке не удается даже при тщательной механической обработке гравюры штампа и применении самых современных смазочных материалов.

Технологические силы штамповки и контактные нагрузки на инструмент могут быть многократно снижены, если вместо традиционной штамповки на универсальном оборудовании применять штамповку комбинированным нагружением металла путем воздействия на

него одновременно осевой силой и крутящим моментом. Такое нагружение реализуется при штамповке с кручением, когда верхний штамп совершает одновременно поступательное и вращательное движения, воздействуя тем самым на заготовку нормальной силой и крутящим моментом. Такой метод штамповки принципиально изменяет механику контактного трения и вызывает интенсивные сдвиговые деформации. Трение, препятствующее течению металла при обычной штамповке и потому являющееся вредным, становится активным и полезным при штамповке с кручением, а сдвиговые деформации в тангенциальном направлении вызывают качественную проработку материала изделий [1, 2].

Исследования пластического течения металла при штамповке с кручением [1] показывают, что технологические сила и момент определяются безразмерным параметром кручения q, определяемым по формуле:

$$q = \frac{\omega D}{v2\sqrt{3}},$$

где ω и v угловая и линейная скорости инструмента, соответственно. Для оценки эффективности осадки с кручением получены зависимости безразмерных величин: среднего давления P^*, равного отношению давления P на гравюру штампа к напряжению текучести σ_s деформируемого металла ($P^*=P/\sigma_s$), и момента M^* (отношение действительного момента кручения M к максимальному моменту кручения Mmax ($M^*= M/M$max)) от параматра q (рис. 1).

С увеличением параметра кручения контактные давления, а следовательно, и технологические силы падают. Момент кручения, напротив, быстро возрастает и стремится к своему предельному значению. Большое значение имеет отношение диаметра к высоте диска. Чем больше это отношение (чем более тонкостенное изделие), тем больший эффект снижения силы. Для массивных деталей (с отношением D/H<3) применение штамповки с кручением с целью снижения силы представляется нецелесообразным.

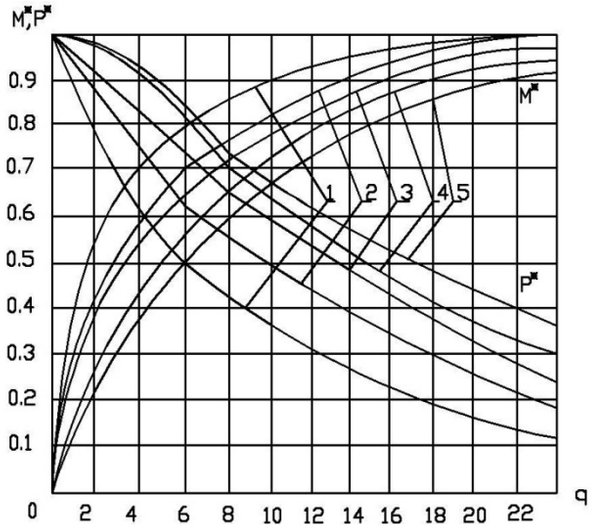


Рисунок 1 – Зависимость относительного среднего давления P^* и крутящего момента M^* от параметра кручения q при значениях D/H: 1 – 70; 2 –58; 3 – 46; 4 – 32; 5 – 18

Для экспериментальных исследований в широком диапазоне изменения режимов штамповки с кручением, задаваемых параметром кручения q, использовался гидравлический пресс с вращающимся инструментом (рис. 2).

Пресс содержит станину 1, в направляющих которой установлены верхний 2 и нижний 4 ползуны. В нижнем ползуне смонтирован с возможностью вращения штамподержатель 11, жестко соединенный с винтом 10, а в верхнем ползуне 7 закреплена гайка 9, образующая винтовую несамотормозящую пару с винтом 12. В верхней поперечине станины 1 установлены центральный цилиндр 3 привода винта 10 и два боковых цилиндра 6 привода верхнего ползуна 7.

Холостой ход приближения штамподержателя 4 совершается подачей жидкости низкого давления в цилиндр 2, при этом нижний ползун 4 опускается вниз до соприкосновения верхнего инструмента с заготовкой. Затем в этот же цилиндр подается жидкость высокого давления,

и заготовка осаживается поступательно перемещающимся инструментом. Когда давление рабочей жидкости достигает заданной величины, включается привод боковых цилиндров 6, которые перемещают верхний ползун 7 с гайкой 9. При скорости υг перемещения верхнего ползуна больше скорости υв перемещения нижнего ползуна гайка 9 обгоняет винт 10, что приводит к вращению штамподержателя 11 с угловой скоростью

$$\omega = (\upsilon_г - \upsilon_в)2\pi/S,$$

где S – ход резьбы винтовой пары.

В начальный период осадки происходит увеличение давления P^*, что соответствует малым значениям параметра кручения (q = 0÷1,5). Дальнейшая осадка характеризуется возрастанием параметра q, давление P^* стабилизируется, а к концу процесса даже несколько уменьшается (рис. 3, *а*).

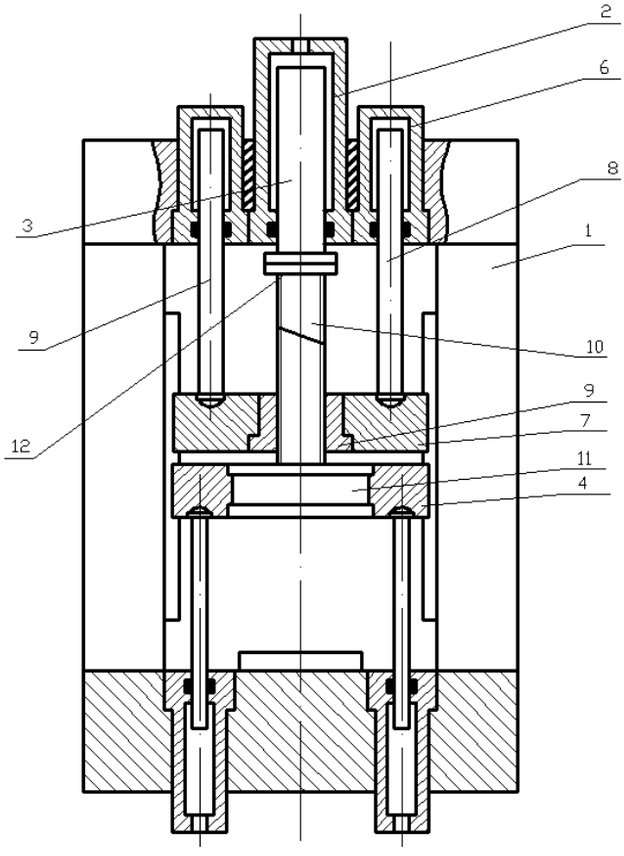


Рисунок 2 – Конструктивная схема гидравлического пресса 1.6 МН

Энергоемкость операции осадки с кручением A_Σ складывается из работы $A_р$ поступательного перемещения штамподержателя и работы $A_м$ его вращения.

На рис. 3, *б* приведены зависимости $A = A(\Delta H)$, полученные при давлении $P_ц$ = 15(1); 10(2) и 5(3) МПа. Для сравнения на графике приведена экспериментальная кривая работы A_0 при осадке поступательно перемещающимся штамподержателем. Анализ кривых показывает, что энергоемкость операции осадки с кручением при малых значениях q меньше энергоемкости традиционной осадки. Увеличение параметра q сопровождается соответствующим увеличением суммарной работы A_Σ осадки с кручением за счет интенсивного увеличения работы кручения $A_м$. Важным преимуществом комбинированного нагружения является не только снижение средней величины контактных давлений, но и более равномерное их распределение.

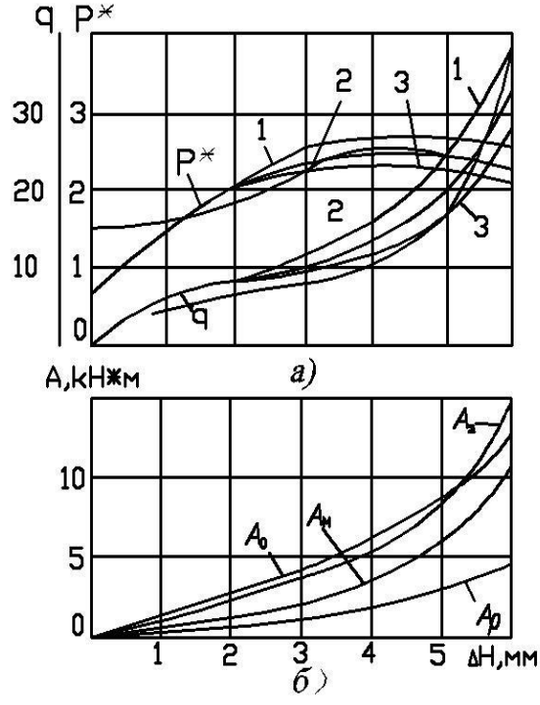


Рисунок 3 – Изменение параметра кручения q и среднего давления P^* (*а*) и работы

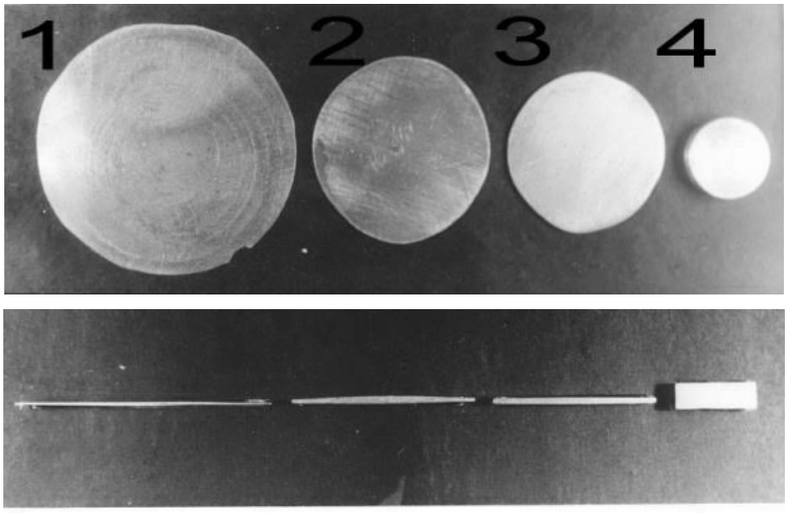


Рисунок 4 – Образцы, осаженные на гидравлическом прессе:
без кручения силой 0,8 МН (3) и 1,6 МН (2); с кручением силой 0,8 МН (1) (4 – исходная заготовка)
деформирования А (б) от хода осадки ΔН при давлении в центральном цилиндре:
1 – Рц = 15; 2 – Рц = 10; 3 – Рц = 5МПа

При однокомпонентном нагружении контактное деление в центральной зоне многократно превышает давление на периферии, что подтверждается формой дисков, полученных при осадке алюминиевых заготовок (рис. 4). Сравнение образца 3, осаженного без кручения силой 0,8 МН, и образца 2, осаженного аналогично силой 1,6 МН, показывает, что увеличение силы осадки в 2 раза не приводит к заметному увеличению диаметра заготовки, но вследствие деформации инструмента под воздействием высоких давлений в центральной зоне образец приобретает форму линзы. Та же заготовка 1, осаженная силой 0,8 МН с кручением до диаметра в 1,6 раза больше, чем диаметр образца 2, не имеет таких колебаний по толщине, что свидетельствует о более равномерном распределении контактных давлений при штамповке с кручением.

Литература

1. Штамповка с кручением / *В.Н. Субич, В.А. Демин, М.А. Шестаков, А.В. Власов*. – М.: Изд-во МГИУ, 2008. – С. 389.

2. *Михайленко, Ф.П.* Исследование напряженно-деформированного состояния и удельных нагрузок при осадке с кручением и без кручения заготовок из алюминиевых сплавов / *Ф.П. Михайленко, Д.А. Щербатов* // Кузнечно-штамповочное производство. – 2008. – № 10. – С. 3-13.

В.В. ЛУНИН

Доктор химических наук, профессор, академик РАН,

декан химического факультета,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

V.V. LUNIN

Doctor of Chemical Science, Professor, Academician of RAS,

Dean of Chemistry Faculty, Lomonosov Moscow State University

В.В. ПЕРМИНОВА

Доктор химических наук, профессор

I.V. PERMINOVA

Doctor of Chemical Sciences, Professor

УДК 501

ПОЛЕЗНАЯ ХИМИЯ: ХОРОШАЯ НОВОСТЬ 21-ГО ВЕКА

Ключевые слова: *органическая химия, азотные удобрения, биоадаптогены, хлор, озон.*

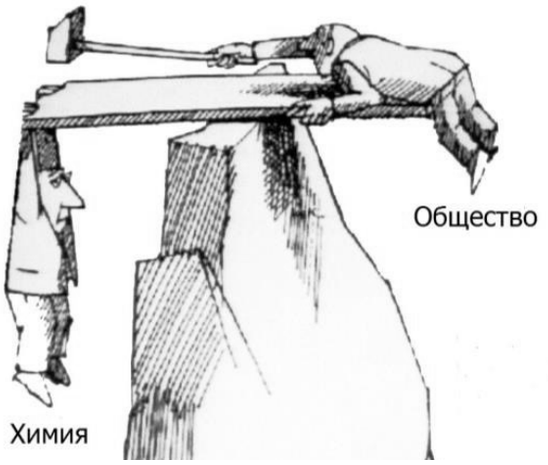
Аннотация: *химия органично присутствует во всех сферах нашей жизни и за ее пределами. Почва, на которой произрастают овощи и фрукты, употребляемые в пищу, регулярно обрабатывается удобрениями, продукты – консервантами, а вода содержит хлор, все это не лучшим образом влияет на организм человека. Ученые химфака МГУ работают над созданием «безопасной» для человека химии.*

USEFUL CHEMISTRY: GOOD NEWS OF THE 21st CENTURY

Key words: *organic chemistry, nitrogen fertilizers, bioadaptogeny, chlorine, ozone.*

Abstract: *Chemistry is present in all spheres of our life and beyond. The soil in which grow fruit and vegetables, are regularly treated with fertilizers, foods – preservatives, and the water contains chlorine, this is not the best way affects the human body. Chemistry Department Scientists of Moscow State University are working on a «safe» for people chemistry.*

Понятие «полезная химия» (впрочем, как и «хорошие новости») стало своеобразным атавизмом в нынешний век высоких технологий и скоростей. Если уж новости, – то ужасные, ну, а если химия – то ужасно вредная, иначе не зацепишь читателя и не заставишь смотреть зрителя. Ну кому интересны добрые новости? Кто их будет смотреть? Тем более примечательно, что именно на страницах почтенного новостного издания сформировался запрос на «полезную химию», о которой сегодня пойдет речь.



Дай бог, чтобы стало это приметой нового времени и нового мироощущения, – запроса на добро, которое необходимо для выживания рода человеческого, так как без него увядает душа. Помните флогистон? Он же – «сверхтонкая материя» – «огненная субстанция», высвобождающаяся при горении? Так вот, несмотря на то, что теория его существования опровергнута наукой, без флогистона мертвеет материя, а без добра – души людей. Так и с химией: мы навесили на нее столько ярлыков, сделав практически именем нарицательным – синонимом зла, что пришло время сказать: хватит. Хватит ужасаться самим и хватит пугать окружающих. Лучше ответьте на вопрос: что есть человек без химии? Не знаете? Ну так представьте себе. Получится вполне в стиле фильмов ужасов и плохих новостей: голод, холод, чума и разруха. Поэтому переключайтесь на добрую волну и слушайте хорошие новости про полезную химию 21-го века: кормилицу, поилицу, домоустроительницу и врачевательницу рода человеческого.

«Химия – кормилица» такая же непреложная аксиома, как и «хлеб – всему голова». Миллионы тонн минеральных удобрений, выпускаемых химическими комбинатами, – это основа интенсивного земледелия, которое единственное способно прокормить современное народонаселение планеты. Без внесения удобрений нет ни сбалансированного питания растений, ни сверхурожаев. Вот-вот, скажете Вы. Кто не слышал про нитраты? Про нитраты мы не просто слышали: мы знаем, что причиной накопления нитратов в растениях является резкое повышение их концентрации в почве в результате внесения хорошо растворимых азотных удобрений. Решением проблемы является создание азотных удобрений замедленного высвобождения – направление интенсивных изысканий современных химиков. Одним из вариантов является использование изобутилиденмочевины, которая высвобождает органический азот при контакте с водой, позволяя поддерживать невысокие концентрации азота в течение длительного времени. Другой подход – использование пленок, в которые «закатывают» гранулы азотных удобрений. Для изготовления таких пленок используют элементарную серу, а в последнее время ведутся работы по применению природных полимеров – гуминовых веществ – для создания гуматизированных удобрений. Указанные пленки регулируют скорость высвобождения азота из гранул, предотвращая его залповое высвобождение и чрезмерное поступление в растения. Помимо минеральных удобрений, в производстве которых заняты преимущественно химики-неорганики и химики-технологи, не менее важную роль в получении богатых урожаев играет применение химических средств защиты растений (гербицидов, фунгицидов, инсектицидов, объединяемых под общим названием пестицидов) и регуляторов роста растений (фитогормонов, элиситоров, стимуляторов роста и т.д.). Здесь на первый план выходят химики-органики, биоорганики, биохимики и агрохимики. Сверхзадачей химии 21-го века в этом направлении является создание «органических» (то есть безопасных для окружающей среды и человека) лекарств для растений на основе молекулярного понимания механизмов устойчивости растений к различным стрессам и роли факторов окружающей среды. Здесь химики ведут ювелирную работу в контакте с «химическими» генетиками и молекулярными

биологами, которая обещает невероятные прорывы в области создания биоадаптогенов нового поколения, способных осуществлять тонкую настройку механизмов резистентности растений к различным видам стрессов. Салициловая кислота, жасмоновая кислота, брассиностероиды – это все только вершина айсберга иммунной системы растений – одни из многих ее сигнальных молекул, но уже их применение для коррекции стрессов позволяет получать удивительные результаты. При этом самые фундаментальные подвижки в области земледелия могут произойти в ближайшее время от совместных усилий химиков и почвоведов, направленных на понимание молекулярных и наноуровневых механизмов самоорганизации, ведущих к формированию почвы. Учеными МГУ уже сформулирована новая концепция почвы как «сухой воды», согласно которой почвенные органоминеральные частицы выступают в качестве стабилизаторов эмульсии воды в воздухе. Это создает ту самую «воздушную» структуру почв, где в каждой крупинке – капля воды, что наиболее способствует росту растений. Научиться управлять структурой почв и, в пределе, синтезировать почву в пробирке – это одна из основополагающих задач экоадаптивной химии, направленной на изучение природных молекул, структур и процессов самоорганизации с целью воспроизведения их в природоподобных устройствах, процессах и технологиях. Думаете, это недостижимая мечта? – Но мы уже работаем над ее осуществлением. И ни где-нибудь, – а у нас в МГУ на кафедре органической химии. Раз уж мы заговорили о почве, то теперь самое время перейти к воде. Согласно прогнозам Дениса Медоуза – одного из отцов-создателей Римского клуба, – именно недостаток воды может уже в этом столетии стать причиной передела территорий и, следовательно, войн. То есть в условиях изменения климата, роста народонаселения и сокращения природных ресурсов чистая вода, наряду с нефтью и газом, становится стратегическим сырьем. И несмотря на то, что Россия находится в очень выгодном положении, обладая самым большим ресурсом пресной воды на Земле, выжить нам на необитаемом острове не удастся. Поэтому лучшие химические умы – в том числе, и нашей страны, – работают над оптимизацией существующих и созданием принципиально новых технологий получения чистой воды. Одна из главных проблем, которую предстоит решить химикам, – это исключить хлор из технологии водоподготовки, не повысив при этом кардинально стоимость питьевой воды. Это связано с тем, что великое благо хлора – его удивительные бактерицидные свойства, которые обеспечивают доставку обеззараженной питьевой воды по самым длинным распределительным сетям, имеет обратную сторону: появление хлорорганических углеводородов в питьевой воде. Эти опасные токсиканты – тригалометаны – способны накапливаться в человеческом организме, а причина их появления – присутствие в воде невинных природных соединений – гуминовых веществ, которые вступают в реакцию хлорирования. Поэтому решений два: либо сохранить хлор, но убрать полностью гуминовые вещества, что весьма затратно, либо заменить хлор на другой реагент. И здесь на помощь химикам пришел озон, по применению которого активно ведутся работы в лаборатории катализа и газовой электрохимии МГУ, которой руководит академик РАН В.В. Лунин. В настоящее время учеными лаборатории показана не только перспективность применения озона в качестве альтернативы хлору для получения безопасной питьевой воды, но и возможность использования озона для оздоровления организма человека. Это новое направление было с энтузиазмом воспринято современной медициной и получило даже отдельное название: озонотерапии. Применение озона в медицине – далеко не единичный случай прямого вмешательства химии в дело врачевания. Достаточно вспом-

нить об антибиотиках – панацее 20-го века, вставшей на пути грозных инфекций, традиционно уносивших миллионы человеческих жизней. Поэтому количество жизней, спасенных химией, не счесть. Но в 21-м веке появился новый грозный враг рода человеческого – суперинфекции, вызываемые панрезистентными бактериями, устойчивыми ко всем известным антибиотикам. И опять все взгляды обращены к химикам: кто, если не вы. И мы принимаем этот вызов. Это очень тяжелая задача, но мы над ей работаем, и для победы нам нужны совсем новые идеи, новое понимание механизмов передачи информации в бактериальных сообществах, новое понимание сложных супрамолекулярных систем, новые инструменты познания, но больше всего нам нужна моральная поддержка всего общества. Имейте мужество признать, что без химии нет жизни. И что в развитии химического просвещения и химической науки – залог благоденствия современного общества. Без химии не было бы супермодных гаджетов и не ломились бы столы от яств. Поэтому смело смейтесь в лицо шарлатанам, в лекарствах которых «нет никакой химии», а в витаминах «нет ни микро-, ни макроэлементов». Гоните их. Потому что хорошая новость 21-го века заключается в том, что химия была, есть и будет полезной, все остальное – от лукавого, но это уже другой мировоззренческий вопрос.

Литература

1. *Tarasova, N.* Worldwide trends in green chemistry education. Chapter 12. Green Chemistry Education in Russia / *N. Tarasova, E. Lokteva, V. Lunin*. – L.: Royal Society of Chemistry, 2015. – P. 213–247.

2. Лабораторное моделирование взаимодействия озона с хлоруксусными кислотами в условиях, приближенных к стратосферным / *Н.Е. Строкова, С.В. Савилов, И.И. Морозов, Т.В. Ягодовская, В.В. Лунин* // Журнал физической химии. – 2015. – Т. 89, № 1. – С. 33–42.

3. *Tkachenko, I.S.* The principles of ‘green chemistry’ using the example of design and operation of an underground water treatment station at a Moscow food processing enterprise for purification out of compounds of iron and the utilization of byproducts / *I.S. Tkachenko, S.N. Tkachenko, V.V. Lunin* // Water Science and Technology. – 2015. – Vol. 10, № 1. – С. 36–42.

4. Roles of water and dissolved oxygen in photocatalytic generation of free OH radicals in aqueous TiO2 suspensions: An isotope labeling study / *A.O. Kondrakov, A.N. Ignatev, V.V. Lunin, F.H. Frimmel, S. Bräse, H. Horn* // Applied Catalysis B: Environmental. – 2015. – Vol. 182. – P. 424–430.

5. Nanoscale carbon materials from hydrocarbons pyrolysis: Structure, chemical behavior, utilisation for non-aqueous supercapacitors / *S.V. Savilov, N.E. Strokova, A.S. Ivanov, E.A. Arkhipova, A.V. Desyatov, Xia Hui, S.M. Aldoshin, V.V. Lunin* // Materials Research Bulletin. – 2015. – Vol. 69, Sept. – P. 13–19.

6. *Перминова, И.В.* Полезная химия: хорошая новость XXI века // И.*В. Перминова, В.В. Лунин* // Журнал РБК. – 2014. – № 10, окт. – С. 16.

7. Novel carbon based hybrid nanomaterials and ionic liquids for energy storage devices / *S.V. Savilov, E. Senokos, M. Golubev, A.S. Ivanov, V.V. Lunin* // International Journal of Chemical and Environmental Engineering. – 2013. – Vol. 4, № 5.

8. Regeneration of Pd/TiO2 catalyst deactivated in reductive CCl4 transformations by the treatment with supercritical CO2, ozone in supercritical CO2 or oxygen plasma / *E.S. Lokteva, A.E. Lazhko, E.V. Golubina, V.V. Timofeev, A.V. Naumkin, T.V. Yagodovskaya, S.N. Gaidamaka, V.V. Lunin* // Journal of Supercritical Fluids. – 2011. – Vol. 58, № 2. – P. 263–271.

Е.В. ЗАХАРОВА
Кандидат химических наук
E.V. ZAKHAROVA
Ph.D. in Chemistry

С.Н. КАЛМЫКОВ
Доктор химических наук, профессор
S.N. KALMYKOV
Doctor of Chemical Sciences, Professor

А.П. НОВИКОВ
Доктор химических наук
A.P. NOVIKOV
Doctor of Chemical Sciences

А. Ю. РОМАНЧУК
Магистр химических наук
A.Y. ROMANCHUK
Master

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОРБЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ИОНОВ АКТИНИДОВ НА МИНЕРАЛЬНЫХ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦАХ

Ключевые слова: *сорбция, радионуклиды, катионы, коллоидные частицы.*

Аннотация: *Показано, что альтернативой использования коэффициента распределения (Kd) для описания сорбции при малой степени заполнения поверхности коллоидных частиц является величина pH50, которая учитывает как свойства сорбента, так и сорбата. Приведены корреляции между величиной*

pH50 и плотностью заряда катиона для ряда An(III)-An(IV)-An(V)-An(VI), а также между pH50 и константами гидролиза катионов в растворе. Обсуждаются закономерности редокс-реакций с участием плутония, сопровождающие его сорбцию на коллоидных частицах оксидов Fe(III).

LAWS SORPTION BEHAVIOUR OF ACTINIDE IONS MINERAL COLLOIDAL PARTICLES

***Key words**: sorption, radionuclides, cations, colloid particles.*

***Abstract:** It is shown that the alternative to the use of K_d to describe sorption at low degree of surface saturation of colloid particles is pH_{50} that take into account both the properties of the sorbent and sorbate. The correlations of pH_{50} with cation charge density for the row An(III)- An(IV)-An(V)-An(VI) and with hydrolysis constants are presented. The redox reactions with plutonium that accompany its sorption onto Fe(III) oxides are discussed.*

Введение

Сорбция является основным физико-химическим процессом, определяющим подвижность радионуклидов в окружающей среде. Коллоидные частицы, повсеместно присутствующие в природных водах, могут значительно увеличить миграцию радионуклидов за счет сорбции. Традиционно считалось, что химические элементы, образующие малорастворимые соединения и склонные к сорбции на вмещающих горных породах и почвах, обладают низкой подвижностью. К ним относятся Pu(IV), U(IV), Np(IV), Am(III), Eu(III), Tc(IV) и другие катионы с высокой плотностью заряда. Однако в последние десятилетия в литературе появилось значительное число примеров, указывающих на то, что скорость миграции этих радионуклидов с подземными водами существенно превышает величины, предсказанные из моделей [1–4], что объясняется так называемым «коллоидным транспортом».

Данная статья посвящена обсуждению закономерностей сорбционного поведения ионов актинидов на коллоидных частицах оксидов/оксигидроксидов Fe и Mn. Проблема привлекла наше внимание потому, что в литературе на сегодняшний день мы видим большой разброс экспериментальных данных. Также интересно, что коллоиды оксидов Fe(III) и Mn(IV) являются потенциальными транспортерами радионуклидов в окислительных условиях (например, ореол загрязнения озера Карачай [4]).

Еще в 1968 году Женне [5] была опубликована работа по распределению тяжелых металлов в природных водах, в которой говорилось о доминирующей роли оксидов марганца и железа в процессах сорбции неорганических загрязнителей.

Гематит [6, 7], гетит [8] и оксиды марганца [9, 10] были обнаружены в составе кристаллических пород, глин и почв, отобранных в местах, загрязненных радионуклидами, и в районах потенциальных полигонов захоронения РАО. Гематит и магнетит содержатся в качестве примесей в составе бентонитов, использование которых предполагается для создания инженерных барьеров в хранилищах РАО [11, 12].

Возможным источником коллоидных частиц оксидов железа является коррозия контейнеров с РАО в момент проникновения подземных вод в хранилища [13–15]. В работах американских авторов указывается на присутствие диоксида марганца в резервуарах для хранения некоторых типов РАО [16]. Оксиды металлов, в том числе Fe(III) и Mn(IV), в значительных количествах присутствуют также в радиоактивных пульпах – гетерогенных радиоактивных отходах, накопленных в значительном количестве на предприятиях ядерно-топливного цикла как в России, так и в других странах [17].

Закономерности сорбции ионов актинидов

Наиболее часто используемой характеристикой сорбционных взаимодействий является

коэффициент распределения, определяемый как отношение общих концентраций сорбата в твердой фазе ($C_{тв.}$) и в растворе ($C_{раст.}$):

Чаще всего K_d выражают в мл/г (или в л/кг), реже – в мл/м^2 (или в л/м^2).

Обычно для предсказания сорбционного поведения радионуклидов в тех или иных условиях проводят серию модельных лабораторных исследований с использованием отобранных в окружающей среде образцов твердых фаз и природных вод либо их синтетических аналогов. По результатам подобных экспериментов получают величины K_d, которые используют для оценки подвижности радионуклидов. Однако полученные таким образом значения K_d соответствуют строго заданным экспериментальным условиям. Сложность состава твердой фазы и различия в сорбционной способности отдельных минеральных компонентов приводят к крайне неоднородному локальному распределению радионуклидов. На сорбционное поведение радионуклидов оказывают сильное влияние pH среды и присутствие комплексообразующих лигандов. Поэтому адекватность применения результатов, полученных в контролируемых лабораторных условиях к реальным геологическим условиям (масштабирование), является ключевой проблемой при оценке миграции радионуклидов.

Основным механизмом сорбции ионов на коллоидных частицах оксидов/гидроксидов металлов является комплексообразование с сорбционными центрами – гидроксильными группами поверхности:

$$\equiv XOH + Cat(OH)n^{(m-n)+} \rightarrow \equiv XOCat(OH)n^{(m-n-1)+} + H^+$$

$$\equiv XOH + An^{k-} + H^+ \rightarrow \equiv XAn^{(k-1)-} + H2O.$$

По аналогии с реакциями комплексообразования в растворе различают внутри- и внешнесферные комплексы, как это показано на рис. 1.

Если при сорбции на поверхности образуются внешнесферные комплексы, то с увеличением ионной силы сорбция будет уменьшаться вследствие конкуренции с ионами фонового электролита. В случае образования внутрисферных комплексов на поверхности влияние ионной силы либо отсутствует, либо наблюдается увеличение сорбции с увеличением ионной силы [18, 19]. Эффект увеличения сорбции при увеличении концентрации фонового электролита может быть связан как с уменьшением протяженности диффузного слоя, что облегчает образование химической связи, так и с увеличением концентрации противоионов, необходимых для компенсации заряда, образующегося на поверхности при сорбции [20].

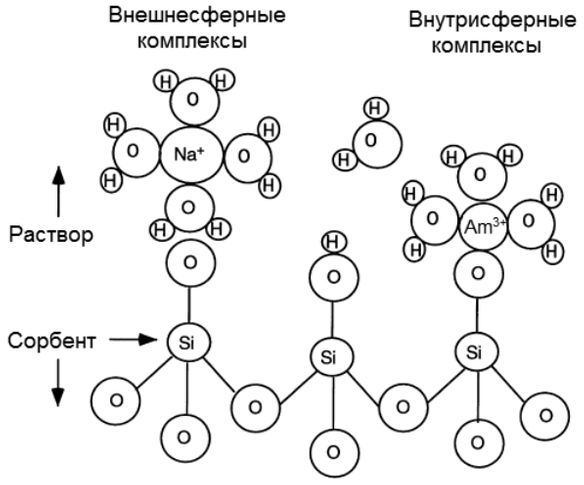
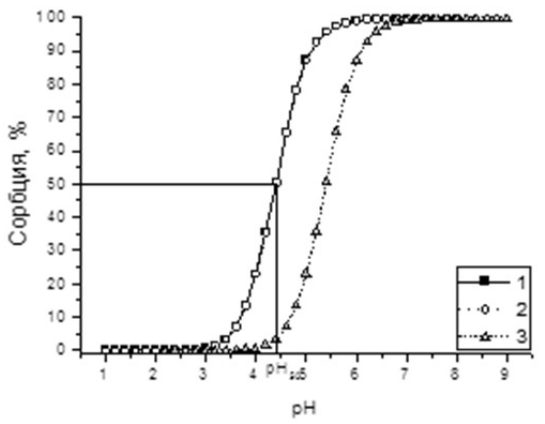


Рисунок 1 – Образование внешне- и внутрисферных комплексов катионов с гидроксильными группами поверхности оксидов при сорбции

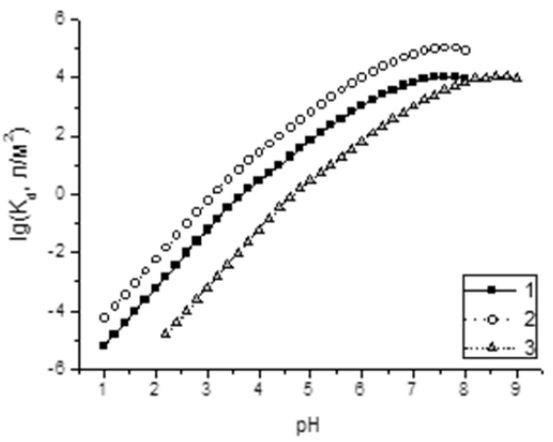
Другим возможным механизмом сорбции является ионный обмен, приводящий к объемному захвату сорбата. Классическим примером реакции ионного обмена является сорбция ^{137}Cs на глинах. Протон не вовлечен в сорбционную реакцию, а сорбция происходит путем обмена межпакетных катионов (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) на C_s^+, что определяет зависимость его сорбции от ионной силы раствора.

Наиболее важным параметром, влияющим на сорбцию катионов на оксидах/гидроксидах металлов, является величина pH суспензии. При этом численной характеристикой сорбции слу-

жит pH50 – значение pH, которому соответствует 50 % сорбция. При низкой степени насыщения поверхности, составляющей всего лишь доли процента, даже значительные изменения либо общей концентрации радионуклида, либо твердой фазы в суспензии не приводят к изменению зависимости сорбции от pH и, соответственно, к изменению pH50. Одновременно, если приводить сорбционные данные в координатах K_d – pH, будет наблюдаться значительное изменение коэффициента распределения (рис. 2)



а



б

Рисунок 2 – Влияние соотношения концентрации твердой фазы к концентрации радионуклида на теоретические зависимости сорбции (*а*) и K_d (*б*) от pH: 1 – исходные значения; 2 – изменение концентрации твердой фазы на порядок, при котором значение pH50 не изменяется; 3 – изменение концентрации радионуклида, повлекшее сдвиг зависимости сорбции от pH

Эта ситуация характерна для тех условий окружающей среды, когда радионуклиды присутствуют в следовых концентрациях. При высоком заполнении поверхности, когда нельзя пренебрегать взаимным отталкиванием ионов сорбата, величина pH50 увеличивается, как и коэффициент распределения. Подобный сдвиг зависимости сорбции от pH показан на рис. 3 на примере сорбции Pu(VI) на поверхности гематита.

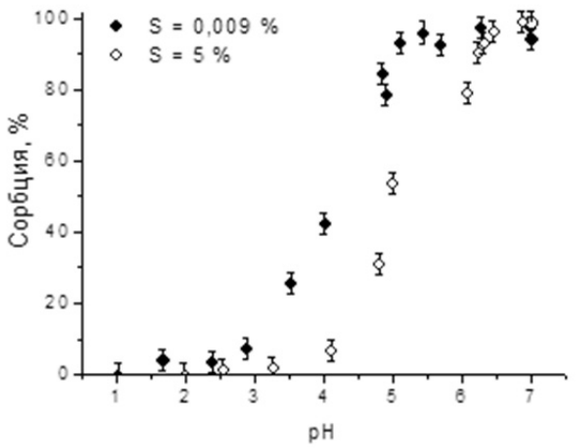


Рисунок 3 – Зависимость сорбции Pu(VI) на коллоидных частицах гематита при различных значениях заполнения поверхности.

$$S = \frac{[Pu(VI)]_{total}}{[\equiv FeOH]_{total}} \cdot 100\%$$

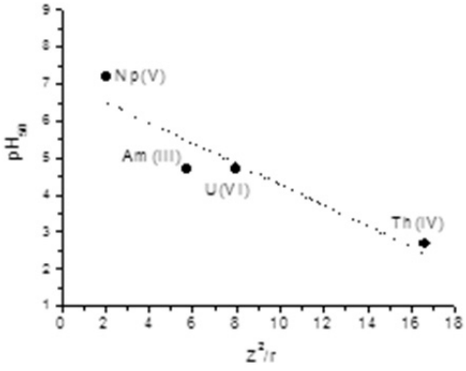
Таким образом, описать механизм сорбции радионуклидов при их следовых общих концентрациях в терминах коэффициента распределения зачастую затруднительно. С использованием K_d трудно адекватно сравнивать результаты, полученные различными авторами и в различных условиях (соотношение твердая фаза/радионуклид, препараты с различным распределением частиц по размерам и свободной удельной поверхностью). По этой причине для определения механизма взаимодействия радионуклидов с поверхностью коллоидных частиц или вмещающих горных пород и для предсказания их миграционного поведения в окружающей среде использование коэффициента распределения представляется невозможным.

Основным фактором, определяющим величину pH50 сорбции различных катионов, является плотность их заряда, равная отношению квадрата заряда иона к его радиусу, Z^2/r, и определяющая жесткость и реакционную способность катионов. На рис. 4 приведены зависимость сорбции Am(III), Th(IV), Np(V) и U(VI) на коллоидных частицах гематита от pH и соответствующая линейная зависимость pH_{50} от плотности заряда.

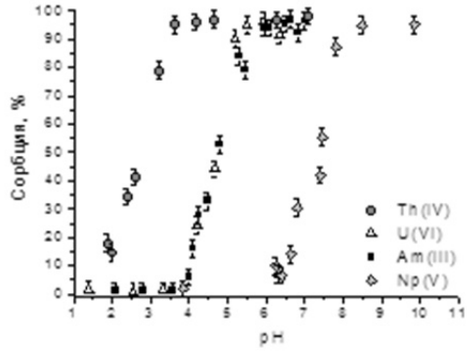
По аналогии с гидролизом в растворе с образованием связи НО-кат взаимодействия с гидроксильными группами поверхности оксидов с образованием связи ≡ХО-кат можно охарактеризовать константой равновесия реакции сорбции. Для различных катионов были получены корреляции между константой равновесия реакции взаимодействия с гидроксильными группами поверхности коллоидных частиц по (*n*-1)-й ступени, $K^s n$-1, и константой гидролиза по *n*-й ступени, ^{OH}Kn (табл. 1).

Анализ сорбционных данных позволяет также проследить корреляцию между pH50, константами равновесия реакций гидролиза и взаимодействия с гидросиловыми группами поверхности (рис. 5).

Таким образом, приведенные корреляции указывают, что сорбция различных катионов на поверхности данных коллоидных частиц определяется исключительно ионным взаимодействием и может быть предсказана из склонности того или иного катиона к гидролизу.



а



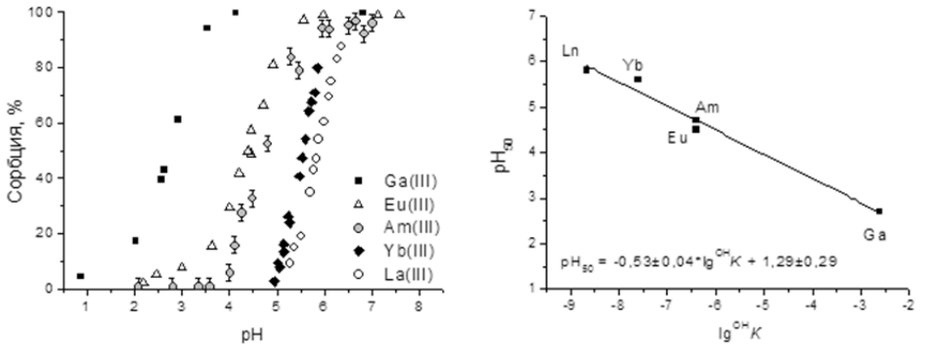
б

Рисунок 4 – Сорбция Am(III), Th(IV), Np(V) и U(VI) на коллоидных частицах гематита:
а – зависимость сорбции (в %) от pH;
б – зависимость pH_{50} от плотности заряда на центральном атоме

Таблица 1 – **Корреляция между константами равновесия сорбции катионов на поверхности некоторых минеральных коллоидных частиц и константами гидролиза катионов в растворе**

Сорбент	Уравнения корреляции	Литература
Монтмориллонит	$lgK^s n$-1 = (8,1±0,3) + (0,90±0,02) lg ^{OH}Kn $lgK^w n$-1 = (6,2±0,8) + (0,98±0,09) lg ^{OH}Kn	21
Иллит	$lgK^s n$-1 = (7,9±0,4) + (0,83±0,02) lg ^{OH}Kn	22
α-Al2O3	$lgK^s n$-1 = 6,02 + 0,98 lg ^{OH}Kn	23
α-FeOOH	$lgK^s n$-1 = 3,75 + 0,75 lg ^{OH}Kn	24
SiO2	$lgK^s n$-1 = 2,00 + 0,65 lg ^{OH}Kn	25

Примечание: * – частицы размером более 3-5 нм, *s* – сорбция на центрах «сильного связывания», *w* – сорбция на центрах «слабого связывания».



а *б*

Рисунок 5 – Сорбция трехвалентных катионов на поверхности гематита:
а – зависимость сорбции от pH; *б* – зависимость pH_{50} от константы гидролиза катиона
(данные: Gd – [26], Eu – [27], Am – данная работа, Yb – [28], La – [29])

Таблица 2 – **Величина $pH_{ТНЗ}$ некоторых минеральных коллоидных частиц [30]**

Материал	pHTH3	Материал	pHTH3
α-Al_2O_3	9,1	δ-MnO_2	2,8
α-$Al(OH)_3$	5,0	β-MnO_2	7,2
γ-AlOOH	8,2	SiO_2	2,0
CuO	9,5	$ZrSiO_4$	5
Fe_3O_4	6,5	Полевой шпат	2-2,4
α-FeOOH	7,8	Каолинит	4,6
α-Fe_2O_3	8,5	Монтмориллонит	2,5
$Fe(OH)_3$ аморфный	8,5	Альбит	2,0
MgO	12,4	Хризотил	>10

С другой стороны, свойства самого сорбента естественным образом влияют на сорбцию и величину pH50. Коллоидные частицы различаются по кислотно-основным свойствам, которые характеризуются такими величинами, как pH, соответствующий точке нулевого заряда поверхности, pHTH3 и, соответственно, константами протонирования и депротонирования поверхности. В табл. 2 приведены величины pHTH3 для некоторых минеральных коллоидных частиц.

Для описания сорбции и возможности предсказания миграции радионуклидов в окружающей среде в последнее время используется подход, который основан на расчете констант равновесия сорбционных реакций. Исходя из закона действующих масс, то есть из комбинации всех реакций, протекающих в растворе и на поверхности горных пород и коллоидных частиц, можно рассчитать K_d для любой заданной системы. Ниже приведен простейший пример, в котором рассматривается сорбция катиона, M^{3+} на поверхности оксида, ≡X-OH, если единственной реакцией в растворе является гидролиз катиона. Очевидно, что для расчетов можно вводить произвольное число различных типов поверхности (смесь коллоидных частиц), разнообразные реакции комплексообразования в растворе, а также принимать в расчет различные механизмы сорбции: образование моно- или бидентатных комплексов, ионный обмен и пр. Важным отличием между константами равновесия в растворе и на поверхности твердой фазы является наличие экспоненциального множителя, описывающего электростатические эффекты в двойном электрическом слое. Однако в ряде работ было установлено, что при следовых

концентрациях сорбата, когда можно пренебречь взаимным влиянием катионов в двойном электрическом слое, возможно использование неэлектростатической модели [31, 32].

Реакции на поверхности оксида кислотно-основное равновесие

$\equiv XOH + H^+ \leftrightarrow \equiv XOH2^+$

Образование монодентатных комплексов на поверхности

$Met^{3+} + \equiv XOH \leftrightarrow \equiv XOMet^{2+} + H^+$

$MetOH^{2+} + \equiv XOH \leftrightarrow \equiv XOMetOH^+ + H^+$

$Met(OH)^{2+} + \equiv XOH \leftrightarrow \equiv XOMet(OH)2 + H^+$

Реакции в растворе:

Гидролиз катиона:

$Met^{3+} + OH^- \leftrightarrow MetOH^{2+}$

$Met^{3+} + 2OH^- \leftrightarrow Met(OH)2^+$

$Met^{3+} + 3OH- \leftrightarrow Met(OH)3$

Различные подходы к описанию двойного электрического слоя и соответствующие модели подробно изложены в ряде монографий и обзорных статей и отличаются описанием зависимости потенциала от удаления от поверхности сорбента. Наибольшее распространение получили модели постоянного потенциала, диффузного слоя и тройного слоя (рис. 6).

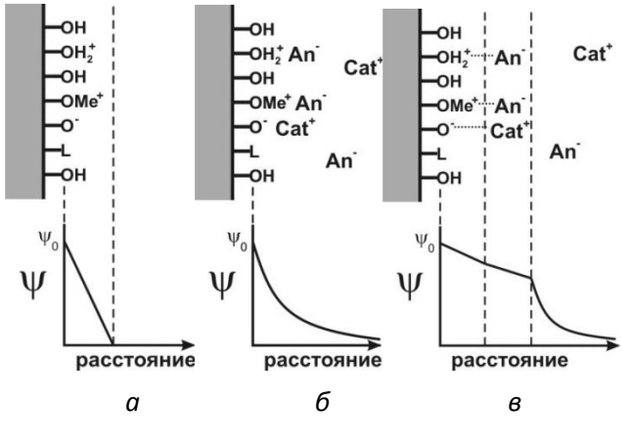


Рисунок 6 – Строение двойного электрического слоя в рамках моделей постоянного потенциала (*а*), диффузионного слоя (*б*) и тройного слоя (*в*)

Модель постоянного потенциала используют для растворов с высокой ионной силой ($I > 0{,}1$ М) [33]. Она основана на следующих приближениях: образующиеся комплексы на поверхности сорбента являются внутрисферными, ионы фонового электролита не сорбируются на поверхности сорбента, а потенциал поверхности линейно убывает с расстоянием от этой поверхности (рис. 6, *а*).

В модели диффузного слоя пространство вблизи поверхности раздела фаз разделено на две зоны: о-слой и d-слой (рис. 6, *б*). При этом адсорбция ионов H^+, OH^- и специфически адсорбирующихся ионов происходит во внутреннем о-слое, в диффузном же слое распределены неспецифически сорбирующиеся ионы противоположного заряда [33]. Данная модель использует приближения, аналогичные используемым в модели постоянного потенциала, однако потенциал меняется по экспоненциальному закону при удалении от поверхности.

Модель тройного слоя предполагает наличие трех условных зон вблизи поверхности раздела фаз (рис. 6, *в*) [33]. В первый внутренний слой способны проникать только ионы H^+ и OH^- для реакций протонирования и депротонирования. Далее следует γ-слой, представленный специфически адсорбирующимися ионами. Третий слой – это диффузионная зона, в которой располагаются слабо адсорбирующиеся ионы, противоположные по заряду ионам, адсорбированным в γ-слое, и нейтрализующие остаточный заряд поверхности.

Для моделирования поведения радионуклидов в заданных геохимических условиях важнейшей задачей является получение надежных данных по константам равновесия их сорбционных реакций. В отличие от реакций комплексообразования в растворе, которые относительно подробно и всесторонне исследованы, данные по константам равновесия сорбционных реакций на поверхности коллоидов и минералов, составляющих горные породы, либо весьма огра-

ниченны, либо крайне противоречивы. Основная проблема при создании баз данных констант равновесия сорбционных реакций радионуклидов на минералах заключается в сложности и неоднозначности интерпретации экспериментальных данных. Пока нет экспериментального метода прямого определения механизма сорбции и физико-химических форм следовых концентраций радионуклидов на поверхности коллоидных частиц. В результате различные авторы описывают данные с привлечением различных гипотез и подходов, некоторые из них основываются исключительно на подгонке экспериментальных данных под ту или иную модель. Зачастую эти гипотезы некорректны с точки зрения представлений о химических свойствах сорбирующихся ионов. Так, в ряде работ [28, 29, 34–36], описывающих сорбцию ионов актинидов, на основании подгонки под ту или иную модель сорбции, утверждается образование соединений состава $\equiv XOHAn^{n+}$. То есть сорбция протекает без отрыва протона от гидроксильной группы, что противоречит представлениям об ионном механизме взаимодействия ионов актинидов, которые являются «жесткими» кислотами, а гидроксильные группы поверхности частиц – «жесткими» основаниями. Например, для описания сорбционного взаимодействия Np(V) с ферригидридом Гирвин и соавторы [35] использовали реакцию:

$$\equiv FeOH + NpO2^{+} + H2O \rightarrow \equiv FeOH\text{-}NpO2OH + H^{+}.$$

Кроме того, маловероятно, что в широком диапазоне pH происходит сорбция гидроксикомплекса Np(V), который образуется только при относительно высоких значениях pH.

В работе [36] была исследована сорбция Eu(III), как валентного аналога Am(III), на гетите при различных ионных силах, создаваемых несколькими электролитами. Авторы описывают сорбцию реакциями, которые в зависимости от фонового электролита и pH приводят к различным соединениям на поверхности, в том числе $\equiv FeOH\text{-}Eu^{3+}$, $\equiv FeOH\text{-}EuCl^{2+}$, $\equiv FeO\text{-}Eu(OH)2$, $\equiv FeOH\text{-}Eu(NO3)^{2+}$, $\equiv FeO\text{-}Eu(OH)2$. Согласно приведенным диаграммам распределения форм Eu(III) на поверхности, при pH 6 доминируют соединения, в состав которых входят нитрат и хлорид, в среде соответствующих электролитов, а при нулевой ионной силе соединение $\equiv FeOH\text{-}Eu^{3+}$ доминирует вплоть до pH 10. Существование подобного высокозарядного негидрализованного соединения вплоть до pH 10 кажется крайне маловероятным.

В литературе описаны случаи, когда для одной и той же сорбционной системы в работе одних и тех же авторов может быть использовано несколько сорбционных моделей, что приводит к существенному расхождению в составе комплексов на поверхности либо в значениях констант равновесия для одних и тех же реакций. Для установления состава образующихся на поверхности соединений могут быть проведены спектральные исследования (например, с использованием EXAFS, лазерной флуоресценции и пр.), сорбционные эксперименты в различных условиях (варьирование концентраций сорбата и твердой фазы, ионной силы, присутствия лигандов), а также исследование закономерностей кинетики сорбции.

Окислительно-восстановительные реакции, сопровождающие сорбцию ионов актинидов на коллоидных частицах

Взаимодействие радионуклидов с минеральными коллоидными частицами в ряде случаев идет по более сложному механизму, чем просто образование комплексов с сорбционными центрами на поверхности. Сорбция таких актинидов, как уран, нептуний и плутоний, может сопровождаться окислительно-восстановительными реакциями. В первую очередь это относится к сорбции на таких минералах, как магнетит (Fe3O4) и различные оксиды марганца (MnO2, (Ca,Mn)Mn4O9·3H2O).

В анаэробных условиях при сорбции на магнетите U(VI) и Np(V) было обнаружено их восстановление до четырехвалентного состояния

[37, 38]. В случае сорбции Np и Pu на поверхности различных оксидов марганца, как синтетических, так и природных, изменяется степень окисления сорбата [9, 39–42]. В работе Пауэлла с соавторами [41] методом жидкостной экстракции было установлено, что на поверхности пиролюзита (δ-MnO2) происходит окисление Pu(IV) до Pu(V,VI), сопровождающееся десорбцией Pu. Однако при pH > 3 за окислением плутония следовало его медленное восстановление на поверхности до четырехвалентного состояния, которое авторы объяснили образованием в пиролюзите незначительных количеств Mn(II) или Mn(III): соотношение O:Mn в коллоидных частицах составило 1,95 ± 0,03.

Рядом исследователей для плутония было обнаружено протекание окислительно-восстановительных реакций при сорбции на поверхности коллоидных частиц, не содержащих в своем составе восстановителей – α-FeOOH, α-Fe2O3 и пр. [40, 43, 44]. Следует заметить, что подобный эффект наблюдается, в том числе, и при высоких значения окислительно-восстановительного потенциала, при котором могут быть стабильны высшие степени окисления плутония. На рис. 7 представлены зависимости сорбции Pu(V) и его валентного аналога, Np(V), на гематите и гетите от pH.

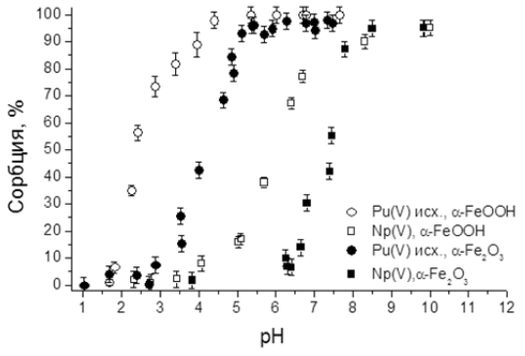


Рисунок 7 – Сорбция Pu(V) и Np(V) на поверхности коллоидных частиц гематита и гетита

Видно, что зависимость сорбции плутония от pH и на α-Fe2O3, и на α-FeOOH существенно сдвинута относительно аналогичной зависимости для Np(V). Подобный сдвиг нельзя объяснить различиями в поведении Np(V) и Pu(V), и было выдвинуто предположение о восстановлении Pu(V/VI) на поверхности коллоидных частиц в процессе сорбции. Это предположение подтверждено методом жидкостной экстракции и фотоэлектронной спектроскопии. Механизм восстановления до конца не выяснен. Выдвигается несколько гипотез о механизме восстановления Pu(V/VI) при сорбции на оксидах Fe(III), которые обсуждаются ниже.

Одной из возможных причин стабилизации плутония в четырехвалентном состоянии на поверхности оксидов Fe(III) в условиях подвижного равновесия являются относительно медленное диспропорционирование Pu(V) (реакция 1) и быстрое восстановление Pu(VI) до Pu(IV) по реакции (2), которые протекают в двойном электрическом слое:

$$2Pu(V)O2^{+} + 4H^{+} \rightarrow Pu(IV) + Pu(VI)O2^{2+} + 2H2O \quad (1)$$

$$Pu(VI)O2^{2+} + 4H^{+} \rightarrow Pu(IV) + 2H2O + 2e^{-} \quad (2)$$

Протекание реакции диспропорционирования становится возможным благодаря концентрированию плутония в двойном электрическом слое сорбента. Так, при его общей концентрации в растворе $1 \cdot 10^{-10}$ м и содержании коллоидных частиц 10 м^2/л при условии количественной сорбции получается, что локальное концентрирование плутония в слое толщиной 1 нм от поверхности сорбента составляет около $1 \cdot 10^{-5}$ м. Подобное концентрирование плутония в двойном электрическом слое не только способствует протеканию реакции диспропорционирования, но и увеличивает область стабильности Pu(IV) (рис. 8).

Другой возможной причиной восстановления Pu(V/VI) может быть эффект продуктов радиолиза воды [45], концентрация которых может увеличиваться в приповерхностном слое за счет концентрирования α-излучающих изотопов плутония. Однако недавние эксперименты, проведенные с использованием ^{237}Pu (T1/2=45,2 дня),

который предпочтительно распадается путем К-захвата, а не испускания α-частиц, показали восстановление плутония при сорбции.

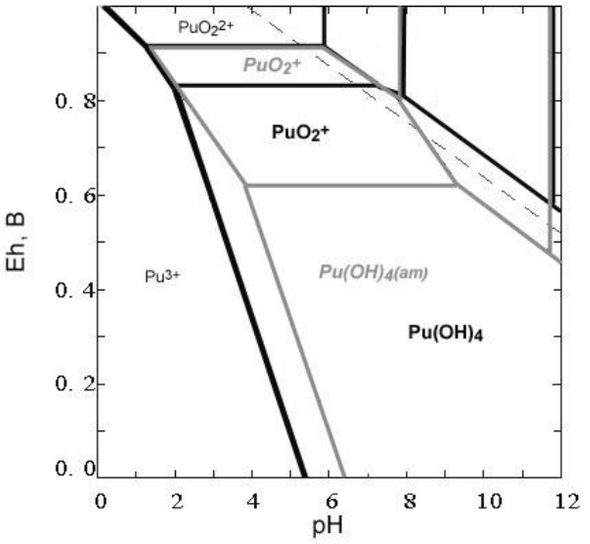


Рисунок 8 – pH-Eh диаграммы распределения Pu: черные линии – при общей концентрации $1 \cdot 10^{-10}$ м; серые линии и наклонные подписи – при общей концентрации $1 \cdot 10^{-5}$ м

Возможной причиной восстановления Pu(V) при сорбции на оксидах железа является присутствие следовых количеств Fe(II) на поверхности. В работе Брауна с соавторами [46] было выдвинуто предположение о влиянии точечных поверхностных дефектов на свойства оксидов. В частности, для гематита в анаэробных условиях может возникнуть кислородная вакансия, которая затем может привести к образованию свободных электронов:

$$O_O \rightarrow V_O + 1/2O_2 \quad V_O \rightarrow V_O^{\cdot} + 2e^-,$$

где Oo – кислород в решетке; Vo – вакансия, содержащая два электрона; $V_O^{\cdot}$ – вакансия с положительным зарядом в результате потери двух электронов.

Таким образом, в результате этой реакции на поверхности гематита может образоваться Fe^{2+}, которое принимает участие в восстановлении плутония. При следовых концентрациях сорбата для восстановления необходимы очень низкие содержания Fe^{2+}: например, для восстановления Pu(V) при его общей концентрации $1 \cdot 10^{-10}$ м необходимо присутствие лишь 10^{-5} масс. % Fe(II) в образце гематита. Такое содержание находится за пределами чувствительности таких методов, как мессбауэровская спектрометрия, ЭПР или EXAFS.

В работе Пауэлла [44] было установлено влияние дневного света на кинетику восстановления Pu(V) при сорбции на поверхности гематита и гетита. При увеличении интенсивности освещения доля Pu(IV), присутствующего в системе, постепенно увеличивается. Влияние света авторы связывают с полупроводниковыми свойствами оксидов железа. Гематит и гетит являются типичными полупроводниками с шириной запрещенной зоны 2,2 и 2,06 эВ, соответственно [47]. Такая запрещенная зона соответствует свету с длиной волны 550–600 нм, что говорит о том, что под воздействием видимого света в гематите и гетите возможен перенос электронов из валентной зоны в зону проводимости. О возможности переноса электрона на поверхности полупроводниковых материалов (таких как оксиды железа, пирит и галенит) свидетельствует также работа Беккера с соавторами [48]. Исследование этого процесса было проведено с использованием квантово-механических расчетов и сканирующей туннельной микроскопии.

Еще один пример восстановления адсорбата, в данном случае U(VI), за счет полупроводниковых свойств TiO2 описан в работе Элетанда и Бидоглио [49]. Было установлено, что под действием лазерного излучения сорбированный U(VI) восстанавливается до U(IV). При этом аналогичные эксперименты с использованием Al_2O_3 (типичного диэлектрика) не привели к изменению степени окисления урана. Таким образом, в случае сорбции ионов на поверхности полупроводников возможно их восстановление на поверхности даже в отсутствии восстановителя в системе.

Степень окисления играет определяющую роль в поведении актинидов в окружающей среде, а исследование редокс-реакций, сопровождающих сорбцию на минералах, необходимо для моделирования их миграционного поведения. На сегодняшний день важной задачей являются определение механизма окислительно-восстановительных реакций, сопровождающих сорбцию, и разработка теоретических основ для математического описания таких реакций.

Выводы

В данной статье удалось показать, что использование K_d при описании сорбции следовых концентраций радионуклидов на коллоидных частицах не позволяет адекватно сравнивать сорбционные данные, полученные в различных условиях. Альтернативой K_d является величина pH50, которая может быть использована как численная характеристика сорбции.

Для различных катионов были приведены корреляционные соотношения между величиной pH50 и плотностью их заряда, а также между константами равновесия реакции сорбции и константами гидролиза, что позволяет прогнозировать их сорбционное поведение на оксидах металлов.

Были описаны особенности сорбционного поведения Pu(V/VI) на оксидах Fe(III). Показано, что при сорбции происходит восстановление Pu(V/VI) до Pu(IV), что приводит к существенному увеличению сорбции во времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке совместной программы исследований между ассоциацией Гельмгольца и РФФИ (грант 07-03-92280-СИГ_а).

Литература

1. *Penrose W.R., Polzer W.L., Essington E.H., Nelson D.M., Orlandini K.A. Environ*. Sci. Technol., 1990, 24, 228-234.

2. *Kersting A.B., Efurd D.W., Finnegan D.L., Rokop D.J., Smith D.K., Thompson J.L*. Nature, 1999, 397, 56-59.

3. *Zänker H., Richter W., Brendler V., Nitsche H.* Radiochim. Acta, 2000, 88, 619-624.

4. *Novikov A.P., Kalmykov S.N., Utsunomiya S., Ewing R.C., Horreard F., Merkulov A., Clark S.B., Tkachev V.V., Myasoedov B.F*. Science, 2006, 314, 638-641.

5. *Jenne E.A.* Adsorption from Aqueous Solutions. Washington, DC: Advances in Chemical Series, Am. Chem. Soc., 1968, 79.

6. *Krepelova A., Sachs S., Bernhard G.* Radiochim.Acta. 2006, 94, 825-833.

7. *Banik N.L.* Speciation of tetravalent plutonium in contact with Humic Substances and Kaolinite under Environmental Conditions. PhD Thesis, Mainz, Johannes Gutenberg-University Mainz, 2006.

8. *Fjeld R.A., Serkiz S.M., McGinnis P.L., Elci Al., Kaplan D.I.* J. Contam.Hydrol. 2003, 67, 79-94.

9. *Duff M.C., Hunter D.B., Triay I.R., Bertsch P.M., Reed D.T., Sutton S.R., Shea-McCarthy G., Kitten J., Eng P., Chipera S.J., Vaniman D.T.* Environ.Sci.Tech. 1999, 33, 2163-2169.

10. *Kersting A.B., Reirmus P.W.* Colloid-Facilitated Transport of Low-Solubility Radionuclides: A Field, Experimental, and Modeling Investigation. Livermore: Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-ID-149688, 2003, 67-88.

11. *Berner U.* Project Opalinus Clay: Radionuclide Concentration Limits in the Near Field of Repository for Spent Fuel and Vitrified High-Level Waste. Report of the Paul Scherrer Inst., 2002, 02-22.

12. *Сабодина М.Н., Калмыков С.Н., Артемьева К.А., Захарова Е.В., Сапожников Ю.А.* Радиохимия, 2006, 48, 5, 437-441.

13. *Tsukamoto M., Fujita T.* Czechoslovak J.Phys. 2006, 56, Suppl. D, 339-348.

14. *Nakayama Sh., Sakamoto Y.* Radiochim. Acta. 1991, 52/53, 153-157.

15. *Ferriss E., Helean K., Bryan C., Prady P., Ewing R.* J. Nucl. Mater., 2009, 384, 130-139.

16. *Morgenstern A., Choppin G.R.* Radiochim. Acta, 2002, 90, 69-74.

17. *Ермолаев В.М., Захарова Е.В., Мироненко М.В., Калмыков С.Н., Власова И.Э.* Радиохимия, 2006, т. 8, № 3, 272-277.

18. *Kohler M., Honeyman B.D., Leckie J.O.* Radiochim. Acta, 1999, 85, 33-48.

19. *Zhang H., Tao Z.* J. Radioanal. Nucl. Chem., 2002, v. 254, no. 1, 103-107.

20. *McBride M.* Clays Clay Min., 1997, v. 45, no. 4, p. 598-608.

21. *Bradbury M.H., Baeyens B.* A quasi- mechanistic non-electrostatic modeling approach to metal sorption on clay minerals, In: Surface complexation modeling edited by J. Lutzenkirchen, Academic Press, 2006.

22. *Bradbury M.H., Baeyens B.* Geochim.Cosmochim. Acta, 2009, 73, 1004– 1013.

23. *Hachiya K., Sasaki M.M., Saruta Y., Mikami N., Yasumaga T.* J.Phys.Chem. 1984, v. 88, p. 23-27.

24. *Balistieri L., Brewer P., Murray J.* Deep Sea Res. 1981, 28A, 101-121.

25. *Righetto L., Bodoglio G., Azimonti G., Bellobono I.* Env.Sci.Tech. 1991, 25, 1913-1919. 26. Music S., Gessner M., Wolf R. Radiochim. Acta, 1979, 26, 51-53.

27. *Rabung T., Geckeis H., Kim J., Beck H.* J.Colloid Interface Sci. 1998, 208, 153-161.

28. *Marmier N., Dumonceau J., Fromage F.* J. Contaminant Hydrology., 1997, 26, 159-167.

29. *Marmier N., Fromage F.* J.Colloid Interface Sci., 1999, 212, 252-263.

30. *Stumm W.* Chemistry of the solid-water interface. Processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems. A Wiley-Interscience Publication, 1992.

31. *Davis J.A., Kent D.B.* Surface complexation modeling in aqueous geochemistry in Mineral- Water Interface Geochemistry: Reviews in mineralogy. Miner. Soc. Am. Washington 1990, 23, 177-260.

32. *Kohler M., Curtis G.P., Kent D.B., Davis J.A.* Water Resour. Res. 1996, 32, 3539–3551.

33. *Sposito G.* The Surface Chemistry of Soils, Oxford University Press, New York, 1984, 5-47. 34. Cromieres L., Moulin V., Fourest B., Guillaumont R. Radiochim. Acta., 1998, 88, 249-255.

35. *Girvin D.C., Ames L.L., Schwab A.P., McGarrah J.E.* J. Coll. InterfaceSci. 1991, 141, 67-78

36. *Naveau A., Monteil-Rivera F., Dumonceau J., Boudesocque S.* Sorption of europium on a goethite surface: influence of background electrolyte, J. Cont. Hydrol. 2005, v. 77, p. 1-16.

37. *Nakata K., Nagasaki S, Tanaka S., Sakamoto Y., Tanaka T., Ogawa H.* Radiochim.Acta, 2002, 90, 665–669.

38. *Missana T., Garcia-Gutierrez M., Fernndez V.* Geochim.Cosmochim.Acta., 2003, 67, 14, 2543-2550.

39. *Morgenstern A., Choppin G.R.* Radiochim.Acta, 2002, 90, 69-74.

40. *Keeney-Kennicutt W.L., Morse J.W.* Geochim. Cosmochim. Acta., 1985, 49, 2577-2588.

41. *Powell B.A., Duff M.C., Kaplan D.I., Fjeld R.A., Newville M., Hunter D.B., Bertsch P.M., Coates J.T., Eng P., Rivers M.L., Serkiz S.M., Sutton St.R., Triay In.R., Vaniman D.T.* Environ. Sci. Technol., 2006, 40, 3508-3514

42. *Хасанова А.Б., Калмыков С.Н., Щербина Н.С., Тетерин Ю.А., Новиков А.П.* Радиохимия, 2007, т. 49, No4, с. 367-372

43. *Sanchez A.L., Murray J.W., Sibley T.H.* Geochim. Cosmochim.Acta, 1985, 49, 2297- 2307.

44. *Powell B., Fjeld R., Kaplan D., Coates J., Serkiz S.* Environ. Sci. Technol., 2005, 39, 2107-2114.

45. *Silver G.L.* J. Radioanalyt. Nucl. Chem., 2000, 246(2), 429-431.

46. *Brown G., Henrich V., Casey W., e.a.* J. Chem. Rev., 1999, 99, 77-174.

47. *Schwertmann U., Cornell R.* Iron Oxides in the laboratory. Weinheim: Wiley-VCH, 1991, 660.

48. *Becker U., Rosso K., Hochella M..* Geochim. Cosmochim. Acta, 2001, 65, 16, 2641-2649.

49. *Eletand V., Bidoglio G.* Environ.Sci.Technol., 1998, 32, 3155-3161.

Н.С. ЗЕФИРОВ
Доктор химических наук, профессор, академик РАН
N.S. ZEFIROV
Doctor of Chemical Science, Professor, Academician of RAS

О.Н. ЗЕФИРОВА
Кандидат химических наук
O.N. ZEFIROVA
Ph.D. in Chemistry

УДК 54.052

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН ЛЕКАРСТВ

Ключевые слова: *медицинская химия, биомишень, дескриптор, структура, пролекарства.*

Аннотация: *Компьютерное моделирование лекарств – чрезвычайно перспективное и интересное направление химической науки. Стратегия рационального дизайна лекарств включает три стадии: конструирование, оптимизацию, разработку.*

RATIONAL DRUG DESIGN

Keywords: *medicine chemistry, biological targets, handle structure, prodrug.*

Abstract: *Computer simulation of drugs – extremely promising and interesting area of chemical science. The strategy of rational drug design involves three stages: design, optimization, development.*

Недавно мы рассказали о современной технологии синтеза и тестирования биологически активных соединений – комбинаторной химии (см.: «Химия и жизнь», 2004, № 5). В этой статье мы снова возвращаемся к медицинской химии и к разным методам поиска новых лекарственных препаратов.

Физиологическую активность химических соединений открывали, как правило, случайно или путём перебора: химики-органики синтезировали разнообразные типы органических соединений и передавали их биологам на тестирование. Подобный подход вряд ли можно назвать научным, тем не менее с его помощью находили и находят исключительно активные структуры и разрабатывали удачные лекарства. Если посчитать, сколько всего структур может существовать в органической химии (перебор комбинаций атомов кислорода, углерода, водорода и азота), то получится около 10 180 веществ. Теоретически каждое из них можно синтезировать и испытать, если для этого хватит атомов во Вселенной.

У химиков-органиков есть две фундаментальные проблемы, связанные с понятием «химическая структура».

Первая проблема – структурные манипуляции. Например, получение необычных структур или умение переходить от одной структуры к другой (то есть от одного вещества к другому). Это очень непростая задача для понимания, поскольку, в отличие от многих других наук, в химии нет механических аналогий.

Вторая проблема – соотнесение структуры и свойств вещества. Ведь человека интересуют именно свойства веществ (чёрное или красное, твёрдое или пластичное, проводит ли ток), а химик-органик должен уметь синтезировать структуру, а потом проверить, обладает ли она нужным свойством.

Сегодня самая сложная задача для органической химии именно вторая – синтез не веществ, а свойств.

Химики научились виртуозно манипулировать структурами и могут по заказу делать достаточно сложные вещества. Сейчас уже синтезировано около 20 млн (2×107) соединений. Но дальнейшее применение в клинической практике из всего этого многообразия нашла только одна десятитысячная (103–104 веществ). В связи с этим возникает принципиальный вопрос «Что делать дальше?». Получать ещё 20 млн веществ и проверять их активность или, может, лучше попытаться понять, какие структуры будут заведомо иметь нужную физиологическую активность, и лишь затем их синтезировать? В настоящее время методология поиска лекарственных соединений существенно изменилась. Большинство химиков изначально пытаются предсказать свойства.

Задача это довольно сложная. Дело в том, что химики, биологи и медики говорят на совершенно разных языках. Например, медик просит сделать препарат для понижения кровяного давления, а биохимик предлагает найти ингибитор ангиотензин-конвертирующего фермента, ликвидация активности которого и приведёт к снижению давления. Язык химиков – структурные формулы, поэтому для них такая формулировка задачи неприемлема. В ответ они не могут предложить ни конкретную структуру, ни даже класс требуемого соединения. Для создания такого лекарства сначала нужен переводчик биохимической (или фармакологической) информации на язык структурных формул. Роль такого переводчика как раз и играет сформировавшаяся в последние десятилетия поддисциплина органической химии, получившая название «медицинская химия» (medicinal chemistry, от английского medicine – лекарство).

Общая схема

Итак, основная задача медицинской химии – создание соединений с заранее заданной физиологической активностью, так называемый рациональный драг-дизайн (от англ. drug – лекарство). Как же происходит этот процесс? Стратегию рационального дизайна лекарств можно условно разбить на три стадии: 1) поиск или «конструирование» соединений-лидеров, 2) оптимизация соединения-лидера и 3) разработка лекарства.

Начнём по порядку.

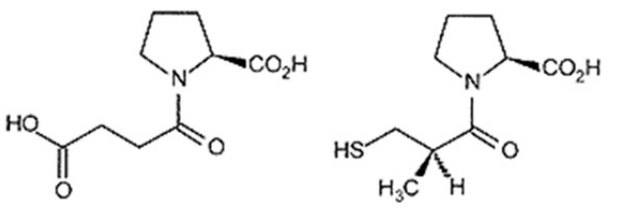


Рисунок 1 – N-сукцинил-пролин – соединение-лидер при создании препарата каптоприла, понижающего кровяное давление

Соединение-лидер – это химическое соединение, которое имеет желаемую, интересную, но не оптимальную активность. Это структурный прототип будущего лекарства (рис. 1). На первом этапе задача создания лекарства как раз и сводится к тому, чтобы найти его прототип (если, конечно, он не был найден случайным образом).

Соединение-лидер

Чтобы начать искать соединение-лидера, нужно знать его биомишень – макромолекулу в организме человека, на которую наше будущее лекарство должно воздействовать, связываясь с ней. В подавляющем большинстве случаев такой мишенью бывает белок (обычно рецептор или фермент), но это может быть и молекула ДНК, и другие важные биомолекулы. Стратегия поиска лидеров зависит от того, что известно о его биомишени, а также от того, что известно о структурах уже существующих лигандов, которые с ней связываются (этот лиганд может, например, вырабатываться самим организмом).

Здесь возможно несколько вариантов. Если исследователю не известно ничего – ни структура биомишени, ни структура лиганда, то для поиска соединения-лидера используют метод комбинаторной химии (синтез библиотек соединений и их тестирование). Фактически это то же самое, что делали раньше, только на новом технологическом, машинном уровне. Химики синтезируют параллельно многие тысячи веществ и быстро тестируют их на биомишени с применением современной робототехники.

Когда структура мишени известна, а структуру её лиганда мы не знаем, учёные используют методику, которая называется de novo дизайн. Создается компьютерная пространственная модель молекулы-мишени, в том числе той её полости, с которой должно связываться лекарство. Потом на компьютере же совмещают эту полость с различными молекулами – кандидатами на роль лидера (эта процедура называется «докинг», по аналогии с заходом корабля в док). Структуру гипотетических лидеров нужно подбирать таким образом, чтобы, во-первых, добиться хорошего совмещения размеров молекулы с размером полости, во-вторых, увеличить взаимное связывание молекулы в полости мишени (за счёт слабых взаимодействий: водородных связей, электростатического притяжения, липофильных взаимодействий и т.д). В результате можно подобрать структуру определённого размера и геометрии, которая хорошо подходит под мишень (рис. 2). Смоделированное соединение синтезируют, испытывают на активность и, если таковая обнаружится, берут его в качестве соединения-лидера.

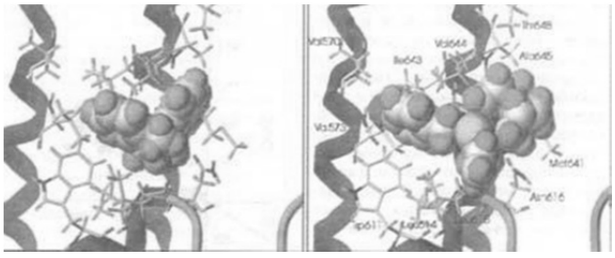


Рисунок 2 – Сравнительный докинг синтезированного в ИФАВ РАН нейропротектора NT 1525 и известного препарата МК801 в полости белковой молекулы-мишени (NMDA рецептор)

Следующий вариант – структура лиганда известна, но про его мишень мы ничего или почти ничего не знаем. Тогда лидером выбирают этот лиганд.

Если в нашем распоряжении есть структуры и биомишени воздействующего на неё лиганда, то ситуация упрощается. Исследователь заранее знает, для какого класса веществ ему нужно делать докинг, и фактически модифицирует в полости мишени структуру лиганда. Такой способ называется структурно-обоснованным дизайном.

Оптимизация

Когда соединение-лидер найдено, начинается второй этап конструирования лекарства – оптимизация. Соединение-лидер нужно изменить так, чтобы оно имело нужную активность, селективность, растворялось в том, в чём удобно, не было токсичным. Естественно, для этого надо менять его структуру. На практике химики синтезируют структурные аналоги соединения-лидера и тестируют их на определённую физиологическую активность. На этой стадии основная проблема заключается в том, что теоретически количество возможных аналогов огромно. Здесь также необходимо применять рацио-

нальный подход, позволяющий предсказывать, какие именно аналоги нужно синтезировать. Для этого можно использовать опять же компьютерное моделирование, то есть докинг небольшого количества аналогов соединения-лидера с известной активностью. С его помощью удаётся понять, как расположены друг относительно друга химические группы, важные для связывания с мишенью, а значит, сократить количество синтезируемых аналогов.

В том случае, когда докинг невозможен, потому что неизвестна структура мишени, а есть только информация, что у каких-то веществ есть нужная активность, обычно используют метод QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship). Это направление возникло на стыке органической химии, математического моделирования и компьютерной химии. Дословный перевод: количественное соотношение структура – свойство. В русском языке для него нет аббревиатуры, поэтому используют английское сокращение.

QSAR

Исторически всё началось с желания учёных найти количественную связь между структурой вещества и его свойствами и выразить её в виде математического уравнения. Это уравнение должно отражать зависимость одного набора цифр (свойств) от другого набора цифр (структур). Однако при этом возникает трудность. Выразить цифрой свойство достаточно просто – физиологическую активность серии веществ можно измерять количественно. Но как выразить числом структуру химического соединения? В течение многих лет химики и математики работали над этим вопросом. В настоящее время в QSAR используются так называемые дескрипторы химической структуры.

Дескриптор – это число (или математический параметр), которое характеризует структуру органического соединения, причём так, что подмечаются какие-то важные черты этой структуры. В принципе в качестве дескриптора может выступать любое число, которое можно рассчитать из структурной формулы – молекулярный вес, число определённых атомов, связей или групп, молекулярный объём, частичные заряды на атомах. Например, годится ли в качестве дескриптора (то есть характеризует ли соединение) число атомов углерода в нём? Да, и иногда это хороший дескриптор. А число нитрогрупп? Конечно. Это дескриптор для взрывчатых веществ. Чем нитрогрупп больше, тем лучше взорвётся.

Для предсказания физиологической активности в QSAR обычно используют следующие дескрипторы: электронные эффекты (влияют на ионизацию или полярность соединения), стерические особенности структуры (играют важную роль при оценке прочности связывания, исследуемого соединения с биомишенью), липофильность (способность растворяться в жирах характеризует способность лекарства преодолевать клеточные мембраны). Большую роль в QSAR играют так называемые топологические дескрипторы.

В этом методе структурная формула – чисто математическое понятие, граф. Из теории графов можно посчитать так называемые инварианты графов, которые и рассматриваются как дескрипторы. Применяются и сложные фрагментные дескрипторы, которые оценивают вклад различных частей молекулы в общее свойство. Они значительно облегчают исследователям обратное структурное конструирование неизвестных соединений с потенциально высокой активностью. Модель QSAR – это математическое уравнение, с помощью которого можно описать физиологическую активность и вообще любое свойство.

Метод QSAR работает следующим образом. Сначала группу соединений с известной структурой и известными значениями физиологической активности (полученными из эксперимента) делят на две части: тренировочный и тестовый набор. В этих наборах цифры, характеризующие активность, уже соотнесены с конкретной структурой. Далее выбираются дескрипторы. Хорошие компьютерные программы способны перебирать

многие сотни дескрипторов. На следующем этапе строят математическую зависимость активности от выбранных дескрипторов для соединений из тренировочного набора и получают так называемое QSAR-уравнение.

Правильность полученного QSAR-уравнения проверяют на тестовом наборе структур. Сначала вычисляют дескрипторы для каждой из тест-структур, подставляют их в QSAR-уравнение, рассчитывают значения активности и сравнивают их с уже известными экспериментальными значениями (рис. 3). Если для тестового набора наблюдается хорошее совпадение расчётных и экспериментальных значений, то данное QSAR-уравнение можно применить для предсказания свойств новых, ещё не синтезированных структур. С помощью этого метода, имея совсем небольшое количество химических соединений с известной активностью, можно резко ограничить круг поисков предсказав необходимую структуру.

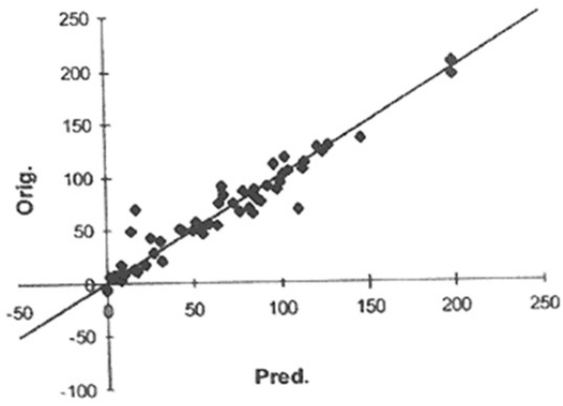


Рисунок 3 – Пример предсказания активности структур методом QSAR (сравнение экспериментальных и предсказанных данных по ингибированию замещенными индолами захвата Ca2+)

Метод QSAR широко используют химики во всём мире. Например, если взять выпуски журналов «Chemical reviews» за последние годы, то только в заголовках статей эта аббревиатура встретится несколько раз. Сейчас издаётся несколько специальных журналов, посвященных QSAR.

Разработка лекарства

Завершающая стадия создания лекарственного соединения – его разработка. Оптимизированный лидер ещё улучшают таким образом, чтобы он стал удобным для клинического использования и приобрёл нужные фармакокинетические характеристики. Часто на этой стадии структуру активных соединений снова изменяют. Здесь существует много методов: создание биоизостеров, пролекарств, пептидомиметиков и т.д. Это сугубо «медхимические» понятия.

Пролекарства – это вещества, не обладающие выраженной физиологической активностью, но способные превратиться в лекарства уже в организме человека. Происходит это в результате либо ферментативной реакции, либо химической (без участия белкового катализатора). Чтобы получить пролекарство, обычно модифицируют какую-то реакционноспособную группу в физиологически активном соединении так, чтобы эта связь разрушалась в организме. С помощью пролекарств можно, например, продлить действие препарата, повысить его растворимость в воде и даже изменить его вкус.

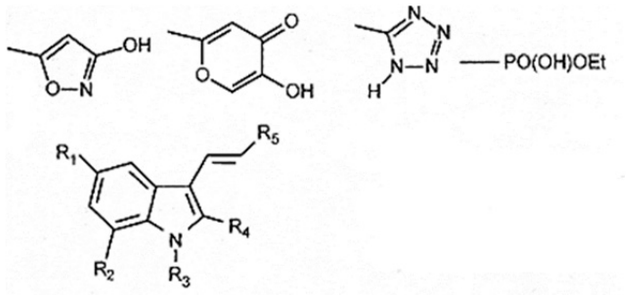


Рисунок 4 – Примеры группировок, которые кажутся «непохожими» на карбоксильную группу (–COOH), тем не менее часто используются вместо неё при биоизостерической замене

Изостерическая или биоизостерическая замена – важный метод этого этапа. Термин «изостеры» был введён ещё Ирвингом Ленгмюром в начале XX века: «Молекулы или ионы, которые содержат одинаковое число атомов и имеют

одинаковое количество и расположение электронов». Соответственно, изостерическая замена в конструируемом лекарстве – это замена атома или группы на похожую по размеру или валентности. Если при этом сохраняется физиологическая активность, то замена называется «биоизостерической». Интересно, что термин «биоизостер» относится и к соединениям, получающимся путём замены на совершенно «непохожие» группировки, но с сохранением биологических свойств (рис. 4). С помощью биоизостерической замены исследователям удаётся, например, уменьшить токсичность активного соединения, повысить его устойчивость к действию ферментативных систем организма и т.д.

Нужно упомянуть ещё об одном важном понятии – о «пептидомиметиках». Представим себе, что создаваемое нами лекарство должно подействовать на мишень, природный лиганд для которой – пептид. Этот пептид можно взять в качестве соединения-лидера, однако создавать на его основе нужно пептидомиметик – соединение, способное взаимодействовать с той же мишенью, но содержащее непептидные структурные элементы. Это делают потому, что пептиды в качестве лекарств не слишком удобны: плохо растворяются в воде, легко расщепляются ферментами организма. В хороших пептидомиметиках эти недостатки устранены.

Естественно, каждая структурная модификация, направленная на улучшение фармакокинетических свойств вещества, приводит к созданию нового химического соединения. А новое химическое соединение может иметь меньшую активность или вообще другой тип активности. Поэтому исследования, посвящённые разработке лекарства, часто неотделимы от стадии оптимизации с использованием QSAR и компьютерного моделирования.

Такова в настоящее время общая стратегия создания лекарств. Конечно, с появлением современных методов не исчезнут традиционные методы поиска. Однако интеллектуальная привлекательность рационального драг-дизайна, а также успехи молекулярной биологии, благодаря которым становятся известными всё больше биомишеней, привели к тому, что сейчас значительная часть мирового сообщества химиков-органиков стала заниматься синтезом структур с заранее предсказанными свойствами. В нашей стране этому направлению уделяли мало внимания, но сейчас ситуация меняется. В 1997 году на кафедре органической химии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова появилась отдельная специализация «Медицинская химия», были сформированы группы исследователей, работающих в области дизайна физиологически активных соединений. Эту дисциплину начинают преподавать и в некоторых других высших учебных заведениях России. В мае 2004 года в Москве впервые прошла Международная конференция по комбинаторной и медицинской химии под эгидой Европейского общества медицинской химии. Рациональное проектирование лекарств – чрезвычайно перспективное и интересное направление химической науки.

Литература

1. *Гаврилов, А.С.* Фармацевтическая технология. Изготовление лекарственных препаратов / *А.С. Гаврилов*. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 624 с.

2. *Петрова, Н.Г.* Обоснование дизайна научного исследования и основные методы статистического анализа результатов исследования / *Н.Г. Петрова, И.М. Акулин*. – СПб.: Изд-во СПбУ, 2014. – 48 с.

3. *Сигов, А.С.* Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур / А.С. Сигов. – М.: Бином, 2015. – 184 с.

Т.С. ГЕОРГИЕВА

Доктор философских наук, профессор ЮНЕСКО

T.S GEORGIEVA

Doctor of Philosophy, Professor

УДК 81-22, 314-92

О РУССКОМ ЯЗЫКЕ И О ТОМ, КТО ЖЕ ТАКОЙ РУССКИЙ

Ключевые слова: *образование, культура, язык, народность, нация, гражданское общество.*

Аннотация: *в статье ставится вопрос о роли русского языка в нашей системе образования, в частности, и в нашей стране, в общем, где действует закон о русском языке как общегосударственном и о праве на употребление как государственных – языков национальных республик. При этом критике подвергаются догматы о соотношении национального языка и национального самосознания, а также традиции и национальной культуры. Обосновывается культурологическое понимание того, кого же можно считать русским.*

CONCERNING THE RUSSIAN LANGUAGE AND WHAT IS A RUSSIAN

Keywords: *education, culture, language, nationality, nation, civil society.*

Abstract: *The role of the Russian language in our education system is in the focus of the article. The right to use as official the Russian language as well as languages of national republics is given a special legal status in our country. At the same time, dogmata concerning the balance between the national language, national identity, traditions and national culture is under critisism. Cultural understanding who can be considered to be a Russian being in the process of establishing.*

В связи с системой образования в России нельзя не затронуть один жизненно важный вопрос – вопрос языка, на котором ведутся занятия в школах, вузах и других учебных заведениях России.

Прежде всего, надо признать, что глубокие преобразования, происходящие сегодня, коренным образом изменили геополитическую карту. Сегодня уже нет Советского Союза: республики, входившие в него, стали самостоятельными суверенными государствами, признанными международным сообществом. Идет активный процесс формирования новых принципов взаимоотношений между бывшими республиками Советского Союза. Ясно одно: возврата к унитарному прошлому нет, во всяком случае, в обозримом будущем.

Как известно, в Российской Федерации действует закон о русском языке как общегосударственном и о праве на употребление как государственных – языков национальных республик. Но в нашей стране, как и в других странах – бывших республиках бывшего СССР, к сожалению, процесс становления национального самосознания превратился в свою противоположность, приобрел во многих отношениях деструктивный характер. В то время, как вопрос о национальном языке потерял свое рациональ-

ное содержание, тем более что из 286 млн человек населения бывшего СССР, по статистике, 60 млн, т.е. почти каждый четвертый, проживал не на территории своих бывших республик, а теперь суверенных государств.

Сегодня в системе образования в России используется 89 языков. 59 – в качестве предмета изучения, 30 – в качестве языка обучения – чаще, правда, лишь в начальной школе. Но школ, таких как в Татарстане, в Башкирии, обучающих полностью на родном языке, становится все больше.

Острота проблемы требует остановиться на ней особо. Мы переживаем прекрасное, поистине революционное время ломки отживших стереотипов и штампов мышления. А не слишком ли при этом мы увлеклись ломкой? И то ли вообще мы ломаем? Воистину, Господи, вразуми нас, отличить одно от другого!

В связи с этим сами собой напрашиваются два вопроса.

Первый – не очередной ли это догмат о том, что только родной национальный язык может быть носителем и выразителем национального самосознания? К сожалению, наши философы продолжают отстаивать эту точку зрения.

Но еще более полувека назад русский ученый, основоположник культурно-исторической теории в психологии Л.С. Выготский (1896–1934) показал, что течение мысли не совпадает прямо и непосредственно с ее развертыванием, оформлением в словесную оболочку. Мысль не состоит из отдельных слов, – писал Выготский. Мысль и речь связаны друг с другом, но они отнюдь не тождественны. Мысль всегда представляет собой нечто цельное, значительно большее по своему объему и протяжению, чем отдельное слово. Так что мир мысли – это не мир речи.

И язык – это всего лишь инструмент мышления и общения, и его выбор очень часто зависит от обстоятельств, а не от национальной принадлежности. Да и сам вопрос о национальной принадлежности в нашей стране, как, впрочем, и во многих странах мира, часто бывает спорным. Например, какой национальности дети, если их отец – узбек, а мать – финка? Между тем их дети, родившиеся в Москве и выросшие здесь, без тени сомнения считают себя русскими, так как ни языка, ни культуры своих родителей они не знают.

Второй вопрос – что такое традиция или национальная культура? И насколько их самобытность определяется языком? Напомним, что, согласно нашему идущему от марксистской философии постулату, язык и культура, как форма и содержание, нераздельны. Многочисленные примеры, в том числе поселений украинцев, например, в Канаде или США, бросают вызов нашей теории. Канадские украинцы в своем большинстве давно утратили свой украинский язык, молодежь, в первую очередь, но все они сохраняют свои народные украинские обычаи, традиции, образ жизни, особенности кухни и т.п., хотя говорят они все, за редким исключением, на английском языке. Еще более интересный пример – Сейшельские острова, где выходцы из Индии, Китая, Японии, стран Африки и т.д. – все свято чтут своих богов, свои обычаи, манеру одеваться и т.п., хотя вот уже несколько столетий все они говорят на одном – английском языке. Так что, как это ни парадоксально для нашего стереотипного мышления, мистический национальный дух никак не связан с языком, а если и связан, то довольно опосредованно.

Но слепое следование догматам нашей философии уже привело к тому, что в странах Балтии или Грузии, например, грузином считается лишь тот, кто, согласно новому закону, владеет грузинским языком. А что же делать тем, кто, являясь грузином по рождению, этим языком не владеет? И таких немало, особенно среди городской молодежи.

Не решен окончательно вопрос о русском языке и на Украине.

Черчилль как-то сказал: «Россия – единственная страна, прошлое которой не предсказуе-

мо». Да, к сожалению, это так, мы с разных, порой прямо противоположных позиций, ругаем все, что было у нас. Но, думаю, что и для нас пришло, наконец, время собирать камни – обратиться к позитивным моментам в нашей истории. Ведь даже в России при всех царях исторически никогда не было деления государства по национальному признаку, но только по хозяйственно-территориальному.

Осуществление хозяйственно-территориального принципа деления действительно сделало бы добровольным изучение национальных языков теми, кто этого хочет. Это создаст условия и предпосылки для активизации процесса слияния наций, происходящего у нас вопреки искусственным барьерам.

Логика развития истории, решающее значение экономики в развитии общества убеждают в том, что наша страна и независимые государства – бывшие советские республики – осуществят этот единственно разумный принцип своей жизнедеятельности.

Процесс интернационализации объективен, и никакие усилия не остановят его. Таков ход истории. Более того, он носит глобальный характер.

Знаменательно, что во многих странах Запада, при оформлении на работу, например, даже нет вопроса о национальной принадлежности человека. Так и должно быть в цивилизованном обществе, поскольку сама постановка вопроса о национальности несостоятельна ни с научно-теоретической, ни с практически-политической точки зрения: народность и нация – понятия не биологически-генетические, но социально-исторические. Что же касается языков общения, то тут надо отметить экономный исторический закон интеграции, который в будущем приведет к тому, что человечество будет обходиться всего лишь двумя-тремя языками.

А пока в наше время ситуация такая, что, несмотря на то, что в качестве языков международного общения ООН приняла 6 языков: английский, французский, испанский, русский, арабский и китайский, наибольшее распространение все больше и больше получает английский язык.

И, тем не менее, самым популярным пока у нас на планете остаётся китайский (родной для 1 213 млрд человек), на втором месте английский (родной для 560 млн человек), на третьем – испанский (329 млн человек). Русский находится на восьмом месте – для общения его используют люди в 33 государствах. Но это вовсе не значит, что другие языки имеют меньше прав и менее любимы.

У нас же вопреки исторической логике, превратно понимая автономность и сводя ее преимущественно к языку, в одной из республик России, например Башкирии, официальные органы (не сами радиослушатели) подали в суд на радио Башкирии за то, что оно не все время вещает на башкирском языке, но в основном на всем понятном русском языке. В связи с этим обратимся к нашим реалиям: республик союзного значения у нас было 15, а различных народов и народностей – более 140! И каждая (за небольшим исключением) республика, а теперь суверенное государство, объявляет государственным языком язык своей республики. Так чем же хуже язык и культура других – малых народов, живущих на их территории? Тем, что их меньше? Или их культура не того уровня? Да и вообще возможна ли такая постановка вопроса? Она противоречит нравственным основам нашей жизни и функционирования современной системы образования – формирования личности гражданского общества информационной цивилизации, принципу самоценности личности как представителя определенной нации и носителя своеобразных самобытных традиций. Но национальная самобытность не должна при этом сводиться только к языку. Как известно, исторически на территории России уживались разные народы и языком общения между ними был всегда русский

язык. Многие из этих народов приобрели письменность только после 1917 года, но после этого они не перестали пользоваться русским языком. Напротив, число владеющих русским языком многократно увеличилось! Знаменательно, что перепись 2010 г. показала стабильную тенденцию к росту числа людей, называющих себя русскими и русский язык своим родным языком. Таковых стало 80 %.

Именно в силу этого люди различных национальностей вносили и продолжают вносить свой вклад в развитие русского языка, обогащая его и делая его своим.

Вместе с тем нельзя отрицать, что «Истинная любовь к своей стране немыслима без любви к своему языку», как отмечал писатель Константин Паустовский. К примеру, в многонациональной России наравне с русским в различных республиках ещё 37 языков считаются государственными, а 15 – имеют официальный статус в местах компактного проживания его носителей. На защите многоязычия в нашей стране стоит Конституция РФ. Принимая это во внимание, чтобы представить себе роль русского языка в повседневном обиходе, обратимся к нашему небольшому, по численности населения, Дагестану. Итак, основные народы Дагестана:

Национальность	**тыс. чел.**	**%**
Все население	2576,5	100,0
Аварцы	758,4	29,4
Даргинцы	425,5	16,5
Кумыки	365,8	14,2
Лезгины	336,7	13,1
Лакцы	139,7	5,4
Русские	120,9	4,7
Азербайджанцы	111,7	4,3
Табасаранцы	110,2	4,3
Чеченцы	87,9	3,4
Ногайцы	38,2	1,5
Рутульцы	24,3	0,9
Агулы	23,3	0,9
Цахуры	8,2	0,3
Таты (горские евреи)	1,8	0,1

Из 14 различных основных народов, населяющих прекрасный Дагестан, русские, как видим, составляют лишь 4,7 %. Верховную власть в республике представляет Госсовет из 14 членов – от каждого из основных указанных здесь народов. Но в Дагестане проживают и многие другие малочисленные народности – более 38, говорящие на своем национальном языке. Если бы не русскоговорящий «коллективный президент», не русский язык, как таковой, Дагестан был бы похож на Вавилонскую башню, так и оставшуюся недостроенной из-за смешения языков. Но, к счастью, русский язык там знают все, и ни у кого не возникает проблем в общении на улице, транспорте, магазине, учреждении, школе и т.д.

Зачем же загонять историю вспять? Лишать людей межнационального общения, возможного только с помощью и через посредство русского языка?! Надо, наконец, открыто и всенародно, признать, что положение о языке и культуре, как форме и содержании – это анахронизм, отжившая и, как анчар, пагубная догма.

В этом мы можем убедиться на примере стран, сформировавшихся по принципу: одна нация – одно государство. Пытаясь запретить русский язык как язык обучения, а тем более общения, государства Балтии все более приобретают фашистские черты, проявляющиеся в создании языковой полиции (Эстония), в требованиях уничтожить памятники советским освободителям, в организации шествий бывших нацистов и т.п. Что вызывает неодобрение даже со стороны стран Евросоюза, куда они вступили. Власти Грузии так же заявили в апреле 2012 г., что теперь русский язык им не нужен, но основное население этой солнечной республики продолжает общаться на русском языке.

В вопросе о языке нужно остановиться еще на одном моменте, обусловленном техническим прогрессом. Он проникает всюду и, конечно же, в язык любой страны. Русский язык уже

давно адаптировал для себя сотни различных научных терминов, и этот процесс непрерывен, но вот те наши бывшие союзные республики, где родные языки в силу исторических условий развития не включают в себя многие технические термины, затрудняют свой прогресс, запрещая использование когда-то общепринятого регионального русского языка.

Именно благодаря русскому языку деятели культуры различных национальностей бывшего СССР получили международную известность и признание, могли участвовать в гастролях, совместных с западными странами проектах и форумах.

Это одна сторона проблемы, другая заключается в осознании своего национального достоинства различными многочисленными меньшинствами. Поэтому заставлять в школах и вузах изучать язык независимого государства – в прошлом республики, в которой оказалось данное учебное заведение, – это значит ущемлять права и национальное достоинство других малых народов, живущих в этой республике. Дети – наше будущее, и нельзя отравлять их сознание ядом национализма. Выбор языка обучения должен быть абсолютно свободным, и никакого предательства своей нации в этом нет.

Дела молодежи требуют к себе всестороннего внимания, в том числе создания условий для содержательного отдыха, проведения своего свободного времени в подобающих цивилизованных условиях. Тогда бы не случилось то, с чем уже сейчас столкнулись наши прибалтийские соседи. Многие латыши сегодня не хотят жить в Латвии, особенно молодежь. Большинство старшеклассников Риги планируют покинуть Латвию. Такие данные приводит «Латвийская газета», ссылаясь на результаты опроса учеников выпускных классов. 41,5 % опрошенных сказали, что хотели бы уехать за границу, но еще не решили куда. 36,7 % – что поедут за границу и уже выбрали конкретную страну. Лишь 5 % изъявили желание остаться в Латвии.

Мы в России знаем, какую цену приходится платить сегодня за наше пренебрежение к национальной культуре, образу жизни, а не просто к языку, малых народов, населяющих нашу страну, особенно народов Крайнего Севера, «заботу» на словах и красивых лозунгах. Сегодня, к сожалению, исчезли и лозунги. Между тем народы Севера обречены на вымирание, а народы сказочно прекрасного Кавказа – на самоистребление. В котором участвуют и наши сыновья – солдаты России. Сейчас надо бить во все колокола, чтобы мирным путем урегулировать все так называемые национальные вопросы.

Что же касается той волны национализма, что прокатилась по нашей стране и вовлекла в свою орбиту народы Грузии, Азербайджана, а также бывших республик Средней Азии, то тут много и говорить не надо. Надо делать – ликвидировать причину народных бедствий, тогда исчезнет и следствие – национальная рознь. Потому что по большому счету дело не в национальности, а в общей нищете народов бывших союзных республик, России в том числе. Нужно строить предприятия, создавать новые рабочие места, поднимать сельское хозяйство, трудоустраивать молодежь, что кучкуется по пустырям и закоулкам, сбивается в стаи скинхедов или просто грабителей. Это особенно актуально для малых городов, где старые предприятия ликвидировали, а новые за годы, прошедшие с начала «либерализации», так и не построили.

Что же касается постоянно растущей миграции, то тут одна причина – экономическая: человек ищет, где лучше, где он – выходец из любой республики, не дающей ему возможности заработать себе и его семье на хлеб насущный, – ищет любую работу, чтобы послать деньги своим детям, близким.

Всеобщее озлобление в обществе, отмечаемое социологами, национальности не имеет, у него главная причина – социально-экономическая.

Но в таких условиях особенно нужна гибкая государственная иммиграционная политика,

регулирующая приток иммигрантов в нашу страну.

Бесконечные дискуссии, дебаты, сколько впустую затраченной энергии, красноречия наших журналистов, телеведущих, политиков! Все это, представляется, направлено только на одно – отвлечь внимание от решения самых важных вопросов – нацеленности на социальную справедливость и создание прочных основ экономики – строительство новых крупных промышленных предприятий, создающих рабочие места, подъём сельского хозяйства.

Это не исключает, конечно же, государственное регулирование вопросов о трудовых мигрантах, принятие законов, ограничивающих их потоки.

В продолжение так называемого национального вопроса, чтобы и здесь внести некоторую ясность, необходимо ответить на вопрос о том, кто же в наше время является русским? Кто же он? Прежде всего, он либо живет в России, либо родился в ней сам или его предки, главное – она остается для него духовной Родиной. Конечно же, он, в той или иной степени, владеет русским языком. Русский независимо от его происхождения, которое, особенно в наше время, зачастую вообще трудно определить, вырос и воспитывался в духе русской культуры, либо сознательно делает ее своей, принимает национальный уклад жизни русских, их обычаи, традиции, праздники и т.д. (Большую роль в русификации в определенные исторические периоды нашей Родины играло, как мы знаем, крещение, принятие православной веры. В советское время идеология вытеснила собой религию, православие, но, по существу, прокламировала то же братство народов, их взаимопомощь и т.п.).

Итак, «русская нация – это духовно-историческая целостность, образующаяся в едином пространственно-временном континууме природной, культурной, религиозной и континентально-государственной структуры, имеющая свои особые национальные и морально-этические особенности...». «Это культурологическое самоопределение русских, исключающее всякий биологический национализм и шовинизм, позволяло русским веками играть соборную, сплачивающую роль в семье народов Великой России».

Самым ярким впечатляющим примером того, что культурологический подход к определению национальной принадлежности в нашу эпоху является не просто правомерным, но единственно верным, предстает российская монархическая династия, начиная с Павла I. Уже в предпоследнем нашем царе-батюшке Александре III не было ни капли русской крови, не говоря уж о последнем императоре Николае II. Но ни у кого и никогда даже не возникала мысль усомниться в русскости наших монархов, позиционирующих себя «отцами» русского народа.

Достоинство русской цивилизации, русского мира, где к вершинам иерархической лестницы поднимались представители многих народов, населяющих Россию, еще и в том, что русские умели прощать своим врагам и были открыты для всех «инородцев», обладая все человечным типом мышления, а вернее – мироощущением, предполагающим причастность ко всему человечеству.

В России всегда жило так много народов, что мечта о своем, обособленном, отдельном от других народов благе, воспринималась бы как недостойная мысль, как грех.

Возведенная в Абсолют эта мысль в столь недавние советские времена привела к перегибам, к тому, что русские, тогда как будто стеснялись того, что они русские, боясь обидеть кого-то другой национальности.

Не впадая в другую крайность, сегодня надо во всеуслышание заявить, что выступать против русского языка – носителя общечеловеческих ценностей и средства общения и единения людей – действительно недостойно интеллигентного человека. Однако с грустью нельзя не при-

знать, что из 11 млн человек, проживающих в Москве, русских, украинцев, белорусов, всех вместе взятых всего – 4 620 000. Это значит, что в столице Государства Российского украинцы, белорусы и русские – национальное меньшинство!

Принципиально, однако, ситуация не меняется: Россия остаётся русской. И неизбежно мы придём к исключительно культурологическому пониманию того, кто же такой в наше время русский.

Пётр I считал: «Русский – это тот, кто Россию любит, кто России служит».

Литература

1. *Баранов, С.Д.* Русская нация. Современный портрет / *С.Д. Баранов, Д.В. Конов*. – М.: Миттель Пресс, 2009. – 536 с.

2. *Андреев, А.Р.* Русский народ. Терминология, исследования, анализ / *А.Р. Андреев, В.Д. Кривошеев, И.Э. Круговых*. – М.: Кучково поле, 2001. – 384 с.

3. *Караулов, Ю.Н.* Русский язык и языковая личность / *Ю.Н. Караулов*. – М.: Либроком, 2014. – 264 с.

Е.А. ИВАНОВА (АЛЕНА ВАНОВА)
Кандидат филологических наук
E.A. IVANOVA (ALENA VANOVA)
Ph.D. in philology

ФАНЬ ЮЙСИНЬ
Бакалавр
FAN YUXIN
Bachelor

УДК 81-13

СЕМИОТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КАК ЧАСТЬ РОССИЙСКО-КИТАЙСКИХ МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Ключевые слова: *семиотика, знаки и символы, российско-китайские отношения, российско-китайские коммуникации, массовые коммуникации (журналистика, PR, реклама).*

Аннотация: *Знание семиотики, а также умение кодировать в журналистский, PR и рекламный текст определенные послания могут повлиять на эффективность российско-китайских коммуникаций. Что касается кодирования и декодирования знаков и символов в российско-китайских коммуникациях, то на их эффективность могут оказать воздействие две составляющие: схожесть (универсальность) интерпретации определенных семиотических аспектов, а также различия, самобытный культурно-национальный уровень восприятия знаков и символов. В данной статье затрагиваются теоретические и практические аспекты семиотической составляющей российско-китайских массовых коммуникаций.*

SEMIOTIC COMPONENT AS PART OF RUSSIAN-CHINESE MASS COMMUNICATIONS

Keywords: *semiotics, signs and symbols of the Russian-Chinese relations, Russian-Chineese communication, mass communication (journalism, PR, advertising).*

Abstract: *Knowledge of semiotics, as well as the ability to encode a journalist, PR and advertising messages may affect the efficiency of Russian-Chinese communications. As to encoding and decoding of signs and symbols in Russian-Chinese communications, on their effectiveness may affect two aspects: the similarity of interpretation of certain parts of semiotics, as well as the differences of some unique cultural and national signs and symbols. This article considers theoretical and practical features of semiotic components in Russian-Chinese mass communications.*

На данном историческом этапе российско-китайские отношения, имеющие более чем 400-летнюю традицию, снова приобретают особое стратегическое значение. Это связано со многими географическими, политическими и экономическими факторами. Северо-восточ-

ный сосед России, являясь крупнейшим по численности населения государством мира и занимая третье место по территории (уступая России и Канаде), Китай заявляет о своем намерении развивать с Россией сотрудничество в области космоса, добычи газа и переработки нефти, а также в других сферах [1; 2]. Подтверждением серьезности стратегических планов служит совместное участие двух государств в международных и региональных организациях, в частности российско-китайское взаимодействие в экономическом альянсе БРИКС (англ. BRICS) – аббревиатура, состоящая из первых букв названий пяти государств: Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южно-Африканская Республика (англ. Brazil, Russia, India, China, South Africa) [3].

Следует отметить, что на эффективность российско-китайских коммуникаций влияют многие факторы. Поскольку мы являемся исследователями стереотипов, а также знаков и символов, хотим обратить внимание на важность семиотического аспекта российско-китайского взаимодействия [4]. В своих исследованиях мы делаем акцент на том, как именно знаки и символы используются в массовых коммуникациях, под которыми подразумеваются журналистика, PR и рекламная деятельности, массовый кинематограф и культура, а также анализируем некоторые примеры из сферы маркетинга. Кроме того, в одной из своих публикаций мы достаточно подробно представили культурно-национальный уровень восприятия символов на примере Китая [5].

В данной статье мы хотели бы обратить внимание на то, почему семиотика (от греч. semeion – знак, признак) – наука, изучающая свойства знаков, символов и знаковых систем в человеческом обществе, влияет на российско-китайские коммуникации.

Один из первых теоретиков семиотики швейцарский лингвист Фердинанд де Соссюр (Ferdinand de Saussure, 1857–1913) писал, что семиотика «наука, изучающая жизнь знаков в рамках жизни общества» и «она должна открыть нам, что такое знаки и какими законами они управляются» [6]. В своих трудах о знаке и его концепции Соссюр также упоминает дихотомию: означающее/означаемое. Бинарность/двойственность, вероятно, вообще является одной из основ восприятия человека, включая его ассоциативное мышление. При этом именно воздействие на ассоциативное мышление является одной из технологий работы в области массовых коммуникаций [7]. Эффективная работа в области массовых коммуникаций невозможна без использования знаков и символов, а также ассоциаций, с ними связанных. Фирменная буква «М» корпорации McDonalds, написание названия прохладительного напитка Coca-Cola, фирм спортивной одежды Nike и Adidas, медведь политической партии «Единая Россия» или заяц с волком в советской анимации «Ну, погоди!» – это знаки и символы международной и национальной культур, которые после множественных повторений/закреплений воспринимаются человеком на уровне не только сознания, но и подсознания, следовательно, влияют на поведение. Зарегистрированные логотипы и шрифты торговых фирм являются репутационными, имиджевыми активами организации и оказывают воздействие на стоимость того или иного бренда (англ. brand) – торговой марки с высоким уровнем паблисити (англ. publicity) – известности, узнаваемости.

Символ (от греч. – опознавательная примета) – «это образ, взятый в аспекте своей знаковости, и знак, наделенный неисчерпаемой, многозначностью образа. Всякий символ есть образ, в котором всегда присутствует определенный смысл, слитый с образом, но несводимый к нему» [8]. Символом могут быть предметы, животные, природные явления и т.д. Символ часто используется для скрытого сравнения.

Символическое начало всегда присутствует и при создании запоминающихся литературных характеров-образов, и при мифотворчестве [9], в том числе, в журналистской, а также в PR и рекламной деятельности. «Структура символа направлена на то, чтобы погрузить каждое частное явление в стихию «первоначал» и дать через него целостный образ мира. В этом проявляется сходство между символом и мифом; символ и есть миф, «снятый» (в гегелевском смысле) развитием культуры» [10].

На универсальность символов и образов разных этносов в свое время обратил внимание швейцарский психиатр, основоположник аналитической психологии Карл Густав Юнг (Carl Gustav Jung). Как известно, именно он сформулировал и описал понятия «коллективного бессознательного» (в 1916 году в статье «Структура бессознательного» – «Über das Unbewußte und seine Inhalte») и «архетипа» (от греч. Αρχέτυπο – первообраз), этот термин был впервые применен в 1919 г. В своей книге «Архетип и символ» К.Г. Юнг писал, что он выбрал термин «коллективное», поскольку речь идет о бессознательном, имеющем не индивидуальную, а всеобщую природу. Это означает, что оно включает в себя, в противоположность личностной душе, содержания и образы поведения, которые являются повсюду и у всех индивидов одними и теми же [11. С. 65]. Содержаниями коллективного бессознательного, согласно теории Юнга, являются архетипы. Юнг полагал, что архетипические образы всегда сопровождали человека, именно они являются источником мифологии, религии и искусства. В своей работе «Архетип и символ» К. Юнг следующим образом разъясняет суть этого понятия: «Даже сновидения состоят из в высшей степени коллективного материала – точно так же как в мифологии и фольклоре различных народов некоторые мотивы повторяются чуть ли не в идентичной форме. Я назвал эти мотивы архетипами, под которыми я понимаю формы и образы, коллективные по своей природе, встречающиеся практически по всей земле как составные элементы мифов и являющиеся в то же самое время автохтонными индивидуальными продуктами бессознательного происхождения. Архетипические мотивы берут начало от архетипических образов в человеческом уме, которые передаются не только посредством традиции или миграции, но также с помощью наследственности» [11. С.113].

Применительно к работе в области массовых коммуникаций нас интересуют знаки и символы не сами по себе, а то, как они влияют на умы и сердца потребителей информации и товаров. Отдельно заметим, как семиотика связана с PR. Связи с общественностью в России до сих пор понимают узко: как работу со средствами массовой информации (СМИ) и коммуникации, в то время как это – отрасль по формированию общественного мнения (англ. public opinion), в том числе моды и трендов в социуме. Деятельность в этой сфере невозможна без использования знаков и символов. Кроме того, работа в PR подразумевает формирование имиджа и корпоративной идентичности (англ. corporate identity) личности и бренда. Логотип с его символикой – один из базисов корпоративной идентичности. Вывески, все продукты графического дизайна (постеры, афиши и мн. др.) невозможны без знаков и символов. Нейминг (англ. naming) не просто оперирует словами, например, корпорация Apple или партия «Яблоко», называя себя данным именем, они апеллируют к символическому значению этого фрукта. Потребитель информации декодирует скрытые смыслы, распространяемые в массовой коммуникации знаков и символов. В то время как специалисты в области массовых коммуникаций (журналисты, специалисты в области PR и рекламы) в своей работе, используя те или иные знаки и символы, кодируют определенную информацию.

Что касается кодирования и декодирования знаков и символов в российско-китайских коммуни-

кациях, то на их эффективность могут повлиять два аспекта: схожесть (универсальность) интерпретации определенных семиотических аспектов (в том числе, например, языка жестов и телодвижений), а также – различия (самобытный культурно-национальный уровень восприятия знаков и символов).

В случае Китая – таких самобытных образов много. Упомянем лишь дракона (龙 lóng), воображаемую птицу феникс (凤凰 fènghuáng), которая чем-то напоминает сказочную жар-птицу и, согласно легенде, символизирует бесконечность бытия и воскрешение в огне после смерти, а также «китайского единорога», чудо-зверя, изображение которого напоминает каменного льва – цилинь (独角兽 dújiǎoshòu). Несмотря на то, что эти три символа используются в массовых коммуникациях и в некоторых других станах мира, они связаны с китайской самобытностью.

Дракон для китайских потребителей синтезирует многовековую культуру и является любимым миллиардами всеобъемлющим символом. Его часто используют в логотипах, изображают на фирменных бланках, а также в современной архитектуре. В то время как на Западе и в России, присутствие дракона – экзотика, ассоциирующаяся с Азией.

Феникс, дракон и цилинь – излюбленные китайским потребителем образы, символизирующие мощь страны и дух народа. Именно эти образы в преддверии олимпийских игр в Пекине в 2008 году, например, использовались международным агентством Leo Burnett Shanghai при создании постеров для китайского бренда спортивной одежды LiNing [5. С. 52].

Мы утверждаем, что апеллировать к базисным символам Китая в журналистских, PR и рекламных коммуникациях, в частности при продвижении товаров иностранных производителей, следует с осторожностью. Например, в 2004 году Toyota выпустила печатную рекламу, на которой каменные львы, символизирующие в понимании китайцев мощь Поднебесной, склонившись, приветствовали японский автомобиль-внедорожник. Слоган Toyota гласил: «Прада, нельзя не уважать». «Прада» на китайский язык перевели как 霸道 （badao）– власть. В итоге получилось «Власть, которую нельзя не уважать». Китайские потребители восприняли обращение к ним как оскорбление патриотических чувств и намек на вторжение японцев в Китай во время Второй мировой войны. В Китае по этому поводу поднялась буря возмущения, и продажи автомобиля упали. Toyota изъяла рекламные сюжеты из 30 китайских изданий и опубликовала извинения в ответ на волну протестов, которые они вызвали. В отличие от Toyota, Mercedes в своей телевизионной рекламе показал каменных львов мощными, бесстрашными защитниками, которые сопровождают каждого, кто ездит на Mercedes. Данную рекламу сочли удачной не только потому, что символы китайской мощи (каменные львы) наделены героическим характером, но и потому что создатели обратились к теме защиты [5. С. 53-54].

Одновременно с этим существуют китайские символы, которые, произрастая из культуры Поднебесной, стали базисными знаками человечества. Один из таких примеров – инь и ян (陰陽, 阴阳, yīn yáng), которые являются основой концепции древнекитайской философии, представлений о мироздании, сформулированных в «Книге перемен» и служивших для выражения светлого и тёмного, твёрдого и мягкого, символизируя взаимодействие крайних противоположностей: света и тьмы, дня и ночи, солнца и луны, неба и земли, жары и холода, положительного и отрицательного, четного и нечетного и т. д. [5. С. 55]

Таким образом, знание семиотики, а также умение кодировать в журналистский, PR и рекламный текст определенные послания могут повлиять на эффективность российско-китайских коммуникаций.

Литература

1. Сообщение Пресс-службы Президента Российской Федерации от 01.10.2001. – URL: http://2002.kremlin.ru/pressa/2001100101.html (дата обращения: 03.06.2012).

2. *Храмчихин, А.* Специфика партнерства: о некоторых аспектах российско-китайских экономических отношений / *А. Храмчихин* // Частный корреспондент. – URL: http://www.chaskor.ru/article/spetsifika_partnerstva_1297http://www.chaskor.ru/article/spetsifika_partnerstva_1297http://www.chaskor.ru/article/spetsifika_partnerstva_1297ммм (дата обращения: 24.07.2014).

3. Страны БРИКС разрабатывают независимый от США интернет. – URL: http://point.md/ru/novosti/v-mire/strani-briks-razrabotayut-nezavisimij-ot-ssha-internet (дата обращения 18.11.2014)

4. *Ванова, А.* Семиотика и влияние: PR на подсознательном уровне / *А. Ванова, Б. Филяев* // Пресс-служба. – 2014. – № 4. – С. 64-71.

5. *Ванова, А.* Культурно-национальный уровень восприятия символов на примере Китая / А. Ванова, Фань Юйсинь, Б. Филяев // Пресс-служба. – 2015. – № 2. – С. 51-61.

6. Курс общей лингвистики // Соссюр Ф. де. Труды по языкознанию. – М., 1977. – С. 54.

7. *Иванова, Е.А.* Использование ассоциативного мышления с целью воздействия в массовых коммуникациях / *Е.А. Иванова, А.В. Фирсов, Э.Н. Калупетека* // Научное обозрение. Сер. 2: Гуманитарные науки. – 2013. – № 6. – С. 19-27.

8. Эстетика: словарь / под общ. ред. А.А. Беляева и др. – М.: Политиздат, 1989. – С. 331.

9. Словарь литературоведческих терминов / сост.: И.А. Книгин. – Саратов: Лицей – 2006 – С. 198.

10. Эстетика: словарь / под общ. ред. А.А. Беляева и др. – М.: Политиздат, 1989. – С. 331.

11. *Юнг, К.Г.* Архетип и символ / *К.Г. Юнг*. – М.: Ренессанс, 1991 – С. 65.

Е.В. ЦЫМБАЛЮК
Кандидат филологических наук
E.V. TSYMBALYUK
Ph.D. in Philology

УДК 81-11

К ВОПРОСУ О ПРЕДИКАТИВНОМ ЗНАЧЕНИИ НЕПРОИЗВОДНЫХ ПРЕДЛОГОВ

Ключевые слова: *непроизводный предлог, событийный предикат, пропозициональный предикат, аспектуальность предлогов, модальность предлогов, предложное управление.*

Аннотация: *Исследование посвящено проблеме установления языковой природы непроизводных предлогов. Обосновывается способность непроизводных предлогов выражать базисную прототипическую семантику и выступать в суждении в функции событийного либо пропозиционального предиката.*

THE QUESTION OF THE MEANING OF PREDICATIVE NON-DERIVATIVE PREPOSITIONS

Keywords: *non-derivative preposition, event predicate, propositional predicate, aspectuality of prepositions, modality of prepositions, prepositional government.*

Abstract: *The point of the research is to determine the nature of non-derivative prepositions. The ability of non-derivative prepositions to express prototypical semantics basis and to estimate the function of event features a propositional predicate are under determination.*

На протяжении нескольких столетий в отечественном языкознании обсуждается проблема предлогов и их эквивалентов. В современной лингвистике наблюдается интерес к теориям, доказывающим прототипическую природу языка, что свидетельствует о возрождении исторического подхода, широко распространенного в XIX веке и позволяющего придать всему анализу очевидный объяснительный характер.

В диахронной и сопоставительной лингвистике принята точка зрения на происхождение аффиксов из лексем, а служебных слов – из знаменательных единиц [Коневецкий, 1988; Кубрякова, 1978; Мещанинов, 1945; Погодин, 1903; Потебня, 1874]. Возникновение знаменательных единиц по широко распространенной гипотезе сравнительного языкознания связано с расщеплением единой категории «диффузных наименований», синтезирующих понятие предмета и его предикативного (атрибутивного или обстоятельственно-прагматического) признака. На основании этого утверждается мнение о наличии ослабленной функции называния у всех предикатов, однако на настоящем этапе развития языка не осознающейся в результате стирания его внутренней формы (К.С. Аксаков, А.К. Коневецкий, Р.И. Мальцева, А.А. Потебня, Ф.С. Шимкевич) [Коневецкий, 1988; Мальцева, 1999; Потебня, 1874].

Непроизводные предлоги в исторической грамматике, теории когнитивной и функциональной лингвистики традиционно определяются как древнейшие локализаторы пространства [Е.С. Кубрякова, 1978; Р.И. Мальцева, 1999; О.Н. Селиверстова, 2004; А.Л. Погодин, 1903; А.А. Потебня, 1874]. По мнению исследователей, выражение непроизводными предлогами базовых геометрических отношений составляет их инвариантное значение, а образование вторичных обстоятельственных значений является результатом метафоризации понятия «пространство» [Е.С. Кубрякова, 1978; Р.И. Мальцева, 1999; О.Н. Селиверстова, 2004]. При этом в концепции прототипических знаков как «диффузных наименований» обстоятельство действия и действие тесно взаимосвязаны.

В теории языкознания устоялось мнение о присущей предикатам локации (показателей времени, места, лица, наклонения и т.д.), которое было развито Дж. Андерсеном в концепцию локализма, согласно которой предикаты в семантической репрезентации предложения представимы в терминах локализации (местоположения в пространстве – геометрическом и метафорическом – и во времени) [В.З. Демьянков, 1980: с. 342]. На основании этого в лингвистике не раз высказывалось предложение понимать языковую природу непроизводных предлогов как древнейших именных корней-основ (И.И. Давыдов, А.В. Добиаш, Е.С. Кубрякова, А.Л. Погодин, А.А. Потебня, Н.С. Трубецкой), обладающих свернутой пропозициональной структурой (К.С. Аксаков, А.В. Добиаш, А.Л. Погодин, А.А. Потебня, Ф.С. Шимкевич) и выступающих в суждении в функции предиката (М.И. Конюшкевич, Л. Леннгрен, Ю.С. Степанов, У. Чейф) [М.И. Конюшкевич, 2004; Е.С. Кубрякова, 1978; Л. Леннгрен, 2004; 2006; А.Л. Погодин, 1903; А.А. Потебня, 1874; Ю.С. Степанов, 1990; Н.С. Трубецкой, 1987; У.Л. Чейф, 1975].

В данном исследовании мы придерживаемся гипотезы, согласно которой первообразные предлоги являются древнейшими локализаторами, синтезирующими денотативное и предикативное значение, и считаем целесообразным указать некоторые известные языковые факты, которые могли бы служить доказательством этой мысли.

Напомним, что предикаты характеризуются следующими признаками:

1) играют роль конститутивного члена пропозиции, обладают сильными валентностными связями, формируя смысловое и грамматическое ядро пропозициональной структуры [Языкознание, 1998: 393];

2) синтезируют в себе функцию предикации и номинации, на основании этого таксономия их типов дублирует основные ономасиологические категории (языковые смыслы) с учетом изменения позиции в суждении с субъектного члена на синтагмообразующий [Ю.С. Степанов, 1981: 115];

3) выражают категории аспектуальности и модальности [А.В. Бондарко, 1971];

4) не только выступают конститутивным членом пропозициональной структуры высказывания, но и способны вводить в нее вторую пропозицию в качестве своего актанта, в связи с чем подразделяются на событийные (базисные) и несобытийные (небазисные, пропозициональные) [В.З. Демьянков, 1980: 342; Языкознание, 1998: 392]. Таким образом, предикаты характеризуются по типу отражаемого ими события.

В теории лексической семантики, грамматики, коммуникативного синтаксиса природа события относится к сфере онтологических объектов, таких как ситуация, процесс, происшествие, случай. Под событиями в подобных исследованиях понимают изменения положения человека в пространстве, любые его действия и деятельность [Т.М. Николаева, 1980]. Событие в предложении отображается в семантике

предиката, трактуется как «полное описание некоторого явления во всей совокупности актуализирующих его темпоральных и стационарных локализаторов» [Т.М. Николаева, 1980: 199]. Таким образом, событие – факт онтологического плана, а предикат – эпистемического.

В.З. Демьянков в статье «”Событие” в семантике, прагматике и в координатах интерпретации текста» предлагает типологию событий по содержанию выражаемого ими понятия:

а) собственно событие, или референтное событие; его аналог – конкретный референт имени – конкретный объект, занимающий конкретное положение в пространстве–времени; выражается денотативным значением;

б) событие как идея; его аналогом является сигнификативное значение имени;

в) текстовое событие в его атрибутах, меняющихся в интерпретации (отдаленная аналогия его – «звуковая оболочка» имени). Так, текстовое событие может быть переполнено противоречивыми деталями, заставляющими выбирать то одну, то другую гипотетическую интерпретацию, т.е. соотносить текстовое событие то с одной идеей-событием, то с другой, при этом предполагая наличие референтных событий, то полностью осознавая их невозможность [В.З. Демьянков, 1983: 322].

Таким образом, под событийным предикатом мы понимаем единицы, приписывающие признак субъекту внеязыковой или языковой действительности в рамках создания одной пропозиции. Взяв за основу типологию событий В.З. Демьянкова, мы предлагаем следующую классификацию предикатов по содержанию выражаемых ими понятий:

а) предикаты, отражающие «собственно событие», – предикаты, сохранившие словообразовательную основу производящего номинатива и выражающие синкретичное сигнификативно-денотативное значение;

б) предикаты, отражающие «событие как идею», – представлены метафорическими значениями сигнификата;

в) предикаты, обладающие свойствами и первого, и второго типа и обнаруживающие свои различия при актуальном использовании в высказывании – гибридные образования, служащие основой для формирования функциональной омонимии.

Рассмотрим данные положения применительно к группе непроизводных предлогов.

Идею предикативности предлога и наличия у него функции формирования пропозициональной структуры суждения одним из первых высказал в 70-х годах XX века У. Л. Чейф в работе «Значение и структура языка», в которой придерживался взгляда на языковую природу непроизводных предлогов как генетических глаголов. В процессе изучения таких конструкций, как «is in» – «is on» – «is under» (в русском языке: «быть в» – «быть на» – «быть под»), У.Л. Чейфом был сделан вывод о том, что «is (быть) не является семантическим глагольным корнем. Его функция состоит в том, чтобы представлять грамматические категории (время, лицо, число), исконно присущие таким корням, как «in»; сами же единицы in, on, under являют собой «локативные глаголы» [Чейф, 1975: 173–174]. Целесообразно также отметить, что на основании правила порядка слов в индоевропейских, тюркских, монгольских и многих финно-угорских языках, «определение ставится перед определяемым, а предикат (глагольный или именной) всегда следует за субъектом» [Н.С. Трубецкой, 1987: 38], на основании этого в сочетании с предлогом – «быть в», «находиться в», «идти в», «класть в» – глагол выступает в атрибутивной функции по отношению к предлогу-предикату.

Вопрос о призменной предикативной позиции предлога был изучен И.И. Мещаниновым и подробно описан в монографии «Члены предложе-

ния и части речи»: «…когда предлог не получил еще своего служебного значения и даже не был служебным словом, а выступал в предложении как основной компонент синтаксического словосочетания, он управлял падежом связанного с ним имени и стоял вначале, как и надлежит стоять определяемому при именном определении» [И.И. Мещанинов, 1945: 306].

Таким образом, в сочетаниях глагола с предлогом и предлога с существительным предлог занимает позицию главного члена, а полнозначные лексемы – зависимого, из чего следует вывод о синтаксемообразующей функции предлогов.

Вопрос о наличии у предлога валентности, определяющей количество и качество подчиненных актантов, берет начало в широко распространенном представлении о способности предлога управлять падежом. Данная идея изложена в трудах Ф.И. Буслаева, А.Х. Востокова, Н.И. Греча, И.И. Давыдова, И.И. Мещанинова, Л.В. Щербы [Ф.И. Буслаев, 323; И.И. Мещанинов, 1945: 306]. Такой тип управления было предложено называть «предложным» [Ф.Ю. Ахмадуллина, 1978: 76, 78].

В настоящее время особый интерес в раскрытии данной проблемы представляют научные статьи Л. Леннгрена [Л. Леннгрен, 2004; 2006]. Основываясь на том, что предикаты формируют пропозициональный центр высказывания, Л. Леннгрен считает целесообразным включить в их состав тип семантических предлогов, обладающих, по мнению ученого, способностью устанавливать смысловые связи в структуре суждения и требовать наличие управляемого актанта: «самое типичное для предлогов – это два подчиненных актанта. В предложении Он спит на диване первым актантом предлога является словоформа спит, а вторым актантом – словоформа диване. Этот анализ соответствует парафразе Он спит; это происходит на диване». Предлоги, не способные образовывать пропозициональный центр высказывания, Л. Леннгрен относит к числу синтаксических единиц и исключает из числа предикатов. Примерами таких предлогов являются семантически опустошенные грамматические форманты, выполняющие роль идиоматической связки при глагольной словоформе (думать о, считаться с и т.д.) [Л. Леннгрен, 2006: 33–34].

Как предикат предлог в синтагме способен выражать семантику аспектуальности и модальности. Доказательство данной теории мы видим в историческом развитии системы времен индоевропейского глагола. Историческим языкознанием обозначен путь развития категории времени глагола через его сочетание с наречиями, обладающими векторной семантикой начального или конечного ориентира движения. Так, например, в русском языке все глаголы совершенного вида, не имея настоящего времени, образуют будущее простое, являющееся по форме настоящим (например: идет, но ото+йдет, у+йдет и во+йдет, при+йдет) [Синтаксис, 1899–1902]. С другой стороны, самой возможностью сочетаться с префиксальными морфемами и иметь множество форм имперфективации обладают те глаголы, которые являются или осознаются на современном этапе как непроизводные от имени (например, «делать» – не исконное, но не воспринимается как отыменное, в связи с чем приобрело широкие валентностные свойства: доделать, заделать, наделать, поделать, сделать) [Н.М. Шанский, 1959: 103–104]. Такие глаголы в основном выражают семантику бытия или движения и характеризуются семантической недостаточностью, в связи с чем не обладают сильными предсказующими синтаксическими связями и способны управлять дополнением только в сочетании с предлогом (например, идти от кого-, чего-либо, идти за кем-, чем-либо, идти по чему-либо, идти у чего-либо).

Предлог способен не только конкретизировать глагольное действие и передавать глаголу пре-

дикативное значение, но и быть модификатором модальности имени. Исследователи Ю.Д. Апресян, А.В. Бондарко, Е.В. Клобуков, И.Г. Кудрявцева, С.Н. Смольников, Л.Г. Яцкевич утверждают о приобретении модального значения именами существительными, содержащими в своей структуре префиксы оценочной семантики, такие как анти-, без-, лже-, мало-, не-, недо-, полу-, псевдо-, сверх-, супер-, экстра-, люкс- [Л.Г. Яцкевич, 2006]. Мы же под модальностью имени предлагаем понимать контекстую семантику, связанную с разнообразной оценкой и акцентированием свойств объектов номинации и предлагаем включить в систему модальных отношений все отыменные префиксальные образования по наличию у них локальной или темпоральной характеристики объекта (преддверие, взморье, междуречье; соавтор, прадед, праформа, подзаголовок; приморский, средиземный) либо степени проявления его функционального качества (призвук, придурь, прозелень, сумрак; пребольшой, подслеповатый).

Нами было отмечено, что предикат в процессе формирования целостной структуры высказывания отображает некоторые семантические признаки номинатива, в связи с чем обладает и предикативным, и ослабленным денотативным значением.

Денотативное значение предлогов мы обнаруживаем в их способности называть отношения, соответствующие основным ономасиологическим категориям. Из тринадцати языковых смыслов, выделяемых Е.Н. Сидоренко [Е.Н. Сидоренко, 2008], предлоги обладают следующими двенадцатью: пространство /место и направление/ (быть в лесу, ехать до станции), время (встретиться в четверг, отложить до воскресенья), цель (говорить в назидание, бороться за успех), причина и следствие (презирать за трусость, пожелтеть под солнцем), образ и способ, качественная характеристика процесса (ехать в поезде, начищать до блеска), мера и степень (стоять во весь рост, язвительный до крайности), количество и число (ехать за пять километров, из семи вычесть пять), признак предмета (листок в клетку, письмо до востребования), предметность (поступить в гимназию, приняться за уроки), состояние (быть в трауре, без настроения, при памяти, с температурой, на иждивении).

Способность называть категории «условие» и «уступка» мы обнаруживаем у предлогов со вторичной семантикой, формирующих значения подчинительных конструкций и выступающих в роли пропозициональных предикатов.

Проблема приобретения непроизводным предлогом функции пропозиционального предиката была детально изучена в статье Л. Ленгрена «О каламбурном предлоге С» на примере многозначной семантики конструкции Я не танцую с ребенком. При первом толковании значения данной конструкции предлог с выражает семантику совместности и играет роль грамматической связки, оформляющей подчинительную связь между предикатом танцую и его вторым актантом. При втором толковании глагол танцевать не имеет валентность на «контрагента», предлог актуализирует значение «иметь», «у», объединяя актанты я и ребенок, и вводит в суждение имплицитный предикат «когда»: Я не танцую с (когда) ребенком (ср. парафразу Я не танцую, когда у меня есть ребенок). Предикат «когда» сентенциальный, то есть соединяет два других предиката [Л. Леннгрен, 2004]. Подобными примерами являются пропозиции я буду творить в тишине, в тайне = буду творить, если будут соблюдены тишина и тайна, говорю вам под секретом = говорю при условии, что это останется секретом (условие); при нежной душе она имеет сильный характер = несмотря на то, что она обладает нежной душой, у нее сильный характер (уступка).

Таким образом, непроизводные предлоги не способны выражать языковой смысл «процесс (действие, отношение как процесс)», что, по нашему мнению, связано с невозможностью предлогов указывать отношения между объектами действительности в развитии.

Учитывая классификацию «событий» В.З. Демьянкова, мы предлагаем следующую типологию предложных событийных предикатов по содержанию выражаемых ими понятий:

а) предложные предикаты, отражающие «собственно событие» – все локативные предлоги, выражающие категорию «пространство»;

б) предложные предикаты, отражающие «событие как идею» – предлоги с семантикой предикативности, построенной на метафорических значениях категории локативности (время, причина, цель и т. п.), а также семантике релятивности;

в) прототипические предложно-префиксальные предикаты, формирующие функциональные омонимы «служебное слово – морфема» с равнозначно выраженной семантикой пространства (прямого или метафорического).

Невозможность формирования межуровневого префиксального омонима пропозициональными предложными предикатами объясняется особенностью выражения ими языкового смысла полипропозиционально, а непредикатами – по причине выражения ими в чистом виде грамматической семантики предлога (релятивность), отличной от грамматической семантики глагольного префикса (результативность).

Выводы

В ходе исследования была доказана способность непроизводных предлогов выражать основные языковые категории и играть роль конститутивного члена пропозиции, обладающего валентностными связями, а также модальной и аспектуальной семантикой, что свидетельствует о выполнение ими предикативной функции в высказывании. Было выделено два типа предложных предикатов: событийные (базисные) – непроизводные предлоги, выражающие языковые смыслы в рамках одной пропозиции (все языковые смыслы, кроме «действие и процесс», «условие» и «уступка»), несобытийные – выражающие языковые смыслы полипропозиционально (языковые смыслы «условие» и «уступка»); а также группа непредикатов – семантически опустошенных грамматических формантов, выполняющих роль идиоматической связки при глагольной словоформе.

Литература

1. *Ахмадуллина, Ф.Ю.* К вопросу о глаголах движения в русском и татарском языках / *Ф.Ю. Ахмадуллина* // Вопросы формирования грамматического строя русского языка. – Казань: Изд-во Каз. гос. пед. ин-та, 1978. – С. 71–81.

2. *Бондарко, А.В.* Грамматическая категория и контекст / *А. В. Бондарко*. – М.: Наука, 1971. – 112 с.

3. *Буслаев, Ф.И.* Историческая грамматика русского языка / *Ф.И. Буслаев*. – М.: Учпедгиз, 1959. – 623 с.

4. *Демьянков, В.З.* Предикаты и концепция семантической интерпретации / *В.З. Демьянков* // Известия АН СССР. – 1980. – № 4. – С. 336–346.

5. *Демьянков, В.З.* «Событие» в семантике, прагматике и в координатах интерпретации текста / *В.З. Демьянков* // Известия Академии наук СССР. – 1983. – Т. 42, № 4. – С. 320–329.

6. *Коневецкий, А.К.* Проблема становления наречий как отдельной части речи / *А.К. Коневецкий* // Развитие частей речи в истории русского языка: межвуз. сб. науч. тр. – Рига: Изд-во ЛатвГУ, 1988. – С. 55–60.

7. *Конюшкевич, М.И.* Функции предлога [Электронный ресурс] / *М.И. Конюшкевич* // Функціонально-комунікативні аспекти граматики і тексту: збірник наукових праць, присвячений ювілею професора А. П. Загнітка. – Донецьк: ДонНУ, 2004. – С. 196–202. – URL: http://mova.dn.ua|content/view/34/8/1/3/

8. *Кубрякова, Е.С.* Части речи в ономасиологическом освещении / *Е.С. Кубрякова.* – М.: Наука, 1978. – 116 с.

9. *Леннгрен, Л.* Многоактантные предлоги в русском языке / *Л. Леннгрен* // Poljarnyj Vestnik. – 2006. – № 9. – С. 33–41.

10. *Леннгрен, Л.* О каламбурном предлоге с / *Л. Леннгрен* // Poljarnyj Vestnik. – 2004. – № 7. – С. 14–24.

11. *Мальцева, Р.И.* Предлоги и приставки в русском языке XI–XVII вв.: Семантическая и функциональная эволюция: дис. … докт. филол. наук / *Р.И. Мальцева.* – Краснодар, 1999. – 415 с.

12. *Мещанинов, И.И.* Члены предложения и части речи / *И.И. Мещанинов*. – М.; Л.: АН СССР, 1945. – 322 с.

13. *Николаева, Т.М.* «Событие» как категория текста и его грамматические характеристики / *Т.М. Николаева* // Структура текста. – М.: Наука, 1980. – С. 198–210.

14. *Погодинъ, А.Л.* Слѣды корней-основъ въ славянскихъ языкахъ / *А.Л. Погодинъ*. – Варшава: Типографія Варшавскаго учебнаго округа, 1903. – VIII, 310, [2] с.

15. *Потебня, А.А.* Изъ записокъ по русской грамматикѣ: в 2 ч. / *А.А. Потебня.* – Воронежъ: Типографія Н.Д. Гольдштейнъ, 1874. – Ч. I: Введение. – 157 с.

16. *Селиверстова, О.Н.* Труды по семантике / *О.Н. Селиверстова*. – М.: Языки славянской культуры, 2004. – 960 с.

17. *Сидоренко, Е.Н.* Языковые смыслы и ономасиологические средства их выражения / *Е.Н. Сидоренко*. – Симферополь: Крымучпедгиз, 2008. – 128 с.

18. Синтаксис [Электронный ресурс] // Малый энциклопедический словарь / под ред. Ф.А. Брокгауза, и И.А. Ефрона: в 3 т. – СПб.: Петербург, 1899–1902.

19. *Степанов, Ю.С.* Имена, предикаты, предложения (Семиологическая грамматика) / *Ю.С. Степанов.* – М.: Наука, 1981. – 361 с.

20. *Степанов, Ю.С.* Предикация / *Ю.С. Степанов* // Лингвистический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энц., 1990. – С. 393–394.

21. *Трубецкой, Н.С.* Избранные труды по филологии / *Н.С. Трубецкой*. – М.: Прогресс, 1987. – 559 с.

22. *Чейф, У.Л.* Значение и структура языка / *У.Л. Чейф*. – М.: Прогресс, 1975. – 432 с.

23. *Шанский, Н.М.* Очерки по русскому словообразованию и лексикологии / *Н.М. Шанский*. – М.: Учпедгиз, 1959. – 246 с.

24. Языкознание: большой энциклопедический словарь / гл. ред. В. Н. Ярцева. – 2-е изд. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 685 с.

25. *Яцкевич, Л.Г.* Функциональная категория модальности имен существительных: когнитивные и типологические аспекты / *Л.Г. Яцкевич* // Словообразовательные и грамматические категории в русском языке и речи: сб. науч. трудов / сост. Л.Г. Яцкевич. – Вологда: Русь, 2006. – С. 20–38.