

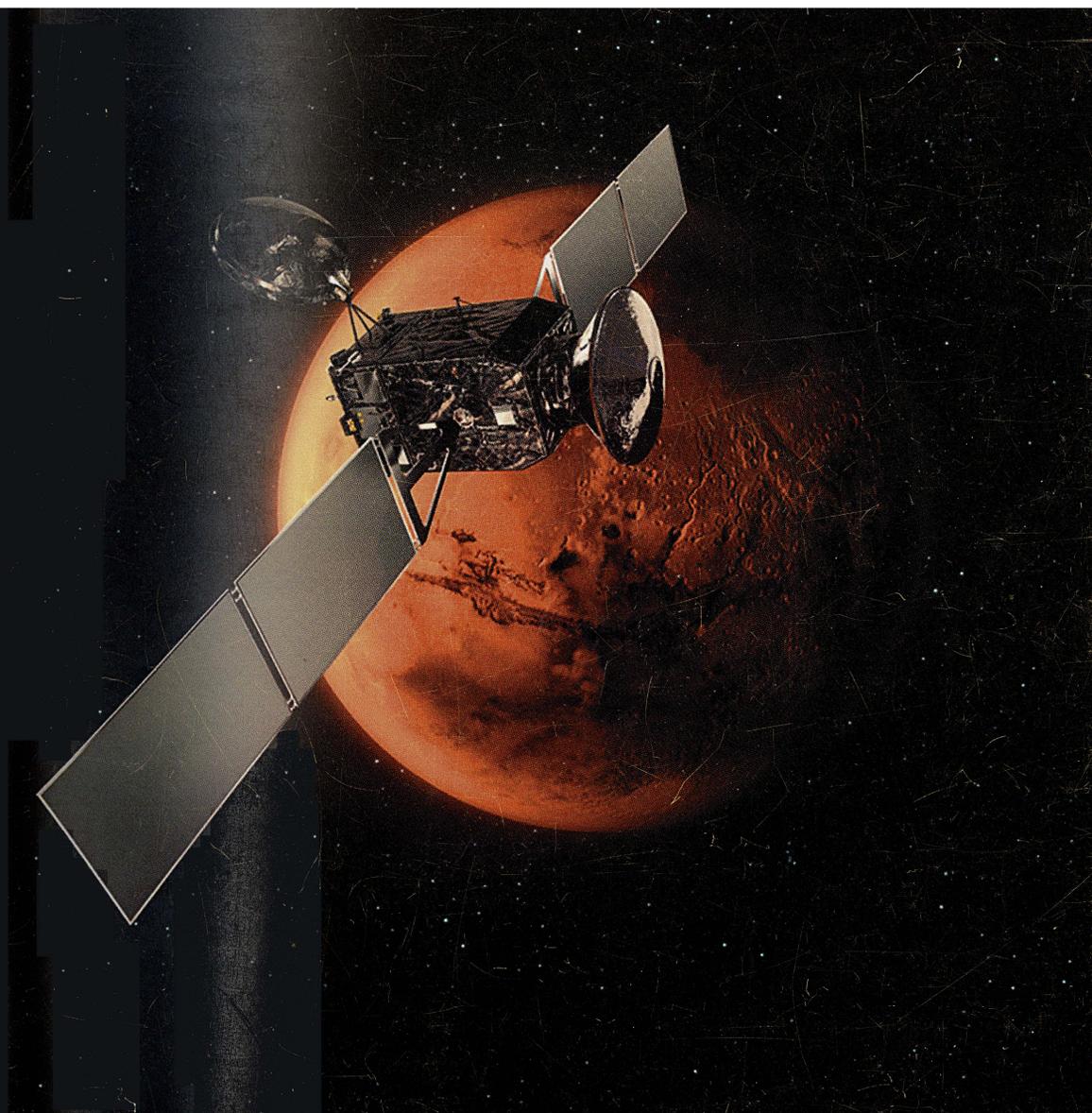
ISSN 0044-3948

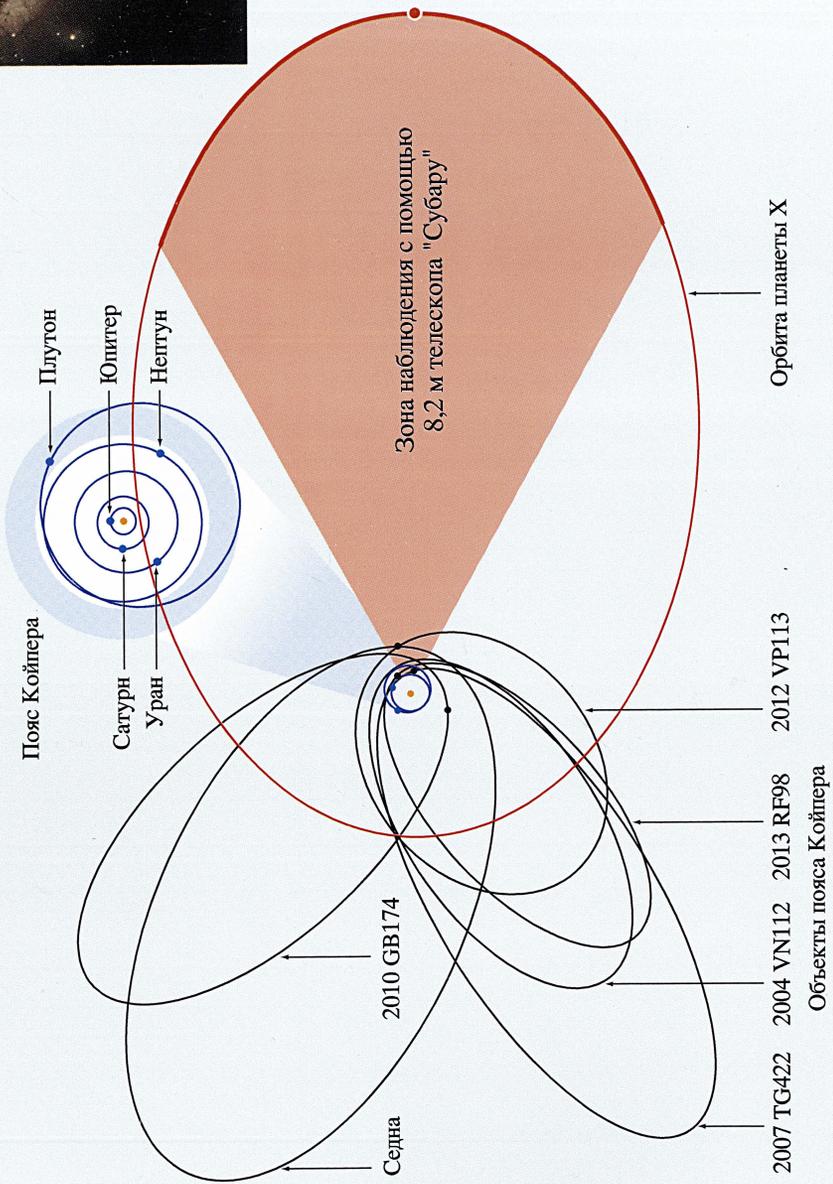
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

МАЙ-ИЮНЬ

3/2016





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

Земля и Вселенная

3/2016



Новости науки и другая информация: Запуск экспедиции к Марсу [20]; Солнце в декабре 2015 г. – январе 2016 г. [21]; Запуск японской обсерватории [24]; Подтверждение существования гравитационных волн [36]; “Радиоастрон”: наблюдение ядра галактики [49]; Газ, пыль и звезды туманности Пеликан [52]; “Доун”: исследования Цереры [55]; Открыта девятая планета Солнечной системы [74]; Исследователь гравитационных волн [86]; Успешная посадка ракеты [99]; Российские двигатели для американской ракеты [110]; Новый океанографический спутник [111]

В номере:

- 3 РОДИОНОВ Д.С., ЗЕЛЁНЫЙ Л.М., КОРАБЛЁВ О.И.
Проект “ЭкзоМарс”
25 СИДОРЕНКОВ Н.С. Геодинамические причины декадных изменений климата

ЛЮДИ НАУКИ

- 37 ЕРЕМЕЕВА А.И. Аристотель (к 2400-летию со дня рождения)
50 Памяти Игоря Михайловича Гуревича
53 Памяти Юрия Владимировича Баркина

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

- 56 Конференция по астрофизике

ИСТОРИЯ НАУКИ

- 65 СУДАКОВ В.С., СУДАРЧЕНКО А.П. Самый мощный в мире жидкостный ракетный двигатель РД-170
75 МАСЛИКОВ С.Ю. Астролябия Петра Первого
ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ
87 СМОЛЬКОВ Г.Я., **БАРКИН Ю.В.** Солнечно-земные связи: новое в изучении и объяснении

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 100 ЦИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: июль – август 2016 г.

ХРОНИКА СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

- 106 СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В.
Сейсмичность Земли во втором полугодии 2015 г.



© Российская академия наук, 2016
© ФГУП «Академиздатцентр «Наука», 2016
© Составление. Редколлегия журнала
«Земля и Вселенная», 2016

Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Maronovsky per., 26, f. 1965, 6 a year; by the Nauka (Science) Publishing House; Joint edition of the Russian Academy of Science; popular, current hypotheses of the origin and development of the Earth and Universe; astronomy, geophysics and space research; Chief Editor V.K. Abalakin; Deputy Editor V.M. Kotlyakov; Deputy Editor S.P. Perov

На стр. 1 обложки: AMC “Trace Gas Orbiter” с демонстрационным десантным модулем “Скиапарелли” приближается к Марсу. Рисунок ESA (к статье Д.С. Родионова, Л.М. Зелёного, О.И. Кораблёва).

На стр. 2 обложки: Схема орбиты Планеты-Х – гипотетической девятой планеты на окраинах Солнечной системы. Во врезке – Планета-Х в представлении художника. Рисунок Р. Харт, Калифорнийский технологический институт (к стр. 74).

На стр. 3 обложки: Вверху – Полярное сияние над Норвегией, вызванное выпадением энергичных частиц солнечного ветра в атмосферу на высоких широтах в расходящихся силовых линиях геомагнитного поля (к статье Г.Я. Смолькова, [Ю.В. Баркина](#)). Внизу – старт 22 января 2016 г. КК “New Shepard” (PM3) частной американской аэрокосмической компании “Blue Origin” с космодрома в штате Техас. Фото “Blue Origin” (к стр. 99).

На стр. 4 обложки: Туманность Пеликан (IC 5070) размером 30 св. лет, находящаяся на расстоянии около 2 тыс. св. лет в созвездии Лебедя. Фронт ионизации показан справа ярким оранжевым цветом. Изображение синтезировано в трех цветах эмиссионных линий серы, водорода и кислорода. Снимок получен 17 ноября 2015 г. итальянским астрономом-любителем Роберто Коломбари (к стр. 52).

In this issue:

- 3 RODIONOV D.S., ZELENYI L.M., KORABLEV O.I. “ExoMars” Project
25 SIDORENKOV N.S. Geodynamic Reasons of Decadal Climate Changes

PEOPLE OF SCIENCE

- 37 EREMEYEVA A.I. Aristotle (to the 2400th Anniversary of Birth)
50 In Memory of Igor Mikhailovich Gurevich
53 In Memory of Yuri Vladimirovich Barkin

SYMPOSIA, CONFERENCES, CONGRESSES

- 56 Conference on Astrophysics

HISTORY OF SCIENCE

- 65 SUDAKOV V.S., SUDARCHENKO A.P. The World’s Most Powerful Liquid Fuel Engine RD-170
75 MASLIKOV S.Yu. Astrolabe of Peter the Great

HYPOTHESES, DISCUSSIONS, SUGGESTIONS

- 87 SMOL’KOV G.Ya., [BARKIN Yu.V.](#) Solar-Terrestrial Connections: News in Research and Explanation

AMATEUR ASTRONOMY

- 100 SHCHIV’YOV V.I. Celestial Calendar: July-August 2016

CHRONICLES OF THE EARTH’S SEISMICITY

- 106 STAROVOYT O.E., CHEPKUNAS L.S., KOLOMIETS M.V. Seismicity of the Earth in Second Half of 2015

Редакционная коллегия:

главный редактор член-корреспондент РАН В.К. АБАЛАКИН,
зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,
зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук А.А. ГУРШТЕЙН,
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,
кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН А.А. МАЛОВИЧКО, доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ,
член-корр. РАН И.И. МОХОВ, член-корр. РАН А.В. НИКОЛАЕВ,
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,
доктор физ.-мат. наук Ю.А. РЯБОВ, член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,
кандидат физ.-мат. наук О.С. УГОЛЬНИКОВ, член-корр. РАН В.П. САВИНЫХ,
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК, доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО

Проект “ЭкзоМарс”

Д.С. РОДИОНОВ,
кандидат физико-математических наук
ведущий ученый проекта по созданию
научной аппаратуры с российской стороны

Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
академик
научный руководитель проекта с российской стороны

О.И. КОРАБЛЁВ,
доктор физико-математических наук
заместитель научного руководителя
проекта с российской стороны
Институт космических исследований РАН



Проект “ЭкзоМарс” (“ExoMars”) – совместный российско-европейский проект по исследованию Марса. В марте 2016 г. к Марсу запущен орбитальный аппарат для исследова-

ния малых составляющих атмосферы Марса и демонстрационный посадочный модуль с небольшим сроком функционирования. На 2018 г. запланирован запуск десантного мо-

дуля, который доставит на поверхность мобильный марсоход и долгоживущую посадочную платформу с комплексом научных приборов.



ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

В рамках проекта “ЭкзоМарс” намечено как выполнение ранее планировавшихся исследований, так и решение принципиально новых научных задач. Главные аспекты проекта: создание совместного с Европейским космическим агентством (ESA) наземного комплекса приема данных и управления межпланетными аппаратами, консолидация опыта Роскосмоса и ESA при разработке технологий для межпланетных программ. “ЭкзоМарс” может рассматриваться как этап подготовки к освоению Марса – разведке райо-

нов для посадки, поиска подповерхностной воды, мониторинга радиационной обстановки. Одна из важных задач проекта – выявление источников метана и других малых составляющих марсианской атмосферы.

История проекта “ЭкзоМарс” началась в начале 2000-х гг. ESA разработала проект для марсианской программы “Аврора”, в декабре 2005 г. его утвердили. Первоначальная конфигурация включала большой тяжелый марсоход и стационарную платформу. Запуск планировался в 2011 г. с помощью российской ракеты-носителя “Союз”. Однако в по-

Схема организации совместного российско-европейского проекта “ЭкзоМарс”.

следующие годы проект испытал многочисленные трансформации, которые в значительной мере изменили конфигурацию материальной части и научную составляющую. В 2009 г. ESA и NASA подписали соглашение о совместном исследовании Марса, что полностью изменило проект: теперь планировалось два запуска с помощью американских носителей “Атлас-5” в 2016 г. (по-

сачочная станция и орбитальный аппарат) и в 2018 г. (большой и малый марсоходы). В феврале 2012 г. NASA вынуждено было покинуть проект из-за необходимости снижения бюджетных расходов. Единственным выходом из создавшегося положения – для того, чтобы выполнить задачи проекта – стало сотрудничество ESA с Роскосмосом. 6 апреля 2012 г. Роскосмос и ESA договорились о реализации проекта. В конце декабря 2012 г. Роскосмос заключил контракты с ИКИ РАН на разработку российских научных приборов. В марте 2013 г. было подписано соглашение о российско-европейском сотрудничестве в области исследования Марса и других объектов Солнечной системы, что сделало ESA и Роскосмос равноправными партнерами в проекте "ЭкзоМарс" (Земля и Вселенная, 2013, № 6, с. 108–109).

Необходимо отметить: ни Россия, ни ESA по отдельности не могут похвастаться значительными успехами в исследованиях Марса. Проекты "Марс-96", "Фобос-Грунт" (Россия), "Бигль-2" ("Beagles-2", ESA) потерпели неуда-



чу (Земля и Вселенная, 1996, № 4; 2011, № 4; 2012, № 2, с. 106–107; 2013, № 1, с. 85; 2004, № 1, с. 35–36; 2004, № 3, с. 21–22). Лишь европейский ИСМ "Марс Экспресс" ("Mars Express"), во многом наследующий научный потенциал проекта "Марс-96", до сих пор успешно работает на орбите Марса (Земля и Вселенная, 2001, № 3, с. 110; 2003, № 5, с. 54). Поэтому объединение сил на данном этапе выглядит вполне логичным и дает надежду на успешное осуществление текущих и будущих проектов.

КОНФИГУРАЦИЯ ПРОЕКТА "ЭКЗОМАРС"

В рамках проекта планируются два запуска AMC с помощью российских носителей "Протон-М" с разгонным блоком "Бриз-М" – в 2016 г. и в 2018 г.

Запуск межпланетной станции по проекту "ЭкзоМарс" в 2016 г. включает в себя разрабатываемые ESA орбитальный КА "Trace Gas Orbiter" ("TGO"; орбитальный аппарат поиска следов газа) и демонстрационный десантный модуль "Скиапарелли" ("Schiaparelli"), назван-



Подготовка АМС “Trace Gas Orbiter” к запуску. Космодром Байконур. Январь 2016 г. Фото Роскосмоса.

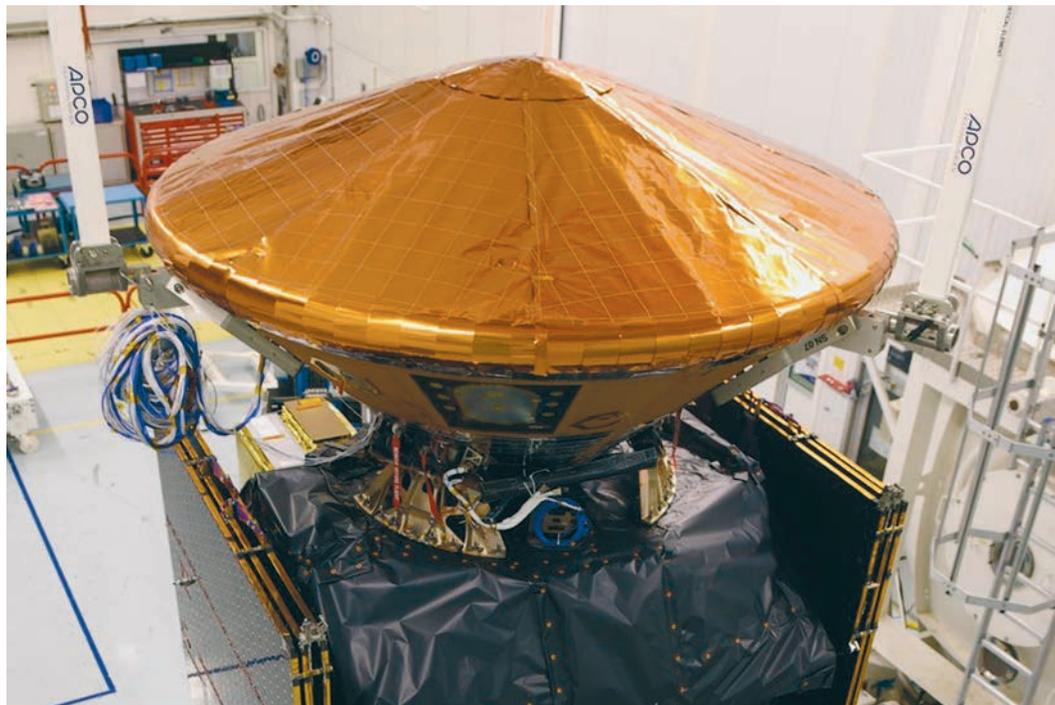
можно зарегистрировать около 12 ч дневных и ночных надирных спектров, а также 24 затмения – прохода диска Солнца по атмосфере Марса (12 заходов и 12 восходов). Фактически продолжительность измерений будет определяться с учетом распределения объема телеметрической информации между различными экспериментами на КА “Trace Gas Orbiter” и пропускной способностью канала связи.

В рамках второго этапа проекта “ЭкзоМарс” в 2018 г. на поверхность Марса с помощью разрабатываемого в России десантного модуля будет доставлен марсоход ESA массой около 300 кг. Марсоходу необходимо выполнить геологические исследования и попытаться найти следы жизни в подповерхностном слое планеты около места посадки. После схода марсохода с посадочной платформы она продолжит работу с помощью комплекса научных приборов в качестве долгоживущей стационарной платформы. Запуск запланирован на май 2018 г., с резервной датой в августе 2020 г.

ный так в честь итальянского астронома-исследователя Марса Джованни Скиапарелли (1835–1910; Земля и Вселенная, 2010, № 5). КА “TGO” (масса – около 3700 кг, размеры – $3,5 \times 2 \times 2$ м, без учета солнечных батарей) предназначен для изучения малых газовых примесей атмосферы и распределения водяного льда в грунте Марса. Посадочный модуль “Скиапарелли” (масса модуля – 600 кг, диаметр – 1,65 м, без теплового щита) служит для демонстрации и отработки технологической посадки на поверх-

ность Марса. Главной технологической задачей КА “TGO” является ретрансляция научных и инженерных данных с помощью посадочных аппаратов и марсоходов с поверхности Марса. 22 декабря 2015 г. связка “TGO” – “Schiaparelli” доставлена на космодром Байконур для подготовки к старту. Он произошел 14 марта 2016 г.

Космический аппарат “Trace Gas Orbiter” предполагается вывести на рабочую круговую околополярную орбиту высотой 400 км, наклоном 74° и периодом обращения около 2 ч. За сутки



Демонстрационный посадочный модуль "Скиапарелли" ("Schiaparelli"), установленный на борту АМС "Trace Gas Orbiter" в чистой комнате в Каннах, Франция. Фото TAS-F.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

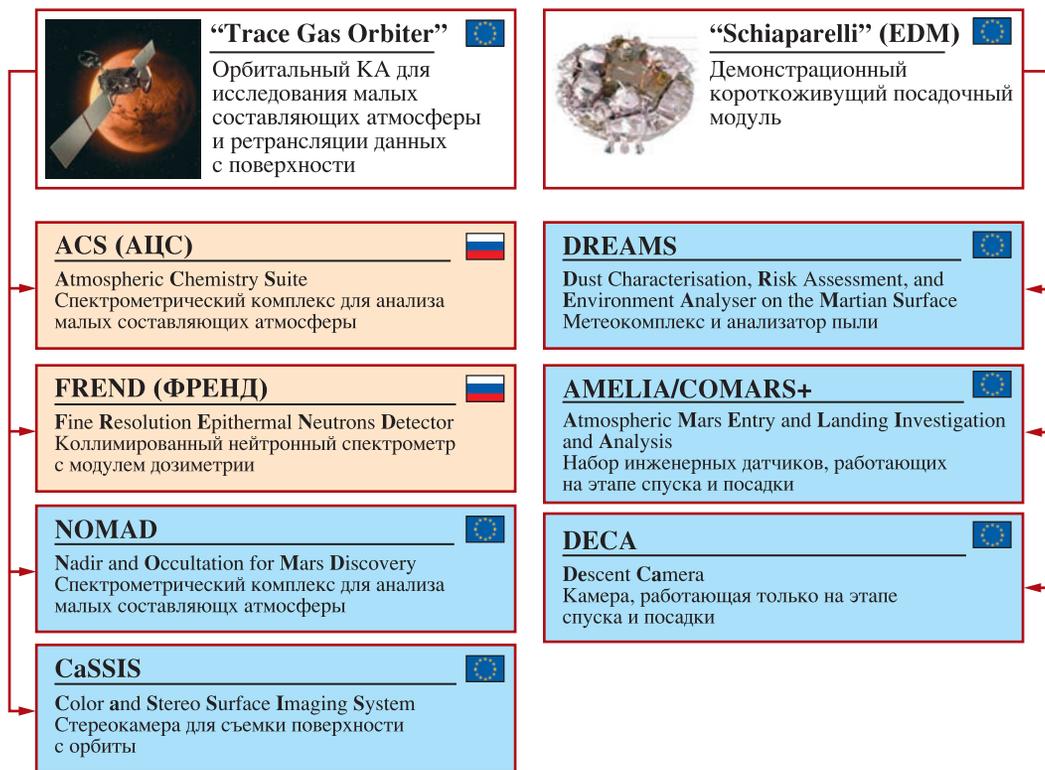
Основные задачи проекта "ЭкзоМарс" – мониторинг климата и радиационной обстановки с орбиты и на поверхности Марса, поиск на планете метана и вулканических газов, измерение состава ее атмосферы с поверхности, исследования распространенности воды на планете в подповерхностном слое вещества с высоким раз-

решением, внутреннего строения поверхности планеты, ее обитаемости, а также разведка районов посадки.

ПРОБЛЕМА МЕТАНА

Многолетний поиск метана (CH_4) на Марсе астрономическими средствами и с помощью АМС дал результаты в 2004 г. (Земля и Вселенная, 2010, № 4, с. 104). Примерно 10 ppb CH_4 было обнаружено в спектрах фурье-спектрометра PFS, установленного на борту АМС "Марс Экспресс". Параллельно были опубликованы результаты независимых наземных наблюдений, показавшие такое же количество метана. Фото-

химическое время жизни метана – 300–400 лет. С одной стороны, – это достаточно мало; возникает предположение о постоянно действующем источнике газа. С другой стороны, – за это время метан должен равномерно перемешаться в атмосфере, и наличие локализованных источников не может объяснить его переменность. Популярна гипотеза о биологическом происхождении метана: такое небольшое его количество, как 10–30 ppb, может быть легко получено от очень разреженной биоты. Обнаружение метана в атмосфере Марса вызвало лавину публикаций, выдвигалась и опровергалась масса гипотез о



механизмах его возникновения и причинах изменчивости, сам факт детектирования подвергался сомнению. В 2015 г. локальный всплеск содержания метана был зафиксирован марсоходом “Кьюриосити” (“Curiosity”) в кратере Гейла, однако надежные измерения в глобальных и локальных масштабах являются по-прежнему крайне актуальными (Земля и Вселенная, 2015, № 1, с. 50–51). Измерение содержания малых составляющих (прежде всего, метана) в атмосфере Марса, а также его картирование является приоритетной научной задачей проекта “ЭкзоМарс”.

ВУЛКАНИЗМ

Наиболее обильными вулканическими газами на Земле являются водяной пар и CO_2 . Измерения этих относительно обильных составляющих не могут быть индикаторами вулканической активности, – как на Земле, так и на Марсе. Количество метана в качестве вулканического газа на Земле обычно игнорируется на фоне преобладания биогенного метана. Тот же вопрос о происхождении метана (в случае его позитивного детектирования) возникает и на Марсе. Наиболее перспективными индикаторами вулканической

Научная аппаратура проекта “ЭкзоМарс-2016”.

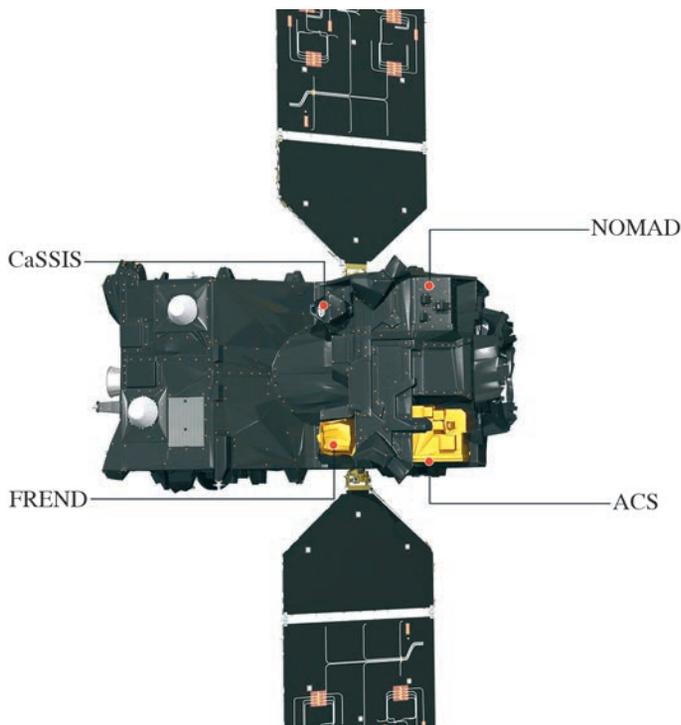
активности на Марсе могли бы стать соединения серы, в частности SO_2 . Средствами наземной астрономии установлен очень низкий предел содержания SO_2 в атмосфере Марса. Регулярные измерения содержания метана с его орбиты с помощью приборов АЦC и NOMAD на борту TGO с высоким спектральным разрешением, возможно, позволят уточнить этот предел, обнаружить временные увеличения кон-

Размещение научных приборов на борту АМС "Trace Gas Orbiter". Рисунок ESA/ATG medialab.

центрации этого газа или зарегистрировать иные соединения серы.

МОНИТОРИНГ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Количественное знание термической структуры атмосферы и характеристик аэрозоля необходимо для реалистичного моделирования климата планеты. Атмосферный аэрозоль на Марсе представляет собой важнейший, плохо поддающийся измерениям и изменчивый фактор формирования климата в целом. Пыль в атмосфере Марса приводит к ее разогреву, уменьшая выхолаживание в космос. С другой стороны, кристаллические облака из водяного льда увеличивают альбедо, уменьшая количество поглощаемой солнечной энергии. Помимо мониторинга двух основных компонентов аэрозоля на Марсе – минеральной пыли и конденсационных облаков – большие возможности предоставляет метод наблюдения солнечных затмений, позволяющий измерять экстинкцию (ослабление пучка света за счет поглоще-



ния и рассеяния) атмосферного аэрозоля на лимбе, который был опробован в исследованиях ИСМ "Марс Экспресс" (Земля и Вселенная, 2005, № 1).

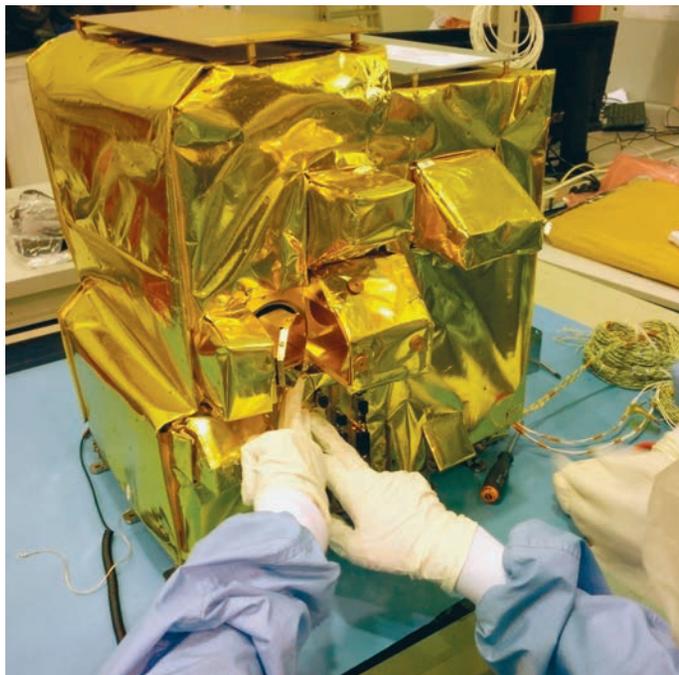
ПРОБЛЕМА ЭВОЛЮЦИИ КЛИМАТА

Среднее значение соотношения дейтерия к водороду (D/H) на Марсе примерно в пять раз превышает земное. Это принято считать свидетельством длительной диссипации воды – по мере эволюции климата на планете, что привело к накоплению более тяжелого изотопа. Для количественных оценок современных процессов диссипации на Марсе,

обмена воды между подповерхностными резервуарами и атмосферой необходимы измерения значения D/H с высокой точностью, а также анализ вертикального профиля этого отношения.

ПОИСК ОРГАНИКИ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Поиск следов существования жизни на поверхности Марса – своего рода визитная карточка проекта "ЭкзоМарс". Вопрос обнаружения органических соединений на поверхности планеты (или в подповерхностном слое) до сих пор остается открытым. С этой целью на марсоходе проекта "ЭкзоМарс-2018" установят буровое устрой-



Спектрометрический комплекс АЦС (ACS) после сборки. Фото ИКИ РАН.

ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ МАРСА С ПОВЕРХНОСТИ

Измерение состава атмосферы на поверхности Марса является существенным преимуществом перед орбитальными и наземными наблюдениями. Поиск и уточнение верхних пределов малых газовых составляющих – возможно, локализованных в нижних слоях атмосферы вследствие дегазации с поверхности надежнее осуществлять *in situ* (от лат. “на месте”) и при достаточном накоплении сигнала. Это же относится к измерениям изотопных отношений. Инертные газы и их изотопы дистанционно не измеряются.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ МАРСА

Сейсмические измерения на поверхности Марса призваны внести свой вклад в решение фундаментальных вопросов исследования внутреннего строения планеты – таких, как размер ядра, состав мантии и коры, толщина коры. Эти данные необходимы для решения проблемы происхождения планет, закономерностей их эволюции,

ство, позволяющее исследовать образцы с его поверхности глубиной до двух метров. Так как марсианскую поверхность постоянно “стерилизуют” высокие дозы ионизирующего излучения, то захват грунта с глубины повышает шансы нахождения на планете органических соединений. Ионизирующая радиация проникает и в подповерхностные слои, приводя к деградации органических молекул, но ее воздействие уменьшается с глубиной.

МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Изучение климата Марса и других планет земного типа относит-

ся к фундаментальным задачам, имеющим отношение не только к освоению Марса, но и к более глубокому пониманию природы климатических процессов на Земле. Относительно простая климатическая система Марса – удачный пример неблагоприятного исхода для атмосферы Земли. Глубокое понимание современных климатических процессов на Марсе позволяет лучше оценить особенности климата на планете в прошедшие времена, понять причины приведших к катастрофическим его изменениям, определить процессы диссипации атмосферы.

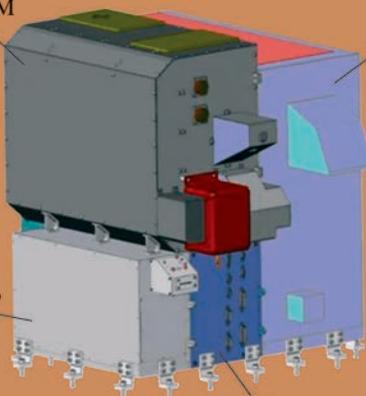


ТИРВИМ

МИР

НИР

БЭ



Составные части спектрометрического комплекса АЦС (ACS). Внутренний вид спектрометров АЦС-НИР, АЦС-МИР, АЦС-ТИРВИМ. Фото ИКИ РАН.

а также для получения ответов на вопросы о тектонической активности Марса, о природе его магнетизма, для решения проблемы водных запасов на планете. Хотя до сих пор марсотрясения не зафиксировано, но опыт земной и лунной

сейсмологии позволяет рассчитывать на то, что и на Марсе сейсмология окажется ведущим методом при изучении недр планеты.

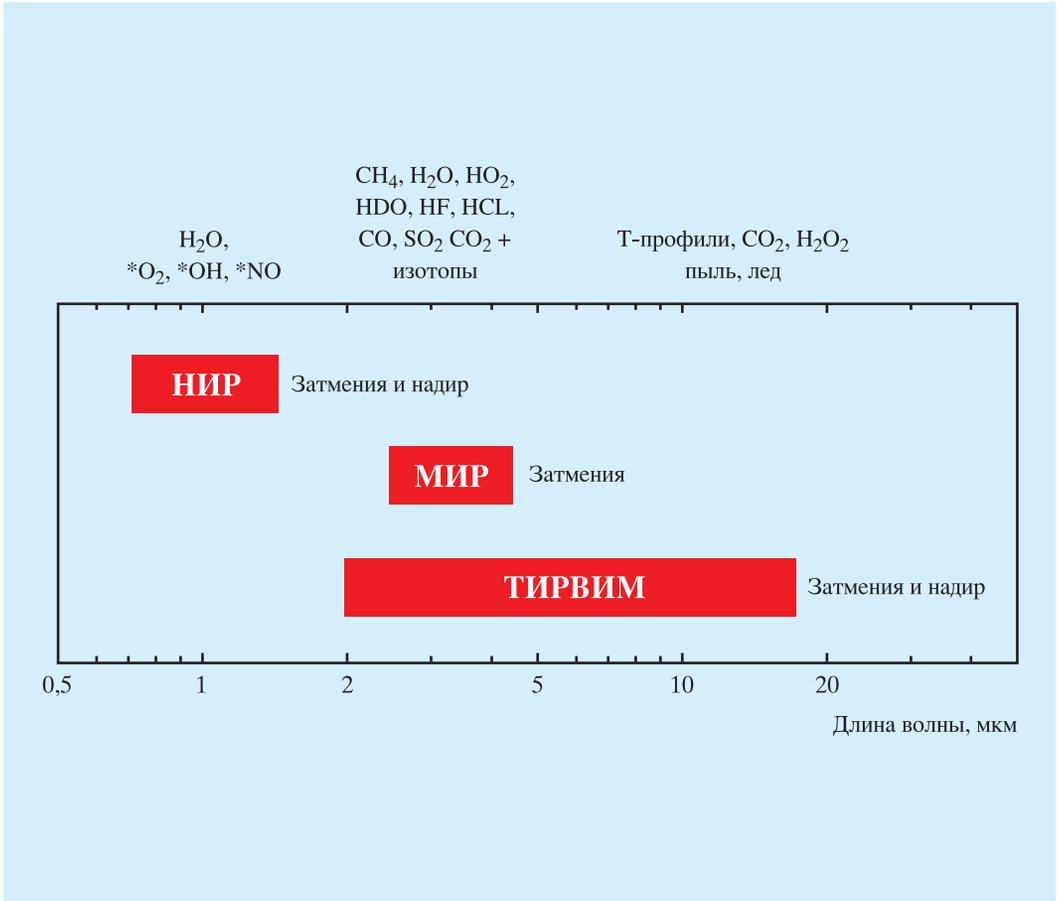
МОНИТОРИНГ
РАДИАЦИОННОЙ
ОБСТАНОВКИ
И ДРУГИХ ФАКТОРОВ

Длительный мониторинг радиационной обстановки на поверхности Марса важен, прежде всего, для построения будущих планов по освоению планеты, в том числе пилотируемых полетов. Измерения необ-

ходимо проводить как в условиях спокойного Солнца, так и на фоне солнечных протонных событий.

МИССИЯ “ЭКЗОМАРС-2016”

В состав научной аппаратуры орбитального КА “Trace Gas Orbiter” проекта “ЭкзоМарс-2016” входят четыре прибора общей массой 112 кг. Это два российских прибора – спектрометрический комплекс АЦС (ACS) и нейтронный спектрометр ФРЕНД (FREND), а также европейские приборы –



спектрометрический комплекс для исследования состава атмосферы NOMAD (Бельгия) и стереокамера для съемки поверхности CaSSIS (Швейцария). На демонстрационном десантном модуле "Скиапарелли" установлены инженерные датчики для мониторинга процесса посадки, а также комплекс для проведения метеорологических измерений. Время жизни модуля – нескольких дней. Российскими учеными были разработаны пред-

ложения по увеличению срока жизни посадочного модуля "Скиапарелли" и установки на нем дополнительной научной аппаратуры (в том числе и российской), однако крайне сжатые сроки реализации проекта не позволили этим планам осуществиться.

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АЦС

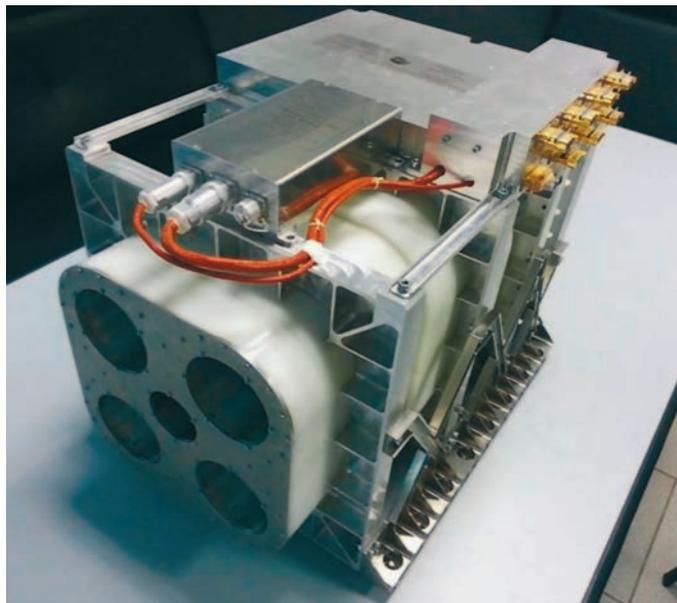
Спектрометрический комплекс АЦС (Atmospheric Chemistry Suite), имеющий задачу изучить химию ат-

Спектральное покрытие трех каналов прибора АЦС (ACS). Указаны режимы работы и измеряемые атмосферные составляющие.

мосферы, состоит из трех независимых спектрометров различных ИК-диапазонов (каналы НИР, МИР и ТИРВИМ) и общего блока электроники, объединенных общими механическим, тепловым и электрическим интерфейсами.

В спектральном диапазоне АЦС (0,7–16 мкм), перекрываемом различными каналами прибора (НИР – 0,7–1,2 мкм, МИР – 2,2–4,4 мкм, ТИРВИМ – 2–16 мкм), возможно измерять малые составляющие атмосферы (такие как метан, водяной пар, вулканические газы). Используются два основных метода исследования: ИК-зондирование в надир (то есть наблюдения в направлении поверхности планеты) и солнечные затмения. В ближнем ИК-диапазоне также планируется наблюдать дневные и ночные свечения атмосферы Марса (в надир и на лимбе планеты).

По результатам работы спектрометрического комплекса в режиме наблюдения планеты (режим в надир) будут получены данные по следующим вертикальным профилям: температуре высотой до около 60 км (ТИРВИМ), по содержанию водяного пара и другим малым составляющим (ТИРВИМ, НИР); по аэрозолям с разделением на пылевые и конденсационные облака (ТИРВИМ), по свечениям атмосферы (НИР). Отдельную задачу представ-



ляет картирование метана прибором ТИРВИМ при спектральном разрешении $0,2 \text{ см}^{-1}$ и времени экспозиции около 10 с: если содержание метана в атмосфере превысит уровень 3–5 ppb, то картирование позволит установить возможные источники газа на поверхности. Эти измерения обеспечивают дублирование прибора NOMAD, повышая вероятность выполнения одной из основных научных задач.

Исследование планет методом солнечных затмений (солнечное просвечивание) – результативное средство получения информации о составе и вертикальной структуре атмосфер, неоднократно применявшееся в космических исследованиях. преимуще-

ства метода состоят в высокой яркости источника, а также в возможности калибровки прибора при каждом измерении и получении вертикальных профилей. В режиме солнечного затмения каналами прибора АЦС исследуется влияние излучения Солнца, просвечивающего атмосферу планеты. В канале ТИРВИМ наблюдается весь диск, в каналах МИР и НИР – узким полем зрения вырезается лишь часть диска, что обеспечивает лучшее пространственное разрешение.

Ответ на одну из основных научных задач в ходе эксперимента, проводимого в этом режиме, состоит в детектировании и измерении содержания метана в атмосфере Марса (ожидаемый предел его обнару-



Марсоход проекта “Экзо-Марс-2018” на поверхности Марса. Рисунок ESA.

жения – около 1 ppb), а также в измерении вертикального распределения плотности других компонентов атмосферы по спектрам их поглощения.

Другой важной задачей, которую “помогут решить” солнечные затмения, станет измерение содержания дейтерированной воды и определение отношения D/H в водяном паре. Это позволит улучшить понимание процессов диссипации воды с Марса. Несмотря на ряд проведенных астрономических наблюдений, погрешность измерения D/H остается значительной: до сих пор линии обычной и

дейтерированной воды не удавалось измерить одновременно и с необходимой точностью.

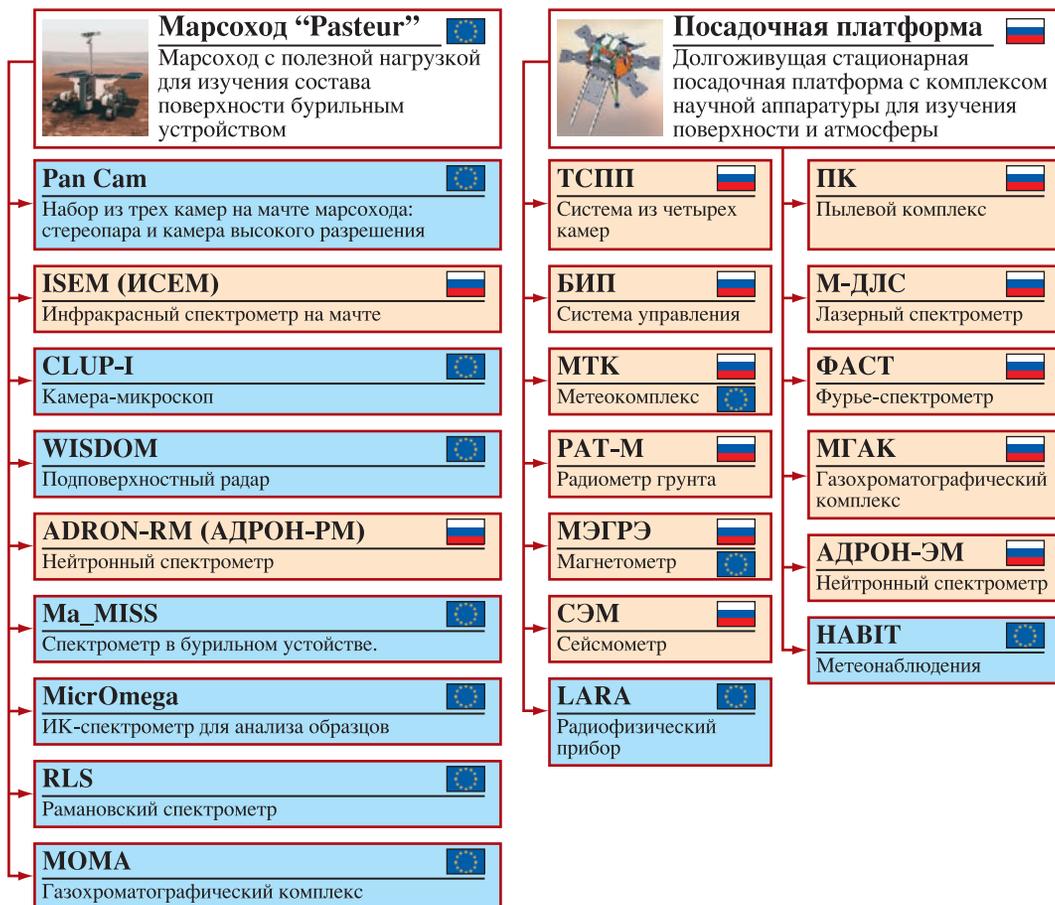
Эксперимент предоставляет широкие возможности для исследования изотопических полос CO_2 , а также для поиска новых молекул атмосферных газов: например, HO_2 , C_2H_4 , NO_2 , N_2O , NH_3 , HCN , HCl , OCS .

Метод солнечных затмений также позволяет измерять экстинкцию атмосферного аэрозоля на лимбе. Такие измерения необходимо проводить в широком спектральном диапазоне, но наиболее характерные особенности поглощения света

частицами атмосферного аэрозоля проявляются в диапазоне длин волн, сравнимом с характерными размерами частиц, то есть в ближнем ИК-диапазоне. Измерения экстинкции аэрозоля в эксперименте будут проводиться в каналах НИР, МИР и ТИРВИМ на участках спектрально-континуума между полосами атмосферных газов. Широкий диапазон регистрируемых длин волн позволит не только измерить отношения экстинкции пыли в коротковолновом и тепловом ИК-диапазонах, но и определить природу аэрозоля: это конденсационные облака (водяного или углекислого льда) или минеральные частицы.

НЕЙТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ФРЕНД

Спектрометр ФРЕНД (Fine Resolution Epithermal Neutrons Detector – высокоточный детектор эпитеpmальных нейтронов) – нейтронный прибор с коллиматором и модулем дозиметрии создан для картографирования потоков нейтронов с поверхности Марса с беспрецедентным пространственным разрешением



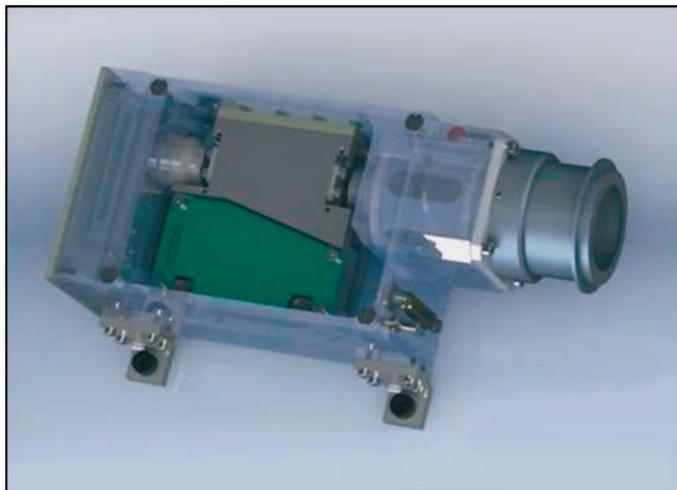
Научная аппаратура марсохода и посадочной платформы проекта “ЭкзоМарс-2018”.

(одна точка измерения – область диаметром 40 км на поверхности Марса). Потоки нейтронов, исходящие от поверхности планеты, позволяют судить о содержании водорода в приповерхностном слое глубиной до одного метра. Создание карт залегания замершей воды необходимо для возмож-

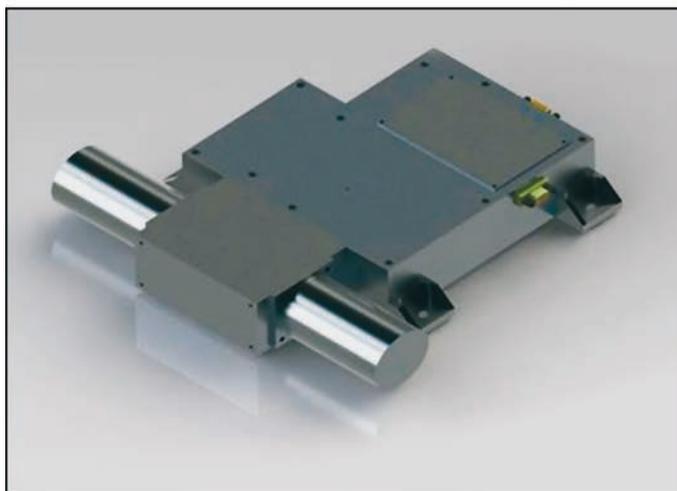
ности более точно выбирать места посадки будущих марсианских миссий.

Прибор ФРЕНД содержит четыре счетчика ^3He , регистрирующих нейтроны с энергиями в диапазоне 0,4–500 кЭв, и сцинтиллятор на основе кристалла стильбена для регистрации высокоэнергетических нейтронов с энергиями до 10 МэВ. Все датчики имеют узкое поле зрения с размером пиксела 40 км на поверхности Марса. Коллимационный модуль ФРЕНД представляет собой пол-

ностью пассивный элемент конструкции, внутри которого располагаются пять детекторов прибора. Наружный слой коллиматора выполнен из полиэтилена высокой плотности, внутренний – из порошка обогащенного бора (B_{10}). Нейтроны, попадающие на стенки коллиматора, сначала затормаживаются полиэтиленовым слоем, содержащим большое количество атомов водорода. Далее термализованные нейтроны попадают в слой B_{10} и поглоща-



Российские приборы марсохода. Оптический блок инфракрасного спектрометра ИСЕМ и нейтронный спектрометр АДРОН-РМ.



сохода состоит из двух приборов, разрабатываемых в ИКИ РАН, – инфракрасном спектрометре ИСЕМ (ISEM) и нейтронном спектрометре АДРОН-РМ (ADRON-RM). По прибытии марсохода в конце 2018 г. – начале 2019 г. орбитальный КА “Trace Gas Orbiter” переведут на низкую орбиту для работы в качестве спутника-ретранслятора. По плану, марсоход должен пройти расстояние в несколько километров в течение 218 марсианских суток.

Посадочная платформа разрабатывается в НПО им С.А. Лавочкина и представляет собой долговечную стационарную станцию, срок ее активного существования – примерно один земной год. После схода марсохода посадочная платформа приступит к выполнению научной программы. На платформе будет установлен комплекс научной аппаратуры (КНА-ЭМ) массой 45 кг, который разрабатывается под руководством ИКИ РАН.

Марсоход

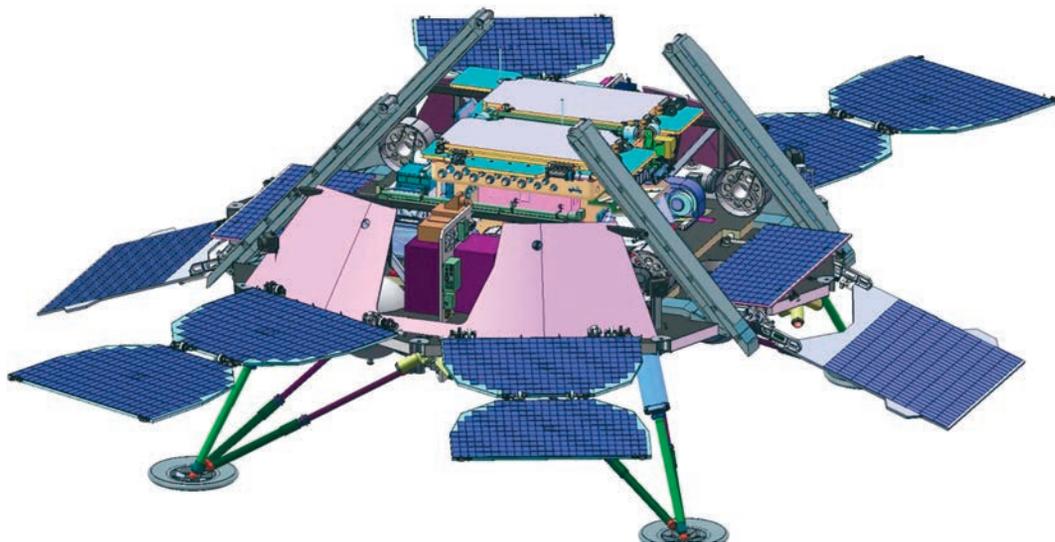
Марсоход (масса около 310 кг) – изначально основной элемент проек-

ются этим материалом. Угол раскрытия коллиматора позволяет сузить поле зрения детекторов прибора до пятна диаметром 40 км на поверхности Марса с круговой орбиты высотой 400 км. Это позволит улучшить пространственное разрешение существующих нейтронных карт Марса в 7,5 раз по сравнению с картами, полученными прибором ХЕНД на АМС “Марс Одиссей”. В ком-

плект прибора ФРЕНД входит дозиметрический блок, осуществляющий постоянный мониторинг радиационной обстановки на орбите планеты.

МИССИЯ “ЭКЗОМАРС-2018”

Научная аппаратура марсохода проекта “ЭкзоМарс-2018” содержит 9 приборов общей массой примерно 25 кг. Российский научный вклад в полезную нагрузку мар-



Посадочная платформа с марсоходом проекта “Экзо-Марс-2018”. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина.

та “ЭкзоМарс”. За долгие годы он претерпел значительные изменения в своем облике: например, был убран первоначально предусмотренный манипулятор с набором научных приборов. В актуальной версии на нем установлена биологическая лаборатория “Пастер” (“Pasteur”) – комплекс приборов для анализа геологического контекста на месте посадки, а также для изучения физических и химических свойств образцов с поверхности и из подповерхностного слоя планеты. Основная задача научного комплекса – поиск органических

соединений на Марсе или следов существования жизни в прошлом.

На марсоходе размещены следующие элементы:

- на мачте установлены три камеры (две камеры для получения стереоизображений и камера высокого разрешения) и российский инфракрасный спектрометр ИСЕМ, который будет исследовать минералогический состав поверхности, помогая выбрать оптимальные образцы для дальнейшего исследования;

- буровое устройство снаружи марсохода, способное извлекать образцы с глубины до двух метров, внутри которого установлен спектрометр Ma_MISS для изучения минералогии образцов;

- камера высокого разрешения CLUPI для

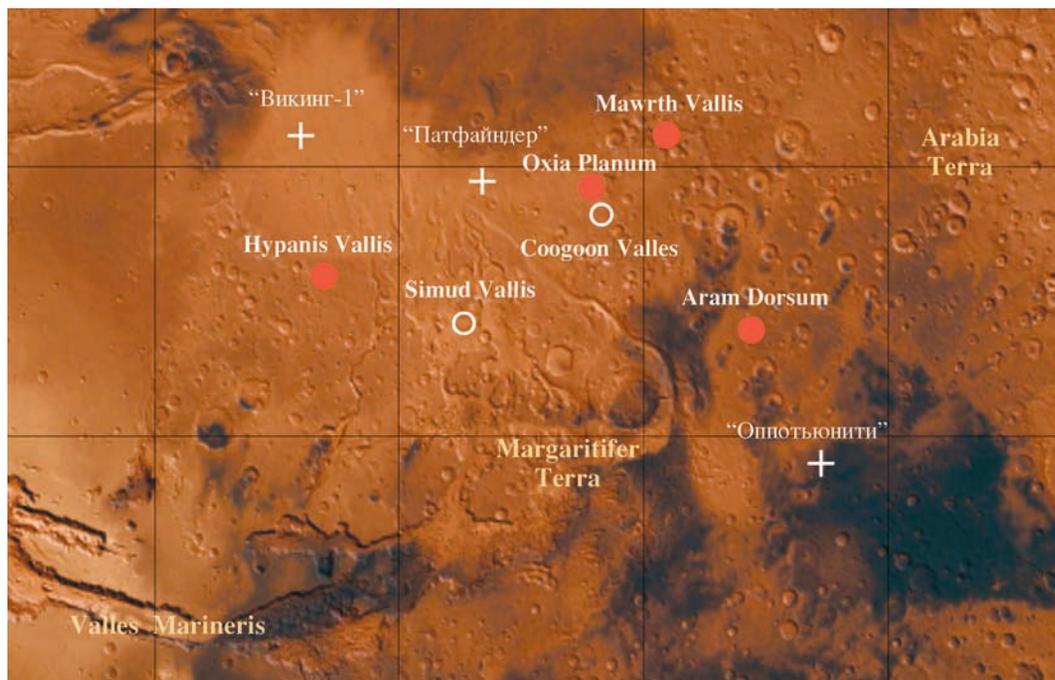
получения снимков образцов и камней;

- бортовая аналитическая лаборатория “Пастер”, расположенная внутри марсохода, служит для всестороннего анализа взятых буровым устройством образцов. Состоит из газохроматографического комплекса, рамановского и инфракрасного спектрометров. Именно в лаборатории “Пастер” будет производиться поиск органических соединений;

- радар WISDOM и российский нейтронный спектрометр АДРОН-PM для анализа подповерхностного слоя вдоль трассы движения марсохода для выбора “интересных мест” забора образцов.

Посадочная платформа

Научная программа посадочной платформы связана, прежде всего,



с мониторингом различных процессов на поверхности Марса, протекающих в течение суток и сезонов. Такой мониторинг выполняется с долгоживущей стационарной платформы. Время ее работы может быть существенно увеличено в случае успешного выполнения программы.

Научный комплекс посадочной платформы проекта «ЭкзоМарс» позволяет выполнить ряд научных задач, типичных для сетевых посадочных миссий (нескольких идентичных посадочных модулей, объединенных общими задачами и образующими подобие сети). Главной остается мониторинг климата Марса на основе метеонаблюдений на поверхности и ис-

следование внутреннего строения планеты путем сейсмических измерений. Первые длительные наблюдения на поверхности планеты были проведены в 1976–1982 гг. на посадочных аппаратах «Викинг-1 и -2» (Земля и Вселенная, 1976, № 3; 1977, № 3). Затем попытка создания такой сети была предпринята в проекте «Марс-96», предусматривавшем посадку на Марсе двух малых станций и внедрение в поверхность Марса двух пенетраторов (Земля и Вселенная, 1995, № 4). В дальнейшем разрабатывались несколько концепций сетевых программ: например, «NetLander», «Pascal», «MetNet». Но ни один из этих проектов не был реализован, кроме

Фрагмент карты Марса с отметками возможных мест посадки (красными кружками обозначены основные, белыми – запасные; последние первоначально рассматривались, но были исключены) платформы с марсоходом проекта «ЭкзоМарс-2018». ESA/CartoDB.

перенесенного на 2018 г. американского посадочного аппарата «InSight» – одиночной станции для сейсмического исследования Марса (Земля и Вселенная, 2015, № 4, с. 105).

В России в рамках НИР в 2009–2011 гг. разработана концепция проекта «Марс-НЭТ», предусматривавшая развертывание на поверхности Марса 3–4-х малых станций (Земля и Вселенная,

2012, № 4, с. 16–18). В ходе разработки проекта “ЭкзоМарс” в предыдущем варианте (без участия России) была разработана концепция долгоживущей станции. Однако из-за ограничений по общей массе спускаемого аппарата от этого модуля пришлось отказаться, и в конфигурации проекта “ЭкзоМарс” ESA–NASA посадочная платформа служила лишь для доставки марсохода на поверхность. Отличной метеостанцией мог бы служить демонстрационный посадочный модуль проекта “ЭкзоМарс-2016”, но ограниченное время его существования сводит “на нет” все качественные характеристики установленных на нем приборов.

Несмотря на востребованность, концепция сетевой программы полета пока реализуется очень медленно. До сих пор она не входит в планы космических агентств. Научная аппаратура на посадочной платформе “ЭкзоМарс-2018” позволяет внести существенный вклад в отработку ее элементов. В рамках национальной программы посадочная платформа позволит выполнить часть научных задач, поставленных для проекта “Марс-НЭТ”, и использовать созданный по этому проекту научный задел. Также возможно решение дополнительных задач.

Основные задачи комплекса научной аппара-

туры посадочной платформы проекта “ЭкзоМарс-2018” (КНА-ЭМ) можно сформулировать так:

- долговременный мониторинг климатических условий на марсианской поверхности в месте посадки;

- съемка поверхности на месте посадки;

- исследование состава атмосферы Марса с его поверхности;

- мониторинг радиационной обстановки на планете в месте посадки;

- исследование взаимодействия атмосферы и поверхности;

- изучение распространности воды в подповерхностном слое;

- изучение внутреннего строения Марса.

В состав КНА-ЭМ входят 11 российских приборов:

- метеокомплекс МТК для изучения атмосферы Марса (в том числе и на этапе спуска);

- фурье-спектрометр ФАСТ для исследования атмосферы и мониторинга климата Марса;

- пылевой комплекс ПК для изучения золотых (ветровых) отложений на Марсе, а также наблюдение за динамикой пыли;

- радиотермометр РАТ-М для проведения бесконтактных микроволновых измерений температуры марсианского грунта и марсианской атмосферы;

- сейсмометр;

- газоаналитический комплекс МГАК для исследования динамики микрокомпонентов атмосферы у поверхности Марса;

- лазерный спектрометр М-ДЛС для исследования химического и изотопного состава атмосферы вблизи поверхности Марса и летучих компонент марсианского грунта;

- детектор нейтронов и гамма-лучей АДРОН-ЭМ для определения содержания воды и элементного состава подповерхностного грунта, а также мониторинга радиационной обстановки;

- магнитометр МЭГРЭ для измерения магнитного поля;

- телевизионная система посадочной платформы ТСПП, состоящая из четырех камер;

- блок интерфейсов и памяти БИП.

В состав КНА-ЭМ также включены два европейского прибора. LARA (Бельгия) служит для исследования Марса радиофизическими методами, а прибор НАВИТ (Швеция) предназначен для метеорологических наблюдений.

ВЫБОР МЕСТА ПОСАДКИ ПО ПРОГРАММЕ “ЭКЗОМАРС-2018”

Место посадки платформы, планирующейся к запуску в 2018 г., определяется с учетом основной задачи – поиск сле-

дов жизни, возможно, существовавшей на Марсе в прошлом или существующей на нем сегодня. Климат Марса 3,5–4 млрд лет назад был теплее и более влажным, поэтому, возможно, там открылся путь к зарождению примитивной жизни. Учитывая цель программы “ЭкзоМарс-2018”, один из критериев выбора места посадки такой: эта область должна содержать древние породы и иметь следы непрерывного (или периодического) действия воды в течение длительного периода. Это могут быть, к примеру, русла рек и озер. Кроме того, должны быть условия для презервации биомаркеров в осадочных породах; также есть ряд ограничений технического плана для обеспечения безопасности посадки.

Учитывая эти данные, весной 2014 г. (по

результатам международного конкурса) было выбрано четыре района возможной посадки платформы по программе “ЭкзоМарс-2018”. В октябре 2015 г. их ограничили областью Плато Оксия (Oxia Planum), представляющей собой эллипс 19×104 км, который находится внутри неглубокого кратера на поверхности Марса. Здесь на поверхность выходят филлосиликаты (глинистые породы), обогащенные железом и магнием. Над ними находится слой темного вещества (возможно, вулканического происхождения), который подвергался эрозии на протяжении только последних 100 млн лет. Нижний слой, по имеющимся данным, не претерпевал изменений, связанных с температурным режимом или метаморфизмом. Внутри эллипса нет существ-

ственных возвышенностей, и, по имеющимся данным, очень мало деталей рельефа, которые могут представлять опасность при посадке.

Для резервной даты запуска проекта в 2020 г. будет выбран второй кандидат из двух возможных – Долина Мавра (Mawrth Vallis) или Ложбина Овна (Aram Dorsum). Это – наиболее интересные места на поверхности Марса. Возраст древних скал здесь более 3,8 млрд лет. Оба района богаты глинистыми породами, что говорит о важной роли воды в формировании локального ландшафта.

Проект “ЭкзоМарс” позволит решить ряд приоритетных задач в исследовании Марса, а также восстановить роль России в межпланетных исследованиях.

Информация

Запуск экспедиции к Марсу

14 марта 2016 г. по программе “ЭкзоМарс” с космодрома Байконур стартовала РН “Протон-М” с российско-европейской

АМС “Trace Gas Orbiter” и демонстрационным десантным модулем “Schiaparelli” (см. статью Д.С. Родионова, Л.М. Зелёного, О.И. Кораблёва в этом номере). На следующий день разгонный блок “Бриз-М” перевел АМС на траекторию полета к Марсу. Полет продлится 7 месяцев. Планируется, что 16 октября 2016 г. аппараты разделятся, 19 октября модуль “Schiaparelli” войдет в атмосферу плане-

ты и совершит посадку на марсианскую поверхность, а “Trace Gas Orbiter” выйдет на орбиту искусственного спутника Марса. Далее около года орбитальный аппарат будет тормозиться об атмосферу, так что приборы начнут работать в середине 2017 г. По расчетам специалистов, орбитальный аппарат будет передавать информацию до конца 2022 г.

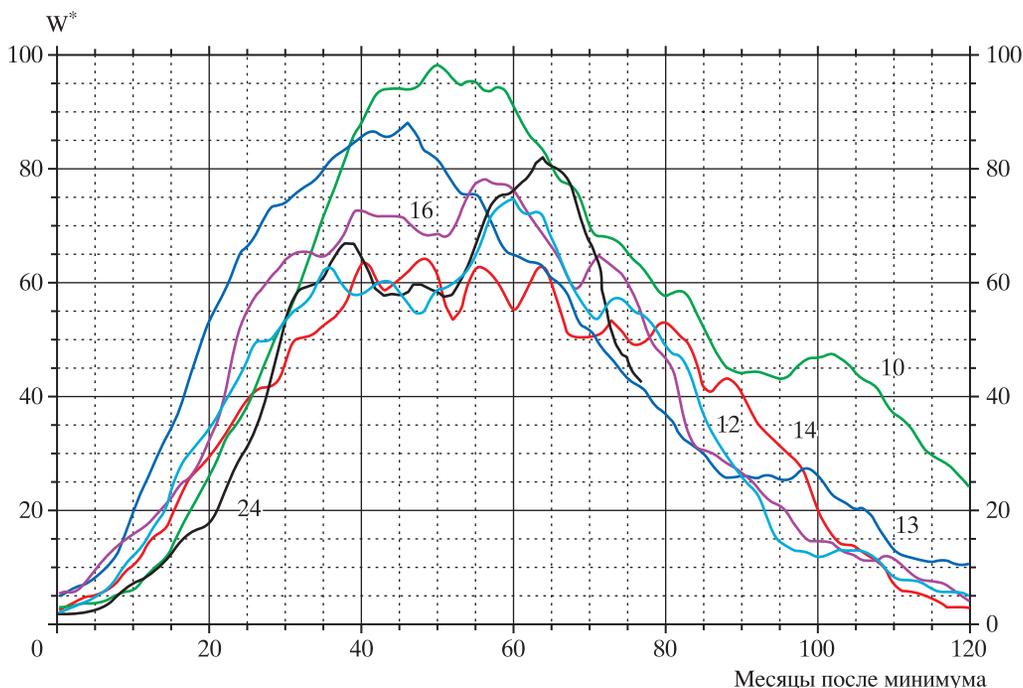
Пресс-релиз Роскосмоса
15 марта 2016 г.

**Солнце
в декабре 2015 г. – январе 2016 г.**

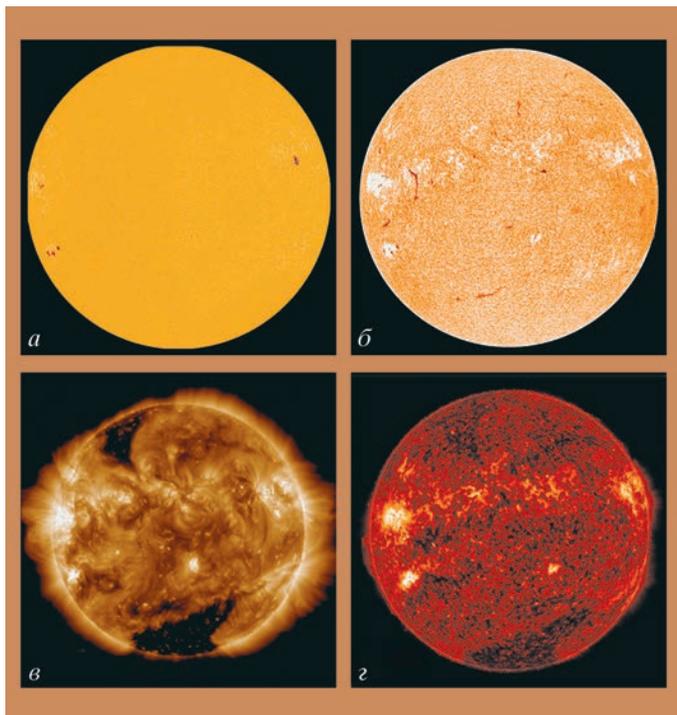
В эти месяцы солнечная пятнообразовательная активность оставалась на уверенном среднем уровне, лишь в семи сутках опускаясь до низкого (4 суток в декабре и 3 суток в январе). Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 2 до 7. В по-

давляющем большинстве группы пятен были небольшими и спокойными, и лишь одна – в Северном полушарии и одна – в Южном были большими по площади. Из 27 групп солнечных пятен 12 появились в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год зна-

чений относительного числа пятен продолжает уверенно понижаться. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы, как и Служба состояния околоземного пространства – www.swrsc.noaa.gov – будем придерживаться старой, классической системы)



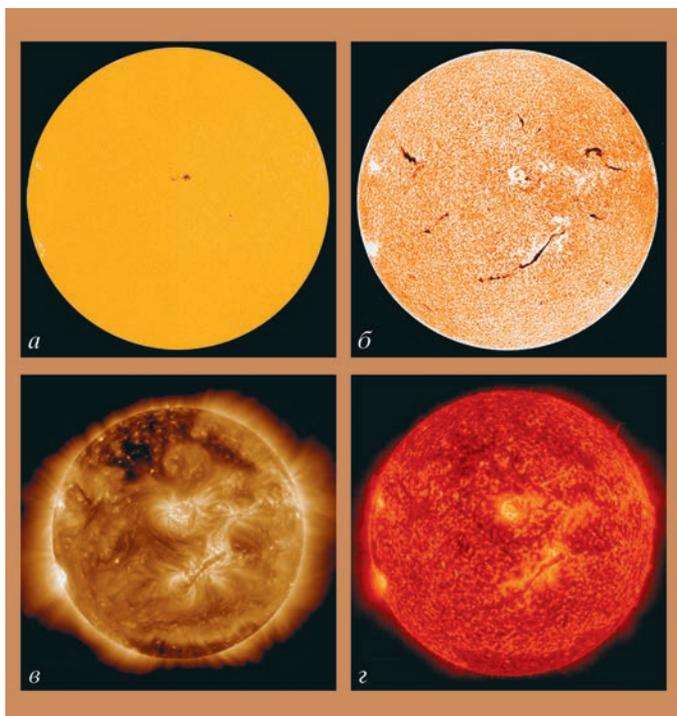
Ход развития (77 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (начиная с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой, классической системе.



Солнце 23 декабря 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория "SDO" (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

$W_{\text{дек.}} = 37,0$ и $W_{\text{январ.}} = 34,0$. Сглаженное значение этих индексов в июне и июле 2015 г. составило $W^* = 43,2$ и $W^* = 40,9$ соответственно.

Первая декада **декабря 2015 г.** началась с низких значений уровня пятнообразовательной активности. Постепенно повышаясь, она дошла до среднего уровня и оставалась такой до последнего дня месяца. К 15 декабря группа пятен Северного полушария (на 5-й день после выхода) стала большой. Ее площадь росла медленно, поэтому вспышечная активность оставалась на низком уровне. 20 декабря на видимый



Солнце 25 января 2016 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория "SDO" (www.swpc.noaa.gov).

Большая приполярная корональная дыра, возникшая 26 января 2016 г. Снимок сделан в линиях крайнего ультрафиолетового диапазона с наложенными расчетными силовыми линиями магнитного поля. Магнитное поле в корональной дыре открыто в межпланетное пространство, плазма (высокоскоростной поток солнечного ветра) свободно “вытекает” из атмосферы Солнца. Космическая солнечная обсерватория “SDO” (<http://www.solarmonitor.org/>).



диск Солнца “вышла” группа пятен, в которой происходило всплытие нового магнитного потока, и уже 22–24 декабря (вблизи восточного лимба) в ней осуществились три солнечных вспышки средних баллов. Самая большая из них имела балл M4,7/1F. Расположение вспышек определило их низкую геоэффективность. Сама группа пятен оставалась 24–28 декабря в ранге большой; потом, постепенно уменьшаясь, ушла за западный лимб. Однако, находясь в центральной зоне видимого солнечного диска, 28 декабря эта активная область произвела вспышку балла M1,8, возмущение от которой 31 декабря – 1 января вызвало в околоземном космическом пространстве большую магнитную бурю. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **14 декабря (W = 52)**, а минималь-

ное – 21 декабря (W = 11). Вспышечная активность была на среднем уровне 21–24 и 28 декабря. В остальные дни она оставалась на низком и очень низком уровне. Выбросы солнечных волокон (17 событий) наблюдались 2, 8 (2), 9, 11, 12 (2), 15, 16 (2), 17 (2), 19 (2), 23 (2), 24 декабря. Коронोगрафы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 92 корональных выброса вещества разной интенсивности, среди которых один был типа “частичное гало III” (угол раствора 180°–270°) и пять – типа “частичное гало II” (угол раствора 90°–180°). Две рекуррентных и 3 новых корональных дыры проходили по видимому диску Солнца, высокоскоростные потоки от трех из них внесли определенный вклад в магнитные бури.

На средних широтах Земли отмечены две больших магнитных бури: 20–21 и 31 декабря –

1 января и три малых: 6, 11 и 14–15 декабря. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 11 возмущенных дней. Малое солнечное протонное событие в околоземном космическом пространстве наблюдалось 28–29 декабря. На геостационарных орбитах очень высокий поток ($>10^7$ частиц на квадратный метр) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 2–4, 7–14 и 21–30 декабря.

В первые две декады **января 2016 г.** уровень пятнообразовательной активности Солнца оставался на среднем уровне, иногда понижаясь до низкого (3 сут), далее – только на среднем. На видимом диске Солнца наблюдалось от 2 до 6 групп солнечных пятен, больших и средних не было; 10 групп локализовались в Северном полушарии и 5 – в Южном. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **9 янва-**

ря ($W = 57$), минимальное – 31 января ($W = 19$). Вспышечная активность весь месяц была на низком и очень низком уровне, кроме первого дня года, когда в уходящей за западный лимб активной области осуществилась вспышка среднего балла с быстрым корональным выбросом вещества. Возмущение от нее вызвало в околоземном космическом пространстве малое протонное событие. Выбросы солнечных волокон (19 событий) наблюдались 1 (2), 3, 4, 6 (3), 14 (2), 19 (3), 26 (2), 28, 29 (2) и 30 января. Коронोगрафы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали больше 121

корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых одно было “гало IV” и 4 типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). В январе наблюдались две рекуррентных и две вновь образовавшихся корональных дыры, которые внесли некоторый вклад в геомагнитную возмущенность околоземного космического пространства. В сентябре были зарегистрированы одна большая (31 декабря – 1 января) и 2 малых вспышки (20 и 21 января). Всего за месяц было отмечено 5 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой.

В околоземном космическом пространстве было зарегистрировано одно малое протонное событие. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 1–11, 14–18, 22–27 января.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в Интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

*В.Н. ИШКОВ
ИЗМИРАН,
ГЦ РАН*

Информация

Запуск японской обсерватории

17 февраля 2016 г. с космодрома Танэгасима с помощью РН “Н-2А” № 30 запущена космическая рентгеновская обсерватория “Hitomi” (до старта называлась “Astro-H”, а также “NeXT”, New X-ray Telescope – рентгеновский космический телескоп), созданная Японским агентством аэрокосмических исследований (JAXA). Она

стала шестой японской астрономической обсерваторией, запущенной в космос.

“Hitomi” (с японского – глаз; длина 14 м и масса 2,4 т) вышла на круговую околоземную орбиту высотой 575 км и периодом обращения 96 мин. На ее борту размещено 7 приборов, работающих в диапазоне 0,3–600 кэВ: зеркальные телескопы для наблюдения в жестком рентгеновском спектре НХТ и НХІ (5–80 кэВ); система спектроскопии мягкого рентгеновского спектра, включающая телескоп SXS-T и калориметрический спектрометр XCS (0,3–10 кэВ); система мягкого рентгеновского спектра, состоящая из телескопа SXT-I и камеры SXI (до 10 кэВ); детектор мяг-

кого гамма-излучения SGD (чувствителен к диапазону 600 кэВ). На “Hitomi” впервые в качестве детекторов использованы микрокалориметры, а не обычные ПЗС-матрицы. Предполагается, что они позволят значительно увеличить разрешение прибора. Микрокалориметры прошли успешные испытания в суборбитальных полетах, но в космосе будут работать впервые. Обсерватория предназначена для исследования вспышек сверхновых, пространства в окрестностях черных дыр и ядер активных галактик в жестком рентгеновском диапазоне. Программа работы рассчитана на 3 года.

Пресс-релиз JAXA,
18 февраля 2016 г.

Геодинамические причины декадных изменений климата

Н.С. СИДОРЕНКОВ,
доктор физико-математических наук
Гидрометцентр России

Астрономические теории успешно объясняют вариации климата на масштабах геологических эпох. Современные изменения климата обычно связывают с деятельностью человечества и колебаниями теплообмена между океаном и атмосферой. Месячное обращение Земли вокруг барицентра системы Земля – Луна не учитывается в этих иссле-



дованиях. Однако оно вызывает квантование режимов погоды – появление квазинедельных естественных синоптических периодов. Вследствие некратности месячного и годового периодов обращения Земли возникают квазичетырехлетние и 35-летние изменения амплитуды метеорологических характеристик, влияющие на изменения климата.

ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ

Летом 2010 г. на Европейской территории России наблюдалась небывалая по продолжительности и интенсивности жаркая погода. Исследования автора (Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 348, с. 195–214) показали,

что жара наступила в результате 35-летнего биения (изменения амплитуды) годовых колебаний температуры и других метеорологических характеристик. Это биение происходит из-за сложения годовых циклов – солнечного (365,24 сут) и лунного (355 сут).

О таких 35-летних колебаниях климата писал еще в 1625 г. Френсис Бэкон: *“Есть некий факт, о котором я слышал, но не хотел его сразу оглашать и немного повременил. Говорят, что в Нидерландах (я не знаю, в какой именно части) каждые 35 лет повторяются периоды с одина-*

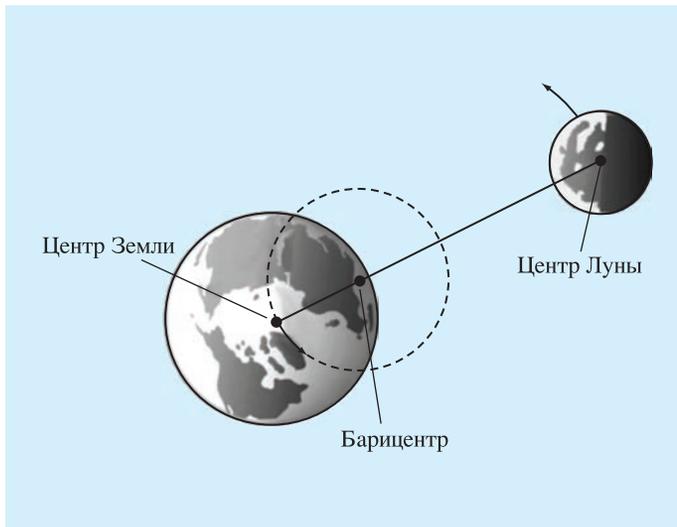


Схема месячного обращения Земли и Луны вокруг барицентра. Пунктиром показана орбита центра масс Земли.

ливами и циклами, с явлением синхронизации.

ГЕНЕРАЦИЯ ПРИЛИВОВ

Как известно, Земля и Луна обращаются вокруг общего центра масс (барицентра) системы Земля – Луна с сидерическим (относительно звезд) периодом 27,3 сут. Земля описывает траекторию, подобную орбите Луны, но размеры ее в 81 раз меньше лунной орбиты. Барицентр всегда располагается внутри Земли, на расстоянии примерно 4670 км от ее центра. Земля обращается поступательно (без вращения) вокруг “неподвижного” (в системе Земля – Луна) барицентра. В результате такого месячного движения Земли на все земные частицы действует точно такая же центробежная сила, как в центре масс Земли. Сумма векторов центробежной силы и силы притяжения Луны называется, как известно, приливной силой Луны. Аналогично определяется приливная сила Солнца.

Величина приливной силы есть функция склонения и геоцентрического расстояния Луны (или Солнца). Амплитуда месячных колебаний

ковым погодным режимом, таким, как сильные морозы, дождливые или засушливые периоды, теплые зимы, холодные летние периоды и т.п., и этот режим называют Основным. Я считаю это достойным упоминания, так как, анализируя данные за прошедшие годы, я нашел подобную закономерность”.

В 1741 г. российский академик Г.Крафт, изучив старинные хроники, пришел к выводу, что особенно суровые зимы повторяются каждые 33–35 лет. В 1890 г. Эдуард Брикнер открыл заново многолетнее колебание климата, выражающееся в чередовании холодных и влажных десятилетий с теплыми и сухими. Это наблюдалось в среднем раз в 35 лет. С тех пор колебания климата с названными характерными циклами от 25 до 50 лет

часто называют брикнеровым циклом.

Природа брикнерова цикла и более долгих по периодичности (до тысячи лет) изменений климата либо вообще не обсуждается учеными, либо приписывается солнечной активности. Анализируя причины жарких летних сезонов 1972 г., 2010 г. метеорологи считают, что жара возникает в результате появления блокирующих антициклонов. Но почему эти блокирующие антициклоны возникают приблизительно через 35 лет – никто не обсуждает. Цель представленной статьи – установить причину межгодовых колебаний климата, включая брикнеров и другие циклы.

Для этого необходимо ознакомиться с месячным обращением Земли, с лунно-солнечными при-

склонения Луны изменяется с периодом 18,61 года от 29° до 18° из-за прецессии оси (регрессии узлов) лунной орбиты. Перигей лунной орбиты движется с периодом в 8,85 года. Склонение и геоцентрическое расстояние Солнца изменяются с периодом в 1 год. Земля вращается вокруг собственной оси с суточным периодом. В итоге амплитуда колебаний лунно-солнечных приливных сил изменяется во времени с периодами 18,61, 8,85, 6,0, 1 и 0,5 года, месячным, полумесячным, недельным, суточным, полусуточным. Указанные выше периоды колебаний приливной силы действуют на вариации атмосферной циркуляции. Механизм этого воздействия нам еще не совсем ясен. Прямое влияние лунно-солнечных приливных сил на вариации атмосферной циркуляции кажется маловероятным из-за их незначительности. Наиболее вероятен механизм вынужденной синхронизации.

СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ

Напомним, что синхронизация колебаний – это согласование частот, фаз и других характеристик сигналов взаимодействующих колебательных систем (осцилляторов). В нашем случае речь пойдет о синхронизации

частот вариаций атмосферной циркуляции и частот колебаний лунно-солнечных приливов. Существуют два основных типа синхронизации колебаний: взаимный – при котором установившаяся в результате синхронизации частота колебаний близка к среднему значению индивидуальных частот осцилляторов, и вынужденный (происходит захватывание частоты), – при котором частота одного из осцилляторов (называемого синхронизирующим) остается неизменной, а частота других “подстраивается” под нее. Для первого типа синхронизации характерно тесное взаимное влияние систем друг на друга, для второго – одностороннее влияние синхронизирующего осциллятора на другие, а также отсутствие обратной связи.

ИНДЕКС ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ

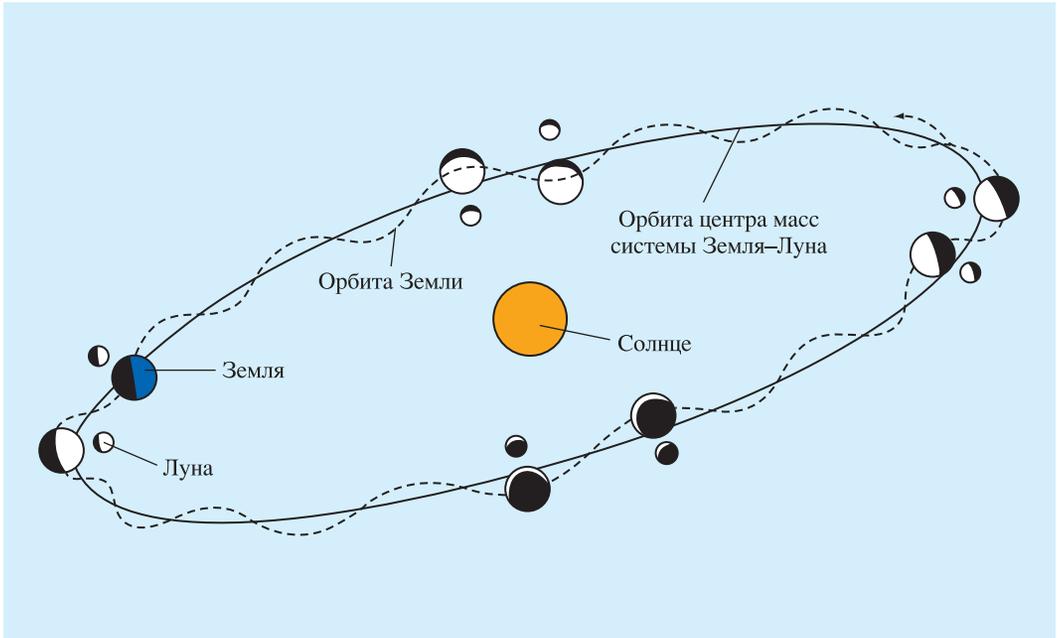
Приливные деформации Земли оказывают заметное влияние на скорость суточного вращения Земли v (Земля и Вселенная, 2003, № 5). Теория приливных колебаний скорости вращения Земли основана на теории лунно-солнечного приливного потенциала. В настоящее время для вычисления приливных колебаний скорости вращения Земли используются 62 гармоники зо-

нального прилива с периодами от 5 сут до 18,6 года. Наиболее значительные из них – колебания с полумесячным, месячным и полугодовым периодами.

На протяжении лунного месяца сменяют друг друга четыре режима вращения Земли неравной продолжительностью – два периода ускорения продолжительностью m_1 и m_3 и два периода замедления – m_2 и m_4 . Смена режимов происходит в среднем через $m \approx \approx 27,3 \text{ сут}/4 = 6,8 \text{ сут}$. Но из-за медленного движения перигея и узлов лунной орбиты этот недельный период может длиться от 4 до 9 сут.

Например, в 2016 г., с 4 по 11 мая, отмечается ускорение вращения Земли, с 11 по 15 мая – замедление, с 16 по 24 мая – ускорение и с 24 по 31 мая – замедление вращения Земли, то есть лунный месяц складывается из следующих интервалов: $7 + 4 + 9 + 7 \text{ сут}$. Внутри месяца возможны любые комбинации значений m_i в диапазоне от 4 до 9 сут.

Скорость вращения Земли v варьирует преимущественно внутри сидерического месяца (27,3 сут). В течение этого периода Луна перемещается из своего крайнего положения в Северном полушарии (когда ее положительное склонение максимально) к минимальному отрицательно-



му склонению в Южном полушарии и затем снова возвращается в Северное полушарие к максимальному склонению. Центр масс Земли (геоцентр) движется подобным образом, но со сдвигом фазы на 180° . При этом скорость вращения Земли имеет два полумесячных колебания с максимумами при наибольшем удалении Луны и геоцентра от небесного экватора, и с минимумами – при пересечении Луной и геоцентром экватора. Скорость вращения Земли также зависит от солнечных приливов, которые изменяются из-за вариаций склонения и

расстояния от Солнца. Солнечные приливы порождают, в основном, колебание с полугодовым (182,62 сут) периодом.

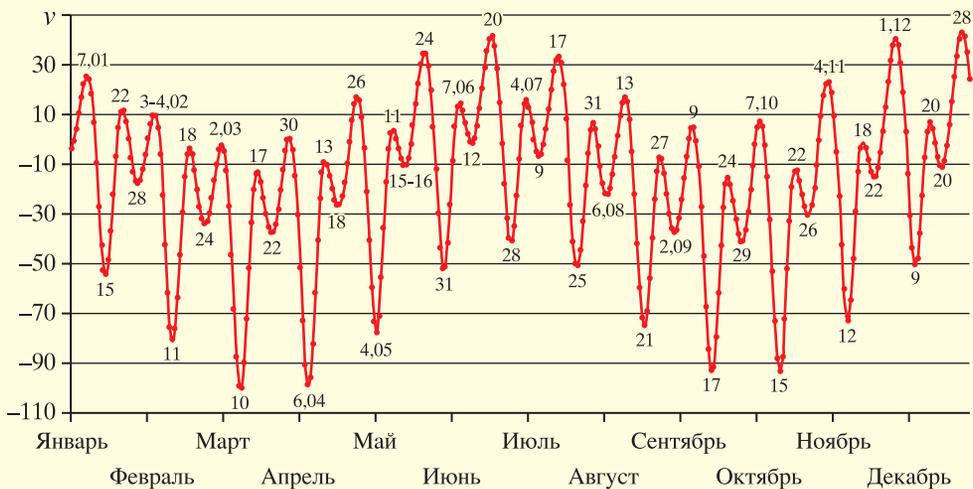
ЕСТЕСТВЕННЫЕ СИНОПТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ МУЛЬТАНОВСКОГО

Известно, что лунно-солнечные приливы “дирижируют” погодой (Земля и Вселенная, 2003, № 5). Квазинедельные ритмы приливных сил обуславливают появление своего рода квантов погоды – естественных синоптических периодов Мультановского*. Смены этих периодов совпадают с экстремумами приливных колебаний v .

Обращение системы Земля – Луна вокруг Солнца.



* Русский метеоролог Б.П. Мультановский (1876–1938) в 1915 г. ввел понятие естественного синоптического периода, сезона, а также центров действия атмосферы и разработал основы синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. В 1935 г. избран действительным членом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук.



Приливные колебания скорости вращения Земли (v) в 2016 г. Цифрами отмечены даты наступления максимумов и минимумов v . По оси ординат отложены относительные отклонения угловой скорости v в 10^{-10} . С приливными колебаниями скорости вращения Земли коррелируют изменения погоды, геомагнитные вариации, геофизические процессы.

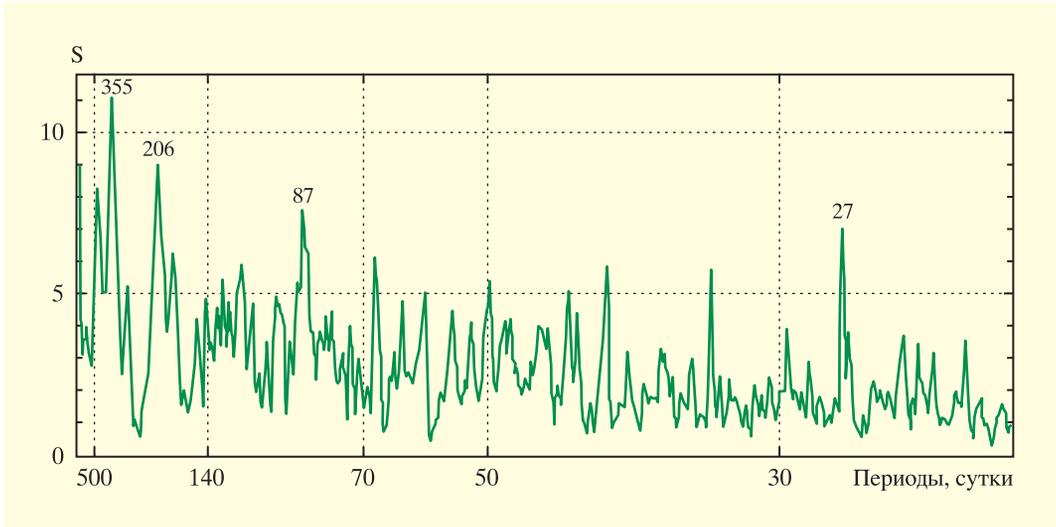
В настоящее время это можно проследить, сравнивая приводимые на сайте ООО «Данио–Пресс» (<http://hmn.ru>) недельные графики изменения метеорологических характеристик (температуры, давления, влажности, ветра) на метеостанциях земного шара с минимумами или максимумами приливных колебаний v на графиках, ежегодно размещаемых на сайте автора (<http://geoastro.ru>).

В качестве примера синхронности смены естественных синоптических периодов Мультиановского с экстремумами v на сайте автора размещена презентация многолетнего сравнительного мониторинга изменений метеорологических характеристик, наблюдавшихся в Москве и во Владивостоке с экстремумами приливных колебаний скорости v . Аналогичные сравнения по другим пунктам земного шара, проводимые С.П. Перовым и Л.В. Зотовым на своих сайтах, подтверждают синхронность изменений погоды с экстремумами приливных колебаний v . Н.С. Шаповалова нашла связь техногенных катастроф, поведения людей, течения болезней и смертности с квазинедельными экстремумами v . С.П. Перов установил синхронизацию изменения меди-

цинских показателей здоровья человека с колебаниями v .

ПРИРОДА
БРИКНЕРОВА ЦИКЛА

Существуют и другие свидетельства связи атмосферных процессов с лунно-солнечными приливами. Так, спектры экваториальных компонент момента импульса атмосферы h_1 и h_2 показывают преобладание в них гармоник лунно-солнечных приливов. Более того, вычисляя спектр среднесуточных значений экваториального компонента h_2 , автор нашел, что основной максимум спектральной плотности приходится не на период солнечного года в 365 сут, а на период лунного года в 355 сут. Этот факт свидетельствует о доминирующем влиянии лунных приливов на формирование меридио-



нальной циркуляции атмосферы вдоль Атлантического и Тихого океанов (большого круга меридианов -0° и 180°).

Автором найдены значимые связи между лунно-солнечными приливами и вариациями метеорологических ха-

рактеристик. Например, периодограмма ряда аномалий температуры воздуха в Москве за интервал времени с 1960 по 2003 гг. демонстрирует выраженные гармоники с периодами лунного года (355 сут), лунного периода (206 сут), четвер-

Периодограмма аномалий температуры воздуха в Москве. S – амплитуда гармоник. Выделяются гармоники с лунными периодами 355, 206, 87 и 27 сут.

ти лунного года (87 сут) и лунного сидерического месяца (27 сут).

Гармоника 206 сут возникает из-за вращения большой оси месячной орбиты Земли относительно большой оси годовой орбиты Земли. Перигелий месячной орбиты Земли совершает один оборот за 8,85 года, а пе-

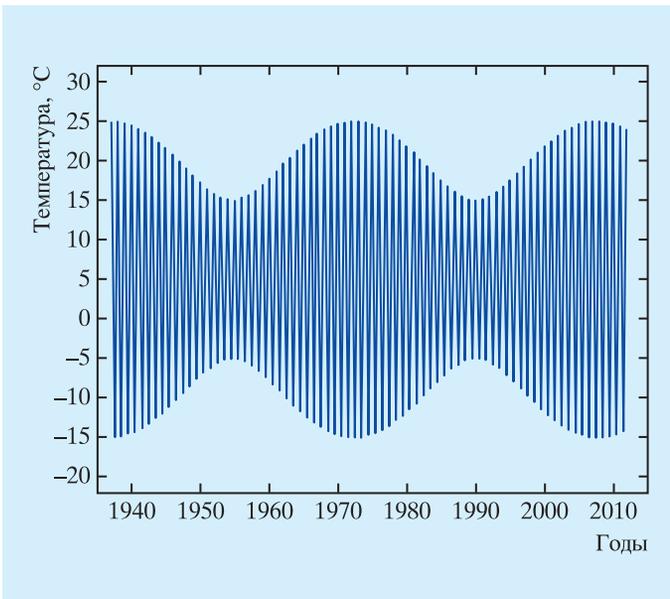


График биений температуры воздуха с двумя гармониками – 365 и 355 сут. В 1972 г. фазы “солнечного” (365 сут) и “лунного” (355 сут) годовых колебаний температуры T совпали, поэтому амплитуды этих двух колебаний “сложились”: $15^\circ + 5^\circ = 20^\circ$. Лето было аномально жарким и засушливым, а зима – холодной.

ригелий годовой орбиты – за 1 год. Перигелий встречается с перигелием через каждые 412 сут. Но оси месячной и годовой орбит Земли становятся коллинеарными через каждые 206 сут. Описанная цикличность взаимных конфигураций двух орбит воздействует на лунные и земные процессы. Например, продолжительность лунного аномалистического месяца (то есть промежутка времени между двумя последовательными прохождениями Луны через перигей) изменяется с периодом 206 сут от 28,5 до 24,8 сут. Столь же велики и вариации перигейного расстояния. Земля в своем месячном движении вокруг барицентра “отражает” все движения Луны, поэтому она имеет аналогичные вариации с периодом 206 сут.

Естественно, что погода на Земле зависит от притока солнечной радиации и изменяется с периодом солнечного года (365,24 сут). Но приведенные выше факты свидетельствуют о нали-

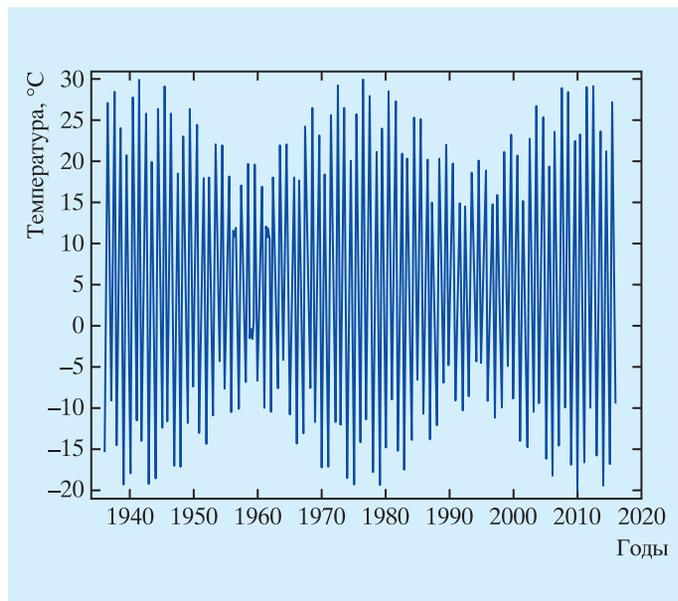
чи и другого источника, оказывающего влияние на изменения погоды, связанного с лунно-солнечными приливами, а – точнее – с месячным обращением Земли вокруг барицентра системы Земля – Луна. Период этих геодинамических изменений погоды не 365, а 355 сут (13 сидерических или 12 синодических месяцев). Он называется приливным, или лунным годом.

В результате взаимодействия солнечно обусловленных годовых колебаний гидрометеорологических характеристик с лунными циклами возникают биения – периодические изменения амплитуды суммарного (результатирующего) колебания. Когда фазы колебаний совпадают, то амплитуды суммируемых

колебаний складываются, и амплитуда результирующего колебания становится максимальной. Затем фазы колебаний постепенно расходятся, и амплитуда результирующего колебания уменьшается. Минимальной она становится тогда, когда разность фаз достигает 180° , так как тогда амплитуды суммируемых колебаний вычитаются (из солнечной амплитуды вычитается лунная). Частота биений равна разности частот суммируемых колебаний. При сложении солнечного (365 сут) колебания с лунным (355 сут) период биений равен $35,2$ года ($1/355,16 - 1/365,24 = 1/12869$ сут = $1/35,2$ года).

В Москве среднесуточная температура T по климатическим данным достигает минимума (-10°)

График биений температуры воздуха с тремя гармониками – 365, 355 и 206 суток. Семь периодов (206 сут) равны четырем годам. Вследствие этого возникают четырехлетние биения, “затушевывающие” 35-летний цикл изменения амплитуды годового колебания температуры.



в январе, а максимума (+20°) – в июле, то есть амплитуда солнечного годового (365 сут) колебания следующая: $(20^{\circ} - (-10^{\circ}))/2 = 15^{\circ}$, а среднегодовая температура такая: $(-10^{\circ} + 20^{\circ})/2 = 5^{\circ}$. В 2010 г. среднемесячные аномалии температуры составили: в январе -6°, в июле +8° (амплитуда равна 7°); в 1972 г. в январе -6°, в июле +4° (амплитуда равна 5°). Основной вклад в формирование таких аномалий вносит лунное 355-суточное колебание. Допустим, что его амплитуда равна 5°. Построим график суммы этих двух колебаний с 1 января 1972 г. Эту дату рассматриваем первой потому, что в 1972 г. определено (без повторений) наблюдались anomalно жаркое лето и anomalно

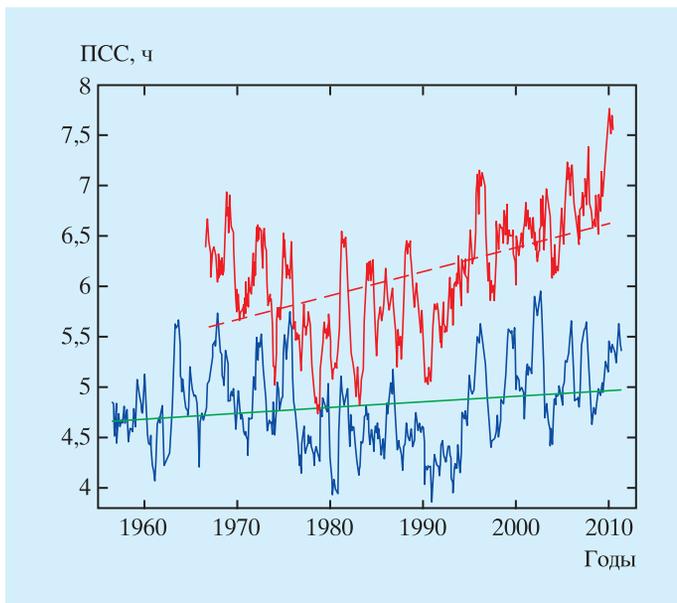
холодная зима, то есть фазы солнечного и лунного годовых колебаний совпадали. Полученный график демонстрирует 35-летние биения амплитуды годовых колебаний температуры.

Автором статьи проведены исследования столетних рядов наблюдений температуры воздуха на метеостанциях Европейской территории России с суточной дискретностью (по данным Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации: <http://aisori.meteo.ru/ClimaterR>). Оказалось, что холодные зимы и жаркие летние сезоны наблюдались в центре Европейской территории России в годы, близкие к 2002–2012 гг., 1972 г., 1936–1938 гг. и

к 1901 г. Найденная последовательность anomalно жарких летних сезонов и холодных зим подтверждает существование квази-35-летних биений амплитуды годовых колебаний температуры воздуха. Возникает вопрос: почему вместо постепенного изменения амплитуда годовых колебаний флуктуирует от года к году?

В спектре температуры имеется гармоника 206 сут. Семь ее периодов примерно кратны четырем солнечным годам. Вследствие этого возникают четырехлетние биения, которые сильно затушевывают 35-летний цикл изменения амплитуды годового колебания температуры.

Итак, при сближении фаз солнечного и лунного годовых колебаний температуры воздуха ее суммарная амплитуда увеличивается, а при расхождении фаз – уменьшается. В результате таких колебаний температуры в 1930-е гг.,



Скользящие среднегодовые значения суточной продолжительности солнечного сияния (ПСС, в ч) в Москве – синяя линия, в Казани – красная линия, а также линейные тренды. По горизонтали – годы. Во избежание наложения кривых все значения ПСС для Казани увеличены на 1 ч. Выделяются квазичетырехлетние и 35-летняя вариации сияния.

1970-е гг. и в первое десятилетие XXI в. на Европейской территории России наблюдались холодные зимы и жаркие летние сезоны (склонность к “континентальному” климату), а в 1950-е гг. и 1990-е гг. серьезные морозы и жаркие летние сезоны происходили реже обычного (склонность к “морскому” климату).

МЕХАНИЗМ ДЕКАДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА

Зададимся вопросом: каким образом холодное небесное тело – Луна – может влиять на температуру воздуха на Земле и приводить к изменениям климатических условий – от “континентальных” до “морских” – при неизменности географических условий местности?

Известно, что приливы влияют на количество облачности в атмосфере. От амплитуды и фазы лунного прилива зависит количество облачности в месте наблюдения.

При ясной погоде днем земная поверхность нагревается под воздействием солнечной радиации, а ночью выхолаживается за счет инфракрасного излучения. Летом день длится существенно дольше ночи, максимальна и полуденная высота Солнца над горизонтом. Поэтому **летом при ясной погоде** земная поверхность ото

дня ко дню **усиленно** разогревается и поэтому наблюдаются жаркие летние сезоны. Зимой день короткий, ночь продолжительна, полуденная высота Солнца над горизонтом минимальна. Поэтому **зимой при ясной погоде** земная поверхность ото дня ко дню **усиленно** выхолаживается и наблюдаются холодные зимы. Следовательно, при отрицательной аномалии облачности в течение **всего года** лето в приповерхностном слое должно быть жарким, а зима – холодной. Как отмечалось выше, такие особенности годового хода температуры воздуха наблюдались на европейской территории России в годы, близкие к 2002–2012 гг., 1972 г., 1936–1938 гг. и к 1901 г. Значит, в интервалы времени, близкие к этой последовательности, должны наблюдаться отрицательные аномалии количества облачности.

При положительной аномалии облачности, напротив, значительно уменьшается поступление солнечной радиации днем, но зато ночью существенно сокращаются потери тепла с потоком инфракрасного излучения. Поэтому при облачной погоде следует ожидать обратного эффекта: летом преобладают отрицательные аномалии температуры, а зимой – положительные. Таким образом, при положи-

тельной аномалии облачности в течение всего года лето должно быть скорее прохладным, а зима – теплой. Такие условия наблюдались в годы, близкие к 1990 г., 1955 г. и 1919 г. Значит, в интервалы времени, близкие к этой последовательности, должны наблюдаться положительные аномалии количества облачности.

Проверить реальность изложенного выше механизма формирования биений годовых колебаний температуры автору статьи помогли заведующие метеорологической обсерваторией МГУ А.А. Исаев и Е.И. Незваль и главные научные сотрудники Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации А.И. Неушкин и Б.Г. Шерстюков. Они подготовили ряды среднесуточного количества общей облачности и продолжительности солнечного сияния в Москве. Заведующий кафедрой Казанского федерального университета Ю.П. Переведенцев подготовил данные наблюдений в Казани.

Количество общей облачности (и особенно продолжительность солнечного сияния) имеют ярко выраженный годовой ход. Для того, чтобы исключить его и выделить климатические изменения, автор вычислил средние за год, а также

суточные значения количества облачности и продолжительности солнечного сияния за пять лет. Продолжительность солнечного сияния дает более объективную оценку количества облачности на небе, поскольку она измеряется по записям гелиографов.

Положительные аномалии солнечного сияния в Москве преобладали с 1963 г. по 1975 г. и с 1995 г. по 2012 г.; отрицательные аномалии наблюдались с 1956 г. по 1962 г. и с 1976 г. по 1994 г. Такой ход свидетельствует о существовании генерируемого Луной 35-летнего цикла солнечного сияния и количества облачности. Максимальная продолжительность солнечного сияния (5,9 ч) отмечалась в 2002 г., минимальная (около 3,9 ч) – в 1990 г. и 1993 г. В 1963–1975 гг. и 1995–2012 гг. с жаркими летними сезонами и холодными зимами средняя продолжительность солнечного сияния за день была примерно на 1,5 ч (31%) больше, чем в 1976–1994 гг. с прохладными летними сезонами и теплыми зимами. В еще большей степени это выражено в Казани – от 3,7 ч до 6,8 ч.

Для большей убедительности зависимости изменений амплитуды годовых колебаний температуры от вариаций продолжительности солнечного сияния автор

подготовил многолетний ряд суточной разности максимальной и минимальной температур в Москве, а также вычислил скользящие среднегодовые значения и сравнил их с продолжительностью солнечного сияния. Выяснилось, что продолжительность солнечного сияния высоко коррелирует с ходом годовой амплитуды температуры воздуха (коэффициент корреляции $r = 0,7$). Изменения годовой амплитуды температуры определяются вариациями продолжительности солнечного сияния, а, точнее, – количеством притекающей солнечной радиации.

Помимо 35-летней волны продолжительности солнечного сияния и температуры, были обнаружены их большие квазичетырехлетние флуктуации. Прямые измерения интенсивности солнечной радиации приборами (актинометрами) полностью подтверждают существование квазитридцатипятилетних колебаний притока солнечной радиации в масштабах территории Российской Федерации: в соответствии с этими данными, в 1961–1975 гг. на всей территории России отмечались положительные аномалии притекающей солнечной радиации; в конце 1980-х гг. – начале 1990-х гг. повсеместно отмечаются отрицательные аномалии поступле-

ния солнечной радиации. А с 1997 г. по настоящее время в большинстве районов России наблюдаются положительные аномалии притекающей солнечной радиации.

Таким образом, ход облачности, продолжительности солнечного сияния, притока солнечной радиации, изменения годовой амплитуды температуры воздуха подтверждают предположение автора о том, что взаимодействие гравитационных лунно-солнечных приливов с радиационными условиями в атмосфере (из-за изменения количества облачности) создают квазитридцатипятилетние колебания локального климата – от континентального (с жарким летом и холодной зимой) до морского (с прохладным летом и теплой зимой).

Квазитридцатипятилетние изменения облачности приводят к колебаниям радиационного баланса в разных земных регионах. Амплитуда этих колебаний значительно возрастает с увеличением широты, так как продолжительность дня (летом) и ночи (зимой) быстро увеличивается с ростом широты и на полюсах достигает полугода. Когда в полярных областях преобладает ясная погода, то там летом притекает аномально много тепла от Солнца, а зимой – столь же большое количество

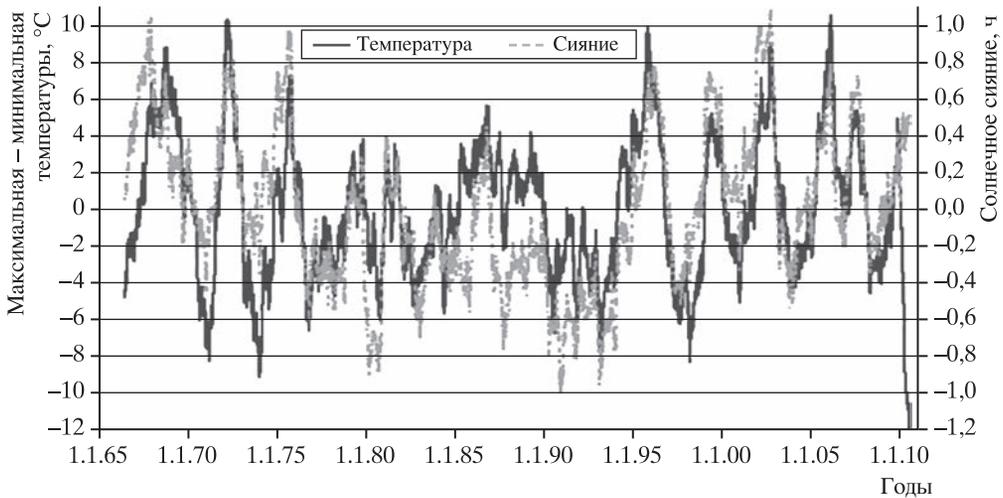


График синхронного хода скользящих среднегодовых значений продолжительности солнечного сияния (в ч, пунктир) и разности максимальной и минимальной температуры воздуха (в градусах, сплошная линия) в Москве в 1966–2011 гг. Наблюдается высокая корреляция.

тепла утекает за счет инфракрасного излучения. В таких случаях происходят радикальные возмущения межполушарной циркуляции, приводящие к большим аномалиям в обмене масс воздуха, тепла, водяного пара и загрязнений между Северным и Южным полушариями. Мы не имеем прямых данных об этих аномалиях, но на их существование указывают следующие косвенные факты.

Жаркие летние сезоны и холодные зимы в

европейской части России наблюдались в годы, близкие к 2002–2012 гг., 1972 г., 1936–1938 гг. и к 1901 г. Именно в эти периоды наблюдались изменения в декадных тенденциях температуры в Северном полушарии, эпох атмосферной циркуляции, массы ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии; в нарушении режимов скорости вращения Земли (Земля и Вселенная, 2003, № 5).

В периоды ускорения вращения Земли глобальная температура воздуха на ней увеличивается, в периоды замедления – уменьшается. В 2003 г. наблюдались максимумы скорости вращения Земли и глобальной температуры. Как было предсказано нами, в 2004 г. наступила новая, 35-летняя эпоха атмосферной циркуляции: вращение Земли стало замедляться, а глобальная тем-

пература на ней понижаться. Эта эпоха может продлиться примерно до 2039 г.

Многие читатели считают, что эффекты гравитационных приливов должны быть одинаковыми на всей Земле. Наш многолетний опыт свидетельствует о том, что в моменты экстремумов приливных сил в оболочках Земли, действительно, почти везде наблюдаются изменения геофизических характеристик, но “знаки” и фазы этих изменений везде различны. Подобно тому, как у каждого морского порта есть свой “прикладной час” для вычисления максимального прилива, так и в атмосфере эффекты лунно-солнечных приливов имеют локальный характер. Происходит это потому, что приливные волны (в современных разложениях приливного потен-

циала выделяют уже до 28 тыс. гармоник) двигаясь в атмосфере, отражаются от горных хребтов, барических и термических неоднородностей, взаимодействуют между собой, создавая пеструю интерференционную картину. Аналогично результатам в изучении океанских приливов, в атмосфере так же могут существовать узловые амфидромические точки (высота прилива в которых в любой момент времени равна нулю), где

приливные колебания отсутствуют, и пучности, в которых приливы усиливаются (как в заливе Фанди, до 18 м).

Итак, погода генерируется Солнцем с годовым периодом в 365,24 сут. В то же время изменения погоды синхронизируются лунно-солнечными приливами (из-за изменения количества облачности) с периодом лунного года в 355 сут. Сложение этих двух колебаний порождает брикнеров цикл –

35-летние биения амплитуд годовых колебаний температуры, давления, облачности, осадков. В результате этих процессов климат на европейской территории России становится то “континентальным” (с преобладанием холодных зим и жарких летних сезонов, как в 1963–1975 гг. и в 1995–2012 гг.), то “морским” (с частыми теплыми зимами и прохладными летними сезонами, как в 1956–1962 гг. и в 1976–1994 гг.).

Информация

Подтверждение существования гравитационных волн

В мире науки произошло поистине эпохальное событие. Около 100 лет назад Альберт Эйнштейн высказал предположение о существовании гравитационных волн, которые распространяются по Вселенной со скоростью света (Земля и Вселенная, 2010, № 1, с. 57; 2014, № 4, с. 110).

Только теперь эта гипотеза подтвердилась: обнаружены гравитационные волны (“рябь пространства – времени”) в системе из двух черных дыр в центре галактики Маркаряна 231, которая содержит ближайший к Земле квазар, находящийся в 600 млн св. лет от Земли. Столкновение черных дыр впервые в истории зафиксировано двумя Лазерно-интерферометрическими гравитационно-волновыми обсерваториями LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), расположенными в Ливингстоне (штат Луизиана) и Хэнфорде (штат Вашингтон). На основе измерений вибраций гравитационных волн

интерферометрами получили картинку этого события методом компьютерного моделирования. Результаты эксперимента были представлены 11 февраля 2016 г. на пресс-конференции в Вашингтоне. На ней выступили: один из основателей международного проекта поиска гравитационных волн LIGO американский астрофизик Кип Торн, исполнительный директор проекта доктор Давид Рейц, почетный профессор физики Массачусетского технологического института доктор Райнер Вайс и другие видные специалисты.

Пресс-релиз NASA,
12 февраля 2016 г.

Аристотель

(к 2400-летию со дня рождения)

Деятельность ума – есть жизнь.

Жить – значит делать вещи, а не приобретать их.

Аристотель

Итогом и вершиной развития древнегреческой науки в конце античного периода, на рубеже новой эпохи – эллинизма – стала более чем 30-летняя деятельность в Афинах Аристотеля – великого древнегреческого философа, первого ученого-энциклопедиста¹ и творца первой ставшей на два тысячелетия общепринятой естественнонаучной космофизической картины мира.

Аристотель (384–322 гг. до н.э.) из г. Стагира (на северо-западе тогдашней Греции, на побережье Эгейского моря – отсюда и его прозвище Стагирит) большую часть жизни (с 17 лет)

провел в Афинах². Как ученик, а затем сотрудник Платона он 20 лет (до смерти учителя) находился в его Академии. (Платон называл его “умом академии”.) В 342–339 гг. до н.э. Аристотель был воспитателем наследника царя Македонии Филиппа II и будущего великого полководца (с 336 г. – царя) Александра Македонского (356–323 гг. до н.э.). Возвратившись в Афины в 335 г., преподавал в общественном гимнасиуме-Ликее, который после его смерти возглавил его друг Теофраст уже как “перипатетическую школу Аристотеля”³.

¹ Сохранившееся научное наследие Аристотеля поистине необъятно. Помимо физики и космологии, оно включает труды по философии, логике, этике, эстетике, поэтике, социологии и политике, а в естествознании – по математике, биологии (зоологии), геологии. Это породило обширную многовековую литературу по комментированию его трудов, а в наше время – по их углубленному научному анализу. Настоящая статья ограничивается кратким анализом наследия Аристотеля как естествоиспытателя-физика и космолога, систематизатора и методолога науки.

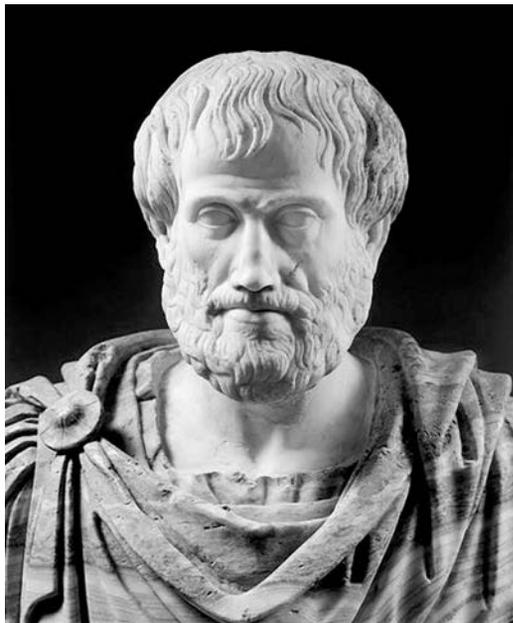
² Аристотель был сыном придворного врача и друга царя Македонии Аминты II и сам был товарищем его сына, будущего царя Филиппа II. Рано лишившись родителей, он уехал в Афины в Академию Платона. После смерти учителя жил в Малой Азии, где женился на племяннице местного правителя и имел дочь и сына. В годы жизни Аристотеля при Македонском дворе по приказу Александра Македонского во время его победоносных завоевательных походов для его учителя было собрано огромное количество экспонатов из всех областей природы, пополнивших коллекции Ликее. После ухудшения отношений со своим царственным воспитанником Аристотель уехал на родину, а затем вернулся в Афины. Но позднее из-за несогласия с произошедшими в Афинах политическими переменами удался на о-в Эвбею, где и скончался в 322 г. до н.э.

³ От греч. “перипатос”, но, как уточняют современные историки науки, не в смысле прогулок во время учения (так это обычно ошибочно расшифровывалось в литературе), а по имени места, площадки (портика – перипатоса, греч.), где проходили занятия.

В до-аристотелевскую эпоху (VII–IV вв.) у греков преобладало натурфилософское объяснение явлений окружающего мира. В космологии господствовала “очевидная” геоцентрическая идея устройства Вселенной. Однако наряду с этим выдвигались отдельными философами и иные объяснения, допускавшие подвижность (!) Земли, ее вращение и даже обращение вокруг другого тела. Высказывались идеи цикличности существования Вселенной и однонаправленной ее эволюции, конечности и бесконечности мирового пространства. Идея материальности, заполненности его соседствовала с идеей возможности существования абсолютно пустого пространства.

Такое почти равноправное сосуществование несовместимых идей, при полном их произволе, не способствовало организации систематических исследований явлений для их проверки, да и не требовало доказательств. Еще не было выработано ни четких, необходимых в науке фундаментальных понятий, ни руководящих принципов, ни методов исследования. Множественность объяснений одного и того же явления даже ставилась в заслугу натурфилософам (например, афинским философам Эпикуром). Объяснения не только отличались произвольностью, но еще и не полностью освободились от мифологии.

Первым попытался перейти от натурфилософии к строгой доказательной науке Платон (IV в.)⁴, но уклонился от реальности в сторону обработки “врожденных идей”. Исключением в разногласии гипотез была попытка создания первой универсальной естественной системы природы основоположниками атомизма Левкиппом и Демокритом (V–IV вв.). Но она, с одной стороны, была непонятной современни-



Аристотель (384 – 322 гг. до н.э.).

кам из-за новизны главных идей – атомизма и саморазвития материи. С другой, как учение чисто качественное, она не давала метода количественного описания наблюдаемых астрономических явлений – прежде всего, движений светил – и не могла стать основой для их предвычисления. Эта система была по существу научной фантазией (хотя и гениально провидческой!).

В итоге ни одно из предлагавшихся до Аристотеля объяснений окружающего мира не стало общепринятым, направляющим, полным представлением о нем, то есть общепринятой картиной мира.

**АРИСТОТЕЛЬ
КАК ПЕРВЫЙ СИСТЕМАТИЗАТОР НАУКИ,
ФИЗИК И КОСМОЛОГ**

**ИДЕЙНЫЕ ОСНОВЫ ЕГО ФИЗИКИ
И НАУЧНЫЙ МЕТОД**

Все накопленные знания об окружающем мире, вплоть до технической

⁴Здесь и ниже даты относятся к времени до н.э.



“Афинская школа”. В Академии Платона, в центре – Платон и Аристотель. Фрагмент фрески Рафаэля Санти в станце делла Сеньятура Ватиканского дворца. 1511 г.

практики и житейского опыта, были проанализированы, систематизированы, логически предельно развиты и объединены в первой универсальной космофизической картине мира – системе природы Аристотеля.

В естествознании Аристотелю принадлежит несколько многотомных сочинений: “Физика” (8 книг), “О возникновении и уничтожении” (2 книги), “О небе” (4 книги), “Метеорологика”⁵ (4 книги). В первом дано определение астрономии как науки. Последние два сочинения посвящены астрономии и космологии⁶.

Аристотель поставил цель, которую не могла бы отрицать и современная наука: понять и объяснить весь многогранный окружающий мир, исходя из

наблюдений, опыта. Он стремился изгнать и из физики, то есть из учения о природе (в новом смысле термина “физис”, φυσική – окружающая природа, греч.) всякий вымысел. Аристотель отверг учение Платона о реальном, независимом от человеческого ума существовании идей как нематериальных сущностей⁷ и признавал единственной реальностью в пределах Вселенной материю. Разумеется, и он не сомневался в существовании богов, но лишь за пределами материальной Вселенной, то есть за пределами познаваемого мира – природы.

Аристотель дал четкое, обобщенное, материалистическое определение пространства и времени. Первое он понимал как нечто, неразрывно связанное с

⁵ В литературе нередко употребляют менее правильное – название “Метеорология”.

⁶ Кстати, свои сочинения он писал на родном греческом языке и языком простым, в расчете на широкую публику.

⁷ Откуда и возникла приписываемая Аристотелю фраза: “Платон мне друг, но истина дороже”.



Аристотель со своим царственным воспитанником Александром.

материей, отрицая возможность абсолютной пустоты, поэтому за пределами материальной Вселенной, по Аристотелю, не существует и пространства. В определении понятия времени он принял идею Платона – о возникновении самого этого понятия для описания движения небесных тел, без чего оно не имело бы смысла. Однако у Аристотеля определение времени получило отточенную и предельно обобщенную формулу: *“Время есть мера движения, и нет движения без тела физического”*. Таким образом время впервые определялось как *характеристика изменений*⁸ в материальном мире (о чем, увы, забывают даже некоторые современные ученые мужи, рассматривая время как самостоятельную сущность...).

Аристотель вложил конкретный физический смысл в туманное понятие “природа вещей”, определив это как внутренний принцип движения и развития. Его можно назвать не только ве-

ликим философом и натурфилософом, но и отцом физики в современном ее смысле. Но – главное – он вошел в историю естествознания как основатель первой ставшей **общепринятой естественнонаучной системы природы, или космофизической картины мира**.

Естественнонаучный принцип объяснения явлений сблизил его учение с идеями Левкиппа и Демокрита. Но в отношении наблюдаемой Вселенной, то есть в космологии идеи Аристотеля резко отличались от главной идеи атомистов – материального единства мира. В сочинениях “О небе” и “Метеорологика” Аристотель нарисовал совершенно иную картину. Он впервые четко разделил материальный наблюдаемый мир на две принципиально различающиеся части: мир “подлунный” (земных и околоземных тел и явлений) и Космос (мир небесных тел и явлений).

⁸ Именно так понимал Аристотель “движение” – как изменение вообще.



Аристотель в Афинском гимнасиуме Ликее.

В новой европейской науке, начавшейся с позднего Возрождения (конец XVI в.–XVII в.), такое разделение стало объектом резкой критики. Но в каждую эпоху наука имеет свои проблемы и задачи. По существу Аристотель выступил против неоправданных прямолинейных экстраполяций – примитивного обобщения, распространения на весь Космос, по аналогии, привычных закономерностей земных явлений⁹.

В основу всех вещей и явлений подлунного мира Аристотель положил старую идею четырех первоэлементов вещества: земли, воды, воздуха и огня, а космической материей и материей небесных тел считал особый, введенный Платоном как пятая сущность (квинт-эссенция) (но у Аристотеля также материальный) небесный элемент – эфир. От обычной материи он, по мысли Аристотеля, должен был отличаться лишь тем, что не имел ни легкости, ни тяжести.

МЕХАНИКА АРИСТОТЕЛЯ

Опираясь на доступные наблюдения и опыт, Аристотель разделил движения в подлунном мире на “естественные” и “насильственные”. К первым он отнес якобы “врожденное” движение вниз (падение тел ввиду их тяжести) и “врожденное” движение вверх (например, подъем дыма, пламени ввиду их легкости). Он утверждал, что всякое иное движение тел на Земле может длиться лишь до тех пор, пока на движущееся тело действует сила, и потому назвал его “насильственным”. Он утверждал также, что свободное падение тел происходит тем быстрее, чем тело тяжелее. Во всем этом Аристотель обобщал непосредственно наблюдаемые факты. В общем здоровое заключение в реальной обстановке опыта (с учетом трения) о “насильственном” движении привело его, однако, к нелепому выводу о том, что и стрела движется лишь подталкиваемая окружаю-

⁹ В Древней Греции первым предшественником Аристотеля на этом пути был, по-видимому, Анаксимандр с его идеей необычной мировой среды – апейрона, если не вспомнить еще и пифагорейцев с их фантастической, но впечатляющей “математической” космогонией и космологией, рисующей картину возникновения самого трехмерного пространства и объемных тел в нем из движения точки (“Огненной Единицы”), линий и поверхностей.

щим воздухом (и физики последующих веков немало потешались за это над великим греком¹⁰). Но в своем утверждении о свободном падении Аристотель был безупречен. Он утверждал, что лишь в абсолютной пустоте тела падали бы одинаково быстро (что ко времени критиковавшего его Галилея, вновь открывшего закон свободного падения – в пустоте – как независимо от веса тела, было забыто). Точно так же было с движением вверх дыма: столетие отделяло первого греческого физика от того легендарного момента, когда с победным криком: “Эврика!” другой великий древнегреческий физик Архимед провозгласил открытие своего знаменитого закона плавания. Аристотелю же пришлось удовлетвориться лишь признанием естественности такого движения.

Поскольку прямолинейные движения на земле имели начало и конец, а небесные тела с полной очевидностью безостановочно двигались по окружностям, Аристотель заключил, что для небесных тел, которые не обладают ни тяжестью, ни легкостью, естественным является именно такое круговое равномерное и вечное движение. По Аристотелю, в этом проявлялось главное отличие и совершенство небесных тел¹¹.

Для современников Аристотеля, пресытившихся безудержной фантазией целого хора натурфилософов, строгие, обоснованные непосредственным наблюдением выводы Стагирита были убедительны и потому его физика (=механика) представлялась истинной.

КОСМОЛОГИЯ АРИСТОТЕЛЯ. КРИТИКА ПРЕЖНИХ КОНЦЕПЦИЙ

Накопленный ко времени Аристотеля опыт астрономических наблюдений оказался более надежным (чем в случае земных явлений) основанием для заключений об истинных чертах Космоса: о шарообразности Земли, ее изолированном положении в пространстве. Поэтому Аристотель резко высмеивал прежние примитивные идеи о том, что “плоская” Земля якобы уходит своими “корнями” в бесконечность (Ксенофан Колофонский) или что она “плавает на воде” (Фалес Милетский), держится на сжатом воздухе (Анаксимен, Анаксагор, Демокрит).

Аристотель называл “притянутой за уши” и картину Вселенной у пифагорейцев – с центральным священным очагом Гестией и невидимой нам “Антиземлей”, с Солнцем-зеркалом, отражающим лучи этого огня (по Филолаю). Высмеивал он – именно как физик – древнюю уже и для его времени идею пифагорейцев о “музыке сфер”. Заметим, что абсурдной Аристотель ее считал по чисто “инженерным” соображениям, указывая на то, что если бы небесные тела (для того, чтобы выявить звуки) двигались в пределах своих сфер (которые он в духе своего современника Евдокса Книдского мыслил материальными носителями планет), то вместо благозвучной музыки стоял бы невообразимый шум и скрежет от их трущихся частей!

Аристотель вскрыл математическую и логическую абсурдность таких тео-

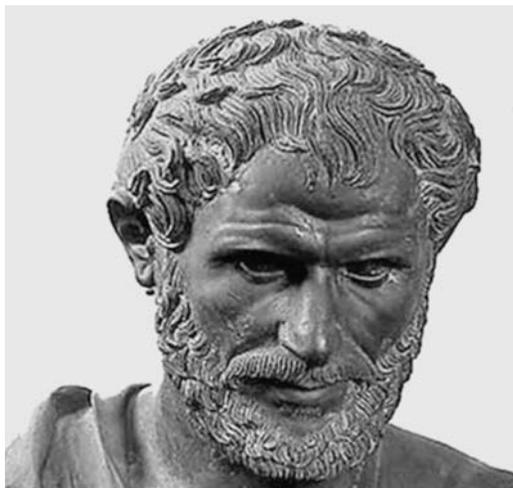
¹⁰ Лишь спустя тысячу лет появилась идея о передаче телу, приведенному в движение некоторой силой, и сохранении в нем на некоторое время количества движения (импульса, первично названного *impetus*).

¹¹ Одна из труднейших проблем и для современного естествознания – возникновение движения во Вселенной – прошла эволюцию и в представлениях Аристотеля. Начав с традиционного гилозоизма – одушевления каждого небесного тела, он пришел к идее бессилового естественного их движения (прообраз инерционного движения), но в поздние годы все же ввел силовую причину – некий абстрактный “перводвигатель” за пределами материальной Вселенной, который, будучи неподвижным, якобы обеспечивал мировые движения. Впрочем, некоторые историки, напротив, относят это к раннему Аристотелю, когда он еще находился под влиянием Платона, в отличие от своих более зрелых поздних лет.

рий, которые утверждали, что Вселенная имела начало, но не имеет конца, разумно напоминая, что понятие бесконечности не может быть одностронним. Он убедительно критиковал как внутренне противоречивые теории Гераклита и Эмпедокла о бесчисленном повторении процесса возникновения и гибели Вселенной в целом: «... Если вся телесная материя, будучи непрерывной, попеременно меняет свои состояния и упорядочивается то так, то иначе, а совокупное сочетание Целого остается “Космосом” и “Небом”, – писал Аристотель, – то отсюда следует, что возникает и уничтожается не Космос, а его состояния»¹². Не без основания Аристотель критиковал и космологию атомистов, отрицая возможность возникновения всех тел с их многообразием качеств из полностью бескачественных атомов, только благодаря их механическому движению и взаимодействию. (Спустя две тысячи лет с такой же критикой чистых механистов выступил... Ньютон.)

НЕИЗБЕЖНЫЕ ИЗДЕРЖКИ:
ОТРИЦАНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ ДОГАДОК
ИЗ-ЗА ИХ МИФОЛОГИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Вместе с наивными или искусственными построениями своих предшественников Аристотель отбросил и ряд их правильных глубоких догадок. Например, о вращении Земли как вокруг некоего внешнего центра (пифагореец Филолай), так и вокруг своей оси (пифагорейцы Экфант, Хикетас, Филолай; современник Аристотеля Гераклид Понтийский), поскольку это вращение



Аристотель – мыслитель.

не ощущалось на опыте. Правда, Аристотель уже был знаком с кинематическим принципом относительности движения и понимал, что суточное вращение небосвода можно объяснить и как отражение вращения самой Земли. Но выбрал все же ее неподвижность как аксиому под влиянием “очевидного” ощущения, “опыта” (“если Земля неподвижна, то небо движется”).

Стремясь объяснить все явления материального мира естественными причинами, Аристотель резко критиковал древние “учения” (представлявшиеся в мифологической форме!), согласно которым Небо, чтобы не упасть на Землю, должно было якобы опираться на плечи могучего титана Атланта. “Те, кто сочинил эту басню, и последую-

¹² Это очень глубокая мысль, но облечена в ошибочную форму: Космос отождествлен со всей материальной Вселенной, тогда как он тоже лишь “часть” ее, упорядоченная. Та же, по сути, мысль Аристотеля правильнее звучала бы так: возникает и исчезает определенное *организованное* состояние материи, оформленной в тот или иной вид порядка – “Космос”. В этом звучит по существу утверждение о нетленности и неизменности в целом материальной основы окружающего мира (в современной картине – физического вакуума, скалярного поля...). Заметим, что и в XX в. классические релятивисты долгое время ошибочно приписывали начало и возможный конец именно *всей мыслимой* Вселенной, отождествлявшейся со всей материальной действительностью. И здесь критика Аристотеля была бы в цель.



Титан Атлант, удерживающий небо от падения. Римская копия греческой скульптуры, II век до н.э. Национальный археологический музей, Неаполь.

щие, – писал Аристотель, – думали, что все небесные тела имеют тяжесть [!] и состоят из земли” [то есть из элемента “земля”]. Здесь природа сыграла с Аристотелем злую шутку: вместе с мифологической формой он отбросил и верную догадку о вещественном единстве всей нашей наблюдаемой Вселенной, но – главное – о тяжести небесных тел!

Отделив Землю (вернее, введенное им понятие “подлунный мир”) от Космоса непреодолимой пропастью их качественного, принципиального различия – по составу и законам – Аристотель отнес все нерегулярные и сравнительно кратковременные явления (которые до него греки считали небесными – вплоть до молнии, грома, града и даже... росы) к явлениям несовершенного подлунного мира, иначе считал их происходящими в “верхнем воздухе” (по греч. – “мете-ора”) атмо-

сферы, которая в этой картине распространялась до Луны (но уже не на всю Вселенную, как у античных натурфилософов!). При этом, наряду с действительно атмосферными (“метеорными”) явлениями, к ним же он отнес кометы, болиды и падающие звезды (все эти явления стали называть “огненными метеорами”), а “небесные камни” объяснял выбросами вулканических бомб. Такие представления удерживались в научной картине мира вплоть до рубежа XVIII – XIX вв. Даже Млечный Путь (опять же по опыту – его непрерывному млечному сиянию) Аристотель относил (в противоположность Демокриту) к явлениям (свечениям) в подлунном мире.

НОВЫЙ ПОДХОД АРИСТОТЕЛЯ К МОДЕЛИ МИРА

Аристотель представлял собой новый, “реалистический” тип исследо-



Одно из средневековых изображений Аристотеля, учение которого, препарированное в эту эпоху христианской церковью, было превращено в религиозную догму.

вателя. Его модель мира, также построенная на принципе геоцентризма, развивала современные ему гомоцентрические модели Евдокса – Каллиппа в новом направлении. Она была уже не просто способом описания (или, как говорили греки, “спасения”) **видимых** явлений, а первой попыткой раскрыть **истинное устройство** планетной системы и механику небесных движений. Вселенную Аристотель представлял как некое “инженерное” сооружение – набор материальных сфер, соединенных друг с другом в целостную систему реальными связями. Таким образом, перед ним впервые встала задача согласовать наблюдаемую картину движений планет с действием механических связей между сферами¹³. Поэтому Аристотель дополнил гомоцентрическую модель Евдокса – Каллиппа рядом новых, вспомогательных “реактивных” сфер, нейтрализующих для каждой планеты эффект ее неизбежного участия в движении всего набора “чужих”, связанных с другими планетами более высоких сфер. В итоге все сооружение у Аристотеля насчитывало уже, по разным подсчетам, от 49 до 56 сфер.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОСМОЛОГИИ АРИСТОТЕЛЯ

Аристотель утверждал, что по объекту исследования астрономия близка к физике, а по методам – к математике. В сочинении “Физика” он определил астрономию как *“наиболее физическую из математических наук”*, наряду с оптикой и гармонией (музыкой!). Он понимал, что в бесконечной Вселенной не могло быть ни центра, ни края и никакого общего внутреннего движения относительно одной точки. Но непосредственное наблюдение, казалось,



Один из современных памятников Аристотелю.

свидетельствовало против ее бесконечности. Ведь граница, край Вселенной был, что называется, виден простым глазом – осязтим в сферической форме небосвода. Столь же очевидным было общее движение звездного неба (суточное). Будь Вселенная бесконечной, движение бесконечно удаленной сферы звезд как материального объекта было бы неощутимым! Во времена Аристотеля все это выглядело убедительным доказательством в пользу конечности Вселенной. Отсюда следовало и существование в такой, единой физической материальной системе тел единого физического же центра – особой точки, равноудаленной от внешней границы.

В пределах такой Вселенной положение и поведение тел, по Аристотелю, определялись *геометрией* этого мира – его сферичностью и составом

¹³ У математиков Евдокса и Каллиппа все подвижные светила повторяли движение лишь одной общей для всех звездной сферы (суточное), а далее шло математическое описание движения каждой планеты с помощью отдельной, независимой системы гомоцентрических сфер! Общее их число составляло 33 (по некоторым источникам – 34) сферы.



Не этот ли памятник Аристотелю вдохновил Родена на создание его "Мыслителя"?

тел. Центральное положение Земли (в отличие от постулируемой ее неподвижности) уже не было постулатом, а оказывалось неизбежным следствием физической природы ее составных частей: она состояла из наиболее тяжелого элемента – "земли", который естественно стремился "вниз", иначе к центру системы как пределу движения тяжелых тел.

В надлунном мире единственный небесный элемент – эфир, не имеющий по определению ни легкости, ни тяжести, не мог стремиться ни к центру, ни к периферии Вселенной. Все небесные тела Аристотель считал состоящими из эфира. Поэтому их наблюдаемое вечное равномерное круговое движение представлялось как "естественное" (то есть "бессиловое"¹⁴!). Особое

движение семи подвижных светил с запада на восток Аристотель, не зная его причины, также считал естественным их свойством и сформулировал в качестве объяснения принцип: "Природа всегда осуществляет наилучшую из всех возможностей" (далекая предтеча принципа наименьшего действия!).

Любопытно Аристотель обосновывал физически закрепленность звезд на одной общей сфере (что выражалось в их видимой неподвижности друг относительно друга). Если бы звезды, подобно планетам, имели свои собственные независимые движения (были бы прикреплены к разным сферам, помимо общего небосвода), рассуждал Аристотель, то для сохранения их взаимных положений в созвездиях необходимо было бы точное совпадение скорости вращения каждой звезды вокруг центра Вселенной с линейной скоростью вращения соответствующего широтного пояса общей небесной сферы, что было бы практически невероятным. Между тем такое совпадение наблюдается – звезды не меняют взаимного расположения! – Чем не физический и логически строгий аргумент! (Ответ тот же, что и относительно звездных параллаксов: звезды слишком далеки! И изменения формы созвездий за счет собственных движений звезд могут стать заметными лишь спустя сотни тысяч лет.)

О том, что звезды, к тому же, и не вращаются, Аристотель заключил также на основании прямых наблюдений: давно подмеченного отсутствия вращения у Луны, которая всегда повернута к Земле одной стороной и также относилась к светилам, но лишь блуждающим. (Кстати, из-за неправильности их движений Аристотель считал блуждающие светила менее совершенными, нежели "верхние" – звезды).

Другое прямое наблюдение позволило Аристотелю впервые правильно

¹⁴ По существу, это было первое представление об инерциальном движении. Его так и понимали долгое время (включая Галилея!) – как движение круговое.

обосновать шарообразность Земли. Он обосновывал это закругленной формой границы земной тени на постепенно затмеваемом диске Луны во время лунных затмений. (Аналогичная форма границы тени явно шарообразной Луны при затмении Солнца была давно известна).

Относительно природы звезд до Аристотеля высказывались самые разные идеи и даже утверждалось, что это раскаленные тела, возможно, оторвавшиеся от якобы быстро вращавшейся сначала Земли (по Анаксагору) и разогревшиеся при стремительном движении сквозь мировой эфир (к тому же “огненный”). Об огромной скорости этого движения говорил малый период вращения звездной сферы – сутки! – при ее уже общепризнанной, хотя и не бесконечной, но очень большой удаленности от Земли. Отрицая идею Анаксагора в целом, Аристотель как физик не мог отрицать факта разогрева от трения. Он отмечал, что “движение раскаляет даже дерево, камни и железо” (не метеоритный ли здесь источник двух последних заключений?..) Но, по Аристотелю, тепло и свет, особенно при восходе и подъеме Солнца, возникали не от трения этого тела об эфир (ведь в своей сфере оно оставалось неподвижным!), а от трения друг о друга самих этих эфирных материальных сфер (!). При всей наивности такой картины Аристотель и здесь остается, прежде всего, физиком.

Звезды и планеты Аристотель считал огромными телами, тогда как Землю – небольшой (на том наблюдательном основании, что при перемещении по ней в направлении с юга на север путешественники обращали внимание на довольно быструю смену видимых над горизонтом созвездий). В сочинении Аристотеля “О Небе” приведена самая ранняя известная оценка окружности Земли – около 400 тыс. стадиев (то есть 63 тыс. км, если стадий считать египетским, в 157,5 м), завышающая подлинную величину менее чем в

два раза. (Правда, при более вероятном для Греции VII–I вв. значении стадия в 177–197 м оценка возрастала до 73 тыс. км).

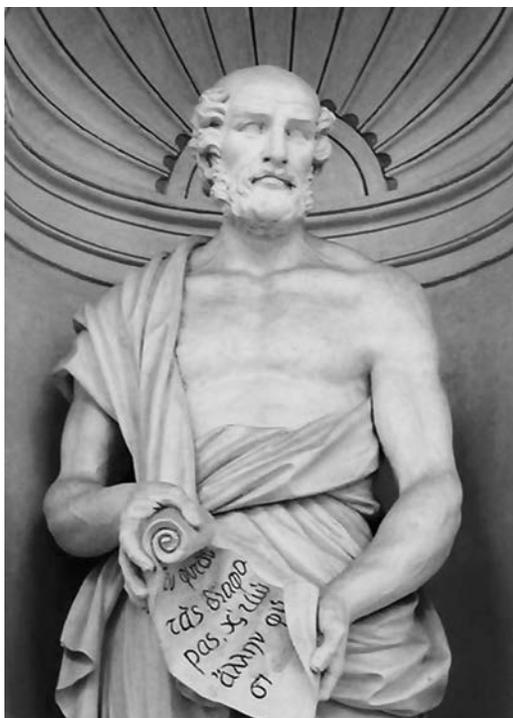
Наблюдения показывали одинаковую угловую скорость суточного вращения всех восьми небесных сфер. Между тем, их расстояния от центра Вселенной были явно различными. Отсюда Аристотель делал опять-таки логически безупречный вывод, что их линейные скорости должны возрастать пропорционально их расстояниям (картина твердотельного вращения системы). Он считал, что это и обеспечивает прочность неба (то есть всей системы светил), которое поэтому “не разваливается” (хотя, как мы видели, несколько и разогревается, по Аристотелю, – от трения своих внутренних частей). Таким образом, Космос у Аристотеля приобретал черты реальной физической системы тел. В его размышлениях о ее устойчивости, о разогревании эфирных сфер от трения между ними современный физик может увидеть первый шаг к осознанию, по существу, рассеяния энергии в такой системе.

Определив Вселенную как заключающую в себе всю мыслимую материю, Аристотель сделал из этого вполне логичный вывод, что она никогда не возникала и принципиально неуничтожима: как сумме всех возможных видов материи ей не из чего было возникнуть и не во что превратиться в будущем. Поэтому Вселенная в целом, по Аристотелю, единственна и вечна.

Аристотель признавал роль истории науки, напоминая о необходимости учитывать на пути познания прежние, даже неудачные, ошибочные попытки достичь истины: “... Ибо людям, желающим идти правильным путем, – писал он, – важно также знать и об уклонении”. О том, насколько нелегок этот путь – путь искания истины, свидетельствовал опыт самого Аристотеля, сказавшего: “Мышление есть страдание”.

ОТНОШЕНИЕ К УЧЕНИЮ АРИСТОТЕЛЯ В РАЗНЫЕ ЭПОХИ

Для современников Аристотеля его физико-космологическая система природы была, можно сказать, теорией, прочно обоснованной опытом, как он понимался тогда – при полном доверии к весьма грубым повседневным наблюдениям. Она стала первым организующим (хотя в то же время и ограничивающим) фактором на пути дальнейшего развития естествознания. И когда, столетие спустя после Аристотеля, появилась гениальная и принципиально новая идея подлинного гелиоцентризма, высказанная Аристархом Самосским, она была встречена крайне враждебно не только по религиозным соображениям, но и ввиду ее противоречия “здравому смыслу”, то есть общепринятой физической картине мира, сформировавшейся и укрепившейся на основе системы природы Аристотеля.



Аристотель. На свитке – слова: “Жить – значит делать вещи, а не приобретать их”.

Разумеется, с накоплением новых сведений о Вселенной, с уточнением наблюдательных данных об окружающем мире физика и космология Аристотеля постепенно изживали себя. Но именно они-то и были в средние века (в XIII в.) догматизированы в новой монотеистической религии, став тормозом на пути дальнейшего развития науки.

Однако было бы ошибкой полагать, что огромный авторитет Аристотеля всегда держался лишь на слепой вере в эти его конкретные теории. Ряд идей Аристотеля (во всяком случае, идей, которые он впервые осознанно и четко положил в основу научного познания мира) оказались очень глубокими (определение времени, определение пространства, утверждение вечности материальной Вселенной в целом) и сыграли прогрессивную роль на крутых поворотах развития науки. Достаточно вспомнить, что Коперник в своей критике теории Птолемея исходил, прежде всего, из принципиальных требований к научной теории, впервые четко сформулированных Аристотелем. Это – принципы экономии причин при объяснении явлений и внутренней непротиворечивости теории.

КОСМОФИЗИЧЕСКАЯ КАРИНА МИРА АРИСТОТЕЛЯ В СВЕТЕ НАУКИ XXI В.

Космофизическую картину мира Аристотель впервые дополнил своей новой гениальной идеей взаимосвязи свойств материи, пространства и времени (его даже сравнивают иногда в этом отношении с Эйнштейном). У Аристотеля эта взаимосвязь проявилась, правда, еще в “зеркальном отображении”: пространство сферической Вселенной как бы само обладало анизотропностью, “естественными” местами, различными для тел разной плотности, отчего материя распределялась в нем сообразно своим якобы врожденным свойствам тяжести и легкости. (Тогда как, согласно Общей Тео-

рии Относительности, именно материя определяет свойства вмещающего ее пространства.) Вместе с тем Аристотель, отрицавший возможность существования абсолютной пустоты, понимал анизотропное пространство как уже заполненное материей!

И даже разделение у Аристотеля подлунного мира и космоса с высоты нашего третьего тысячелетия видится не просто примитивным заблуждением и фантазией древнего физика, а скорее проявлением незаурядности его ума. Великий древнегреческий мыс-

литель и наблюдатель в этом разделении материального мира, быть может, первым осознал неодинаковость правления естественных законов природы на разных масштабных уровнях материальной Вселенной. Недаром и современные историки науки продолжают анализировать труды Стагирита, а скульпторы в течение веков запечатлевали в памятниках образ великого мыслителя.

А.И. ЕРЕМЕЕВА,

*кандидат физико-математических наук
ГАИИШ МГУ*

Информация

“Радиоастрон”: наблюдение ядра галактики

Российский космический радиотелескоп “Радиоастрон” совместно с 15-ю наземными радиотелескопами России (сеть “Квазар-КВО”), Европы и США получил изображения сильно переменного внегалактического объекта VL Lacertae в созвездии Ящерицы, принадлежащего к типу активных ядер галактик. В ходе

сеанса наблюдений, проведенного интерферометром на длине волны 1,3 см, впервые в истории астрономии удалось добиться рекордного углового разрешения – 21 микросекунды дуги.

Ученые смогли разглядеть особенности структуры джетов (гигантских струй газа длиной до нескольких световых лет, которые выбрасывает сверхмассивная черная дыра в центре этой галактики) и восстановить структуру магнитного поля. Объект VL Lacertae – это блазар (сверхмассивная черная дыра), окруженная диском плазмы, разогретой до температур в миллиарды градусов. Вращение черной дыры и аккреционного диска приводит к тому, что линии магнитного поля формируют спиральные структуры,

которые, в свою очередь, ускоряют поток вещества в джетах. С помощью “Радиоастрона” ученые подробно изучили спиральные структуры и зоны ударной волны в области формирования джета, что позволило лучше понять, как работают эти самые мощные во Вселенной источники излучения. Статья о результатах исследований опубликована в журнале “Astronomical Journal”.

Уже пятый год обсерватория “Радиоастрон” успешно работает на орбите и проводит совместные наблюдения с крупнейшими наземными радиотелескопами мира (Земля и Вселенная, 2011, № 6, с. 17–18; 2015, № 4, с. 101; 2015, № 6, с. 88).

Пресс-релиз ФИАН,
26 января 2016 г.

Памяти Игоря Михайловича Гуревича

2 ноября 2015 г. скончался видный ученый в области теории информации, старший научный сотрудник Института проблем информатики РАН, главный конструктор по системам ООО «Гетнет Консалтинг» кандидат технических наук Игорь Михайлович Гуревич. Игорь Михайлович был активным участником российской программы SETI и известным носителем идеи «информационной Вселенной».

И.М. Гуревич родился 21 августа 1945 г. в Москве. В 1968 г. окончил Московский институт электронного машиностроения (МИЭМ) по специальности «Автоматика и телемеханика», в 1971 г. получил еще одно высшее образование в том же институте по специальности «Прикладная математика». С 1973 г. по 1997 г. работал начальником отдела в Научно-исследовательском институте систем связи и управления; в 1997–2002 гг. он – главный конструктор по сетям и заместитель директора по внедрению в Международной технологической корпорации «Сирена»; с 2003 г. – он главный конструктор по системам в «Гетнет Консалтинг» и по совместительству – старший научный сотрудник в Институте проблем информатики РАН.

И.М. Гуревич отдавал часть времени педагогике, читая курс лекций по информатике и архитектуре вычислительных сетей на факультете радиотехники и кибернетики в МФТИ. В течение многих лет он также взаимодействовал с Севастопольским государственным университетом, где был одним из основных организаторов ежегодной международной конференции «ИНФО-



ТЕХ», проводимой на базе СевГУ, и руководителем ежегодного семинара по информатике, который проводился в рамках конференции «ИНФОТЕХ».

И.М. Гуревич – автор более 200 научных работ, включая 19 монографий, учебных и методических пособий. Последними его книгами, вышедшими в свет, стали: «Информация – всеобщее свойство материи: характеристики, оценки, ограничения, следствия» (2013, совместно с академиком А.Д. Урсулом), «О физической информатике: предпосылки и основные результаты» (2014), «Законы информатики, квантовая механика и вопросы происхождения и развития Вселенной» (2016) и другие. Он был участником сотен и руководителем десятков проектов, автором нескольких изобретений. Сам Игорь Михайлович определял область своих научных интересов так: сети класси-

ческих и квантовых компьютеров, теоретическая информатика, физическая информатика.

Направлением исследований, которое ученый назвал “физическая информатика”, он увлекся в конце 1980-х гг. И.М. Гуревич предельно серьезно воспринял слоган Джона Арчибальда Уилера “it from bit” (что Игорь Михайлович переводил как “всё из бита”) и поставил перед собой сверхзадачу – показать, что Вселенная имеет информационную природу, иначе говоря: законы физики могут быть выведены из более фундаментальных законов информатики. В то время такая программа воспринималась как крайне экстравагантная. И.М. Гуревич был одним из первых, кто бескомпромиссно двинулся по этому пути; воспринимался он сначала как чужак-одиночка. Однако И.М. Гуревич оказался весьма прозорлив. Исследования в области физической информатики в последние годы во всем мире стремительно расширяются. Было высказано множество красивых идей и получено много важных результатов, опубликованы десятки статей на эту тему. Международная организация FQXi (Foundational Questions Institute: fqxi.org), объединяющая множество выдающихся ученых-физиков, за последние три года дважды объявляла конкурсы исследований на темы, близкие к физической информатике. На эти конкурсы были присланы сотни работ.

Важнейшими своими достижениями И.М. Гуревич считал преобразование физической информатики в научную дисциплину; обоснование утверждения о том, что законы информатики имеют более общий характер, чем законы физики; формулировку законов информатики; обоснование конечности информации во Вселенной и оценку количества информации, содержащейся во всей Метагалактике и в различных ее подсистемах; утверждение об абсолютной познаваемости Вселенной. Одним из важнейших положений, обоснованных И.М. Гуревичем, было конечное содержание информации в доступной для изучения части Вселенной и

оценка количества этой информации – приблизительно в 10^{90} бит. Эта величина была получена И.М. Гуревичем в 1989 г. и позже открыта заново в работах нескольких других авторов. В частности, оценке этой же величины была посвящена в 2001 г. статья известного специалиста в области теории информации и квантовых вычислений – Сета Ллойда.

И.М. Гуревич оценил информационное содержание различных небесных объектов – таких, как обычные нейтронные звезды и черные дыры; в микромире – атомы и молекулы. Он ввел деление объектов Вселенной по содержанию информации на единицу массы I (дифференциальная информация) на три класса: обычное вещество (I не зависит от массы); нейтронные звезды (I пропорционально массе, умноженной на логарифм массы); черные дыры (I пропорционально массе). В последнее время растет понимание важности таких оценок, так как информационное содержание важных подсистем Вселенной оказывается не только конечным, но и в определенном смысле небольшим. Например, в 2015 г. Ю.-Ж. Ма и Д. Скотт показали, что значительная часть информации, которая в принципе может быть получена из реликтового микроволнового излучения, уже использована. Это обстоятельство имеет исключительную важность, так как изучение анизотропии и поляризации микроволнового фона является основой современной прецизионной космологии.

Анализируя познаваемость Вселенной, И.М. Гуревич ввел полезное понятие минимального субъекта познания, которое является полезным для формирования стратегий SETI. Под минимальным субъектом познания И.М. Гуревич понимал минимальные подсистемы, способные к самостоятельному познанию Вселенной. В целях самосохранения в космических и локальных катастрофах разум должен демонстрировать склонность расселять свои клоны – минимальные субъекты познания – во Вселенной, и это может оказаться основным каналом заселения Галактики.

Современные стратегии SETI ориентированы в основном на поиск очень узкополосных радиосигналов, с шириной полосы от долей Герц до единиц Герц. Такие сигналы позволяют сконцентрировать энергию в очень узкой частотной области, благодаря чему обеспечивается высокое отношение сигнала к шуму: узкополосный позывной проще обнаружить, чем сигнал с более широкой полосой частот; но его недостатком является то, что он не может обеспечить высокую скорость передачи информации. Узкополосные передачи хорошо подходят для роли “космического маяка”, служащего, в основном, для привлечения внимания, и должны указывать на другие каналы связи, где обеспечена большая информационная емкость. Однако, если Галактика заселена в основном минимальными субъектами познания – клонами одной цивилизации, то они и без космических маяков знают о существовании друг друга. Поэтому сигналы-маяки могут быть в нашей Галактике большой редкостью или вовсе отсутствовать. Если это так, то стратегия поиска узкополосных мощных “маяков”, на которую в основном ориентирована современная

стратегия SETI, может оказаться ошибочной, так как основным типом связи могут оказаться широкополосные передачи, связывающие между собой различные минимальные субъекты познания, которым не нужны “маяки”, для того, чтобы найти друг друга.

Мечта И.М. Гуревича об исчерпывающем обосновании физики со стороны теории информации осталась не вполне реализованной в его собственных работах, она остается не реализованной и в работах других авторов. Либо задача очень сложна, либо искать основания нужно не в этом направлении – неизвестно. Но счастье ученого как раз и состоит в прокладывании дорог в неведомое, и труд Игоря Михайловича уже сыграл в этом большую роль, и будет оставаться для нас важным.

Любовь к познанию, мягкая непобедимая настойчивость Игоря Михайловича в попытке объяснить свою точку зрения, его интеллигентность и добрый нрав – были и останутся для нас образцом отношения к науке как к делу познания истины, а не делу зарабатывания медалей и премий.

Информация

Газ, пыль и звезды туманности Пеликан

Медленно изменяет свои очертания эмиссионная туманность Пеликан (IC 5070) в созвездии Лебедя. Она отделена от туманности Северная Америка (NGC 7000) молекулярным облаком размером около 30 св. лет, за-

полненным пылью. Обе туманности входят в обширное образование – массивную область ионизованного водорода (H II) со сложной структурой, разделенной пылевой полосой. Здесь происходит чрезвычайно активное звездообразование и эволюционируют газовые облака. Темные облака пыли формируют “глаз” и длинный “клюв” пеликана, а яркий фронт ионизованного газа напоминает изогнутую “шею” и “голову” (см. стр. 4 обложки). Свет от молодых активных звезд медленно преобразовывает холодный газ в горячий, образуя границу между ними – фронт

ионизации, постепенно продвигающийся к внешним границам туманности. Среди двух струй плотных нитей холодного газа, исходящих из вершины центрального темного волокна, находятся протозвезды, занесенные в каталог как объект Хербига-Аро 555. Чрезвычайно плотные волокна холодного газа все-таки остаются внутри, создавая замысловатую картину. Через миллионы лет туманность Пеликан настолько изменит свой вид, что будет выглядеть совершенно иначе.

По материалам астрономических сайтов

Памяти Юрия Владимировича Баркина

10 января 2016 г. года ушел из жизни Юрий Владимирович Баркин (1951–2016) – талантливый ученый, прекрасный человек, любящий муж и отец.

Юрий Владимирович родился 23 апреля 1951г. в селе Уразовка Горьковской области. В шесть лет, вслед за старшим братом, пошел в школу и стал лучшим учеником в классе. Математи-

ческие способности Юрий унаследовал от своей матери – учительницы начальных классов Евдокии Фроловны. Окончив школу, в 16 лет он поступил в Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова на астрономическое отделение физического факультета. Его учителями были известные ученые – Г.Н. Дубошин, Е.П. Аксёнов и В.Г. Дёмин. Общение с преподавателями, их личный пример привели к тому, что Юрий Владимирович уже в студенческие годы увлекся научными исследованиями. Работая после окончания МГУ в Куйбышевском университете, он мечтал вернуться в Москву и поступить в аспирантуру. В 1975 г. его мечта сбылась, и уже в 1978 г. он с блеском защитил кандидатскую диссертацию по теме “Периодические решения в задаче о поступательно–вращательном движении небесных тел”. По окончании аспирантуры Ю.В. Баркин работал на кафедре Теоретической механики МГТУ им. Н.Э. Баумана, где прошел большой путь – от ассистента до профессора. Преподавательскую деятельность Юрий Владимирович сочетал с постоянной научной работой – писал статьи в журналы, выступал на семинарах, конференциях, симпозиумах.

В 1989 г. он защитил докторскую диссертацию по теме “Динамика систе-



мы несферичных небесных тел и теория вращения Луны”.

К началу 1990-х гг. имя Ю.В. Баркина, одаренного и перспективного ученого, становится известным не только в нашей стране, но и за рубежом. В 1991 г. он получил приглашение к сотрудничеству от Университета Сарагосы (Испания), в котором проработал в качестве профессора в течение двух лет. В 1995–2011 гг. Юрий Владимирович активно сотрудничает с Университетом Аликанте (Испания). В 1996 г. сбылась его давняя мечта – он становится ведущим научным сотрудником в Лаборатории гравиметрии Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга. В 2012 г. Юрий Владимирович работал в Национальной астрономической обсерватории Японии (Мицузава). Результат этой работы – опубликованный в российских и международных журналах цикл статей, а также глава в книге “Planetary Geodesy and Remote Sensing”, изданной на английском языке.

Вся жизнь Ю.В. Баркина была посвящена служению науке. Круг его научных интересов разнообразен: от классических задач механики – до современных проблем астрономии, небесной механики и геодинамики. Им написаны более 300 статей, три книги, сделаны 333 доклада на различных конференциях и симпозиумах, заявлены 362 тезиса докладов; он участвовал в семи научно-исследовательских разработках. Юрий Владимирович был членом 12 научных обществ, работал в программных и организационных комитетах на многих международных конференциях: “Japan Geoscience Union Meeting” (2012–2015); “International Symposium & Summer School on Planetary Science” (IAPS, 2013) в Шанхае (Китай); на Европейском конгрессе планетных наук “Europlanet” в Риме (Италия, 2010); “Meeting of the Americas” в Фосс-ду-Игуасу (Бразилия, 2010); на Генеральной ассамблее Европейского союза по наукам о Земле; был членом

редколлегии журнала “Astronomical & Astrophysical Transactions”.

В 1983 г. за цикл работ по теории вращательного движения тел Солнечной системы и разработке теории поступательно-вращательного движения небесных тел Юрий Владимирович получил звание лауреата премии Московского комсомола.

Решением Президиума Российской академии естественных наук ученый награжден Почетным знаком академии “За заслуги в развитии науки и экономики России” (за цикл научных работ по исследованию эндогенной активности Земли и механизмов активности планетарных природных процессов). В 2013 г. его удостоили медали и диплома Московского общества испытателей природы “Учредитель и меценат МОИП, Александр I”.

Проблемы в науках о Земле, многие десятилетия стоявшие перед учеными, получили благодаря Ю.В. Баркину свое решение и динамическую интерпретацию: в фундаментальной проблеме энергетики земных процессов и их цикличности получили объяснение вековой дрейф и скачки полюса оси вращения Земли; неприливного ускорения Земли, нутации ядра. Юрий Владимирович объяснил основные свойства планетарных природных процессов, их синхронности и единства: активность полярных регионов планет и спутников Солнечной системы и их широтная зависимость; скачкообразность, “пилообразность” хода активности природных процессов. Эту концепцию он применял для объяснения эндогенной активности Солнца, планет и их спутников, а также в объяснении изменения климата на Земле.

“...В своих работах Юрий Владимирович достигал такой ясности в раскрытии физики процессов, вызываемых гравитационными воздействиями на Землю со стороны небесных тел, что позволяло науке дальше продвигаться по пути поисков глубинных закономерностей в протекании жизни землян”, – отметил коллега Ю.В. Бар-

кина по совместным исследованиям, руководитель мониторинга радиационных условий на орбитальных станциях (в том числе на МКС) доктор технических наук В.В. Цетлин.

Редакционная коллегия и коллектив редакции журнала Президиума РАН

“Земля и Вселенная” скорбят вместе с коллегами и родными.

В этом номере журнала мы публикуем одну из последних статей Ю.В. Баркина, которую он перед кончиной готовил к печати в нашем журнале.

Информация

“Доун”: исследования Цереры

В конце 2015 г. опубликованы данные карликовой планеты Церера (диаметр около 950 км), полученные АМС “Доун” (Земля и Вселенная, 2008, № 1, с. 96–97; 2012, № 3, с. 40; 2013, № 1, с. 105–107; 2015, № 5, с. 110). Предполагается, что Церера на четверть состоит из воды, которая

может быть скрыта в ледяной оболочке под темной поверхностью. В двух кратерах Цереры найдена соль с примесью твердой породы и замерзшей воды. Когда на эту смесь падает солнечный свет, то возникают светлые пятна – это первые прямые доказательства существования подповерхностного льда. Он под воздействием тепла сублимирует, забирая с собой частицы пыли, поэтому над кратерами Цереры образуются загадочные туманности. После остывания поверхности процесс прекращается и туман рассеивается. Однако как именно связаны между собой частицы соли, льда и туман,

ученые пока объяснить не могут. С помощью спектрометра АМС “Доун” на поверхности Цереры обнаружены богатые аммиаком глины (гидратированные минералы – такие, как карбонаты). Как отмечают исследователи, аммиака больше на холодных окраинах Солнечной системы, чем в Главном поясе астероидов – там, где находится Церера. Она могла мигрировать во внутреннюю часть, захватив некоторое количество вещества из внешних областей Солнечной системы, а то и вовсе образоваться около Нептуна.

Пресс-релиз NASA,
18 декабря 2015 г.

Конференция по астрофизике

С 21 по 24 декабря 2015 г. в Институте космических исследований РАН прошла очередная, 15-я Международная конференция “**Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра**”. Она организована отделом астрофизики высоких энергий ИКИ РАН при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Программный комитет возглавили доктор физико-математических наук С.Ю. Сазонов (председатель), академик Р.А. Сюняев, член-корреспондент РАН Е.М. Чуразов, доктора физико-математических наук А.А. Вихлинин, М.Р. Гильфанов, С.А. Гребенев, А.А. Лутвинов, М.Н. Павлинский и М.Г. Ревнивцев. В Организационный комитет вошли доктор физико-математических наук М.Н. Павлинский (председатель) и кандидат физико-математических наук А.Н. Семена (заместитель председателя). В Конференции участвовало 150 ведущих российских ученых, работающих в России и в

европейских и американских научно-исследовательских центрах. На ней обсуждались наиболее важные результаты в области астрофизики высоких энергий, рентгеновской и гамма-астрономии от изучения черных дыр и нейтронных звезд до космологических проблем происхождения и эволюции Вселенной. Тематика Конференции касалась почти всех разделов астрофизики высоких энергий, рентгеновской и гамма-астрономии, наблюдательной космологии.

Конференции по этой теме проводятся ежегодно с 2001 г. (Земля и Вселенная, 2007, № 3; 2008, № 4; 2009, № 3; 2014, № 4). На этих форумах обсуждаются достижения в исследовании рентгеновского и гамма-излучений, которые сопровождают наиболее энергоемкие явления во Вселенной: взрывы сверхновых, формирование скоплений галактик, падение вещества на черные дыры и нейтронные звезды. В научную программу включены наиболее

актуальные проблемы современной астрофизики и космологии, для решения привлекались данные, полученные в космосе и наземными обсерваториями.

На Конференции 2015 г. в ходе восьми сессий прочитаны 72 доклада. Отдельная сессия была посвящена проблемам калибровки телескопов и научной программе работы российской космической обсерватории “Спектр-Рентген-Гамма”, которую предполагается запустить в сентябре 2017 г. (Земля и Вселенная, 1997, № 2; 2001, № 4, с. 39). Значительную часть программы отдали анализу новых результатов, полученных российскими учеными на европейских космических обсерваториях “Планк” (Земля и Вселенная, 2009, № 5, с. 43–45; 2010, № 6, с. 111; 2014, № 1) и “Интеграл” (Земля и Вселенная, 1997, № 3; 2003, № 2; 2010, № 1). Рассматривались наиболее приоритетные направления в астрофизике: космология, инфляция, открытие новых частиц и загадка



Постер конференции “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра–2015”.

ская обсерватория РАН), И.Ф. Бикмаев (Казанский федеральный университет), С.И. Блинников (Институт теоретической и экспериментальной физики), Ю. Пуутанен (Обсерватория Туорла, Финляндия), К.А. Постнов и А.М. Черепашук (ГАИШ МГУ), С.А. Лемешевский (главный конструктор НПО им. С.А. Лавочкина).

Первый день Конференции посвятили проблемам космологии и изучения скопления галактик – самых массивных объектов во Вселенной, инфляционной стадии ее эволюции и оставшемуся с того времени реликтовому излучению. Рассмотрены результаты обзора всего неба космической обсерваторией “Планк”, богатейший материал которой необходим для понимания процессов во Вселенной; составлен каталог массивных скопления галактик. На основе полученных данных можно делать выводы о том, какую долю в нашей Вселенной занимают обычная и темная материи, а также темная энергия.

Вопросам непосредственного участия в работе с данными космической обсерватории “Планк” посвятил свой доклад “Поиск скопления галактик на картах

темной материи и энергии, аккреция на компактные объекты (нейтронные звезды, черные дыры и белые карлики), перспективы изучения Вселенной в рентгеновском и гамма-диапазонах.

С приглашенными докладами выступили известные астрофизики Р.А. Сюняев (Институт астрофизики Общества им. Макса Планка, Германия; ИКИ РАН), А.А. Старобинский (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН), И.В. Москаленко (Стэн-

фордский университет, США), А.М. Белобородов (Колумбийский университет, США), Р.Р. Рафиков (Принстонский университет, США), С.А. Балашев, А.М. Быков, Е.А. Васильев и Д.Г. Яковлев (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН), Л.И. Гурвиц (Объединенный радиоинтерферометрический Институт Европейского исследовательского консорциума, Делфтский технологический университет), В.Л. Афанасьев (Специальная астрономиче-

параметра Υ -обзора всего неба обсерватории им. Планка» кандидат физико-математических наук **Р.А. Буренин** (ИКИ РАН). Обсуждалась возможность поиска массивных скоплений галактик по картам параметра Υ -обзора всего неба. Более шести лет «Планк» исследовал анизотропию фонового излучения. Собраны уникальные сведения и созданы карты реликтового фона высокого разрешения, имеющие первостепенное значение для понимания происхождения и эволюции Вселенной. Автор коснулся основных этапов получения астрофизической и космологической информации микроволновых обзоров небесной сферы. Измерение космологических параметров, проведенное космической обсерваторией «WMAP», и уточнение значений наблюдений искажений реликтового излучения стали фундаментальным вкладом в космическую микрофизику; создана стандартная космологическая модель с недостижимой ранее точностью. Используя карту параметра Υ и дополнительные данные Слоановского обзора (SDSS), можно обнаружить гораздо большее число массивных скоплений галактик, по сравнению с выборкой второго каталога скоплений обзора «Планка».

Академик **Р.А. Сюняев** (ИКИ РАН) выступил с докладом «Спутник

«Планк» как спектрометр реликтового излучения: новые ограничения на параметр комптонизации во Вселенной». Карта флуктуаций искажений спектра реликтового излучения, полученная прибором NFI космической обсерватории «Планк», позволила получить верхнюю границу на среднюю по небу величину вклада в монополь флуктуирующих по углу параметров комптонизации. Этот предел в восемь раз ниже верхней границы на монополь, полученной 25 лет назад прибором FIRAS на астрономическом ИСЗ «COBE» («Эксплорер-66», 1989–1993), получивший первый спектр реликтового фона Вселенной. Обзор неба, проведенный Телескопом на Южном полюсе (SPT) на станции Амудсен – Скотт, позволил получить нижнюю границу вклада в монополь флуктуирующего по углу параметра комптонизации. Наблюдательные пределы сравнивались с результатами численного моделирования процессов энерговыделения во Вселенной при сравнительно небольших красных смещениях.

В докладе «Диффузия гелия в период формирования первых галактик» аспирант **П.С. Медведев** (ИКИ РАН) исследовал вопрос возможного влияния диффузии на обилие первичных элементов в период формирования структур в ранней Вселенной. Автор

рассмотрел первичный коллапс возмущений и последующую аккрецию вещества на вириализованные галактические гало с массами, значительно превышающими критическую массу Джинса (массы большинства звезд заключены в диапазон $0,02\text{--}2 M_{\odot}$, соответствующей теории гравитационной неустойчивости). Оказалось, что диффузия приводит к приросту относительного обилия гелия порядка 10^{-4} внутри формирующихся звезды мини-гало в период окончания Темной Эры ($z = 10$). Умеренный прогрев первичного газа до 100 K в эпоху ранней реионизации может увеличить этот эффект до 3×10^{-4} для галактических гало с массами $10^6 M_{\odot}$. Существенно больший эффект в несколько десятых процента может достигаться значительно позже, в эпоху постреионизации ($z = 2$), в группах протогалактик с массами $10^{13} M_{\odot}$. Найденные изменения обилия первичных элементов малы, но сравнимы с уже достигнутой точностью около $0,1\%$ предсказаний теории первичного нуклеосинтеза (эпоха закончилась через 200 с после Большого взрыва). Благодаря быстрому прогрессу наблюдательной техники прямые измерения обилия элементов в областях Вселенной с низкой металличностью вскоре достигнут сравнимого уровня точности. В таком

случае учет эффектов, связанных с диффузией, станет важен.

Среди докладов, посвященных галактикам, активным ядрам галактик и звездобразованию, выделяются четыре. Кандидат физико-математических наук **Е.А. Васильев** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН) в докладе “Эволюция двойных сверхмассивных черных дыр и проблема последнего парсека” рассмотрел эволюцию двойных сверхмассивных черных дыр, происходящую под влиянием динамического взаимодействия со звездами в ядрах галактик. Передача энергии от двойной черной дыры к звезде приводит к уменьшению радиуса орбиты двойной до тех пор, пока потери энергии за счет излучения гравитационных волн не приведут к быстрому слиянию черных дыр. Проблема “последнего парсека” возникает из-за того, что в идеализированном сферически симметричном случае популяция звезд с малым угловым моментом, способная взаимодействовать с двойной черной дырой (“конус потерь”), довольно быстро истощается, в результате темп эволюции крайне замедляется и до стадии эффективного излучения гравитационных волн не доходит вовсе. Недавние расчеты с помощью N-body метода (компьютерное моделирование процессов в сложных системах) указывают на то,

что в более реалистичных системах без сферической симметрии эволюция орбиты двойной черной дыры происходит гораздо быстрее в результате эффективного перемешивания звезд по угловому моменту в несферическом потенциале.

В докладе «Каталог кандидатов в квазары на $z > 3$ среди рентгеновских источников обсерватории “XMM-Newton”» аспирант **Г.А. Хорунжев** (ИКИ РАН) поделился результатами поиска кандидатов в квазары на $z > 3$ среди источников рентгеновского обзора 3XMM-DR4. Использована фотометрия оптического Слоановского обзора (SDSS) и инфракрасные обзоры всего неба 2MASS и космической обсерватории “WISE”. Для отбора кандидатов применялись фотометрические оценки красного смещения, составлен каталог кандидатов со звездной величиной в фильтре $i < 21,5$. В перспективе этот каталог может расширить в 1,5 раза выборку известных квазаров до $z > 3$.

Доктор физико-математических наук **А.В. Моисеев** (Специальная астрономическая обсерватория РАН) в докладе “Протяженные газовые диски в галактиках ранних типов” показал, как методом оптической 3D-спектроскопии была изучена кинематика газа в галактиках ранних типов (S0-S0/a),

обладающих протяженными (размером не менее нескольких килопарсек) газовыми дисками. Крупномасштабные поля скоростей ионизованного газа наблюдались на 6-м телескопе SAO РАН с помощью сканирующего интерферометра Фабри – Перо. На основе доступной информации, найденной в архивах различных телескопов о кинематике звезд в окрестностях и нейтрального водорода во внешних, эти данные были проанализированы. Газовый диск часто оказывается несоответствующим со звездными (наклонным, изогнутым), причем величина рассогласования меняется с радиусом. Автор привел аргументы в пользу того, что основная причина формирования таких дисков в большинстве галактик – захватывание газа извне. Следы аккреции газа обнаруживаются в тесных группах и среди изолированных галактик.

*“На основании экспериментальных данных по гамма- и рентгеновскому излучению, а также по темпу ионизации молекулярного водорода мы восстанавливаем спектр космических лучей в галактическом центре”, – сказал кандидат физико-математических наук **Д.О. Чернышов** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН). Он сделал доклад “Взаимодействие космических лучей с мо-*

лекулярными облаками в центре Галактики". Этот спектр должен содержать как минимум две различные компоненты: релятивистскую и субрелятивистскую. Эти две компоненты не образуют единый спектр и поэтому должны обладать существенно разной природой. Кроме того, субрелятивистская компонента должна обеспечивать излучение из гигантских молекулярных облаков в линии нейтрального железа достаточно большой интенсивности, сравнимой с наблюдаемой, не меняющейся со временем. Экспериментальное обнаружение стационарного излучения в линии нейтрального железа может подтвердить наличие субрелятивистской компоненты.

Во второй день Конференции на сессии «Обзоры неба сегодня и завтра» состоялись следующие выступления. Профессор **И.В. Москаленко** (Стэнфордский университет, США) в докладе «Космический гамма-телескоп «Ферми»: 7 лет наблюдений» рассказал, что продолжается исследование гамма-излучения Вселенной с помощью американской космической обсерватории «GLAST», названной так в честь Энрико Ферми (Земля и Вселенная, 2015, № 3). За это время обсерватория зарегистрировала более 5×10^{11} фотонов с энергией более 20 МэВ. В результате работы обсерватории

число известных источников гамма-излучения увеличилось в 10 раз – почти до 2 тыс., открыты новые типы источников. Благодаря необычному режиму работы обсерватория каждые три часа обзораевает все небо. Накопленными данными будут пользоваться еще не одно поколение астрофизиков. Наблюдения астрофизических источников и космологических процессов во Вселенной с помощью обсерватории «Ферми» продолжатся до 2018 г.

Кандидат физико-математических наук **Р.А. Кривонос** (ИКИ РАН) в докладе «Обзор Галактического Центра по данным обсерватории «NuSTAR»» представил недавние результаты изучения области Галактического центра космической обсерваторией «NuSTAR». Приведены новые результаты по исследованию морфологии и спектров излучения молекулярных облаков в звездных скоплениях Стрельца, MC1 и Bridge.

Кандидат физико-математических наук **Л.И. Гурвиц** (Объединенный радиоинтерферометрический Институт Европейского исследовательского консорциума, Делфтский технологический университет) предложил концепцию гигантского радиотелескопа нового поколения, предназначенного для исследований в метровом, деци- и сантиметровом диапазоне длин

волн в широком спектре научных проблем – от космологии до формирования планетных систем. Радиотелескоп «Квадратный километр» (SKA, Square Kilometre Array) сооружается международным консорциумом и должен вступить в строй в 2020-х гг. Характеристики телескопа выработаны по результатам многолетнего всестороннего анализа нужд наблюдательной радиоастрономии. По своим основным параметрам «Квадратный километр» будет превосходить во всех диапазонах длин волн любой существующий (или создаваемый сегодня) инструмент на два – три порядка. Научные задачи проекта затрагивают пять основных тем: эпоху космологической реионизации, эволюцию галактик, магнитную Вселенную, место возникновения жизни во Вселенной, пульсары и гравитационные волны. «Квадратный километр» значительно раздвинет границы основных радиоастрономических наблюдательных параметров, что, как показывает многовековой опыт астрономии, неизбежно приведет к важным и неожиданным открытиям. В докладе также приводится обзор текущего состояния проекта и характеризуются возможности радиотелескопа.

На сессии «Рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма»» выступили с докладами

генеральный конструктор НПО им. С.А. Лавочкина С.А. Лемешевский («Спутник “Спектр-Рентген-Гамма”: текущее состояние дел»), член-корреспондент РАН Е.М. Чуразов из ИКИ РАН (“Наука телескопа eРозита”) и заведующий отделом астрофизики высоких энергий ИКИ РАН доктор физико-математических наук М.Н. Павлинский (“Подготовка телескопа АРТ-ХС”).

Третий день Конференции был посвящен проблемам эволюции сверхновых, природе гамма-всплесков и джетов, физике нейтронных звезд и пульсаров.

Доктор физико-математических наук **С.И. Блинников** (Институт теоретической и экспериментальной физики) выступил с интересным докладом “Возможные пути для объяснения высокой светимости сверхмощных сверхновых (SLSN)”. Ученый сообщил, что в последнее время обнаружены некоторые сверхновые с пиковой светимостью на порядок выше, чем для обычных сверхновых (SNe). Эти интригующие объекты называются Сверхмощными Сверхновыми (SLSNe). Их понимание необходимо для теории эволюции самых массивных звезд и, возможно, имеет отношение к загадочным механизмам гамма-всплесков. Предложено несколько путей (сценариев) для объяснения SLSNe:

- нестабильная пара сверхновых (PISN);
- “магнитарный” механизм накачки;
- взаимодействие ударных волн с околозвездным веществом.

Автор рассмотрел текущее состояние исследований в этой области и указал на проблемы, которые должны быть решены в рамках теории SLSN. Подчеркнута важная роль долгоживущих радиоактивных ударных волн в моделировании этих событий: они приводят к образованию тонких, но массивных, плотных слоев, аналогичных тем, что образуются на стадии катастрофического охлаждения в моделях остатков сверхновых (SNR).

В докладе доктора физико-математических наук, доцента Казанского (Приволжского) федерального университета **И.Ф. Бикмаева** “Сверхновые Ia на ранних и небулярных стадиях” обсуждались результаты исследований оптических спектров сверхновых типа Ia на ранних стадиях расширения оболочки и на небулярной фазе (уменьшение оптической толщи оболочки после фотосферной стадии; на ее спектре появляются узкие линии поглощения, подобные небулярным линиям, наблюдаемым у планетарных туманностей). Он сообщил, что в первой фазе в спектре наблюдаются линии поглощения, а во второй – эмиссион-

ные детали. Современные компьютерные коды позволяют извлекать из наблюдаемых спектров количественную информацию о производстве тяжелых элементов и их распределении в расширяющейся оболочке Сверхновых типа Ia.

Кандидат физико-математических наук **А.Г. Куранов** (ГАИШ МГУ) в докладе “Сливающиеся белые карлики и SN Ia” показал, что вспышки Сверхновых типа Ia (SN Ia) отождествляются с термоядерными взрывами углеродно-кислородных белых карликов в результате аккреции вещества в двойных системах. В качестве звезды-донора может выступать либо нормальная звезда с водородной или гелиевой оболочкой (Single degenerate scenario), либо белый карлик (Double-degenerate scenario). Лишь сценарий сливающихся белых карликов может объяснить время задержки вспышек сверхновых типа SN Ia – от нескольких десятков миллионов лет до хаббловского времени (возраст Вселенной). В настоящей работе методом популяционно-го синтеза исследовано пространство параметров сливающихся двойных белых карликов. Результаты расчетов показывают, что численность сливающихся суб- и сверхчандрасекаровских белых карликов (чандрасекаровский предел $M_c = 1,4 M_\odot$) существен-

но меньше необходимо для воспроизведения наблюдаемой кривой распределения SN Ia по времени задержки и предполагаемой частоты вспышек в Галактике. Это может указывать на проблемы в понимании механизма вспышек сверхновых типа SN Ia и в эволюции тесных двойных систем.

Профессор **А.М. Белобородов** (Колумбийский университет, США) в докладе “Гамма-всплески и релятивистские взрывные волны” высказал предположение о том, что гигантское выделение энергии в центре гамма-всплеска инициирует релятивистский взрыв в окружающей среде. Согласно теоретическим расчетам, излучение от гамма-всплеска рождает большое количество электронов и позитронов в пространстве до прихода взрывной волны. Эффект подтверждается наблюдениями событий, выделяющих энергию порядка гигаэлектронвольт и в оптическом диапазоне. Наблюдения позволяют реконструировать параметры взрыва для семи гамма-всплесков. Результаты показывают, что взрывная волна распространяется в ветре массивной звезды Вольфа – Райе, коллапс которой и приводит к взрыву.

В докладе “Прямое определение расстояний по Сверхновым IIP” кандидат физико-математических наук **П.В. Бакланов** (Институт теоретической

и экспериментальной физики) рассмотрел наиболее популярный способ определения расстояний до сверхновых типа SN IIP: метод расширяющихся фотосфер (EPM, Expanding Photosphere Method). Он очень ценен для космологии, может использоваться для ее проверки и уточнения, поскольку позволяет напрямую определять расстояния до сотен мегапарсек. Ключевым вопросом метода EPM является предположение о потоке, испускаемом фотосферой сверхновой SN IIP в виде модифицированного планковского спектра (в ранней Вселенной в конце эры рекомбинации температура излучения составляла около 3 тыс. кельвинов, что соответствует ближнему ИК-диапазону, максимум спектральной интенсивности приходится на частоту 160 ГГц и длину волны 1,9 мм). Входящий в эту зависимость корректирующий фактор ζ_v напрямую влияет на точность определения расстояний до сверхновой SN IIP. Автор исследовал зависимость фактора ζ_v от параметров сверхновых. В самосогласованном радиационно-гидродинамическом моделировании получена диаграмма $\zeta_v - T_{\text{color}}$ от начала взрыва сверхновой до выхода оболочки на небулярную фазу. Этот результат стал дополнительным аргументом для использования более “длинной” шкалы

метода EPM. Его можно использовать для прямого определения расстояний до сверхновой типа SN IIP.

Член-корреспондент РАН **Д.Г. Яковлев** (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН) в докладе “Нейтринная физика нейтронных звезд” рассмотрел влияние нейтринных процессов на эволюцию и наблюдательные проявления нейтронных звезд. В выступлении он затронул основные процессы генерации нейтрино в коре и в ядре нейтронной звезды, включая прямой и модифицированный урка-процессы (с участием нуклонов), тормозное излучение нейтринных пар, нейтринное излучение при куперовском спаривании нуклонов (излучение взаимодействующих через фонон пар электронов в сверхтекучем нейтронном веществе), распад плазмона при нейтринной светимости вырожденного электронного газа в сильном магнитном поле, аннигиляция электрон-позитронных пар. Проанализирована зависимость этих процессов от состава сверхплотного вещества нейтронных звезд, от сверхтекучести нуклонов и магнитного поля внутри звезд. Рассмотрены нейтринные процессы в состоянии бета-равновесия (процесс превращения протонов в нейтроны), способные вызывать мощное охлаждение нагретых звезд. Описаны

наблюдательные проявления нейтронных звезд, в которых нейтринные процессы играют решающую роль. К ним относятся: остывание изолированных нейтронных звезд и аккрецирующих звезд в рентгеновских транзиентах, тепловое излучение старых нейтронных звезд, тепловое состояние магнитаров, рентгеновские вспышки и сверхвспышки в поверхностных слоях звезд.

Доктор физико-математических наук **А.Ю. Потехин** (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН) в докладе “Проверка теоретических моделей сверхплотного вещества путем исследования нейтронной звезды в Кассиопее А” сообщил, что нейтронная звезда в остатке сверхновой Кассиопеи А остывает удивительно быстро: температура ее поверхности снизилась на несколько процентов за 10 лет наблюдений, что неожиданно много для ее возраста, составляющего около 330 лет. Возможно, причиной этого служит происходящее на наших глазах развитие нуклонной сверхтекучести в ядре звезды, сопровождающееся усиленным излучением пар нейтрино-антинейтрино, уносящих энергию. Это дает уникальный шанс проверить теоретические модели нуклонной сверхтекучести и уравнения состояния вещества сверхъядерной плотности путем сравнения

предсказанной ими скорости остывания нейтронных звезд разной массы с данными наблюдений. В результате проверки удалось показать, что в рамках вышеуказанной интерпретации данных наилучшее согласие теории с наблюдениями дает использование уравнения состояния BSk21 для звезды с массой $1,43 M_{\odot}$, в ядре которой развивается сильная сверхпроводимость протонов и умеренно сильная триплетная сверхтекучесть нейтронов, а их внешние оболочки состоят из элементов тяжелее углерода.

В заключительный день прошла сессия “Теория аккреции, источники рентгеновского и гамма-излучения”. Академик **А.М. Черепашук** (ГАИШ МГУ) прочитал доклад “Массы оптических звезд в рентгеновских двойных системах: учет эффектов взаимной близости компонент”. Согласно теории эволюции маломассивных рентгеновских двойных систем, масса оптической звезды должна быть не менее M_{\odot} , для того, чтобы “разбросать” общую оболочку и обнажить двойную систему. Однако оценки масс оптических звезд в наблюдаемых маломассивных рентгеновских двойных системах дают среднее значение массы, равное $0,6 M_{\odot}$. Эти оценки получены в упрощающем предположении: оптическая звезда является сферой, объем которой

равен объему соответствующей полости Роша. В надежде получить лучшее согласие теории эволюции с наблюдениями выполнены оценки масс оптических звезд в рамках более реалистичной модели – когда звезда деформирована приливными силами и прогрета рентгеновским излучением компактного объекта. В результате получена величина $0,4-0,5 M_{\odot}$ для среднего значения массы оптической звезды, то есть противоречие между теорией эволюции и наблюдениями усилилось. Автор обсудил возможные объяснения этого противоречия, в частности, в случае, когда оптическая звезда после стадии с общей оболочкой теряет в виде звездного ветра из-за сильного рентгеновского прогрева значительную долю своей массы.

Доклад “Поиск гамма-излучения от двойных систем с мощными сталкивающимися ветрами” кандидата физико-математических наук **М.С. Пширкова** (ГАИШ МГУ, ИЯИ РАН) касался двойных систем массивных звезд (звезды типа Вольфа – Райе с компаньоном ранних спектральных классов), в которых сталкиваются мощные звездные ветры. Такие системы уже долгое время рассматривались как возможные источники гамма-излучения высоких энергий (> 100 МэВ). Излучение обнаружено только от

системы η Киля, хотя поиски гамма-излучения проводились от других таких систем (WR 11, WR 70, WR 137, WR 140, WR 146, WR 147), которые были отобраны по максимальной теоретически предсказанной светимости. Анализировались результаты, полученные в течение почти 7 лет наблюдений телескопа LAT космической обсерватории “Ферми”. Обнаружена WR 11 (Гамма² Парусов) – новый класс источников в диапазоне высоких энергий.

Доцент Казанского (Приволжского) федерального университета, кандидат физико-математических наук **В.В. Шиманский** в докладе “Двойные системы с жестким УФ-излучением” представил результаты анализа 10 предкатаклизмических переменных типа BE UMa – ТДС с компактными источниками жесткого УФ-излучения. Они основаны на фотометрических и спектроско-

пических наблюдениях в 1998–2014 гг. на телескопах БТА, Цейсс-1000, РТТ-150, используя численное моделирование излучения компонент ТДС с эффектами облучения, несферичности и не-ЛТР. Параметры главных компонент соответствуют прогнозам эволюции экстремально горячих sdO-субкарликов и белых карликов. Все вторичные компоненты обладают избытком светимости, обусловленным взаимодействием звезд на стадии общей оболочки.

В докладе “Новая вспышка рентгеновской двойной V404 Cyg спустя 26 лет” доктор физико-математических наук **С.А. Трушкин** (Специальная астрономическая обсерватория РАН) сообщил, что рентгеновская двойная V404 Cyg (GS2023+338), в состав которой входит динамически установленная черная дыра, спустя 26 лет, вновь вспыхнула 15 июня

2015 г. с рекордными потоками около 40 крэбов. Объект наблюдался с 18 июня на радиотелескопе РАТАН-600, когда поток был измерен на уровне 50–100 мЯн в диапазоне 2–22 ГГц с тенденцией роста к высоким частотам. В повторной мощной вспышке 26 июня потоки выросли от 0,1 Ян до почти 4 Ян за одни сутки. Причем в максимуме спектр в радиодиапазоне носил характер оптически тонкого синхротронного источника на высоких частотах. Вероятно, это явление связано с появлением струйного выброса. Через сутки источник стал оптически тонким, и к 8 июля 2015 г. его активность завершилась. Многие наземные и космические телескопы следили за ходом этого, похожего на вспышку в микрокваразах, события.

По материалам сайта ИКИ РАН

Самый мощный в мире жидкостный ракетный двигатель РД-170

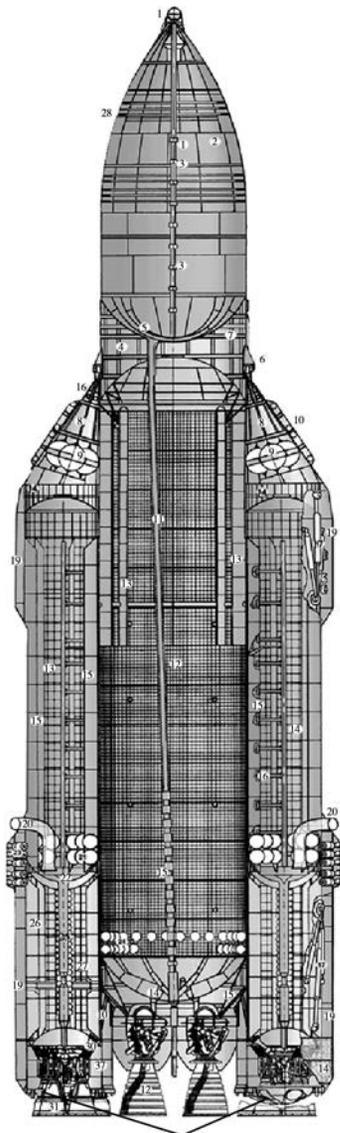
В.С. СУДАКОВ,
начальник отдела научно-технической информации
А.П. СУДАРЧЕНКО,
специалист отдела ЖРД
НПО “Энергомаш” им. академика В.П. Глушко

В конце 1960-х гг. – начале 1970-х гг. в создании тяжелых ракет-носителей американцы вырвались вперед. У нас в это время прекратилась разработка мощного жидкостного двигателя РД-270, создававшегося под руководством главного конструктора академика В.П. Глушко для РН сверхтяжелого класса УР-700 конструкции академика В.Н. Челомея; авариями закончились четыре пуска ракеты-носителя “Н1-Л3” (1969–1972). Причиной аварий компетентная комиссия признала, в том числе, и ненадежность двигателей первой ступени НК-15 и НК-33 конструкции академика Н.Д. Кузнецова. Несколько раньше, в январе 1966 г., ушел из жизни Сергей Павлович Королёв – главный конструктор ОКБ-1 и ракеты-носителя “Н1-Л3”. Это не могло не сказаться на сроках создания этой мощной ракеты.

К началу 1970-х гг. в КБ “Энергомаш” под руководством главного конструктора академика В.П. Глушко изготовлены и испытаны различные модельные двигательные установки на компонентах топлива жидкий кислород с керосином. В основном к ним относились проектные проработки, направленные

на создание двигателя тягой более 500 тс, и велись они в плане научно-исследовательских разработок.

В конце 1973 г. академик В.П. Глушко провел совещание (по существу, научно-технический совет расширенного состава) по вопросу окончательного выбора конструктивного облика мощного двигателя тягой более 500 тс. Конструкторы предложили два варианта: с одной и четырьмя камерами сгорания. После многодневного обсуждения выбрали вариант конструкции двигателя с четырьмя камерами сгорания, так как в этом случае можно проводить автономные испытания основных наиболее трудоемких в изготовлении и доводке агрегатов двигателя на базе материальной части предыдущих двигателей тягой 100 тс на азотном тетраоксиде (АТ) и несимметричном диметилгидразине (НДМГ). Эти двигатели необходимо было доработать путем замены материалов на такие, которые позволили бы использовать жидкий кислород и керосин. Решение об автономном испытании сначала основных агрегатов двигателя на этих компонентах топлива, а уже затем двигателя в целом ста-



ЖРД РД-170

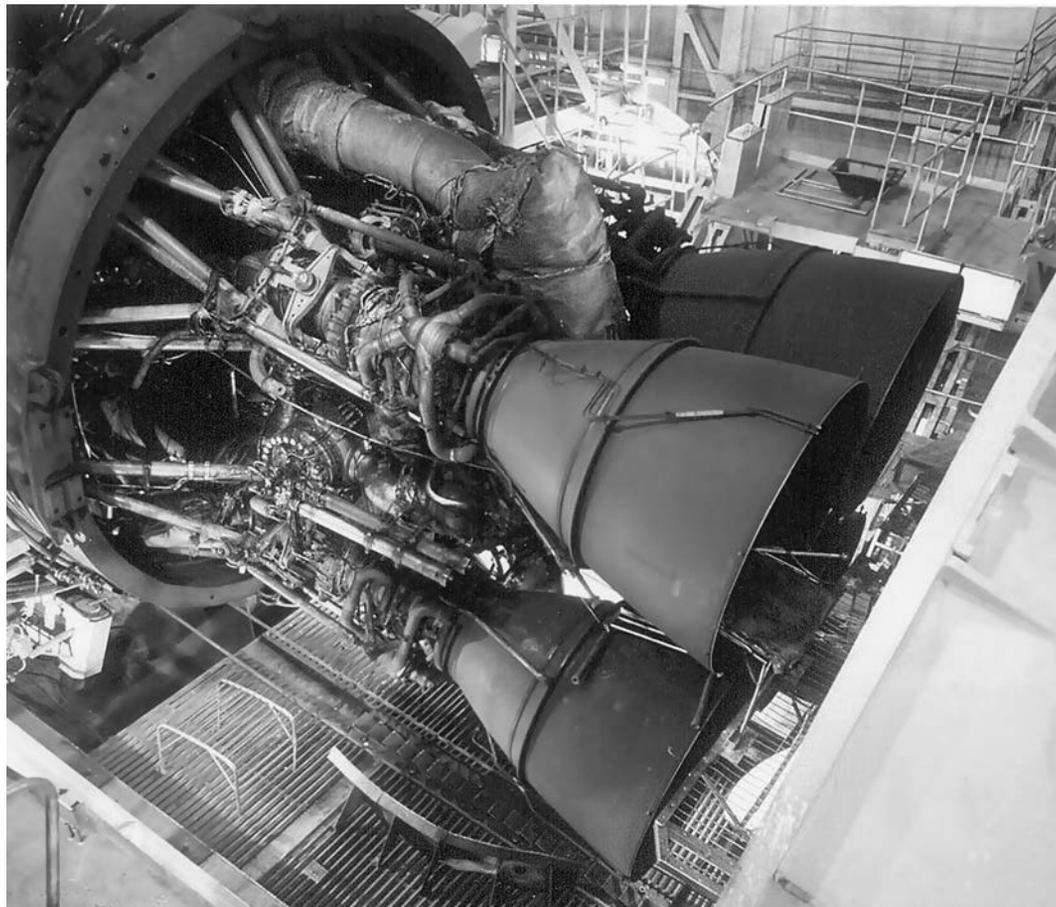
Схема РН «Энергия» с четырьмя боковыми блоками первой ступени, на которых установлены четырехкамерные ЖРД РД-170.

ло основополагающим для стратегии. Однако техническое задание на разработку такого двигателя было получено позже, в начале 1976 г. Предыдущие три года ушли на экспериментальное обоснование реальности создания задуманного двигателя.

В мае 1974 г. произошли события, определившие дальнейшее развитие космического ракетостроения. Ракетную фирму ОКБ-1 (бывшее ЦКБЭМ), которой многие годы руководил академик С.П. Королёв, преобразовали в НПО «Энергия» (ныне РКК «Энергия» им. С.П. Королёва). Кроме «головного» конструкторского бюро этой фирмы, во вновь созданное объединение вошли два опытных завода и наше конструкторское бюро вместе с опытным заводом. Генеральным конструктором и директором НПО «Энергия» назначили академика В.П. Глушко.

Началось конструирование ряда ракет-носителей, обеспечивающих широкий круг задач военного и мирного назначения. Общее руководство поручалось НПО «Энергия» и его руководителю академику В.П. Глушко; на него же возлагалась ответственность за создание многоразовой ракетно-космической системы «Энергия – Буран». Необходимо было создать двигатель, в значительной степени универсальный, для сверхмощной РН «Энергия» и РН среднего класса «Зенит». Проектирование ракеты-носителя «Зенит» поручили конструкторскому бюро «Южное» (Днепропетровск) во главе с генеральным конструктором академиком В.Ф. Уткиным. (Причем первая ступень РН «Зенит» по сути представляет собой боковой блок «Энергии».) Эти носители должны использовать будущий мощный двигатель на первых ступенях.

В первом квартале 1976 г. НПО «Энергия» и КБ «Южное» выдали технические задания на разработку двигателей тягой 740 тс на земле, применявших компоненты топлива – жидкий кислород и керосин – для первых ступеней ракет «Энергия» и «Зенит». Двигатель для РН «Энергия» должен был быть многоразового использования, пригодным для ремонта и повторного использования без переборки. Эти и другие технические требования существенно превышали характеристики других отечественных двигателей. Ведущим



Жидкостный ракетный двигатель РД-170 на огневом стенде НПО "Энергомаш". 1980-е гг.

конструктором двигателей РД-170 и РД-171 для РН "Энергия" и РН "Зенит" соответственно назначили начальника двигательного отдела М.Р. Гнесина. Талантливый и энергичный руководитель, он все силы отдавал созданию двигателей, своим энтузиазмом заражал всех участников работы, сплотил вокруг себя активных единомышленников не только в двигательном отделе, но и в других подразделениях конструкторского бюро, завода и научно-испытательных подразделений, а также на смежных предприятиях.

Споры велись не только по размерности двигателя, количеству камер в нем, выбору схемы двигателя (с до-

жиганием восстановительного газа или окислительного), но и по величине давления в камере сгорания; в итоге остановились на 250 атм. Многие утверждали, что схема с дожиганием восстановительного газа надежнее, так как меньше предрасположена к возгораниям в горячем тракте турбины. Однако она, во-первых, энергетически менее выгодна и, во-вторых, исключает возможность многократных запусков двигателя из-за обилия сажи, удаление которой – серьезная проблема. В конечном счете выбрали схему с дожиганием окислительного газа, поскольку она по сумме преимуществ оказалась предпочтительнее.



*Начальник и главный конструктор
КБ "Энергомаш" член-корреспондент РАН
В.П. Радовский.*

На базе материальной части ракетных двигателей на АТ–НДМГ тягой 100 тс удалось в срок чуть более полугодя создать модельные двигатели для проверки процессов в камере и газогенераторе. Так, для отработки камеры специалисты создали модельный двигатель 2УКС, который позволял развивать тягу, равную 80% от необходимой. На нем проведено 68 огневых стендовых испытаний и решены основные вопросы по камере натурного двигателя. На другом модельном двигателе для проверки процессов в газогенераторе выполнили 132 испытания. Для того, чтобы "довести" турбонасосный агрегат (ТНА) в автономном режиме, пришлось создать установку на основе натурной материальной части – это практически рабочий двигатель, но без камер сгорания, вместо которых поставили сопротивления. Данная установка была создана после

автономной отработки практически всех видов агрегатов двигателя. На ней проведено 32 огневых испытания, которые показали, что решение проблем по созданию ТНА с мощностью турбины более 250 тыс. л.с. – задача крайне сложная. Основной проблемой стало обеспечение работоспособности агрегата при устранении возгорания турбины и в условиях повышенной вибрационной активности. Работы по автономной доводке горячих агрегатов двигателя заняли три года и завершились в 1979 г. Всего для автономных испытаний изготовили пять разновидностей установок – УК (установки кислородные).

25 августа 1980 г. состоялся первый пуск двигателя РД-171, характеристики которого превышали все ранее достигнутые как в отечественном, так и в зарубежном ракетном двигателестроении. В этот день (испытание проводилось вечером) все сотрудники оставались в крайнем напряжении. В пультовой огневого стенда собралось много народу: стендовики и конструкторы, включая главного конструктора В.П. Радовского, здесь же дежурил генеральный конструктор В.П. Глушко, а также приглашенные из вышестоящих организаций. Проходят получасовая готовность, и все другие... Пуск! Что можно ждать от первого пуска? Авария... Началась тяжелая работа: анализ параметров, поиски причин поломки, осмотр частей и агрегатов двигателя.

Дела поначалу шли что называется из рук вон плохо. Средняя продолжительность первых 10 испытаний оказалась минимальной – 10,2 с, из них два аварийные; в числе 20 – пять удачных, из 50 – только десять. Ломался в основном турбонасосный агрегат: то возгорание в газовом тракте турбины, то другие поломки из-за сильных вибраций. Принимается решение проводить пуски на пониженном щадящем режиме работы. Наконец 9 июня 1981 г. состоялось первое успешное испытание двигателя (150 с) на полном ресурсе и

в режиме тягой 700 т. Внешний осмотр: никаких существенных замечаний к двигателю, но буквально за два дня двигатель разобрали. Всю материальную часть направили в цеха-изготовители для подробной проверки повреждений. Основным интерес представлял турбонасосный агрегат, поскольку наибольшее число дефектов в результате предыдущих испытаний обнаружилось именно в нем. Для того, чтобы контролировать ход работ в КБ “Энергомаш”, приехал министр общего машиностроения С.А. Афанасьев. Он внимательно осмотрел турбонасосный агрегат двигателя и задумчиво произнес: *“Если бы не увидел своими глазами, то не поверил бы, что получилось”*.

По результатам работ специалисты предприятия приняли решение готовиться к наземным испытаниям первой ступени ракеты-носителя “Зенит”. 26 июня 1982 г. проведено испытание двигателя в составе ее первой ступени. К этому времени было проведено 50 стендовых испытаний на 26 двигателях с суммарной длительностью 3106 с; максимальное время работы одного двигателя достигло 690 с, а число включений – 12. Однако стендовое испытание двигателя РД-171 в составе первой ступени РН “Зенит” закончилось аварийно – разрушение двигателя и уникального и единственного стенда для наземной отработки первых ступеней мощных ракет. Работы по созданию предельно важных на тот период времени ракетно-космических комплексов резко замедлились.

Второе испытание первой ступени РН “Зенит” состоялось на стенде в НИИ Химического машиностроения только 1 декабря 1984 г. – потребовалось около 2,5 лет на восстановление стенда и дальнейшее совершенствование двигателя. В этот период проведены сотни огневых испытаний двигателя, доводочные завершающие испытания всех узлов и агрегатов, решены сотни вопросов, касающихся отработки узлов и агрегатов двигателя и двигателя в це-



Запуск РН “Зенит” на космодроме Байконур. Конец 1980-х гг.

лом. Весь коллектив КБ “Энергомаш” работал в течение многих месяцев не только по 11 часов ежедневно, но и без выходных.

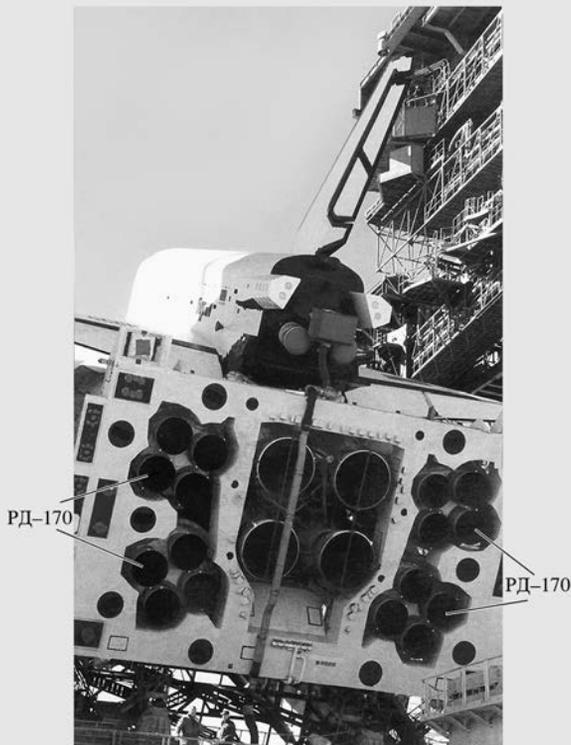
Смежников у нас при разработке РД-170 (171) было десятки сотен. Наибольший вклад внесли научно-исследовательские институты: НИИТП, ЦНИИ-маш, НИИТМ, НИИХМ и другие.

Следующее испытание двигателя в составе ступени РН “Зенит” в третьей декаде декабря 1984 г. прошло также удачно. Предстоял следующий этап работы – летно-конструкторские испытания.

Итак, с начала 1973 г. до начала 1985 г. прошла целая эпоха создания мощного ЖРД, выполнены все необходимые наземные испытания, в том чис-



Многоразовая ракетно-космическая система «Энергия – Буран». Космодром Байконур. Октябрь 1988 г.



Двигательная установка ракетно-космической системы «Энергия – Буран». Космодром Байконур. Октябрь 1988 г.

ле в составе первой ступени ракеты-носителя «Зенит».

13 апреля 1985 г. состоялся первый запуск РН «Зенит» с площадки № 45 космодрома Байконур. Ведущих специалистов представлял главный конструктор предприятия В.П. Радовский. Пуск прошел практически без замечаний к РД-171. Затем прошли более десятка летно-конструкторских испытаний, и каждый раз все проходило успешно. В декабре 1987 г. ракетно-космический комплекс «Зенит» принят специальной Государственной комиссией в эксплуатацию. С этого момента

начались штатные пуски этой ракеты. Нельзя не упомянуть о двух авариях «по вине двигателя» в 1990-е гг. Однако компетентная комиссия установила однозначно причины аварии: они носили технологический характер, к конструкции замечаний не имелось, принятые меры гарантировано устраняли повторение дефекта, поэтому эти аварии не повлияли на требуемую надежность двигателя.

В мае 1987 г. и ноябре 1988 г. успешно выполнены два пуска РН «Энергия» с двигателями РД-170 (Земля и Все-

ленная, 1987, № 6; 1989, № 1, с. 3–5; 1989, № 2).

Итак, в период с 1974 г. по 1987 г. создан уникальный ракетный двигатель для ракет-носителей “Зенит” и “Энергия”. В двигателе применено значительное количество новшеств: два газогенератора и качание камер сгорания в сильфонных узлах, нагруженных высокотемпературным окислительным газом.

Разработка этих двигателей стала качественно новым шагом в создании ЖРД. Самый мощный в мире четырехкамерный ЖРД РД-170 массой 9750 кг и диаметром каждого сопла 3,6 м обладает наивысшим уровнем параметров и характеристик для двигателей данного класса: тяга – 740 тс на уровне моря и 806 тс (!) в пустоте, удельный импульс – 309 с на уровне моря и 337 с – в пустоте; давление в камере сгорания – 250 атм (!), энергомассовое совершенство (отношение тяга/вес) – 82, время работы – 150 с. На четырех боковых блоках первой ступени РН “Энергия” установлены двигатели РД-170, предназначенные для многократного использования и возврата на Землю с помощью парашютов. В 1990 г. двигатель РД-170 сертифицирован на четырехкратное использование, в 1992 г. – на десятикратное.

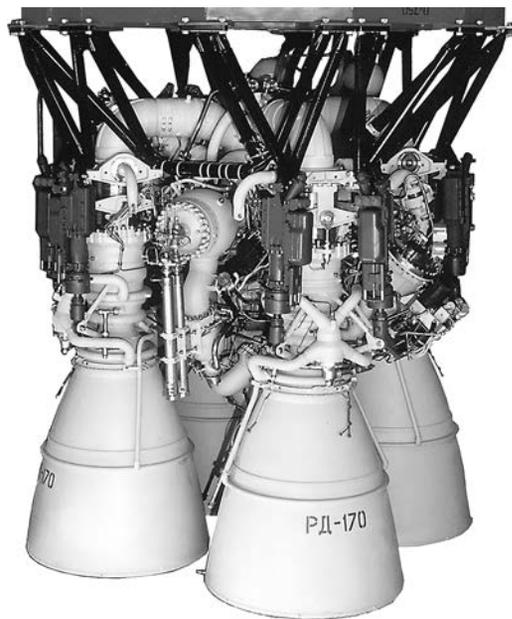
Один из экземпляров двигателя испытан на огневом стенде до 20 раз. Двигатель характеризуется высокой надежностью функционирования, контролем работы систем, пригодностью для ремонта и имеет большой запас по ресурсу (не менее пяти), то есть после последнего полетного использования двигатель все еще имеет гарантированный ресурс для дополнительного пятикратного использования. Управление вектором тяги двигателя осуществляется благодаря созданию уникального сильфонного узла качания камер, работающего в зоне высокотемпературного газового потока. Двигатели прошли более тысячи огневых ис-

пытаний общей продолжительностью свыше 100 тыс. с.

За создание двигателей РД-170 и РД-171 (отличаются лишь системой управления вектором тяги – качание камер в одной или в двух плоскостях) его ведущий конструктор доктор технических наук М.Р. Гнесин, главный инженер опытного завода доктор технических наук Г.Г. Деркач и начальник отдела летных испытаний Д.Е. Астахов удостоены звания лауреатов Ленинской премии. Большая группа работников КБ, опытного завода и испытателей получила государственные награды.

В процессе разработки этих двигателей созданы уникальные стенды, обеспечивающие доводку агрегатов и двигателя в целом.

Позвольте привести несколько сравнений. Стенд для испытаний насосов позволяет работать при расходе более тонны воды в секунду и давлении в несколько сотен атмосфер; мощность его силовой установки составляет



Четырехкамерный ракетный двигатель РД-170.



Старт РН “Зенит” с плавучей платформы в Тихом океане по программе “Морской старт”. 2000-е гг.

68 тыс. (!) л.с., мощность турбины – 250 тыс. (!) л. с. Для сравнения: силовая атомная установка ледокола “Ленин” обладает мощностью 44 тыс. л.с. Известно, что мощность силовой установки одного из самых больших американских авианосцев “Интерпрайз” длиной около 300 м (несет около ста боевых самолетов) составляет 220 тыс. л.с. В то время как двигатель РД-170 можно уместить в кубе с гранью, равной 4 м (!).

Эксплуатация универсальной сверхтяжелой РН “Энергия” прекратилась с развалом СССР, и программу пришлось закрыть. Но эксплуатация двигателей РД-171 продолжилась на РН “Зенит”, которые запускались с космо-

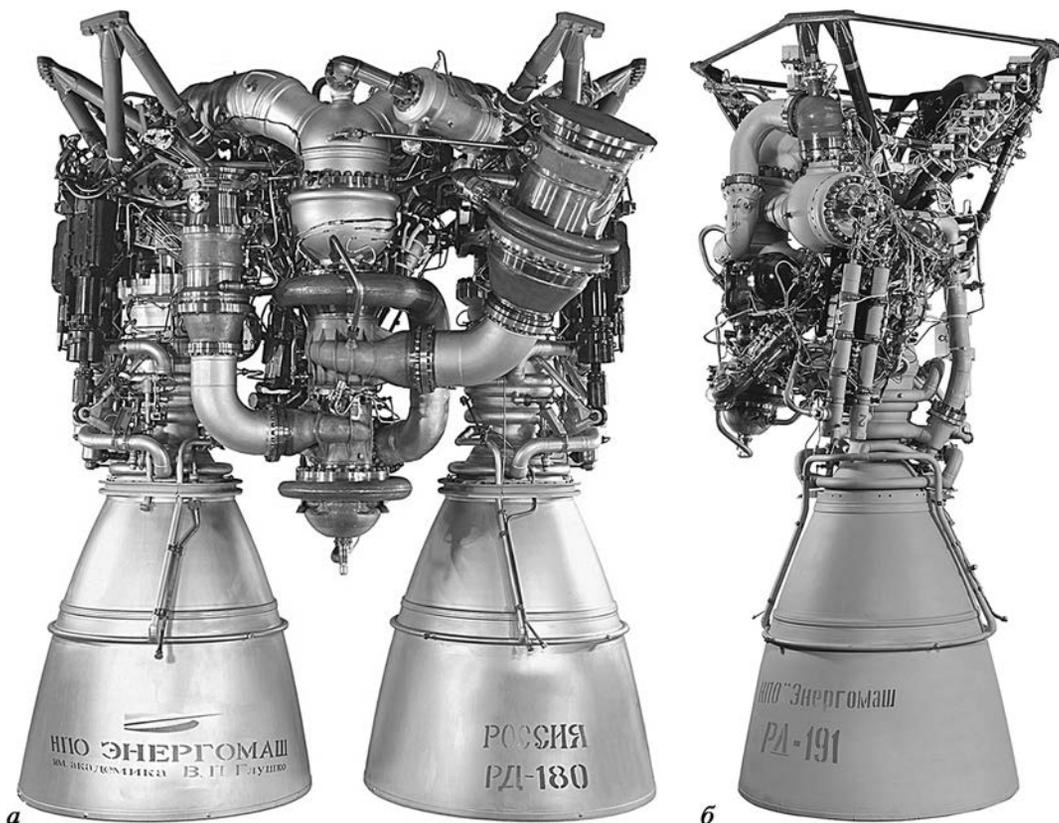
дрома Байконур, а затем пришел черед программы “Морской старт”.

Первый пуск РН “Зенит-3SL” с двигателем РД-171 по программе “Морской старт” состоялся 28 марта 1998 г. Работы по модернизации двигателя РД-171 проведены в 2003–2004 гг. Сертификация двигателя РД-171М завершена 5 июля 2004 г. Первый пуск РН “Зенит-3SL” с РД-171М выполнен в феврале 2006 г.

Серийное производство двигателя РД-171М осуществлялось в НПО “Энергомаш” им. академика В.П. Глушко в Химках. В 2014 г. производство РН “Зенит” в Производственном объединении “Южмаш” (Днепропетровск) прекращено, соответственно приостановлено и производство РД-171М.

Но нам представляется, что этот двигатель имеет безграничную перспективу и в текущем тысячелетии. Существуют проекты российской сверхтяжелой ракеты-носителя, рассчитанной на вывод груза массой 135 т на низкую околоземную орбиту, на которой могут быть установлены двигатели РД-170/171. Мы надеемся, что придет время и эти проекты будут реализованы, а наши двигатели будут снова востребованы.

На базе двигателей РД-170 и РД-171 в НПО “Энергомаш” создано семейство кислородно-керосиновых двигателей: двухкамерный РД-180 (тяга в пустоте – 423 тс, удельный импульс в вакууме – 337 с, время работы – 270 с) и однокамерные РД-191, РД-181 (тяга в пустоте – 212,6 тс, удельный импульс в вакууме – 337 с, время работы – 270 с). Двигатели РД-180 уже более 60 раз успешно работали в составе американских РН семейства “Атлас”, двигатели РД-191 дебютировали в двух пусках РН “Ангара 1.2” и “Ангара 5” в 2014 г. (Земля и Вселенная, 2014, № 6, с. 106–107; 2015, № 3, с. 86–87); первые два двигателя РД-181 поставлены в США для РН “Антарес”. В этом семействе существуют и проекты новых модификаций: в частности, РД-175 для перспектив-



Семейство кислородно-керосиновых двигателей, созданных на основе РД-170: а) РД-180 для американской РН "Атлас-5", б) РД-191 для российских ракет-носителей "Ангара".

ных сверхтяжелых ракет-носителей, РД-195 – для многоразовых носителей, РД-193 – для модификаций РН "Союз".

НПО "Энергомаш" и сегодня остается мировым лидером в области создания и изготовления мощных жидкостных ракетных двигателей. Предприятие поддерживает и укрепляет традиции, заложенные основателем и руководителем предприятия академиком Валентином Петровичем Глушко – основопо-

ложником отечественного жидкостного ракетного двигателестроения и его последующими приемниками на должности главного конструктора предприятия членом-корреспондентом РАН Виталием Петровичем Радовским, академиком РАН Борисом Ивановичем Каторгиным и доктором технических наук Владимиром Константиновичем Чвановым.

Открыта девятая планета Солнечной системы

Американские астрономы Калифорнийского технологического института Константин Батыгин и Майк Браун объявили об открытии Планеты-Х – девятой планеты, расположенной на окраинах Солнечной системы далеко за орбитой Нептуна (см. стр. 2 обложки). Планета-Х найдена путем математического анализа гравитационных возмущений, которые испытывают множество ледяных тел из пояса Койпера – огромной области пространства за орбитой Плутона (Земля и Вселенная, 1997, № 4; 2002, № 2). К. Батыгин и М. Браун обосновали свою гипотезу присутствием шести небесных объектов в поясе Койпера – Седна, 2004 VN112, 2007 TG422, 2010 GB174, 2012 VP113, 2013 RF98 – на орбиты которых Планета-Х оказывает большое гравитационное влияние. Существует лишь 0,007% шанса, что это только совпадение орбит данных тел. Расчеты показали, что Планета-Х вращается вокруг Солнца на расстоянии в афелии – 595,3 а.е. и в перигелии – 200 а.е.; масса ее в 10 раз больше массы Земли, она в 5 тыс. раз тяжелее Плутона. Статья ученых “Доказательства существования далекой планеты-гиганта в Солнечной системе” опубликована в журнале “Astronomical Journal”, позднее – в “Science” и “Nature”.

В ней авторы находят объяснение множеству ранее обнаруженных особенностей в движении объектов в поясе Койпера. “Хотя изначально мы скептически относились к тому, что эта планета может существовать, но, по мере того, как продолжали исследовать ее орбиту, мы становились все более уверены в том, что она там действительно есть”, – сказал К. Батыгин.

Предполагается, что планета-гигант была “выбита” из протопланетного диска в период формирования Солнечной системы, то есть примерно 4,5 млрд лет назад. В то время из протопланетного диска сформировались четыре ядра протопланет, впоследствии они образовали Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Возможно, пятая протопланета, находящаяся в плотном газовом диске, подошла слишком близко к Юпитеру или Сатурну, замедлила движение и могла быть выброшена на высокоэллиптическую орбиту с большим эксцентриситетом (Земля и Вселенная, 1973, № 2, с. 37; 1973, № 4, с. 47; 1991, № 1, с. 22; 2004, № 4, с. 44; 2005, № 5, с. 14).

Подтвердить существование Планеты-Х невозможно – современные телескопы не могут ее наблюдать из-за ее большой удаленности. Поиски планеты начались в 2014 г., когда бывший студент М. Брауна опубликовал статью, утверждавшую, что из 13 наиболее удаленных объектов в поясе Койпера имеют “странности” в своем движении, в частности: орбиты всех шести тел наклонены под углом 30° к плоскости эклипти-

ки. Тогда и была выдвинута версия о существовании в этом районе небольшой планеты. “Вообще-то такое не могло быть случайным. Так что мы стали искать то, что сформировало эти орбиты”, – пояснил М. Браун. Почти случайно астрономы обратили внимание на то, что если в расчеты поместить тяжелую планету, чей перигелий отстоит от перигелия этих шести тел на 180°, то ее возмущения объясняет наблюдаемое движение данных тел. На каждые четыре оборота девятой планеты приходится девять оборотов перечисленных объектов, и они никогда не сталкиваются. Оказалось, что транснептуновые объекты 2012 VP113 и Седна (90377 Sedna), открытый в 2003 г. американскими астрономами М. Брауном, Ч. Трухильо и Д. Рабиновичем, и еще как минимум четыре таких тела имеют одинаковую плоскость вращения вокруг Солнца и действительно слегка отклоняют свои орбиты там, где это было предсказано. По словам ученых, если сейчас Планета-Х близка к своему перигелию, то поискать ее можно в выполненных ранее обзорах неба самыми большими 10-ми телескопами Обсерватории Кека.

Среди ученых нет единого мнения по поводу открытия Планеты-Х. Пока ее существование остается гипотезой.

Пресс-релиз
Калифорнийского
технологического института,
20 января 2016 г.

Астролябия Петра Первого

С.Ю. МАСЛИКОВ

директор детско-юношеского
центра “Планетарий”, Новосибирск

Журнал “Земля и Вселенная” уже затрагивал тему астролябий (в переводе с греческого “берущая звезды”), когда отмечалось 1000-летие со дня рож-

дения ал-Бируни (Земля и Вселенная, 1973, № 5). Статья называлась “Астролябии Бируни”, но фактически в ней рассказывалось о трактатах Бируни, посвященных астролябиям. Никакого инструмента, имеющего отношение к великому ученому Средней Азии, к сожалению, не сохранилось, и даже неизвестно, какой астролябией он пользовался.

Историки науки уже давно пытаются ответить на вопрос: когда и кто изготовил самую первую астролябию? Изобрести ее могли великие астрономы Птолемеи (II в. н.э.), Гиппарх (II в. до н.э.) или даже Евдокс (IV в. до н.э.). Но это только предположения более поздних авторов. Первое письменное подтверждение об использовании астролябии на рубеже IV–V вв. н.э. связано с именем греческого математика, философа и астронома Теона Александрийского (ок. 335–405 г. н.э.), отца знаменитой Гипатии (Земля и Вселенная, 1970, № 1). Однако ни один инструмент тех далеких времен до нас не дошел.

Наиболее древняя сохранившаяся до наших дней астролябия изготовлена в Багдаде в конце VIII в. или в первой четверти IX в. На протяжении более тысячи лет этот небольшой инструмент диаметром 8,5 см переходил из рук в руки, прежде чем оказался в Багдадском археологическом музее. По-



*Арабская астролябия 1090 г.
Из собрания Национального музея США.*



Восточная астрольбия-планисфера. Изготовлена в 1587–1588 г. в Лахоре (Индия, ныне Пакистан). Государственный музей Востока, Москва.

сле военного вторжения США в Ирак в 2003 г. музей был разграблен, и судьба этой астрольбии неизвестна.

Чем же был этот инструмент для людей, живших сотни лет назад? В первую очередь, астрольбия выполняла роль часов. Других переносных устройств для измерения времени вплоть до XVII в. не существовало. Правда, применение астрольбии зависело от состояния атмосферы: необходимо было наблюдать звезды ночью или Солнце в дневное время. Другая важная функция астрольбии – вычисление положения светил на небесной сфере, их кульминаций, моментов восхода и захода. С ее помощью измерялись углы при решении геодезических задач. Например, используя астрольбию, определяли высоту башни или горы, глубину колодца, ширину реки... На астрольбии имелись не только измерительное устройство –

алидада и градуированная круговая шкала, но и вспомогательные вычислительные средства – “квадрат теней” (шкалы тангенсов и котангенсов). На оборотной стороне инструмента часто наносились вспомогательные шкалы – например, для определения максимальной высоты Солнца на разных широтах, перечень “лунных стоянок”. Дополнением к нему в странах ислама мог служить “зидж” – набор астрономических таблиц, например “Канон Мас’уда” ал-Бируни 1036 г. или Гургановы таблицы Улугбека 1437 г.

Астрольбия – это и вычислительное устройство широкого назначения: для пересчета координат между тремя системами (эклиптической, экваториальной, горизонтальной); для определения моментов астрономических явлений (восходов и заходов Солнца и основных звезд, нанесенных на “пауке” – круглой фигурной решетке); для определения продолжительности дня, моментов наступления сумерек и даже времени для совершения мусульманских молитв. Кроме того, можно было узнать азимут направления на Мекку (“киблу”), получить значения тригонометрических функций – синусов и косинусов. Были у астрольбии и другие функции. В комплекте имелся справочник координат городов.

Теоретической основой астрольбии считается стереографическая (или планисферная) проекция небесной сферы на плоскость. Еще древнегреческий математик Аполлоний Пергский во II в. до н.э. подметил ряд ее уникальных свойств, главное из которых заключается в том, что любой круг на сфере остается кругом на плоскости. Древние греки называли процесс создания плоской карты звездного неба “разворачиванием сферы”.

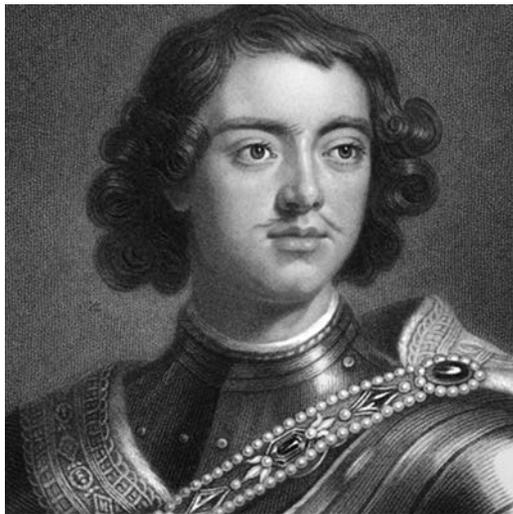
Огромное количество астрольбий, изготовленных в разных уголках средневекового мира, иногда внешне мало похожих одна на другую, работали по одному принципу. В них воплощалось устройство докоперниканского мира – неподвижная Земля, изображенная с

помощью координатных линий на тимпане (круглом диске), зафиксированном в корпусе, и вращающееся небо – “паук” со звездами, расположенный поверх тимпана.

Круг пользователей этого универсального инструмента был обширен – студенты средневековых университетов и медресе; ученые, состоявшие при дворе высокопоставленных особ и военачальников; путешественники, купцы, астрологи, врачи... Всех их смело можно назвать любителями астрономии поневоле. Они должны были не только изучить приемы работы с астролябией, но и уметь находить на небе основные звезды, сопоставляя их со звездами на решетке инструмента, ориентироваться по сторонам горизонта, понимать законы движения небесных светил... Если провести параллели с современностью, то астролябия, в зависимости от ситуации, могла служить часами, дальномером, теодолитом, компьютером, GPS-приемником, справочником координат, а также наглядным пособием по устройству небесной сферы. Не много ли для латунного диска?

Давайте посмотрим, как был устроен этот инструмент. Примером классической (или планисферной) астролябии может служить та, что хранится в коллекции Зимнего дворца Петра Первого, входящего в структуру Государственного Эрмитажа в Санкт-Петербурге. Эту астролябию начала XVII в. можно назвать типичным “представителем” европейских инструментов.

Астролябия Петра Первого изготовлена из латунных пластин и состоит из восьми деталей. Основная часть – корпус диаметром 257 мм с небольшим ушком для подвешивания инструмента. Ушко настолько маленькое, что трудно назвать его общепринятым словом “трон”. На внешний лимб корпуса нанесена шкала, оцифрованная в градусах и часах. Внутри корпуса двумя штифтами зафиксирован тимпан. В зависимости от широты места (в данном случае 54° или 55°) тимпан поворачивался вверх той или другой стороной. Поверх тим-



*Юный Петр Первый.
Художник Готфрид Кнеллер.*

пана наложена свободно вращающаяся решетка, или “паук”, представляющая собой проекцию звездного неба. На “пауке” обозначен также зодиакальный круг со шкалой, показывающей годовое движения Солнца по эклиптике. Поверх “паука” вращается линейка, облегчающая действия с астролябией и часто выполняющая функцию часовой стрелки. На оборотной стороне корпуса находится алидада (вращающаяся линейка), на концах которой крепятся визирные приспособления для угловых измерений. У астролябии Петра I визирные приспособления не сохранились, видны только места их крепления. Все перечисленные узлы – линейка, “паук”, тимпан, корпус и алидада – скрепляются болтом, гайкой и втулкой. Изготовлены детали астролябии из латунных листов толщиной 1,5 мм, “паук” – 0,9 мм. Обод корпуса состоит из трех пластин, соединенных между собой.

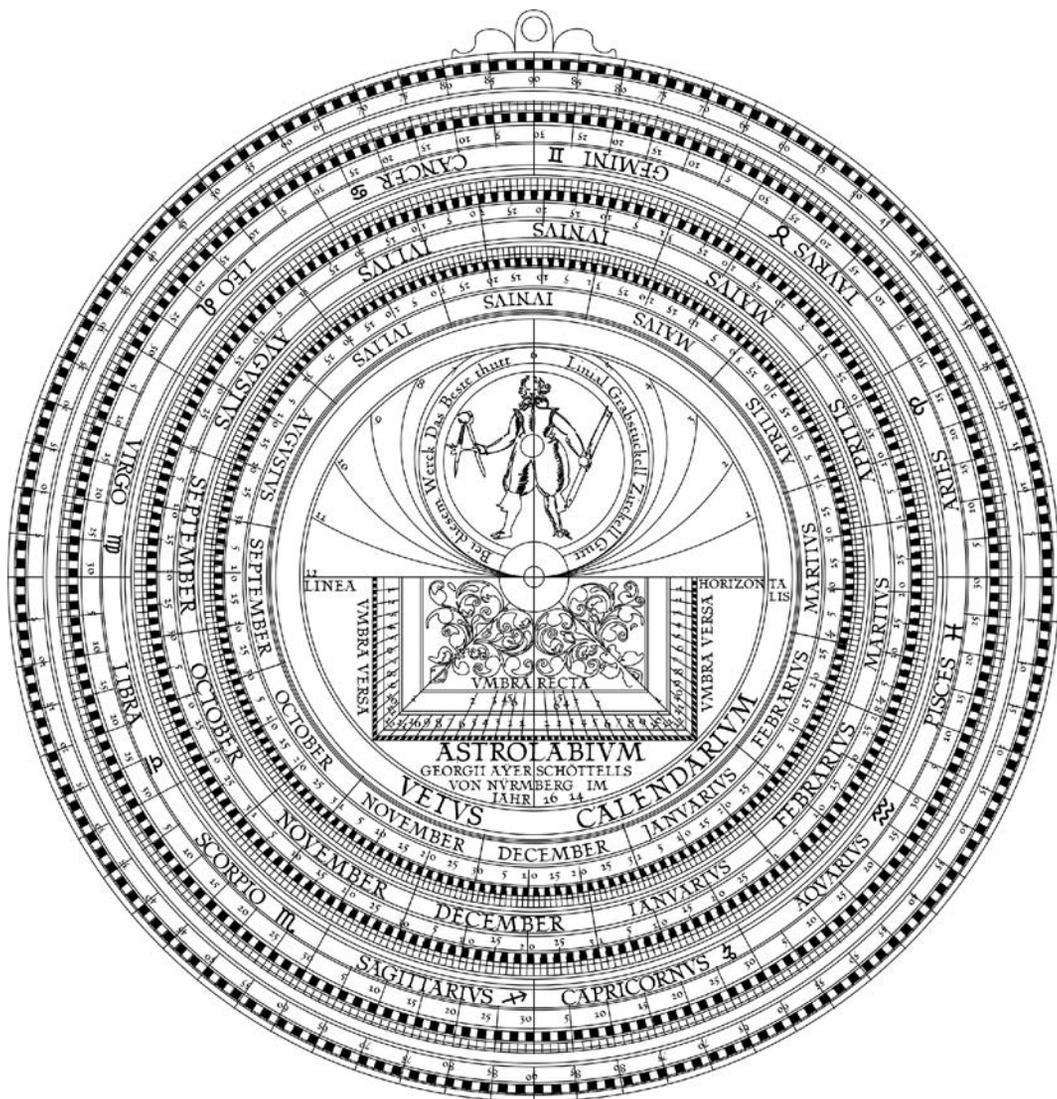
Историческая ценность этой астролябии – в том, что с ее помощью обучался юный царь Петр. Об этом рассказывает российский историк Н.И. Костомаров: “Будучи четырнадцатилет от роду [в 1686 г.], он услышал от



Лицевая сторона астролябии Петра Первого.
Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург. Фото автора.

князя Якова Долгорукого, что у последнего был такой инструмент, "которым можно брать дистанции или расстояния, не доходя до того места". Молодой царь пожелал видеть инструмент, но Долгорукий ответил, что он украден. Царь поручил купить себе такой инструмент во Франции, куда Долгорукий ехал послом. В 1688 году Долгорукий привез из Франции астролябию и гото-

вальню с математическими инструментами. Вокруг царя не было ни одного человека, кто бы имел понятие, что это такое. Царь обратился к немцу доктору, но и тот не умел владеть инструментами, а отыскал голландца Франца Тиммермана, который объяснил царю значение привезенных вещей. Царь приблизил к себе Тиммермана и начал



Оборотная сторона астрольбии Петра Первого (без алидады и оси).
Рисунок автора (прорисовка).

учиться у него арифметике, геометрии и фортификации”.

С помощью Ф. Тиммермана Петр в 16 лет научился определять широту местности по высоте Солнца в полдень, о чем сохранилась его собственноручная запись: “Когда хочешь выбрать (т.е. когда хочешь найти высоту полюса) и когда будешь делать и сколько градусов ... Солнце покажет

на астрольбиум, записать, потом взять того дня деклинацию (т.е. склонение Солнца) и вынять оною ис того числа, что Солнце покажет, супстракциею (т.е. вычитанием), и достальное, которое осталось за выемкою, вынять из 90, и что останет по тому месту, сколько и градусоф широты. Деклинацию зимой убавить и летом прибавить”. Фактически здесь описана формула для

вычисления широты: $\varphi = 90^\circ - (h - \delta)$, где h – высота светила в верхней кульминации, δ – склонение.

Здесь речь идет именно о той астролябии, которая находится в музее, что подтверждается несколькими фактами. Во-первых, тимпан астролябии предназначен для широт 54° и 55° . Мы знаем, что юный Петр в 1688 г., когда получил инструмент, жил в селе Преображенском, немного севернее параллели 55° . Князю В.В. Долгорукому, видимо, пришлось поискать этот инструмент, ведь астролябии для таких широт были редкостью в Европе. И Париж, и даже Лондон лежат южнее Москвы. Предыдущий его владелец и заказчик мог жить на севере Германии, Польши или в Дании. Во-вторых, история этого инструмента в общих чертах известна. После смерти Петра в 1725 г. вместе с другими научными приборами астролябия попала в Кунсткамеру, затем несколько раз меняла свое местонахождение, пока не оказалась в Зимнем дворце Петра I. В коллекциях российских музеев – всего три астролябии европейского происхождения. История одной из них хорошо изучена – это инструмент фламандского мастера Арсениуса (ныне хранится в Кунсткамере). Вторая, “итальянская” астролябия обнаружена совсем недавно в Центральном военно-морском музее Санкт-Петербурга. Третья – героиня нашего рассказа.

Еще один нюанс. На лицевой стороне астролябии Петра Первого рядом с временными шкалами от руки нацарапаны пояснительные надписи: MINVTA и HORA (минута и час). Астролябии были такой ценностью и так дорого стоили, что только царская рука могла позволить себе такой “вандализм”.

Рассмотрим, какую информацию несет наша астролябия. На ее оборотной стороне мастер выгравировал надпись: ASTROLABIVM GEORGII AÏERSCHOTTELLS VON NÛRMBERG IM IANR 1614 (Астролябия Георга Айершоттеля из Нюрнберга, год 1614). Об этом мастере мало что известно. Он

был родом из Гrefенберга (севернее Нюрнберга) и в 1606 г. работал подмастерьем у знаменитого нюрнбергского ювелира Фридриха Хиллебранда. Позже о Георге Айершоттеле говорится уже как о самостоятельном ювелире. Астролябия, изготовленная в 1614 г., – единственный известный инструмент мастера. Любопытный рисунок размещен на его оборотной стороне в круге часовых линий. Вокруг фигуры мастера рифмованное двустишие: “Bei diesem Werck Das Beste thutt / Linal Grabstuckell Zirckell Gutt”, что означает в вольном переводе – “высокое качество обеспечивается использованием линейки, пера и делительного циркуля”. Это выглядит как своеобразный сертификат качества изделия. На лицевой и оборотной сторонах астролябии мы видим обилие круговых шкал. На лицевой стороне – часовая и градусные шкалы, причем самые мелкие деления составляют $\frac{1}{3}$ градуса – высокий стандарт нюрнбергской школы! На оборотной стороне – градусная шкала для измерения углов, зодиакальная и две календарных шкалы. Наличие двух календарных шкал объясняется тем, что Пруссия перешла на новый стиль летоисчисления незадолго до изготовления астролябии, в 1610 г., но Нюрнберг относился к протестантской унии, где новый календарь был принят только в 1700 г. Так что в 1614 г., когда была изготовлена астролябия, на территории Германии действовали два календаря. Разница между ними составляла 10 сут. Внутренняя календарная шкала расположена так, что 0° Овна (точка весеннего равноденствия) соответствует $10\frac{1}{3}$ марта – это старый юлианский стиль. На второй шкале нулевой отметке соответствует $20\frac{1}{3}$ марта – новый григорианский стиль. В феврале $28\frac{1}{4}$ суток – так решается проблема високосного года. “Квадрат теней” на оборотной стороне использовался при измерении вертикальных углов. Астролябия приводилась в отвесное положение, то есть подвешивалась за кольцо. Алидада направлялась на нужный

объект, которым могла быть, например вершина башни. Через два диоптра на краях алидады нужно было наблюдать цель и сделать отсчет по шкале высот на лимбе. Нижний край алидады пересекал “квадрат теней”, по нему можно было сразу взять тангенс измеренного угла. Затем, измерив линейное расстояние до башни, можно было быстро определить ее высоту. Более сложные методы позволяли сделать то же самое для объекта, к которому невозможно подойти вплотную.

В верхней части, вокруг фигуры мастера, прочерчены круговые линии неравных, или сезонных, часов. Это старая система счета времени, которая уже отмерла к XVII в., но по традиции шкала часов еще сохранялась на инструментах. В этой системе часы отсчитывались от восхода Солнца, дневное время делилось на 12 дневных часов, а ночное – на 12 ночных часов. Зимой дневные часы были короткими, ночные – длинными.

Посмотрим на тимпан, расположенный в углублении корпуса, под “пауком”. Всевозможные линии образуют такую замысловатую структуру, что с первого взгляда непонятно, как ею вообще можно было пользоваться на практике, тем более что смотреть на линии нужно было сквозь прорези “паука”. Тимпан представлял собой местную (горизонтальную) систему координат. Линии равных высот (альмукуантараты) проведены вокруг точки зенита, а линии равных азимутов сходятся к зениту. И те, и другие проведены через каждые 5° . На 18° ниже горизонта идет сумеречная линия, по которой определялось время окончания астрономических сумерек и наступления ночи – весьма полезная функция для любителей астрономии. Ниже горизонта проведены также линии равных часов. Эта система времени более понятна нам: сутки делились на 24 равных часа, но точкой отсчета был либо восход, либо заход Солнца. Соответственно, часы назывались итальянскими, или вавилонскими. Еще один набор линий на тимпане – астро-

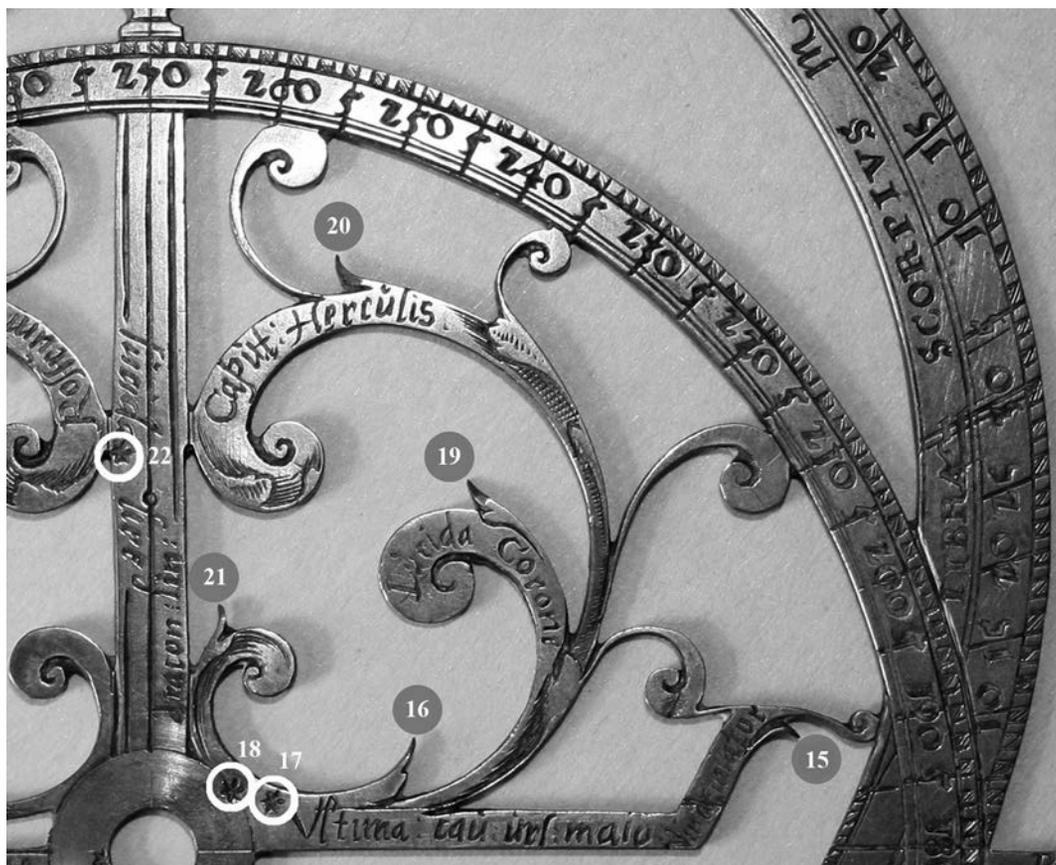


Фрагмент художественного оформления астролябии Петра Первого.

логические “дома”. Первый “дом” начинался от точки восхода и назывался “домом жизни”, второй – “богатства” и т.д.

Для астрономов наиболее интересный элемент астролябии – “паук”. Среди завитков диковинных растений видны заостренные “шпы” указателей звезд, снабженных латинскими подписями. Ориентироваться на таком звездном небе непросто еще и потому, что мы видим небесную сферу словно извне. Представьте себе прозрачный зонтик, на внутренней поверхности которого нарисована звездная карта. Посмотрите на зонтик снаружи, и вы поймете, как сильно отличается такое небо от привычного нам. “Паук” имеет странные пустые “окна”, свободные и от завитков, и от звезд, хотя обычно все его пространство заполнялось. Этому можно найти только одно рациональное объяснение: мастер был неопытен и испортил некоторые фрагменты. Лучшим выходом из ситуации он посчитал удаление “брака”.

Настольным пособием мастеру служила изданная в Нюрнберге годом ранее, в 1613 г., книга Франца Риттера с



Фрагмент решетки (“паука”) астрольбии Петра Первого. Указаны номера звезд на астрольбии, перечисленные в приведенной ниже таблице.

подробным описанием процесса изготовления астрольбии. В книге наряду с рисунками ее отдельных элементов приведен список 52 звезд. Такое количество звезд – результат творческого пополнения звездного списка в XV–XVI вв. Ранее, на протяжении долгого времени мастерам хватало от 17 до 30 самых ярких, или характерно расположенных на небе звезд. Этого было достаточно, чтобы даже при частично облачном небе найти пару звезд и измерить их высоту. На “пауке” нашей астрольбии обнаружены 30 звезд Риттера, в том числе некоторые экзотические, которые не встречались у других мастеров (например, ε Per и α Aql). В то

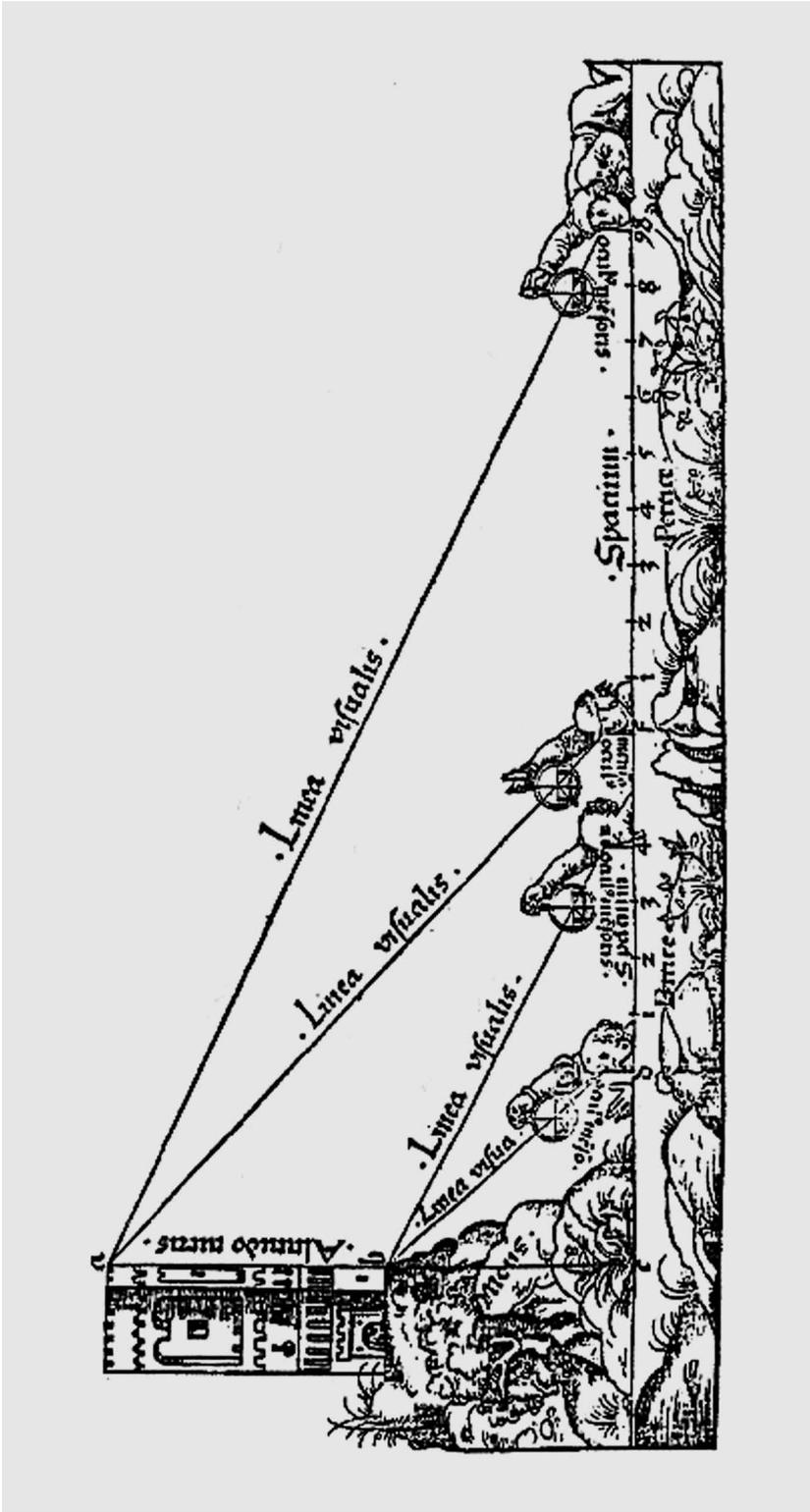
же время отсутствуют яркие звезды, “обязательные к применению” – Бетельгейзе, Альдебаран, Процион, Спика, Антарес. Все они должны находиться на месте “окон” – отсутствующих сегментов “паука”.

Напомню, что книга Франца Риттера была издана в 1613 г. В это время знаменитый астроном Тихо Браге уже составил звездный каталог нового поколения, который после его смерти в 1601 г. достался Иоганну Кеплеру. Но Риттеру этот каталог был еще не известен. Он использовал каталог Клавдия Птолемея, составленный на полторы тысячи лет раньше! Риттер просто увеличил долготы звезд на $21^{\circ}37'$ для

ЗВЕЗДЫ НА АСТРОЛЯБИИ ПЕТРА ПЕРВОГО

№	Надпись на инструменте	Перевод	Современное обозначение
1	Pect ₆ [us] cassiope[a]	Грудь Кассиопеи	α Cas*
2	[Stella polaris]	Полярная	α UMi*
3	Venter Ceti	Брюхо кита	ζ Cet
4	[Caput] algol	[Голова] чудовища	β Per
5	Dex[tru] latūs Persej	Правый бок Персея	α Per
6	Si[nistrum]: Ge[nu]: persej	Левое колено Персея	ϵ Per
7	Sin[i]st[er] Pes Orio[nis]:	Левая нога Ориона	β Ori
8	Media Cingūli Ori[onis]	Середина пояса Ориона	ϵ Ori
9	D[extrum]: G[enu]: Orionis	Правое колено Ориона	κ Ori
10	Canis Ma[jor] Siriūs	Большой Пес	α CMa
11	[Cor Leonis Regulus]	Корона Льва	α Leo*
12	Humerus Vrse Maioris	Плечо Б. Медведицы	α UMa
13	Tergu[m Leonis]: δ	Спина Льва	δ Leo
14	Rostrūm Corvi	Клюв ворона	α Crv
15	Vindemiator	Винодельница	ϵ Vir*
16	Ultima: cau[dae]: urs[a]: maio[ris]	Крайняя в хвосте Б. Медведицы	η UMa
17	[Lucida Cynosure in quadr. Austr.]	Южная в квадрате Полярной	β UMi*
18	[Lucida Cynosure in quadr. Borea]	Северная в квадрате Полярной	γ UMi*
19	Lūcida Corone	Звезда в короне	α CrB
20	Capūt: Hercūlis	Голова Геркулеса	α Her
21	Dracon[is]: lin[gua]:	Язык Дракона	β Dra
22	Lucida lire	Звезда в Лире	α Lir*
23	Rostkūm galline	Клюв курицы	β Cyg
24	Aquila	Орел	α Aql
25	[Caput Antinoj]	Голова Антиноя	β Aql*
26	Caūda delph[inj]	Хвост дельфина	ϵ Del
27	Caūda cūgni	Хвост лебедя	α Cyg
28	Arctur[us]	Арктур	α Boo
29	Hume[rus] sinister \approx	Левое плечо Водолея	β Aqr
30	Dex[ter] hūmer[us], Peg[asj].	Правое плечо Пегаса	β Peg

Примечание. В квадратные скобки заключены пропущенные мастером фрагменты надписей. Восемь звезд, отмеченных звездочкой, не имеют указателей-шипов; на “пауке” астролябии они отмечены такой же звездочкой.



Измерение высоты недоступного объекта. Рисунок из трактата немецкого астронома и математика Штёффлера. XVI в.

того, чтобы учесть прецессию. Это примерно на 1° больше, чем необходимо. Впрочем, от астрлябии никто и не ждал точности выше 1° .

Одна из звезд, Арктур, нанесена неточно. Она находится совершенно в другой части неба! Ошибка закралась в список звезд Риттера: указано прямое восхождение звезды – 309° вместо правильных 209° . Мастер не смог распознать ошибку!

Способов применения астрлябии было множество. Как мы уже говорили, это был многофункциональный инструмент. Для примера опишем порядок определения времени. С помощью алидады измеряем высоту какой-либо звезды из числа тех, что имеются на астрлябии, находим ее на “пауке”. На тимпане определяем нужный альмукантарат (круг равных высот), соответствующий измеренной высоте. Вращаем “паука”, пока не совместим указатель звезды с нужным кругом высот. При этом нужно выбрать одно решение из двух возможных – звезда к востоку от меридиана (на инструменте слева) или к западу (справа). По шкалам на обороте астрлябии находим положение Солнца в зодиаке на дату наблюдения, используя нужную календарную шкалу (по новому или старому стилю). Находим соответствующую точку эклиптики на “пауке” – это положение Солнца. Таким образом, мы восстановили картину звездного неба на момент наблюдения. Теперь, воспользовавшись часовыми линиями на тимпане, можно увидеть, в какой часовой сектор попало Солнце и узнать соответствующее время в системе равных часов (от восхода или захода Солнца). Еще один способ – повернуть линейку так, чтобы ее край проходил через положение Солнца. Время можно отсчитать по часовой шкале на лимбе астрлябии. Это будет истинное солнечное время, которое отсчитывается от меридиана: то есть как принято сейчас – от полуночи или полудня. Задача решена. Сложно? Конечно, сложнее, чем просто взглянуть на часы. Но как раз

часов-то у людей того времени и не было. Ну а при определенном навыке проделывать все эти действия можно было чисто механически и очень быстро.

На более привычной подвижной звездной карте с прозрачным накладным кругом можно решать некоторые астрономические задачи почти так же, как с помощью астрлябии. Например, определять моменты восхода или захода ярких звезд и Солнца, моменты прохождения их через меридиан. Точность получается гораздо ниже, чем у астрлябии. Повысить точность расчетов в докомпьютерную эпоху пытались с помощью специальных ухищрений. Так, любители старшего поколения наверняка помнят прилагаемую к справочнику любителя астрономии планисферу В.В. Каврайского.

Где же можно увидеть настоящую астрлябию? В России таких мест немного. В Москве – только в Музее Востока, в Санкт-Петербурге – в Кунсткамере и Эрмитаже. В XVIII–XIX вв., когда век классических астрлябий закончился, так стали называть сравнительно простые геодезические инструменты. Внешне они были похожи на планисферные астрлябии, но имели только одну функцию – измерение горизонтальных углов. Такие инструменты хранятся в музеях нескольких российских городов: например, Москвы (МИИГАиК), Красноярска, Томска, Нижнего Новгорода.

Иногда мы узнаем про старинные инструменты в тот момент, когда они выставляются на аукционах Сотбис или Кристис. Так, астрлябия 1505 г. недавно была продана за 962 500 фунтов стерлингов. На мой взгляд, такие шедевры прошлого имеют гораздо большую ценность и должны принадлежать государственным музеям.

Автор благодарит сотрудников Государственного Эрмитажа М.М. Дандамаеву и Г.Б. Ястребинского за предоставленную возможность изучить астрлябию Петра Первого.

Сайт автора, посвященный астрлябиям:
www.astrolabes.ru

Исследователь гравитационных волн

3 декабря 2015 г. с помощью европейской РН “Вега” с космодрома Куру во Французской Гвиане запущен космический аппарат ESA “LISA Pathfinder” (Laser Interferometer Space Antenna Pathfinder – исследователь космической антенны лазерного интерферометра) – прототип системы космических обсерваторий для поиска гравитационных волн во Вселенной. Аппарат ранее назывался “SMART-2”. Он предназначен для тестирования технологии, с помощью которой могут быть обнаружены гравитационные волны, предсказанные Эйнштейном в Общей теории относительности. 22 января 2016 г. “LISA Pathfinder” вышел на рабочую орбиту в точку Лангранжа L1 – в 1,5 млн км от Земли. В этой области пространства действует только гравитация Земли и Солнца. После калибровки интерферометра (с марта 2016 г.) в течение восьми месяцев будет проводиться эксперимент по измерению отклонений движения КА от геодезических линий.

Космический аппарат “LISA Pathfinder” создан компанией “Airbus Defence and Space” (Вели-

кобритания), его приборы – немецким филиалом этой компании, институтами и организациями Испании, Италии, Нидерландов, Франции и Швейцарии. Коллоидный двигатель сконструирован американской компанией “Busek Space Propulsion”. Диаметр аппарата – 2,9 м, высота – 2,1 м, стартовая масса – 1910 кг, масса на рабочей орбите – 810 кг (из них масса научной аппаратуры – 125 кг). На его борту размещены 36,7-см лазерный интерферометр, инерционные датчики и две бесконтактные системы управления. Внутри аппарата в условиях почти идеального свободного падения находятся два одинаковых незакрепленных кубических тела из золота и платины размером 4,6 см и весом около 2 кг, реагирующие только на гравитацию. Каждое тело парит в отдельной вакуумной камере, отделенной одна от другой пространством в 38 см. По движению тел с помощью лазерного интерферометра будут определять воздействие на них гравитации. Работу детектора объяснил научный руководитель проекта “LISA Pathfinder” Стефано Витале: *“Если поместить две массы в состояние свободного падения без каких-либо пертурбаций, то при прохождении гравитационной волны вы получите эффект их ускорения, вибрации по отношению друг к другу. На протяжении ряда лет мы проводили много экспериментов в разных лабораториях, но только эта лаборатория, которую мы*

размещаем в межпланетном пространстве и которой управляем дистанционно с Земли, позволит нам достичь точности, необходимой для демонстрации присутствия гравитационных волн и возможности наблюдения за ними”.

Нынешний эксперимент – предшественник большого проекта по созданию космической астрономической системы для поиска гравитационных волн, инициированного в 2001 г. совместными усилиями NASA и ESA. Для обнаружения предсказанных Эйнштейном волн планируется запустить в 2034 г. усовершенствованный лазерный интерферометр – космическую обсерваторию “eLISA” (Evolved Laser Interferometer Space Antenna – антенна лазерного интерферометра, развернутая в космосе). Целью проекта является не только детектирование гравитационных волн, но и измерение их поляризации и определение направления на их источник. На основе проведенных измерений предполагается построить карты неба с угловым разрешением порядка нескольких градусов путем исследования низкочастотного гравитационного излучения. В случае успешного проведения эксперимента в течение нескольких лет разрешение для источников высокочастотных гравитационных волн (с периодами менее 100 с) может быть улучшено до нескольких угловых минут.

Пресс-релизы ESA,
3 декабря 2015 г.,
22 января 2016 г.

Солнечно-земные связи: новое в изучении и объяснении

Г.Я. СМОЛЬКОВ,
доктор технических наук
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
Ю.В. БАРКИН,
доктор физико-математических наук
ГАИШ МГУ

Солнечно-земные связи определяют состояние и изменчивость природной среды обитания и деятельности человечества. Изменчивость солнечно-земных связей обуславливается воздействием исходных (внешних) и производных (наземных) факторов. К исходным до сих пор традиционно относили солнечную активность и потоки галактического космического излучения, но по Киотскому протоколу основным был назван

антропогенный фактор. Производными считаются наземные отклики на внешние факторы и последствия антропогенного воздействия человека на окружающую среду. До сих пор не объяснены механизмы, энергетика, цикличность, полярная асимметрия, инверсия, синхронность событий и процессов, нестабильность суточного вращения Земли, скачкообразные и другие особенности проявлений солнечно-зем-

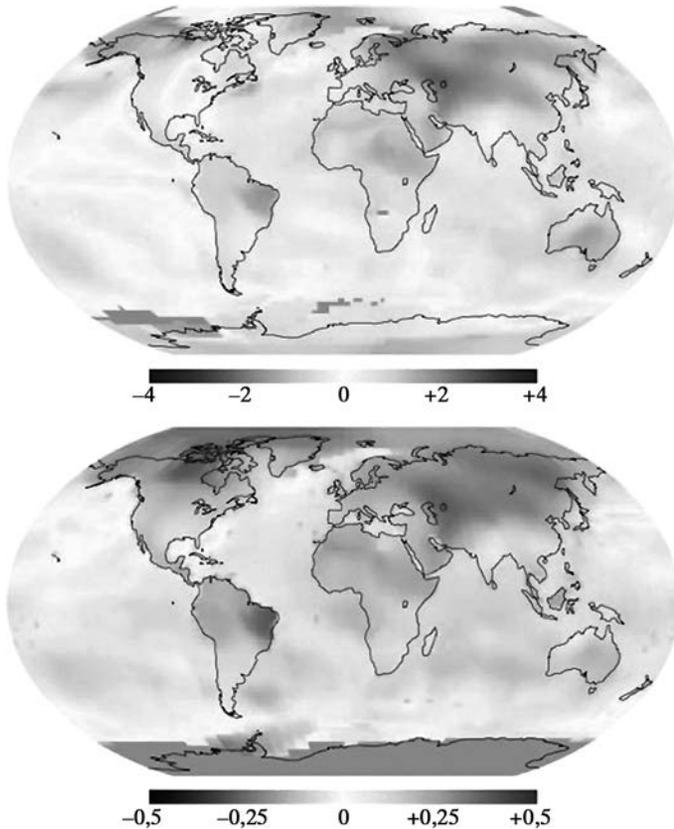
ных связей. Анализ их изучения показал, что для получения ответов на открытые до сих пор вопросы необходимо учитывать еще эндогенную активность Земли, обусловленную гравитационным воздействием Луны, Солнца и других планет в процессе барицентрического движения Солнечной системы, и даже последствия внешних воздействий на Солнечную систему в целом – ближнего и дальнего Космоса.

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

Актуальность изучения и объяснения природы солнечно-земных связей состоит в необходимости их учета при использовании многих со-

временных технологий, в предупреждении и минимизации возможных ущербов. Они проявляются во всех внутренних (твердом и жидком ядрах, пластичной и твердой мантиях, литосфере, тропосфере) и внешних

слоях Земли – околоземном космосе, верхней атмосфере и магнитосфере. Поэтому солнечно-земные связи по своей сути гораздо шире понятия о космической погоде, воздействующей на наземные и орбиталь-



Карта широтно-долготного распределения среднегодовой температуры суши и океанов в 2013 г. (верхнее) и ее среднедекадное распределение в период с 1950 по 2013 г. (нижнее). По данным NASA.

климата (МГЭИК, объединяющая климатологов из многих разных стран под эгидой ООН) манипулирует данными для утверждения антропогенного фактора главной причины глобального потепления. Происходящее глобальное потепление признано, наконец, этой группой экспертов несомненным, но его основной причиной по-прежнему считается антропогенный фактор – парниковый эффект (http://lb.ua/news/2010/01/20/2015_klimatologi_oon_priznali_svoi_pr.html). Наиболее убедительным эксперментальным подтверждением малой роли парникового эффекта в изменении климата служат данные высокоточных спутниковых наблюдений, свидетельствующие о существенном изменении глобального энергетического баланса Земли за последние 20 лет.

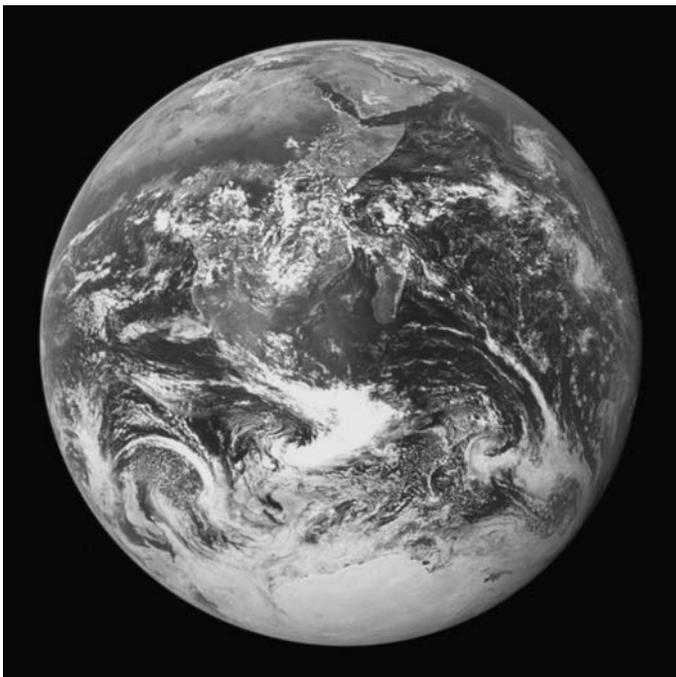
В поисках причины потепления ученые перебрали все возможные наземные факторы, порой даже весьма далекие по своей природе от климатических вариаций. Указываются дрейфы географического и гео-

ные средства. Например, солнечные вспышки – всплески мощного геоэффективного излучения могут возмутить слои атмосферы, нарушить функционирование GPS и Глонасс, нарушать распространение радиоволн. Специалисты разных профессий пытаются объяснить проявления солнечно-земных связей, используя понятия (термины) в рамках лишь своего профессионального направления. Изучение солнечно-земных связей без учета всех внешних воздействий сведено к поиску корреляций наземных откликов, изучению по-

ведения откликов в прошлом. Все это позволяет делать лишь вероятностные оценки состояния и эволюции солнечно-земных связей.

Климатическая система Земли подвержена эффективному воздействию на нее различных проявлений солнечно-земных связей. Консенсус, “навязанный” ООН, о признании парникового эффекта, или антропогенного фактора, основной причиной изменчивости климата вредно повлиял на выяснение природы солнечно-земных связей. Межправительственная группа экспертов по изменению

Вид Земли из космоса: Атлантический и Тихий океаны, между ними – Африка. Полярная асимметрия климата: С – теплое полушарие, Ю – холодное. Снимок сделан 7 декабря 1972 г. астронавтами КК “Аполлон-17” при полете к Луне. Фото NASA.



магнитного полюсов Земли, вариации суточного вращения Земли и повышение ее эндогенной (лишь вулканической) активности. Обсуждают и пытаются объяснить природные процессы промежуточными эффектами и наземными откликами, не зная всех исходных причин. Так, в генетической концепции Земли единственно возможное объяснение эндогенной активности Земли, планет Солнечной системы и их спутников – это обусловленность водородной дегазацией их жидких ядер (лишь одного из проявлений глубинной геодинамики), наряду с изменениями уровня мирового океана. Допускаются электромагнитная природа связей в Солнечной системе, изменения в атмосфере антропогенного происхождения, на поверхности Земли и в среде околоземного космоса, собственные колебания в климатической системе Земли. Указывается на важную роль воздействия на климат вековых вариаций солнечно-геомагнитной ак-

тивности и различных антропогенных источников в их совокупности. До 2014 г. ведущие климатологи США называли глобальное потепление “температурной аномалией”. В Росгидромете отмечена зависимость солнечно-земных связей от многих факторов, но их анализ не выявил ни одного явно доминирующего. Для оценки реального количественного вклада солнечной активности и антропогенных факторов в изменения климата предложено учитывать изменения циркуляции в атмосфере и в океане и эффективность энергообмена между океаном и атмосферой (при этом необходимо учитывать преобладание энергии потоков тепла в океанах).

Наиболее часто основной причиной потепления считается солнечная активность. На основе этого предположения предложены гипотезы для объяснения вариаций температуры Земли. Ошибочно допускается возможность прямого влияния солнечной активности на геодинамику – в частности, на вулканическую и сейсмическую активность. Сценарии вариаций климата последующих десятилетий по современным климатическим моделям невозможны. В океанологии предложен сценарий, основанный на реальных особенностях вариаций глобальной температуры и допускающий сохранение продолжающейся стабилизации темпера-

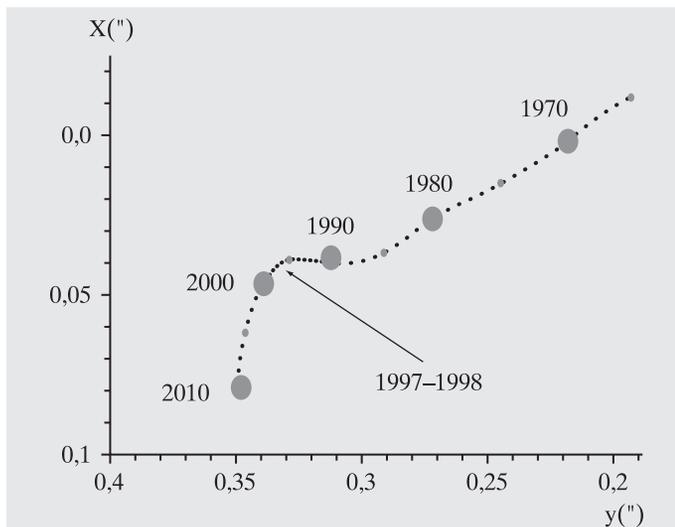


График резкого изменения траектории полюса смещения центра масс Земли в 1997–1998 гг. с поворотом на $\sim 90^\circ$.

туры, а также на возможное похолодание.

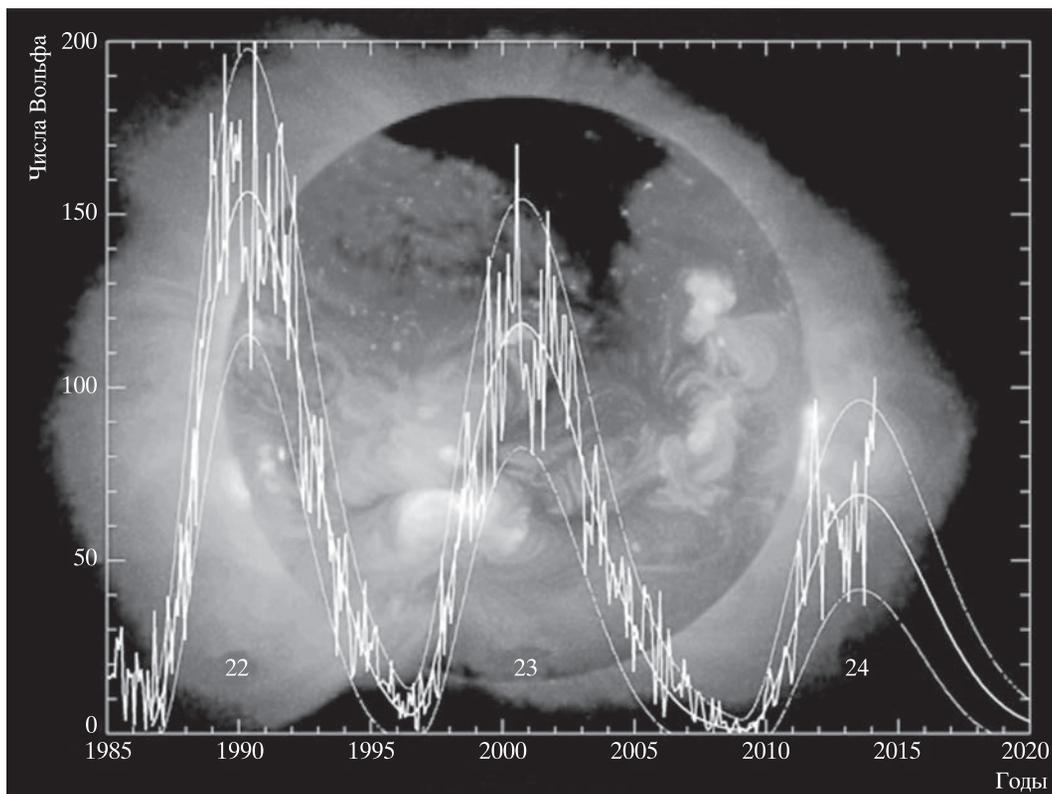
Межправительственная группа экспертов утверждает, что солнечная и вулканическая активность как бы объясняют половину температурных изменений до 1950 г., но их общий эффект затем приблизился к нулю. В частности, воздействие парникового эффекта с 1950 г., по оценке экспертов, в восемь раз выше влияния солнечной активности. Оценки ее «вклада» в потепление лежат в пределах от 16% до 36% влияния парникового эффекта, в зависимости от варианта реконструкции эволюции солнечной активности в прошлом. Поверхностная температура Земли регистрировалась приборами, начиная лишь с 1850 г. Качество реконструкции прошлых трендов среднегодовой глобальной температуры существенно зависит от

наличия и качества косвенных сведений о них. Для того, чтобы определить «поведение» климата в прошедшие две тысячи лет, используется информация о нем, сохранившаяся в древних китайских летописях и в распадае радиоактивных элементов. Изменение климата за последние 2000 лет согласуется с данными вариаций солнечной активности и концентрации космогенных радионуклидов ^{14}C и ^{10}Be , привнесенных на Землю из космоса. Стратиграфическая последовательность ядра антарктического льда, сохранившего информацию о температурных колебаниях за 740 тыс. лет, не обладает достаточной достоверностью.

Роль и вклады солнечной активности, обуславливающей геофизические вариации, зависят от масштабов времени. Вклад в периоды ее ко-

лебаний на малых временных интервалах (до 25 лет) – менее 2%. Он растет на протяжении десятков лет, достигая столетнего рубежа, на вековом интервале доходит до 30–40%; приближаясь к тысячелетию, температурные изменения составят примерно 20%. На таких и больших интервалах времени допускается роль космофизических причин. Следовательно, воздействием солнечной активности возможно объяснить лишь часть изменений климата, но необходимо установить их механизм. Таким образом, солнечная активность не является единственным и определяющим внешним фактором изменчивости климата.

Несмотря на нередкие попытки изучения космических факторов внешнего воздействия на Землю, современные исследования так и оставили без ответа вопросы об исходных причинах активности природных процессов и их наблюдаемых пространственно-временных свойствах. Это подтверждает мнение о том, что изучение солнечно-земных связей находится на стадии поиска и учета всех исходных (внешних) факто-



Солнце с короной и график 22–24 циклов солнечной активности. Прогноз 24-го цикла. Невозмущенные области на полюсах Солнца (черные участки), на поверхности активные области различной яркости и морфологии; группы пятен, в хромосфере и в ее короне – вспышки и выбросы корональной массы.

ров, обуславливающих изменчивость природной среды.

Обнаружена корреляция текущего потепления с эволюцией солнечного динамо в 1610–1970 гг. Выявлена астрономическая природа десятилетних и мультideкадных колебаний климата по анализу вариаций температуры в глобальном масштабе. Регистрограммы, выведенные по орбитам планет, представляют очень похожие спектры мощности, синхронизированные с ор-

битальными периодами Юпитера и Сатурна с 11- и 22-летними солнечными циклами; 9,1-летний цикл синхронизируется с орбитальными циклами Луны. Феноменологическая модель, основанная на этих астрономических циклах, может быть использована для хорошей реконструкции прошлого климата, частично – для его прогноза на XXI в. Установлено, что, начиная с 1970 г., глобальное потепление (около 60%) вызвано совместным действием вышеуказан-

ных естественных климатических колебаний. Частичный прогноз показывает, что климат может стабилизироваться или похолодать до 2030–2040 гг. Найдена синхронизация проявлений солнечно-земных связей и в масштабах времени (порядка миллионов лет).

При анализе астрофизических воздействий на климат отмечены следующие трудности для исследователей при попытке приписать тенденции (тренды) климата воздействию нашего

светила. Солнечное воздействие имеет значительные неопределенности: “отклики” на него климатической системы в целом, а также продолжительность ледникового периода имеют нелинейный характер. Не установлена датировка продолжительности флуктуаций солнечной, вулканической и тектонической активностей. Сложные модели глобальной циркуляции нуждаются в учете всех нелинейных взаимодействий и механизмов обратной связи в рамках климатической системы. Изучение эволюции солнечной активности, климата и тектоники Земли показало, что они изменяются синхронно (одновременно), будто ими управляют из одного центра. Возникает соблазн приписать дирижерские функции солнечным, атмосферным, тектоническим процессам или влиянию электромагнитных и гравитационных полей. Но основные причины климатических колебаний находятся вне Земли.

Гравитационные поля планет периодически изменяют солнечную и сейсмическую активность, циркуляции воздушных и жидких масс Земли, а уже эти изменения, в основном, и формируют климатические колебания. Взаимодействием всех перечисленных сил объясняются вековые потепления и похолодания на Земле

в последние 400 лет. Основным источником энергии, который управляет природными процессами (согласно концепции эндогенной активности Земли), может быть подвижное (колеблющееся) ядро Земли.

Несмотря на различие профессиональных интересов и, соответственно, подходов к изучению солнечно-земных связей, ключевые факторы признавались разными научными школами и отдельными учеными. Полярная асимметрия (противофазность) глубинной геодинамики признана основным источником энергообеспечения. Появилось понимание доминирующей роли внутреннего ядра Земли в изменении климата, обусловленного гравитационным воздействием Солнца и других планет. Оно смещается, на границе мантия – ядро в недрах происходят деформации, взаимодействуют оболочки Земли, изменяется ее кинематика. Изучение вариаций суточного вращения Земли неприливного происхождения стимулировало появление гипотез для объяснения механизма солнечно-земных связей. Назывались такие климатические факторы, как движение полюсов, механические воздействия на атмосферу, круговорот воды на планете, обмен момента импульса между мантией и жидким ядром Земли. Но при рассмотрении свя-

зей вариаций суточного вращения и глобальных изменений природных процессов обнаружались противоречия, для устранения которых пришлось прибегнуть к третьей причине, влияющей на глубинную геодинамику в климатической системе. Весь комплекс явлений, возникающих при этом в земных оболочках, назван обобщенным приливом, поскольку, помимо классических (притяжение Луны, Солнца и других планет), есть и другие: относительное смещение и колебания их центров масс, вынужденные перемещения масс в недрах Земли.

Многолетние вариации суточного вращения Земли коррелируют с геофизическими, гидрометеорологическими, геомагнитными, биологическими процессами потому, что все они имеют одну и ту же небесно-механическую первопричину – обобщенные приливы. Многолетние колебания угловой скорости вращения Земли считаются интегральным индексом глобальных изменений солнечно-земной активности.

Ключевой вопрос теории природных планетарных процессов на Земле (и на других небесных телах) заключается в неизвестных источниках энергии ее эндогенной активности и основных механизмах циклического энергетического возбуждения. Предложенное решение этой проблемы

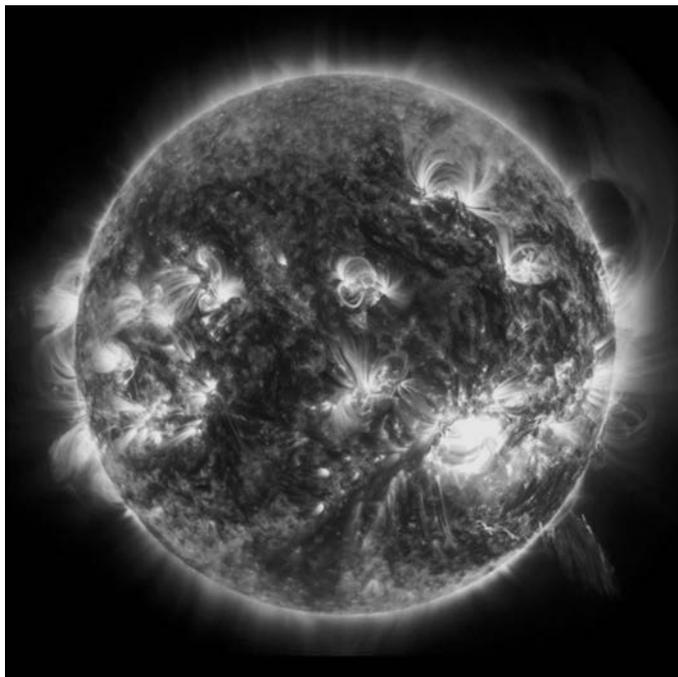
Активные области и вспышка класса X1.8 на Солнце, зарегистрированные 19 декабря 2014 г. космической "Обсерваторией солнечной динамики" ("SDO").

Фото NASA.

в упомянутой концепции эндогенной активности Земли основано на механизме возбуждения оболочек небесного тела внешними гравитационными полями.

Основное положение развиваемой геодинамической концепции состоит в том, что планеты, их спутники и Солнце представляют собой системы оболочек, образованных в результате эволюции, совершающие относительно друг друга вынужденные поступательно-вращательные движения, деформируясь под влиянием гравитации всех окружающих небесных тел.

Эта идея развивалась с 1995–1996 гг. Важнейшим результатом стало предсказание и обоснование существования векового изменения центра масс Земли. Гипотеза получила подтверждение в данных экспериментов по космической геодезии, проводящихся с 1993 г. Согласно небесной механике, смещение центра масс Земли является следствием векового околополярного северного дрейфа ядра Земли относительно мантии (со скоростью $27,4 \pm 0,8$ мм/год). Обусловленные этим дрей-

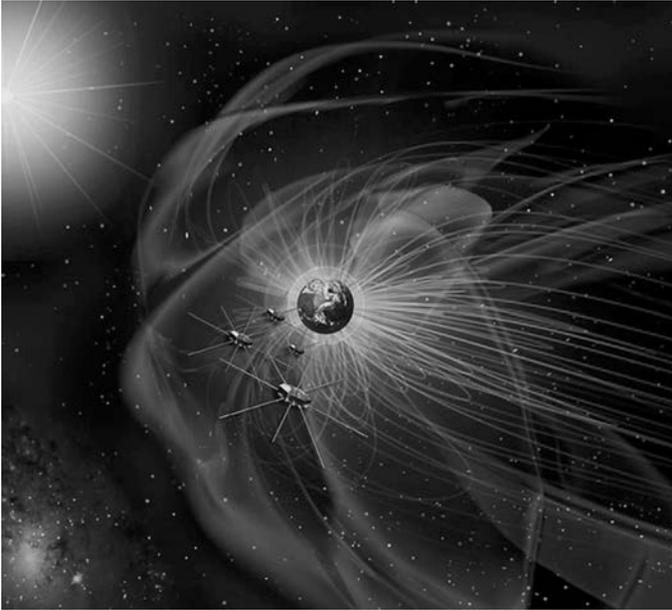


фом приливы в вязкоупругой мантии планеты приводят к рассеянию механической энергии и тепловому излучению в ней, формируя дополнительное температурное поле в недрах Земли.

Подвижка ядра приводит к смещению центра массы мантии. Выявлен широкий спектр его колебаний, а также обнаружена периодически повторяющаяся тенденция дрейфа в северном направлении (район полуострова Таймыр). По перемещению центра массы Земли удалось восстановить особенности движений ядра и мантии, изучить их геодинамические следствия: деформации слоев, вариации упругой энергии, мощности диссипации и формирования тепलो-

го потока, перераспределение масс океанов.

Циклические смещения ядра с его колоссальной избыточной массой (примерно в 17 масс Луны) оказывают циклические гравитационные воздействия на все оболочки Земли, включая биосферу. Все живое на планете находится под вниманием "сердца Земли" – колеблющейся системы ядро – мантия ("Сатана там правит бал!"). Все геологические, геофизические и геодинамические процессы обладают циклическим характером и происходят синхронно. Современные данные космической геодезии о вариациях положения центра массы Земли и вариациях коэффициентов второй гармоники и гармоник бо-



Трехмерная картина геомагнитного поля вокруг Земли, деформированная солнечным ветром в феврале 2015 г. Рисунок NASA.

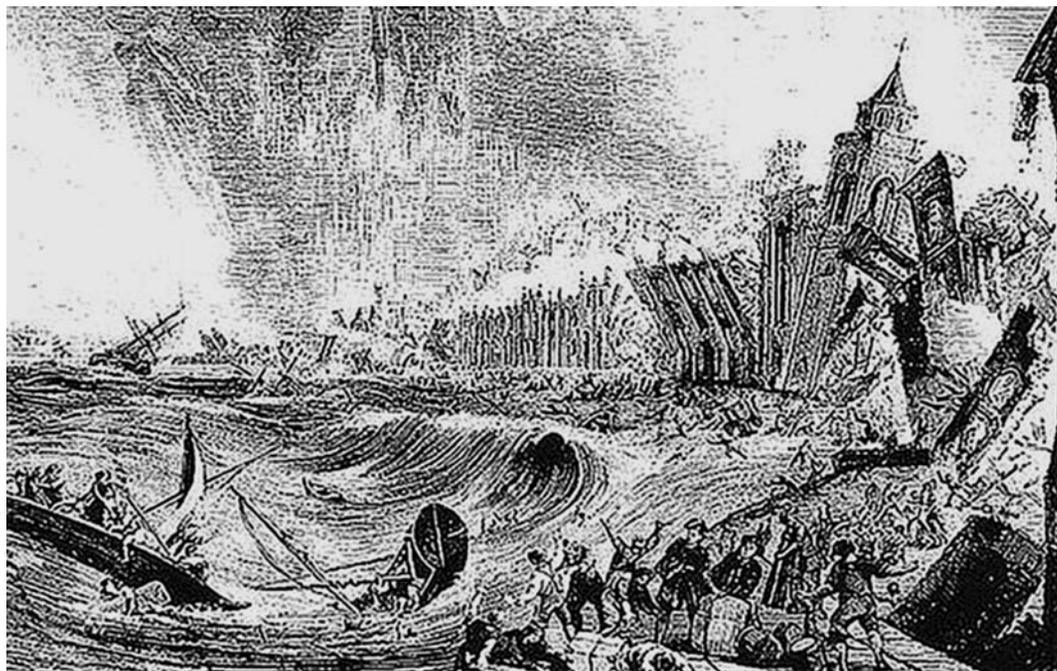
лее высокого порядка, несомненно, указывают на изменения колебаний ядра Земли на протяжении геологического времени. Теоретическое обоснование (интерпретация) таких геодинамических и геодезических изменений Земли дано в публикациях.

С помощью предложенной геодинамической модели вынужденных относительных смещений ядра были решены сложные геофизические проблемы. Некоторые геодинамические и геофизические явления получили теоретическое объяснение при хорошем согласии с данными наблюдений. В геодинамике фиксируется дрейф полюса оси вращения Земли. В гравиметрии регистрируется изменение силы тяжести

на ведущих гравиметрических станциях мира. В океанологии установлено, как изменяется уровень океанов с течением времени (в том числе полярная асимметрия средних уровней океанов в Северном и Южном полушариях). В геодезии с помощью предложенной модели зарегистрированы вековые укорачивания длин широтных кругов в Северном полушарии и их удлинении в Южном полушарии (то есть изменение формы Земли).

К наиболее мощным энергетическим процессам, происходящим в недрах нашей планеты, относят три глобальных: 1) гравитационную дифференциацию земного вещества по плотности (твердое окисно-железное ядро, остаточная си-

ликатная мантия, легкая алюмосиликатная кора и гидросфера с атмосферой); 2) распад радиоактивных элементов, приводящий к выделению тепловой энергии; 3) приливное взаимодействие Земли с Луной. По оценкам, исходя из концепции эндогенной активности Земли, энергетический баланс и мощность процессов в ней соответственно составляют: сейсмические события (3×10^{10} Вт), вулканические извержения (10^{10} Вт), тепловые конвекции (10^{13} Вт) и потоки ($4,4-4,8 \times 10^{13}$ Вт), приливы (4×10^{11} Вт), диссипация, вызванная колебаниями ядра и вязкоупругими деформациями мантии ($3,38 \times 10^{14}$ Вт), полная мощность диссипации энергии в мантии Земли ($10^{14} - 10^{15}$ Вт). Все другие эндогенные источники энергии либо несоизмеримо меньше по воздействию, либо полностью обратимы вследствие конвективного массообмена в мантии. Гравитационная дифференциация земного вещества – мощнейший источник эндогенной активности Земли – одновременно может питать собой ее магнитное поле. Убедительным подтверждением воздействия на Землю ближнего



Разрушение Лиссабона в результате землетрясения силой 8,5–9,5 балла, произошедшее 1 ноября 1755 г.

и дальнего космоса стало сообщение Международного комитета по проблемам глобальных изменений геологической среды “Geochange” и Глобальной системы обнаружения наводнений (2010 г.) о скачкообразных возмущениях природных процессов, произошедших в 1997–1998 гг.:

- увеличение скорости дрейфа Северного магнитного полюса более чем на 500% в 1980–2010 гг., означающее повышение геодинамической активности Земли;

- начало аномальных изменений геофизических параметров Земли, зарегистрированных с помощью спутниковой системы лазерной даль-

нометрии США. Специалисты NASA оказались в замешательстве, сообщив о том, что, если до 1998 г. спутники регистрировали неуклонное уменьшение радиуса Земли на экваторе и его увеличение на полюсах, то, начиная с 1998 г., эта тенденция резко изменилась на противоположную – Земля стала расширяться в области экватора и сжиматься на полюсах, что означает изменение ее формы;

- резкое возрастание числа сильных землетрясений, глубокий минимум вулканической активности и последующее резкое его повышение;

- неожиданное повышение солнечной радиа-

ции и влияние солнечной активности на глобальные изменения климата;

- изменение уровня Мирового океана (сопавшее по времени с геофизической аномалией), в три раза превосходящее влияние перераспределений масс воды в океанах;

- аномальное повышение глобальной температуры тропосферы;

- возрастание числа цунами;

- повышение числа торнадо, тропических штормов и ураганов в северной Атлантике;

- увеличение числа лесных пожаров.

По совокупности эти синхронно произошедшие спорадические из-

менения природных условий (перемещение центра массы Земли вдоль полярной оси, резкий изгиб на 90° траектории его полюса на поверхности Земли, увеличение скорости движения Северного геомагнитного полюса, рост коэффициента второй зональной гармоники, скачкообразное повышение силы тяжести, снижение периода свободной нутации) названы глобальным энергетическим скачком во всех внешних слоях Земли – в литосфере, гидросфере, атмосфере и магнитосфере.

Повышение геофизической и геодинамиче-

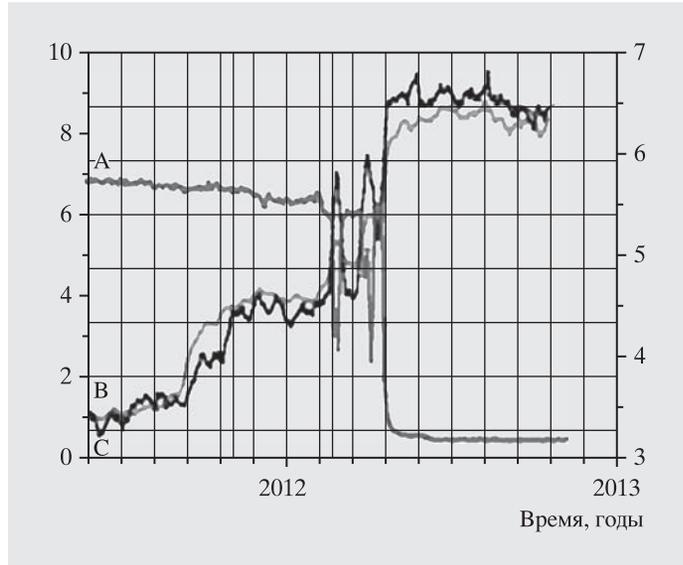
ской активности исследовано в рамках модели вынужденных колебаний ядра и деформации мантии Земли, рассматривая их как следствие фундаментального явления – перемещения центра масс Земли относительно центра масс мантии. Это явление названо “галопированием ядра”. Подобное “поведение” ядра предсказано и обнаружено на основе данных спутниковой геодезической системы DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*), предназначенной для определения орбит и положений по доплеровским спутниковым

измерениям. Подобные скачкообразные события зафиксированы также на Солнце: изменился его средний радиус, амплитуда излучения, скорость распространения корональных выбросов массы, активизировалось образование пятен. Это свидетельствует о внешнем воздействии на Солнечную систему в целом. Несколькими лабораториями были зарегистрированы вспышки нейтринного излучения, свидетельствующие о возможном взрыве сверхновой. Это подтверждается срабатыванием гравитационной волновой антенны за несколько се-



“Цунами, разразившееся в 2004 г. в Индийском океане. Погибло более 225 тыс. человек”.

График взаимодействия галактических космических лучей с солнечным ветром при выходе АМС «Вояджер-1» в октябре – ноябре 2012 г. из Солнечной системы в межзвездную среду. Солнечный ветер практически исчез (кривая А), а интенсивность галактического космического излучения (С) и потока высокоэнергичных протонов (В) выросли до межзвездного уровня (кривые В и С, соответственно). Единицы измерения потоков частиц приведены слева и справа, по оси абсцисс – годы. По данным NASA.



кунд до регистрации первых импульсов нейтрино.

Вследствие небесно-механического взаимодействия тел Солнечной системы, оболочек Солнца, планет и спутников они возбуждаются синхронно, что находит отражение в вариациях их природных явлений. Обратим внимание на свойство неинерциальности относительного движения оболочек в системе координат барицентра Солнечной системы. Движение центра масс Солнечной системы в барицентрической системе координат сильно коррелирует с геодинамическими и геофизическими процессами.

Приведенный комплекс событий, синхронно произошедших в 1997–1998 гг., понятен и объясним в рамках концепции эндогенной активности Земли и ее геодинамической модели.

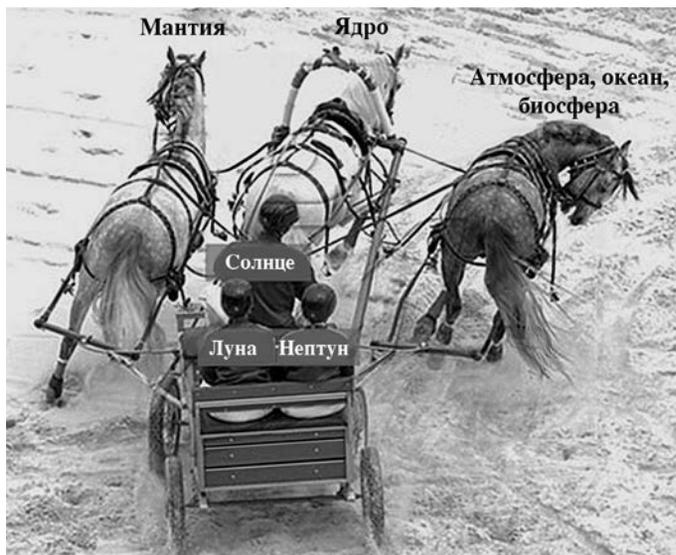
Их систематический характер отмечен в 1986–1987 гг., 2001–2002 гг. и 2010–2012 гг. Особенно важно, что они происходят не только на Земле, но и на Солнце, Луне, Марсе и на других телах Солнечной системы, причем синхронно.

СВИДЕТЕЛЬСТВА ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ

Существенное повышение уровня эволюционных трендов после скачков может происходить лишь путем добавления энергии планете или Солнечной системе в целом. Заметное воздействие на нее оказывают электромагнитные структуры и облака межзвездной среды. Не исключено добавление извне дополнительной массы и энергии в Солнечную систему. Данные АМС «Вояджер-1» показали обстоятельства

взаимодействия Солнечной системы с межзвездной средой (2009, 2013, 2014 гг.) при выходе за пределы Солнечной системы в неоднородную межзвездную среду в 2012 г. – открытие обстоятельств выхода автоматической межзвездной станции из гелиосферы (Земля и Вселенная, 2012, № 5). Силовые линии солнечного и межзвездного магнитных полей соединяются, что позволяет малоэнергичным заряженным частицам гелиосферного происхождения уходить из гелиосферы, а высокоэнергичным частицам окружающей межзвездной среды – перетекать в гелиосферу (Земля и Вселенная, 2013, № 4). Формирование переходной области со значительными концентрациями атомов водорода и протонов плазмы на границе гелиосферы со смежным меж-

Образное представление внешних факторов солнечно-земных связей: исходная причина – под воздействием тел солнечной системы движущееся ядро Земли взаимодействует с мантией; возмущены атмосфера, океан и биосфера. Рисунок.



звездным окружением указывает на возможные возмущения Солнечной системы от дополнительной массы. Повышение геофизических параметров могло быть откликом на прохождение Солнечной системы через ударную волну или водородное облако, что привело к получению ею дополнительной энергии и вещества, разогреву Солнца и планет. Подобные обстоятельства межзвездных “волн цунами” на пути “Вояджер-1” обнаружены в апреле – мае 2013 г. и феврале – ноябре 2014 г. (http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/16dec_voyagercme/).

Итак, исходные причины изменения геодинамической и геофизиче-

ской активности Земли обуславливаются не только влиянием Солнца, потоков галактического космического излучения и эндогенной активности Земли, но и неоднородностями межзвездной среды, возмущающими Солнечную систему в целом.

Авторы призывают всех заинтересованных специалистов к участию в широком обсуждении проблемы, системному и междисциплинарному изучению и объяснению всех проявлений солнечно-земных связей с уче-

том всех внешних факторов воздействия на нашу планету. Этот призыв совпадает с задачами Круглого стола “Изменение климата: наука против политики”, проходившего 27 ноября 2015 г. в пресс-центре Федерального информационного агентства “Regnum” <http://regnum.ru/news/society/2019441.html>), посвященного открывавшейся 30 ноября 2015 г. в Париже 21-й конференции в рамках Конвенции ООН по климатическим изменениям.

Успешная посадка ракеты

22 января 2016 г. во второй раз успешно произведена контролируемая вертикальная посадка на полигоне (штат Техас) суборбитального космического корабля “Новый Шепард” (“New Shepard”) и его разгонного модуля. В этом запуске использовался тот же самый разгонный модуль, который удалось “приземлить” 23 ноября 2015 г. (Земля и Вселенная, 2016, № 2, с. 102). Корабль создан частной американской аэрокосмической компанией “Blue Origin”, которая принадлежит основателю и главе компании интернет-ритейлера Amazon.com Джеффу Безосу. В качестве носителя для запуска использовалась многоразовая одноступенчатая ракета BE-3 с кислородно-водородным ЖРД тягой 50 тс, разработанные в этой же компании (см. на стр. 3 обложки внизу). Она вывела на высоту в 101,7 км беспилотную капсулу корабля “Новый Шепард”, названного так в честь американского астронавта Алана Шепарда, совершившего первый суборбитальный полет 5 мая 1961 г. на КК “Меркурий-3” (“Фридом-7”). Корабль предназначен для космического

туризма. Герметичная капсула “Новый Шепард” вмещает 6 человек; она снабжена системой аварийного спасения, которая отделяется от ракеты на высоте около 40 км в течение 110 с и продолжает подъем. Полет капсулы продолжался примерно 16 мин (в том числе на 4 мин возникала невесомость). Спуск капсулы проводился с помощью трех парашютов: ракета воспользовалась маршевыми двигателями мягкой посадки и села на опоры. Корабль и ракета разрабатывались с 2006 г. Запуски проводятся с собственного космодрома “Blue Origin”, созданного на ранчо Дж. Безоса. В ходе предыдущего запуска капсула корабля “Новый Шепард” успешно возвратилась на Землю 29 апреля 2015 г.

Разработку аналогичной системы сейчас ведет и другая частная американская аэрокосмическая компания “Спейс-Х” (“Space-X”), владелец – Илон Маск. 28 сентября 2008 г. состоялся первый успешный старт РН “Фалькон-1” (“Falcon-1”), которая вывела на околоземную орбиту демонстрационный макет. 25 мая 2012 г. произведена первая стыковка к МКС частного грузового КК “Дрэгон” (“Dragon”) компании “Спейс-Х”. К настоящему времени запущено восемь кораблей “Дрэгон”, последний (28 июня 2015 г.) был аварийным. На 21 марта 2016 г. намечен запуск очередного корабля “Дрэгон”, в негерметичном отсеке которого пла-

нируется доставка на МКС экспериментального модуля BEAM. Его подсоединят к модулю “Транквилити” (“Tranquility” – спокойствие) американского сегмента МКС.

Запуски кораблей серии “Дрэгон” (длиной 7,2 м, диаметром 3,66 м и массой до 7,5 т) производятся двухступенчатой РН “Фалькон-9” (“Falcon-9”) длиной 68,4 м и стартовой массой 506 т, использующей в качестве топлива керосин и жидкий кислород; ракета-носитель создана компанией “Спейс-Х”. Новая версия (v1.2) РН “Falcon-9” стартовала 22 декабря 2015 г. и доставила на орбиту 11 спутников “Orbcomm-G2”. Первая ступень ракеты-носителя впервые успешно совершила вертикальную посадку на площадке мыса Канаверал во Флориде. NASA назвала 14 января 2016 г. компанию “Спейс-Х” в качестве победителя (одного из трех) в объявленном конкурсе по осуществлению программы коммерческого транспортного обслуживания (снабжения) расходуемыми материалами Международной космической станции, с возможностью продления контракта. Гарантированы шесть запусков грузового корабля “Дрэгон”, который сможет доставлять на МКС до 3310 кг полезной нагрузки и возвращать на Землю – до 2500 кг.

По материалам интернет-сайтов 22 января 2016 г.

Небесный календарь: июль–август 2016 г.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Июль		
1	6	Луна в перигее
2	4	Покрытие Луной звезды Альдебаран (α Тельца)
4	11	Новолуние
4	15	Земля в афелии
7	3	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
9	9	Луна проходит в 1° южнее Юпитера
12	0	Луна в первой четверти
13	5	Луна в апогее
16	5	Луна проходит в 3° севернее Сатурна
19	22	Полнолуние
26	22	Луна в последней четверти
27	12	Луна в перигее
30	1	Уран переходит от прямого движения к попятному
Август		
2	20	Новолуние
4	4	Луна проходит в 3° южнее Венеры
5	16	Венера проходит в $1,0^\circ$ севернее звезды Регул (α Льва)
6	3	Луна проходит в 1° южнее Юпитера
9	23	Луна в апогее
10	18	Луна в первой четверти

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
12	12	Луна проходит в 3° севернее Сатурна
12	13	Максимум метеорного потока Персеиды
13	17	Сатурн переходит от попятного движения к прямому
16	18	Меркурий в наибольшей восточной элонгации (27°)
18	9	Полнолуние
22	2	Луна в перигее
24	11	Марс проходит в 4,4° южнее Сатурна
24	16	Марс проходит в 1,8° севернее звезды Антарес (α Скорпиона)
25	3	Луна в последней четверти
27	22	Венера проходит в 0,1° севернее Юпитера
30	0	Меркурий переходит от прямого движения к попятному

Примечание. Во всех таблицах и в тексте дано Всемирное время (UT), кроме особо оговоренных случаев.

Таблица II

ЭФЕМЕРИДА СОЛНЦА

Дата	α		δ		45°		55°		65°	
					восход	заход	восход	заход	восход	заход
	ч	м	°	'	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м
Июль 1	06	41	23	06	04:18	19:54	03:26	20:45	01:16	22:56
11	07	22	22	06	04:25	19:50	03:37	20:38	01:46	22:29
21	08	02	20	28	04:34	19:43	03:51	20:26	02:20	21:57
31	08	42	18	16	04:45	19:32	04:08	20:09	02:56	21:21
Август 10	09	20	15	34	04:57	19:18	04:26	19:48	03:30	20:45
20	09	58	12	27	05:09	19:02	04:45	19:26	04:03	20:08
30	10	34	09	00	05:21	18:45	05:04	19:02	04:34	19:31

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время восхода Солнца 24 августа 2016 г. в Иркутске (широта – 52°17', долгота – 6^ч 57^м, 6-я часовая зона – московское время плюс 5^ч, UT + 8^ч). Пользуясь таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 24 августа, получаем 4^ч 59^м. Вычтем из него долготу места, прибавим 8^ч, получим 6^ч 02^м.

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
Меркурий												
Июль	1	06	08,5	+23	57	-1,6	5,2	0,95	-	-	-	
	11	07	42,6	+23	04	-1,7	5,0	0,98	-	-	-	
	21	09	05,0	+18	26	-0,7	5,3	0,87	-	-	-	
	31	10	10,0	+12	07	-0,2	5,8	0,73	-	-	-	
Август	10	11	00,0	+05	36	0,1	6,6	0,61	-	-	-	
	20	11	35,0	-00	00	0,3	7,8	0,46	-	-	-	
	30	11	49,4	-03	13	1,0	9,3	0,26	-	-	-	
Венера												
Июль	1	07	09,8	+23	22	-3,9	9,8	0,99	-	-	-	
	11	08	02,5	+21	39	-3,9	9,9	0,99	-	-	-	
	21	08	53,6	+18	55	-3,9	10,0	0,98	-	-	-	
	31	09	42,7	+15	18	-3,9	10,2	0,97	0,3	-	-	Вечер
Август	10	10	30,0	+11	00	-3,8	10,4	0,95	0,5	-	-	Вечер
	20	11	15,8	+06	13	-3,8	10,6	0,94	0,6	-	-	Вечер
	30	12	00,5	+01	09	-3,8	10,9	0,92	0,7	-	-	Вечер
Марс												
Июль	1	15	18,9	-21	01	-1,4	16,3	0,93	5,3	3,6	-	Вечер
	11	15	22,1	-21	21	-1,2	15,2	0,91	4,7	3,0	-	Вечер
	21	15	30,5	-21	56	-1,0	14,1	0,89	4,2	2,6	-	Вечер
	21	15	43,4	-22	41	-0,8	13,1	0,88	3,9	2,3	-	Вечер
Август	10	16	00,2	-23	30	-0,6	12,1	0,86	3,6	2,1	-	Вечер
	20	16	20,2	-24	19	-0,5	11,3	0,86	3,5	2,0	-	Вечер
	30	16	43,0	-25	02	-0,3	10,6	0,85	3,4	1,9	-	Вечер
Юпитер												
Июль	1	11	13,5	+06	18	-1,7	34,2	0,99	3,2	2,4	-	Вечер
	11	11	18,8	+05	43	-1,7	33,4	0,99	2,6	1,8	-	Вечер
	21	11	24,7	+05	03	-1,6	32,7	1,00	2,1	1,2	-	Вечер
	31	11	31,2	+04	21	-1,6	32,1	1,00	1,6	0,4	-	Вечер
Август	10	11	38,0	+03	36	-1,6	31,6	1,00	1,1	-	-	Вечер
	20	11	45,3	+02	48	-1,5	31,2	1,00	0,6	-	-	Вечер
	30	11	52,8	+01	59	-1,5	30,9	1,00	-	-	-	

Сатурн												
Июль	1	16	38,6	-20	21	0,2	18,3	1,00	6,2	4,1	–	Ночь
	11	16	36,2	-20	18	0,2	18,1	1,00	5,6	3,7	–	Ночь
Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
	21	16	34,4	-20	16	0,3	17,9	1,00	5,0	3,3	–	Вечер
	31	16	33,2	-20	16	0,3	17,6	1,00	4,6	3,0	–	Вечер
Август	10	16	32,6	-20	17	0,4	17,3	1,00	4,1	2,7	–	Вечер
	20	16	32,7	-20	19	0,4	17,1	1,00	3,7	2,4	–	Вечер
	30	16	33,4	-20	23	0,5	16,8	1,00	3,4	2,1	–	Вечер

Примечание. Координаты даны на момент 0^ч по Всемирному времени, F – фаза планеты.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий не видим.

Венера после верхнего соединения с Солнцем появится в конце июля в южных широтах нашей страны в вечернее время в созвездии Льва, и 24 августа перейдет в созвездие Девы. Продолжительность видимости планеты постепенно увеличится и к концу августа достигнет 0,7 ч. Видимый угловой диаметр Венеры возрастет с 10,2" в конце июля до 10,9" в конце августа, ее блеск будет $-3,8^m$. 5 августа она пройдет в 1,0° севернее звезды Регул (α Льва), 27 августа сблизится с Юпитером (в России этого нельзя увидеть). Луна пройдет недалеко от Венеры 4 августа.

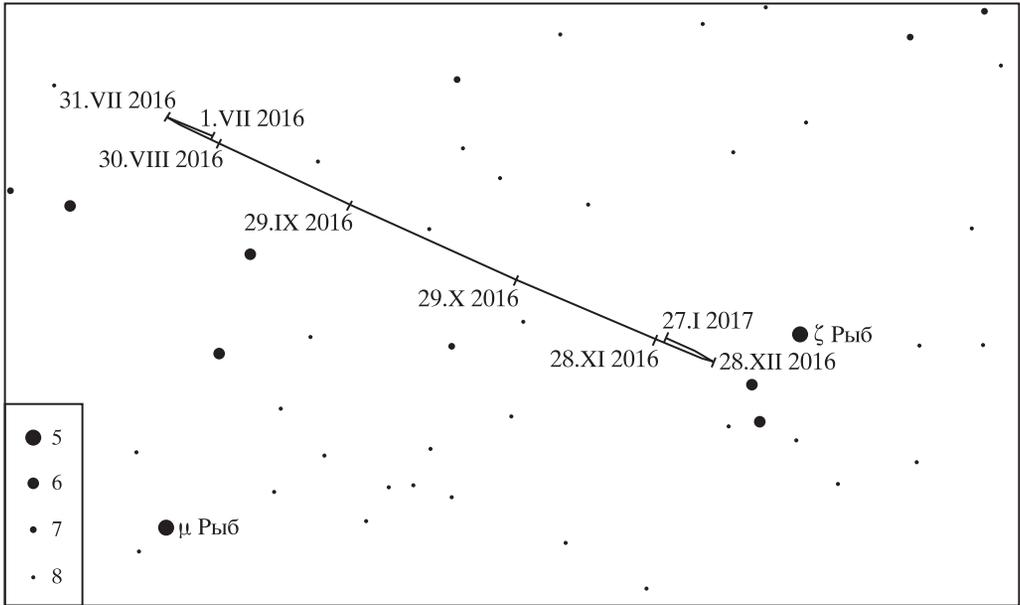
Марс перемещается в прямом движении – сначала по созвездиям Весов, 2 августа переходит в созвездие Скорпио-

на и остается в нем до конца августа, лишь несколько дней двигаясь вдоль границы созвездий Змееносца и Скорпиона. Он удаляется от Земли, его видимый угловой диаметр уменьшается с 16,3" в начале июля до 10,6" в конце августа. В северных широтах Марс не заметен. В средних и южных широтах продолжительность вечерней видимости планеты убывает – с 3,6–5,3 ч в начале июля до 1,9–3,4 ч в конце августа, блеск снижается с $-1,4^m$ до $-0,3^m$. 24 августа Марс окажется между Сатурном и Антаресом (α Скорпиона).

Юпитер в июле перемещается по созвездиям Льва, 9 августа переходит в созвездие Девы. В северных широтах он не появляется на небосклоне, в средних и южных широтах длительность

вечерней видимости сокращается с 3,2 ч до 2,4 ч – в начале июля. Юпитер исчезает с начала августа в средних широтах и в 20-х числах августа в южных широтах. Блеск Юпитера в начале июля будет $-1,7^m$, затем немного уменьшится. Он удаляется от Земли, и его видимый угловой диаметр убывает с 34,2" – в начале июля до 31,2" – 20 августа. Луна пройдет вблизи Юпитера 9 июля и 6 августа.

Сатурн перемещается по созвездиям Змееносца, 13 августа переходит от попятного движения к прямому, виден ночью в начале июля, вечером – в августе. В северных широтах его нельзя увидеть. В средних и южных широтах продолжительность видимости Сатурна сокращается с 4,1–6,2 ч – 1 июля до 2,1–



Видимый путь на небесной сфере Урана в июле 2016 г. – январе 2017 г.

3,4 ч – 1 августа. Видимый угловой диаметр планеты уменьшится с 18,3" до 16,8", блеск – с 0,2^m до 0,5^m. Луна пройдет вблизи Сатурна 16 июля и 12 августа.

Уран появится в июле в южной части созвездия

Рыб недалеко от звезд ζ Рыб (5,2^m) и μ Рыб (5,0^m). Блеск планеты-гиганта будет немного ярче 6^m, что позволяет увидеть его зорким людям на темном небе даже невооруженным глазом. 30 июля Уран переходит от пря-

мого движения к попятному. Противостояние с Солнцем состоится 15 октября.

29 декабря Уран переходит от попятного движения к прямому.

Таблица IV

ЭФЕМЕРИДЫ УРАНА

Дата			α		δ		m	d
			ч	м	°	'		
Июль	2016	1	01	29,6	+08	43	5,8	3,4
Июль	2016	31	01	30,8	+08	50	5,8	3,5
Август	2016	30	01	29,4	+08	41	5,7	3,6
Сентябрь	2016	30	01	25,8	+08	19	5,7	3,6
Октябрь	2016	29	01	21,3	+07	53	5,7	3,6
Ноябрь	2016	28	01	17,5	+07	31	5,7	3,6
Декабрь	2016	28	01	16,0	+07	23	5,8	3,5
Январь	2017	27	01	17,3	+07	32	5,8	3,4

МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК ПЕРСЕИДЫ

В августе ежегодно любители астрономии готовятся к наблюдению одного из самых известных метеорных потоков – **Персеиды** (радиант: $\alpha = 49^\circ$, $\delta = +58^\circ$), максимум которого в 2016 г. ожидается 12 августа в 13 ч по Гринвичу. Он образуется в результате прохождения Земли через шлейф

пылевых частиц, выпущенных кометой 109P/Свифта – Туттля. В 2015–2017 гг. рядом с Землей проходит участок потока, возмущенный гравитационным влиянием Юпитера (наибольшее придется на 2016 г.) и сдвинутый им ближе к орбите нашей планеты. Это означает, что следует ожидать по-

вышенной активности потока в 2016 г.: зенитное часовое число может достигнуть 150–160 (обычно оно бывает менее 100 метеоров), двигающихся со скоростью 59 км/с. Во время максимума потока Луна будет растущая, поэтому будет немного мешать наблюдениям.

*В.И. ЩИВЬЁВ
г. Железнодорожный
Московская область*

Сейсмичность Земли во втором полугодии 2015 г.

В июле – декабре 2015 г. в Службе срочных донесений Геофизической службы РАН обработано более 4500 произошедших на земном шаре землетрясений, из них – 28 с магнитудой $M \geq 6,5$.

В этот период достаточно высокая сейсмическая активность наблюдалась как на территории России, так и на всем земном шаре. Наиболее активным был Тихоокеанский регион, где произошло более 1300 землетрясений. В России на Дальнем Востоке (Камчатка, Курилы, Сахалин) зарегистрировано более 200 землетрясений, в Восточной Сибири (в основном, в Байкальском регионе) – около 30 землетрясений, на Кавказе – более 120.

На Курильских островах 7 июля 2015 г. произошло сильное ощутимое землетрясение с $M = 6,4$. Очаг его находился в Тихом океане, у восточного побережья Курильских островов, на глубине

50 км, в 108 км к востоку от Малокурильского, в 150 км к юго-востоку от Курильска, в 188 км к юго-востоку от Южно-Курильска. Землетрясение ощущалось в Горном и Горячих Ключах силой в 5–6 баллов, в Курильске, Рейдово и Китовом – 5 баллов, в Малокурильском, Южно-Курильске, Горячем Пляже, Головинно, Менделеево и Лагунном – в 4 балла.

18 октября 2015 г. в 21 ч 44 мин гринвичского времени (19 октября в 00 час 44 мин по московскому времени) в районе Уральских гор имело место ощутимое землетрясение с $M = 4,1$. По данным Геофизической службы РАН, землетрясение ощущалось в Екатеринбурге, Кунгуре, Новоуральске, Первоуральске силой в 3 балла, в Перми в 2–3 и Челябинске – силой в 2 балла. Жители Екатеринбурга, Первоуральска и Новоуральска сообщали о вибрации в жилых домах. Информация об откликах

населения о землетрясениях собирается теперь в новом разделе сайта Геофизической службы РАН “Вы ощутили землетрясение? – Сообщите нам об этом”.

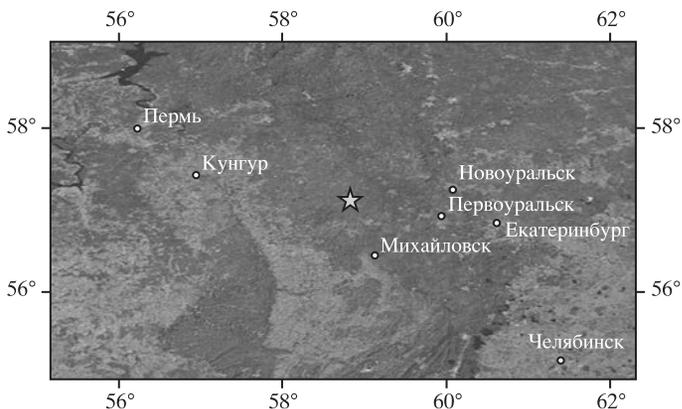
По данным регионального управления МЧС, никто из жителей Свердловской области и Пермского края не пострадал. Подземные толчки не влияли на жизнедеятельность региона. Как известно, Уральские горы характеризуются сравнительно низким уровнем сейсмичности, поэтому это событие вызвало повышенный интерес. В связи с обеспокоенностью населения Свердловской области, вызванной событием 2015 г., администрация Екатеринбурга сообщила, что жителям области не стоит опасаться разрушения их жилых домов; сейсмоустойчивость зданий закладывается в проект при их возведении.

События в Свердловской области не оказали влияния на работу

компании «Уралкалий» в Пермском крае. Размеры «провала» на «шахтном поле» рудника «Соликамск-2» не изменились. Не зафиксировано никаких обрушений и в Кунгурской ледяной пещере.

Некоторые эксперты утверждают, что землетрясение 2015 г. – это не последние подземные толчки, вызванные тектоническими процессами в Уральских горах. Поэтому они советуют укреплять здания старой постройки. Полезно вспомнить, что недавно – 29 марта 2010 г., в 200 км к северу от его эпицентра, было зарегистрировано землетрясение (Качканарское) с подобной магнитудой – 4,4. Оно было хорошо изучено уральскими сейсмологами, которые указывают на его тектоническую природу.

На территории Урала известны исторические землетрясения с магнитудой более 4, сопровождавшиеся макросейсмическим эффектом. Это – Билимбаевские землетрясения 17 августа 1914 г. с $M = 5,5$ и 13 января 1939 г. с $M = 4,5$, а также Соликамское землетрясение 5 января 1995 г. с $M = 4,2$.

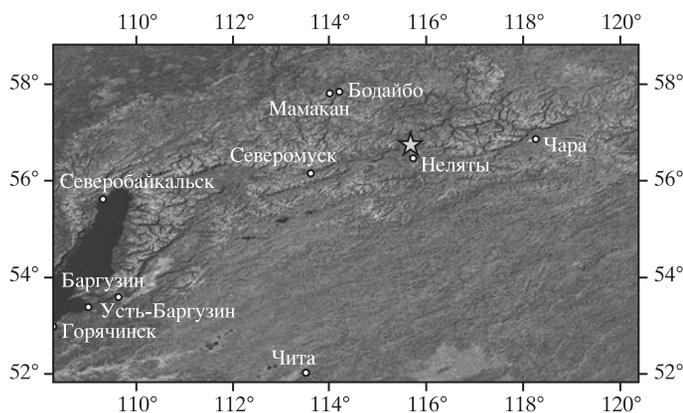


3 ноября 2015 г. в Ставропольском крае отмечено ощутимое землетрясение с $M = 4,7$. Его очаг находился на границе Ставропольского и Краснодарского края, на глубине 10 км, в 29 км к северо-западу от Невинномысска, в 39 км к юго-западу от Ставрополя, в 46 км к юго-востоку от Армавира. По данным, полученным в оперативном режиме в Геофизической службе РАН, землетрясение ощущалось в Ставрополе, Невинномысске, в ст. Успенской и Маланино – силой в 4 балла; в Армавире, Казинке, Водоразделе, Курсавке, Гофицком, в Черкесске, Новокубанске – силой в 3 балла; в Кисловодске, Ессентуках, Лермонтове, Пятигорске, Железноводске, Лабинске, в Гулькевичах и в ст. Отрадной – силой в 2–3 балла, в Карачаевске, Мостовском – силой в 2 балла.

2 сентября 2015 г. в Бурятии произошло ощутимое землетрясение с

$M = 4,8$. Очаг землетрясения находился на территории Бурятии, на глубине 10 км, в 30 км к северу от Нелятова, в 144 км к северо-востоку от Северомуйска, в 148 км к юго-востоку от Бодайбо, в 158 км – к западу от Чары. По данным Геофизической службы РАН, землетрясение ощущалось в Нелятах – силой в 5 баллов, в Бодайбо, Мамакане – в 4 балла, в Чаре – силой в 3 балла.

4 сентября 2015 г. в Азербайджане произошло ощутимое землетрясение с $M = 5,2$. Очаг находился на территории Азербайджана, на глубине 15 км, в 15 км к юго-востоку от Огуза, в 33 км к северо-востоку от Орджоникидзе, в 198 км к северо-западу от столицы Азербайджана – Баку. На территории Шеки, где находился эпицентр землетрясения, ощущались толчки до семи баллов. В Мингячевире, Евлахе, Гяндже, Гекчае и других районах ощущались толчки силой до 5–6 бал-



Эпицентр землетрясения в Бурятии 2 сентября 2015 г.

лов. Информации о разрушениях нет. В результате землетрясения в Шеки образовались трещины на стенах некоторых домов, а также – на древних крепостных стенах, на некоторых участках из стен выпали камни.

Землетрясение ощущалось в Нагорно-Карабахской республике силой в 4 балла; в ряде населенных пунктов Армении: в Айгедзоре силой в 4–5 баллов, в Иджеване, Ноемберяне – силой в 4 балла; в Ереване, Чоратане силой 3–4 балла; в Степанаване, Капане –

силой в 3 балла, в Ванадзоре силой 2–3 балла, а также в приграничных селах Дагестана – силой до 2-х баллов и в двух провинциях Турции: Эрзурум и Игдыр.

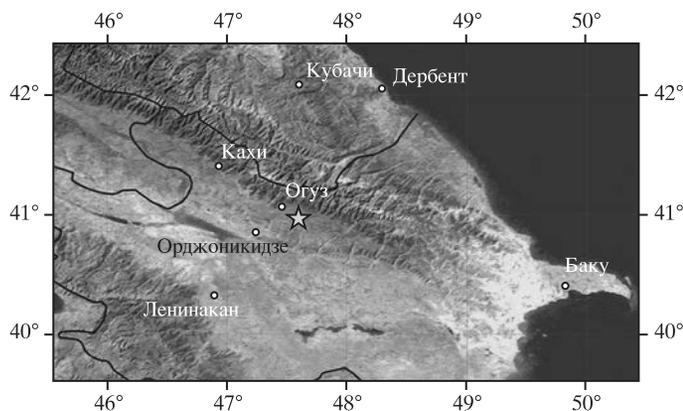
17 ноября 2015 г. в Греции зарегистрировано сильное землетрясение с $M = 6,5$. Очаг землетрясения находился в Средиземном море, у берегов острова Левкада на глубине 10 км, в 93 км к юго-востоку от Керкиры, в 93 км к юго-западу от Янины и в 298 км к северо-западу от столицы Греции – Афин.

По данным РИА-Новости, в результате землетрясения погибли две женщины, четыре человека получили ранения. Сильные разрушения зафиксированы на маленьком острове Итака, здесь была объявлена чрезвычайная ситуация. Серьезный ущерб нанесен домам, церквям и магазинам, на некоторых дорогах из-за оползней было приостановлено сообщение.

На Западе Тихоокеанского региона, у побережья Центрального Чили произошли шесть сильных землетрясений с $M = 6,5–8,3$.

16 сентября 2015 г. в 22 ч 54 мин по Гринвичу на побережье Центрального Чили возникло разрушительное землетрясение с $M = 8,3$, повлекшее за собой человеческие жертвы и разрушения.

По данным ИТАР-ТАСС, в результате землетрясения погибли 12 человек. В районе города Кокимбо более 185 тыс. человек остались без электричества. В городе Ла-Серена обрушился потолок в супермаркете.



Эпицентр землетрясения в Азербайджане 4 сентября 2015 г.

По словам очевидцев, в чилийской столице раскачивались высотные здания. Колебания земной коры ощущались в различных городах Чили, в соседней Аргентине и на юге Бразилии. Была объявлена угроза цунами. По данным Тихоокеанского центра по предупреждению цунами, максимальная волна цунами, высотой в 4,75 м, была отмечена в Кокимбо (Чили). В Перу максимальная волна достигла высоты 0,5 м, в Мексике – 20 см. Землетрясение произошло в 505 км к северо-востоку от координат разрушительного землетрясения, произошедшего 27 февраля 2010 г. с $M = 8,7$ (Земля и Вселенная, 2010, № 6). Тогда в результате землетрясения и последовавшего за ним цунами погибли более 700 человек.

В пограничной области Перу (Бразилия) зафиксированы два глубоких землетрясения (глубина очага 600 км) с $M = 7,3$ – $7,2$; одно заглабленное (100 км) – в районе Чьяпас (Мексика) с $M = 6,5$ и три землетрясения в земной коре (10–33 км): на северном побережье Западного Папуа (Индонезия) 24 сентября 2015 г. с $M = 6,7$; на Соломоновых островах с $M = 6,8$; в районе море Банда с $M = 6,6$; в районе Калифорнийского залива с $M = 6,6$.

Резко возросла сейсмичность в Центральной Азии (Таджикистан, Афганистан, Кыргызстан),

где зафиксировано 296 землетрясений.

26 октября 2015 г. в районе Гиндукуш (Афганистан) произошло разрушительное землетрясение с $M = 7$, повлекшее за собой человеческие жертвы и разрушения. Землетрясение произошло в высокосейсмичном регионе Гиндукуша, на границе столкновения двух плит – Евроазиатской и Индийской. Здесь происходят многочисленные землетрясения, очаги которых расположены как в пределах земной коры, так и на глубинах – до 330 км. Эпицентр этого землетрясения расположен к северо-востоку от эпицентров разрушительных землетрясений, произошедших в Афганистане 3 и 25 марта 2002 г. (Земля и Вселенная, 2002, № 4). Тогда погибли более 2000 человек, был разрушен г. Нахрин.

Землетрясение 26 октября 2015 г. нанесло наибольший урон Пакистану, в приграничной с Афганистаном провинции Хайбер-Пахтунхва. По сообщенным данным, погибло не менее 275 человек, пострадали свыше 2 тыс. человек, рухнули сотни домов. Многие провели ночь на улице, боясь возвращаться в здания и ожидая новых толчков. В Хайбер-Пахтунхву было объявлено чрезвычайное положение. По данным ИТАР-ТАСС, 90 человек погибли в Афганистане, 4 человека – в Индии и 275 человек – в разных районах Пакиста-

на. Подземные толчки ощущались во всех крупных городах Пакистана – Лахоре, Исламабаде, Равалпинди, Пешаваре. В Исламабаде повреждены несколько линий связи, в Пешаваре произошло обрушение здания, в Абботтабаде толчки вызвали сход оползней.

В Индии подземные толчки ощущались на обширной территории – от штатов Джамму, Кашмир и Химачал-Прадеша – до Пенджаба и Бихара, а также в столице Нью-Дели. Сообщалось, что в Индии население в панике выбегало на улицы. Имеются данные о незначительных разрушениях на самом севере страны, в штате Джамму и Кашмир. В г. Сринагаре нарушено энергоснабжение. По данным Геофизической службы РАН, землетрясение ощущалось в Таджикистане: в Хорог – силой в 6, в Душанбе – в 5–6 баллов; в Киргизии: в Ош – в 4, Бишкеке, Нарын – в 3 балла; в Казахстане: в Шымкенте – 4, в Тараз, Алматы – 3 балла; в России: в Новосибирске и Барнауле – силой в 2 балла.

7 декабря 2015 г. в Таджикистане произошло сильное землетрясение с $M = 7,5$. Очаг находился на глубине 33 км, в 32 км к востоку от Барчидева (Таджикистан), в 100 км к северо-западу от Мургаба (Таджикистан), в 241 км к югу от г. Оша (Кыргызстан) и в 346 км к юго-востоку от Душанбе. По данным



Последствия удара стихии в Афганистане: землетрясение 27 октября 2015 г.

РИА-Новости, один человек погиб в результате камнепада, произошедшего из-за землетрясения в Горно-Бадахшанской автономной области Таджикистана. Десятки человек получили ранения в одной из деревень Бартангского района, разрушены более 500 домов. Администрация Мургабского района заявила о частичном разрушении нескольких жилых построек. Жители Душанбе выскакивали на улицу. В шкафах гремело, раскачивались люстры. Подземные толчки ощущались на севере Индии, включая столицу Нью-Дели.

Также толчки ощущались во многих районах Синьцзян-Уйгурского автономного района, который граничит с Таджикистаном. Наиболее сильно толчки ощущались в округе Кашгар. Сообщается, что в домах на протяжении двух минут качалась мебель, шатались люстры, а также плескалась вода в

аквариумах. По данным Геофизической службы АН Республики Таджикистан, землетрясение ощущалось: в Сарезе – 5–6 баллов, в Душанбе – 3–4 балла. По данным Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, землетрясение ощущалось: в селах Дарраут-Курган, Бор-Дёбё, Иркештам – в 5 баллов, в Ош – в 4 балла, в городах Бишкек, Нарын – силой в 3 балла. По данным Казахстанского национального центра данных, в Казахстане землетрясение ощущалось в Алматы силой в 2–3 балла.

Сведений о разрушениях в сейсмоопасном районе Сарезского озера не поступало. Сарезское озеро, расположенное на Памире, – одно из красивейших озер Таджикистана. Оно образовалось 6 февраля 1911 г., после сильного 9-балльного разрушительного землетрясения, повлекшего за собой обвал горной поро-

ды, перекрывшей русло реки Мургаб.

25 декабря 2015 г. в Афганистане произошло сильное землетрясение с $M = 6,8$. Его очаг находился на северо-востоке Афганистана, на глубине 190 км, в 95 км к юго-востоку от Фейзабада (Афганистан), в 270 км к северо-западу от Пешавара (Пакистан), в 282 км к северо-востоку от столицы Афганистана – Кабула – и в 318 км к юго-востоку от Душанбе. По данным ИТАР-ТАСС, после землетрясения в Афганистане 41 житель пакистанского города Пешавар был доставлен в больницу. В городе разрушено несколько старых домов. Землетрясение ощущалось на территории Афганистана, Таджикистана, Индии, Пакистана, Узбекистана, Кыргызстана и Казахстана. Эпицентр землетрясения располагался в 36 км к северо-востоку от эпицентра разрушительного землетрясения, произошедшего 26 октября 2015 г., с магнитудой $M=7$ и в 258 км к юго-западу от эпицентра сильного землетрясения 7 декабря 2015 г. с магнитудой $M=7.5$. Подробные данные опубликованы в журнале «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений»

(2015, № 6, www.seismic-safety.ru).

17 ноября 2015 г. в Кыргызстане зарегистрировано ощутимое землетрясение с $M = 5,5$. Очаг находился на глубине 15 км, в 37 км к юго-востоку от Оша, в 265 км к юго-западу от Нарына и в 310 км к юго-западу от столицы Кыргызстана Бишкека. Через 2 ч после основного толчка зарегистрирован афтершок с $M = 4,1$, интенсивность которого составила: в селах Лангар, Кара-Сегет в 3–4 балла, в с. Баш-Булак – в 3 балла, в Ош – силой 2–3 балла.

20 ноября 2015 г. в Кыргызстане, в том же районе произошло ощути-

мое землетрясение с $M = 5,1$. Это наиболее значительный афтершок землетрясения от 17 ноября 2015 г. с $M = 5,5$, очаг которого находился в Кыргызстане, на глубине 15 км, в 58 км к юго-востоку от Оша, в 254 км к юго-западу от Нарына и в 310 км к юго-западу от Бишкека, столицы Кыргызстана. По данным Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, землетрясение ощущалось: в селах Алга-Бас, Чайчи, Каблан-Коль, Лангар, Бек-Джар, Кызыл-Туу – 5–6 баллов, Лаглан – 4 балла, в Ош – 4 балла, в Джалал-Абаде – 3 балла. По данным

МЧС Кыргызстана в Ошской области, более тысячи жилых домов и социальных зданий имеют значительные разрушения. Больше всего пострадал Кара-Сууйский район Ошской области.

Параметры всех землетрясений представлены на информационном сервере Геофизической службы РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>).

О.Е. СТАРОВОЙТ,

кандидат

физико-математических наук

Л.С. ЧЕПКУНАС,

кандидат физико-математических наук

М.В. КОЛОМИЕЦ

Геофизическая служба РАН

Информация

Новый океанографический спутник

17 января 2016 г. с военно-воздушной базы Ванденберг (штат Калифорния) с помощью РН “Фалькон-9” (“Falcon-9”), созданной частной американской аэрокосмической компанией “Спейс-X”, запущен океанографический ИСЗ “Ясон-3” (“Jason-3”). Спутник создан по международному проекту – с участием NASA, Национального

управления океанических и атмосферных исследований (NOAA), Французского центра космических исследований (CNES) и Европейской организации спутниковой метеорологии (Eumetsat). ИСЗ “Ясон-3” (размер – $2 \times 3,8$ м, размах панелей солнечных батарей – 10 м, мощность вырабатываемой электроэнергии – 580 Вт, масса – 553 кг) создан на базе космической платформы “Proteus” компанией “Thales Alenia Space” (Италия). Он вышел на орбиту высотой 1336 км, с наклоном $66,038^\circ$ и периодом обращения – 112 мин. Асинхронность орбиты позволит ей повторяться один раз в 9,9 сут (через 127 витков). “Ясон-3” продолжит работу таких своих предшественников по

измерению рельефа мирового океана, как “ТОРЕХ/Poseidon” (запущен 10 августа 1992 г., завершил работу в 2006 г.), “Ясон-1” (запущен 7 декабря 2001 г., завершил работу в 2013 г.) и “Ясон-2” (запущен 20 июня 2008 г., продолжает работу). Спутник содержит схожий с ИСЗ “Jason-2” набор инструментов: радиовысотометр Poseidon-3B и радиометр AMR-2, а также приборы DORIS, GPSP и LRA, позволяющие максимально точно определить его пространственное местоположение в момент проведения измерений. Попутно используются радиационные дозиметры. Программа работы рассчитана на 5 лет.

Пресс-релиз NASA

22 января 2016 г.

Дорогие читатели!

*Напоминаем, что подписаться на журнал
“Земля и Вселенная” вы можете с любого
номера по Объединенному каталогу
“Пресса России”*

*(II полугодие 2016 г.) во всех отделениях связи.
Подписаться можно и по Интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте Почта России.
Подписной индекс – 70336.*

Заведующая редакцией Л.В. Рябцева

Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасюгин

Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректор Т.И. Шепвалова

Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 09.03.2016. Подписано в печать 29.04.2016. Дата выхода в свет 17.05.2016

Формат 70 × 100^{1/16} Цифровая печать

Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отг. 2,5 тыс. Бум.л. 3,5

Тираж 263 Зак. 90 Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: ФГУП «Академиздатцентр «Наука»

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Адрес редакции: 119049, Москва, Мароновский пер., 26

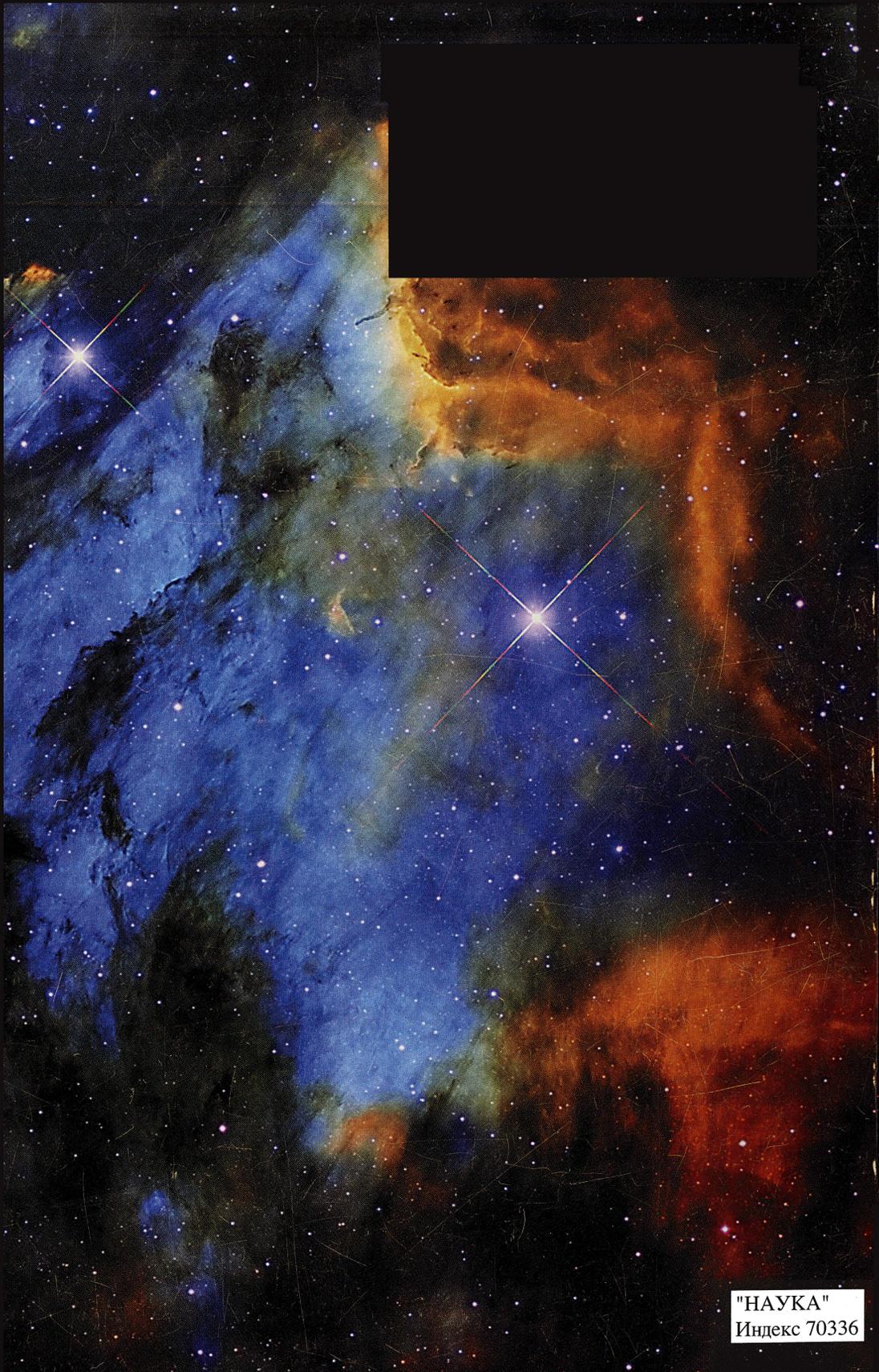
Телефоны: (499) 238-42-32, 238-29-66

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Академиздатцентр «Наука»

Отпечатано в ФГУП «Академиздатцентр «Наука» (типография «Наука»),
121099 Москва, Шубинский пер., 6





"НАУКА"
Индекс 70336