

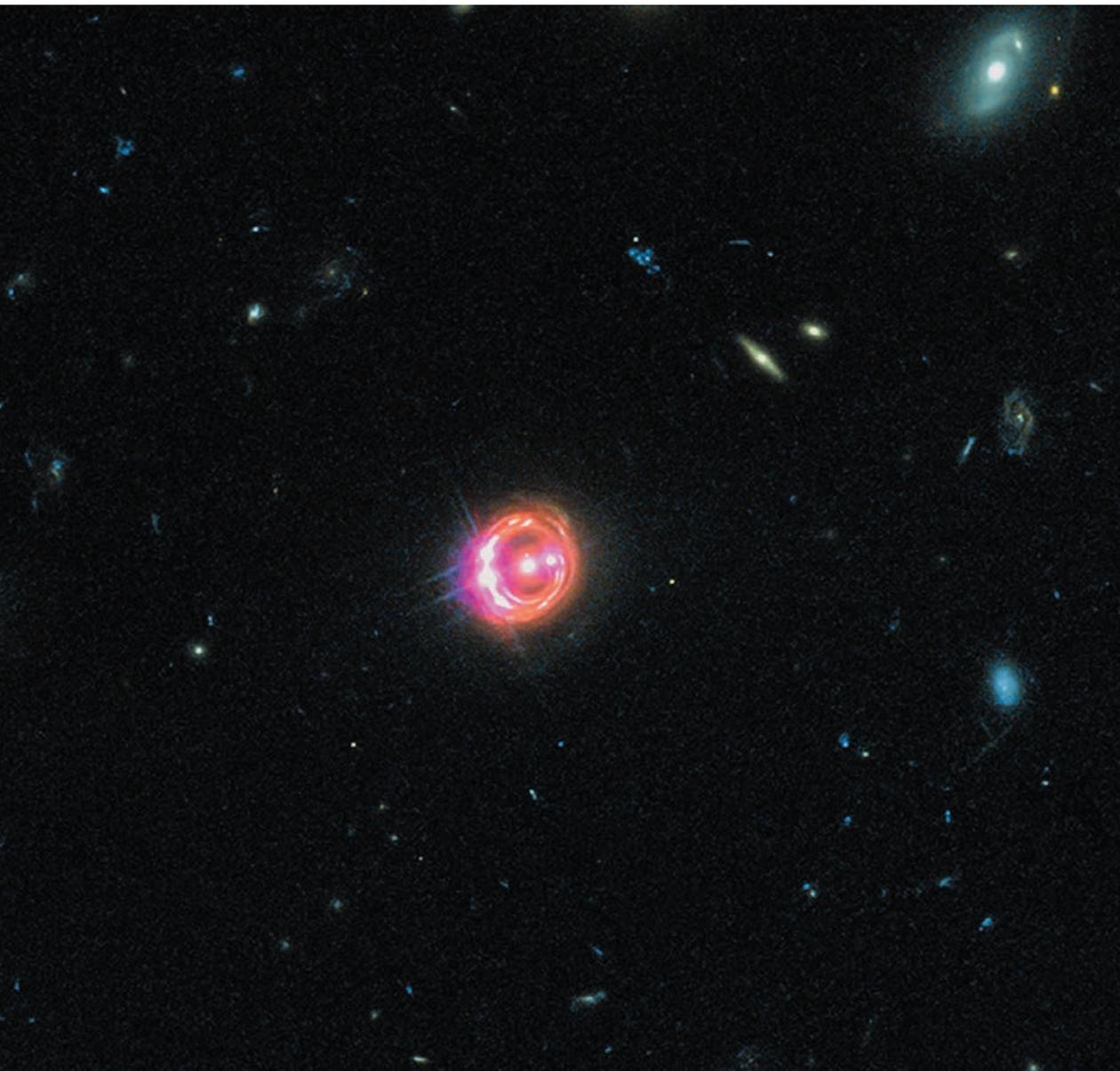
ISSN 0044-3948

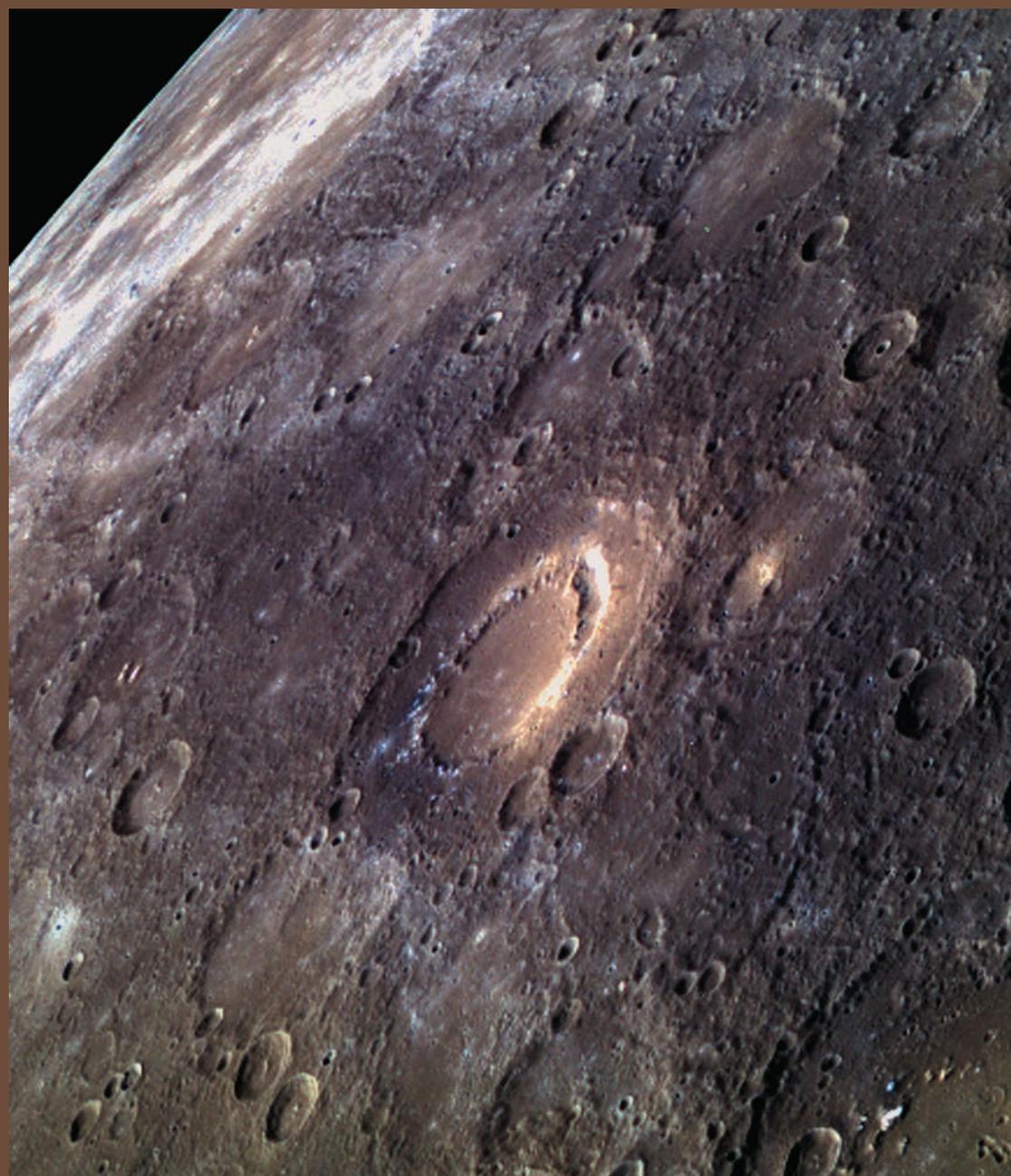
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

СЕНТЯБРЬ–ОКТЯБРЬ

5/2014





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

5/2014

Новости науки и другая информация:

Солнце в апреле – мае 2014 г. [34]; Дюнные поля на Марсе [37]; Гало вокруг туманности [54]; Метеориты на Марсе [106]; Предельная скорость вращения черной дыры [88]; Уникальная звезда-гигант [110]

В номере:

- 3 РЕВНИВЦЕВ М.Г., ЛУТОВИНОВ А.А., ПАВЛИНСКИЙ М.Н. Рентгеновская астрономия: вчера, сегодня, завтра (окончание)
22 СЫЧЁВ В.Н., ИЛЬИН Е.А. Проект “Бион-М”

ЛЮДИ НАУКИ

- 38 КОЗЕНКО А.В., КОРСАКОВ С.Н. Семён Самсонович Ковнер

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

- 42 ПОПОВА О.П. Экспедиция по следам Челябинского метеорита

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

- 55 Космос, биосфера и геосфера

ИСТОРИЯ НАУКИ

- 59 КОСТКО О.К. Лазеры исследуют атмосферу

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- 72 НЕФЕДЬЕВ Ю.А., ГАЛЕЕВ А.И. Научно-образовательный центр в Казани

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 84 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: ноябрь – декабрь 2014 г.

ДОСЬЕ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

- 89 РУДНИЦКИЙ Г.М. Новые открытия внесолнечных планет



© Российская академия наук
© Редколлегия журнала
“Земля и Вселенная” (составитель), 2014

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; Deputies Editors V.M. Kotlyakov, S.P. Perov

На стр. 1 обложки: Сверхмассивная черная дыра в квазаре RX J1131-1231, находящемся в 6,1 млрд лет от Земли в созвездии Чаши. Звездочка розового цвета – это изображения квазара, полученные благодаря эффекту линзирования. Комбинированный снимок сделан 5 марта 2014 г. космической рентгеновской обсерваторией “Чандра” (экспозиция – 7 ч 39 мин). Фото NASA, (к стр. 88).

На стр. 2 обложки: Кольцевой бассейн Скарлатти (40,7° с.ш. и 258,9° в.д.) диаметром 132 км на Меркурии. В его северо-восточной части – вулканический провал размером 30 км. Бассейн назван в честь династии итальянских композиторов XVIII в. Скарлатти. Снимок сделан 18 апреля 2014 г. широкоугольной камерой с 11 цветными фильтрами AMC “Мессенджер”. Фото JPL/NASA.

На стр. 3 обложки: Вверху – комета C/2013 R1 Лавджой (Lovejoy) с галактиками M51 Водоворот, M63 Подсолнух, NGC 5023 и UGC 8320 в созвездии Гончих Псов. Снимок сделан 25 ноября 2013 г. в Обсерватории Меев Института астрономии Гавайского университета (о. Мауи, Гавайи), камера “Canon EOS 5D Mark II”, экспозиция – 22,5 мин, ISO 3200. Фото астронома-любителя М. Друкмюллера (Чехия). Внизу – фрагмент дюнного поля вблизи Северной полярной шапки Марса ранним летом. Темный материал – песок, яркие участки – иней углекислоты, которая не успела сублимировать. Снимок сделан 30 апреля 2014 г. камерой HiRISE ИСМ “Марсианский орбитальный разведчик”. Фото JPL/NASA (к стр. 37).

На стр. 4 обложки: Гало вокруг эмиссионной туманности NGC 6164, расположенной в 4200 св. лет от нас в созвездии Наугольника. В левом нижнем углу – сгустки газа. Снимок сделали 22 мая 2014 г. астрономы – любители М. Паф, Р. Стивенсон (США; к стр. 54).

In this issue:

- 3 REVNIVTSEV M.G., LUTOVINOV A.A., PAVLINSKY M.N. X-Ray Astronomy: Yesterday, Today and Tomorrow (conclusion)
22 SYCHEV V.N., ILYIN E.A. “Bion-M” Project

PEOPLE OF SCIENCE

- SMIRNOV S.S. Daniel Kirkwood (to the 200th anniversary of Birth)
38 KOZENKO A.V., KORSAKOV S.N. Semyon Samsonovich Kovner

INTERNATIONAL COOPERATION

- 42 POPOVA O.P. Expedition after the Chelyabinsk Meteorite

SYMPOSIA, CONFERENCES, CONGRESSES

- 55 Space, biosphere and geosphere

HISTORY OF SCIENCE

- 59 KOSTKO O.K. Lasers are probing the Atmosphere

ASTRONOMICAL EDUCATION

- 72 NEFEDYEV Yu.A., GALEYEV A.I. Science and Education Centre in Kazan

AMATEUR ASTRONOMY

- 84 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: November – December 2014

DOSSIER OF THE CURIOUS ONES

- 89 RUDNITSKY G.M. New Discoveries of Exoplanets

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

Рентгеновская астрономия: вчера, сегодня, завтра*

М.Г. РЕВНИВЦЕВ,
доктор физико-математических наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
доктор физико-математических наук
М.Н. ПАВЛИНСКИЙ,
доктор физико-математических наук ИКИ РАН



В статье кратко рассказывается история развития рентгеновской астрономии, начиная с первых ракетных экспериментов

до современных орбитальных обсерваторий. Описаны объекты исследования рентгеновской астрономии и достижения последних

лет. Большое внимание уделено развитию технологий формирования изображений и технологической регистрации рентгеновского излучения.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ
СПЕКТРЫ РЕНТГЕНОВСКИХ
ИСТОЧНИКОВ

Широкий диапазон температур объектов, излу-

чающих в рентгеновском диапазоне, таких как двойные системы с черными дырами и нейтронными звездами, требовал

расширения диапазона энергий, в котором происходит регистрация спектра их излучения. Было обнаружено, что в раз-

* Окончание. Начало см. в № 4, 2014.

ное (или даже в одно и то же) время излучение аккрецирующих черных дыр может иметь в излучении компоненты с характерными температурами в 1–2 кэВ и свыше 30–50 кэВ. Эффективную регистрацию фотонов в таком широком диапазоне энергий практически невозможно выполнить с помощью одного прибора. Решением этой проблемы стали комбинации приборов на орбитальных обсерваториях.

Интерес к более жесткому рентгеновскому излучению (с энергиями выше 5–10 кэВ) обусловлен тем фактом, что фотоны таких энергий практически не поглощаются в межзвездной среде нашей Галактики. Для фотонов более низких энергий межзвездное фотопоглощение является эффективным экраном, закрывающим от нас области в направлении плоскости Галактики, и в особенности интереснейшую область ее центра. Первые картографирования области Галактического центра обсерваторией им. Эйнштейна показали, что межзвездное поглощение на энергиях ниже 2–3 кэВ существенно ограничивает чувствительность к источникам в этом направлении. На более высоких энергиях угловое разрешение инструментов составляло не лучше 20–30 угловых

минут, что было совершенно недостаточно для картографирования этой “густонаселенной” области неба.

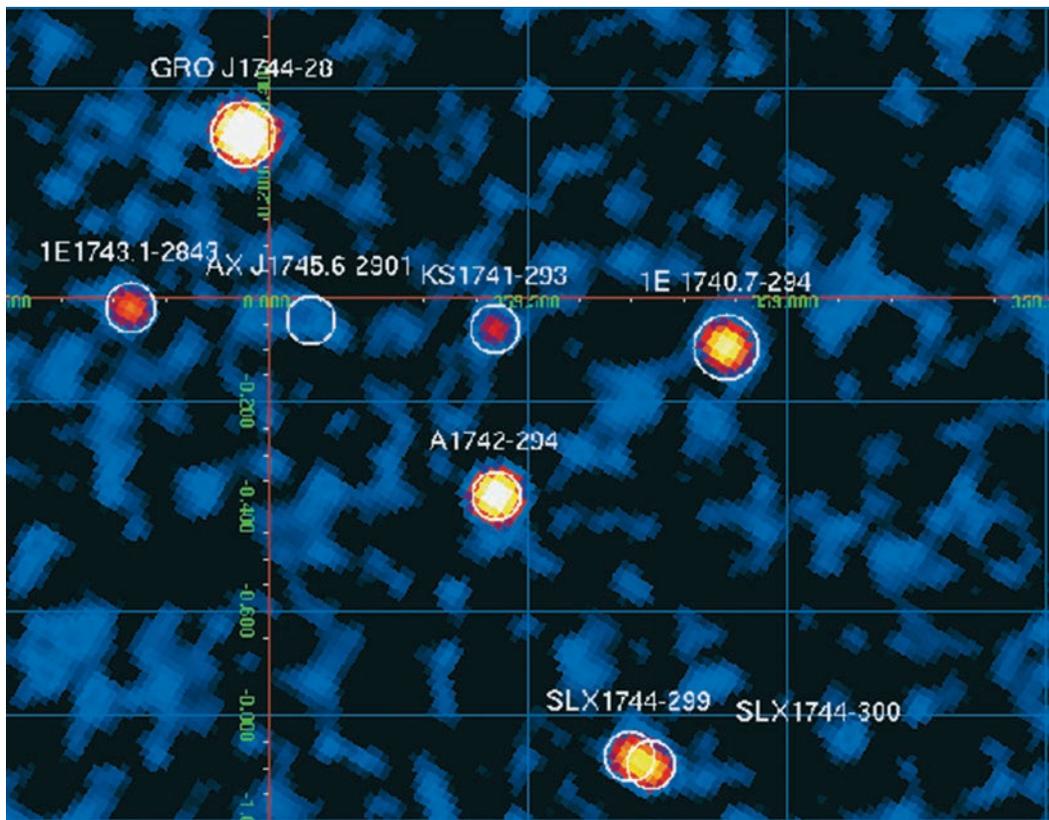
Одна из первых попыток построения карты области Галактического центра на энергиях выше 3–4 кэВ была предпринята в ходе экспедиции STS-51G космического корабля “Дискавери” в июне 1985 г. с помощью аппаратуры “SPARTAN-1”. Рентгеновский инструмент представлял собой два спектрометра, работающих в диапазоне энергий 1–12 кэВ и наблюдавших небо через коллиматоры с полями зрения $0,5' \times 3^\circ$. Узкая полоса пропускания коллиматоров по одной оси позволяла при сканировании объектов получать изображение со значительно улучшенным угловым разрешением относительно существовавших ранее. Для получения полноценного изображения в ходе эксперимента направление сканирования инструмента несколько раз менялось.

Следующим шагом в получении изображений на энергиях выше 3–4 кэВ стал эксперимент XRT (X-Ray Telescope) в составе космической лаборатории “Спейслэб-2” (“Spacelab-2”), работавшей в составе экспедиции STS-51F на КК “Челленджер” в июле – августе 1985 г. Общее

время наблюдений области центра Галактики телескопа XRT было невелико (всего около 6 ч), что ограничило чувствительность полученной карты неба. Основным принципом построения изображения телескопа XRT существенно отличался как от принципа построения изображения в телескопах косого падения, так и от метода модуляционных коллиматоров. Если в первом случае рентгеновские фотоны фокусируются в малой области в фокальной плоскости телескопа, то во втором поток квантов модулируется во времени.

В телескопе XRT применялся метод кодированной апертуры. Этот метод основан на пространственной модуляции первичного потока рентгеновских квантов с помощью маски, расположенной над детектором и состоящей из большого числа случайным образом размещенных прозрачных и непрозрачных элементов. Поток фотонов, приходящий от рентгеновского источника, находящегося на бесконечности, “кодируется” маской и регистрируется позиционно-чувствительным детектором.

Важнейшей особенностью описываемого метода является то, что для разных направлений прихода излучения (источников на небе) фор-



Область центра Галактики на энергиях 3–30 кэВ. Объекты с обозначением “KS” были впервые открыты аппаратурой модуля “Квант”. Изображение получено в 1987–1993 гг. телескопом с кодирующей апертурой ТТМ на модуле “Квант” станции “Мир”. Рисунок ИКИ РАН.

мируется своя, отличная от других, засветка детектора (тенеграмма). При наличии в поле зрения нескольких источников на детектор проецируется тень, являющаяся суперпозицией разных тенеграмм, и вклад каждой из них зависит от интенсивности источника. Фон детектора маской не кодируется, поэтому можно однозначно выделить сигнал фотонов неба и восстановить двумер-

ное изображение участка небесной сферы, что впервые продемонстрировано в эксперименте на модуле “Спейслэб-2”.

Концепция телескопа с кодирующей апертурой получила свое развитие при создании приборов космической обсерватории “Рентген” на модуле “Квант” орбитальной станции “Мир” (1987–1996; Земля и Вселенная, 2000, № 6). В создании уникальной аппаратуры обсерватории, позволяв-

шей исследовать рентгеновские источники в широчайшем диапазоне энергий 2–800 кэВ, участвовали ученые и специалисты СССР (телескоп-спектрометр “Пульсар X-1”), Нидерландов и Великобритании (телескоп с кодирующей маской ТТМ), Германии (спектрометр “Гексе”) и Европейского космического агентства (спектрометр “Сирень-2”). С помощью телескопа ТТМ были впервые получены карты



Космическая обсерватория “Гранат” (1989–1999) с рентгеновскими телескопами “Сигма” и АРТ-П. Рисунок ИКИ РАН.

больших участков рентгеновского неба в диапазоне энергий до 30 кэВ, открыты новые источники в области Галактического центра.

Выдающимся результатом, полученным обсерваторией “Рентген”, безусловно, является открытие жесткого рентгеновского излучения от Сверхновой 1987А. Эта сверхновая вспыхнула в феврале 1987 г. в соседней галактике Большое Магелланово Облако и до сих пор является самой близкой к нам из

известных сверхновых за последние 400 лет. Ее наблюдения стали наиболее приоритетными в ранней программе обсерватории. Оболочка, образовавшаяся при взрыве звезды с общей массой более $15 M_{\odot}$, сначала настолько плотная, что полностью задерживает рентгеновские лучи. Но, поскольку оболочка разлетается во все стороны с огромными скоростями, она постепенно становится прозрачной для рентгеновских и гамма-лучей. Как показыва-

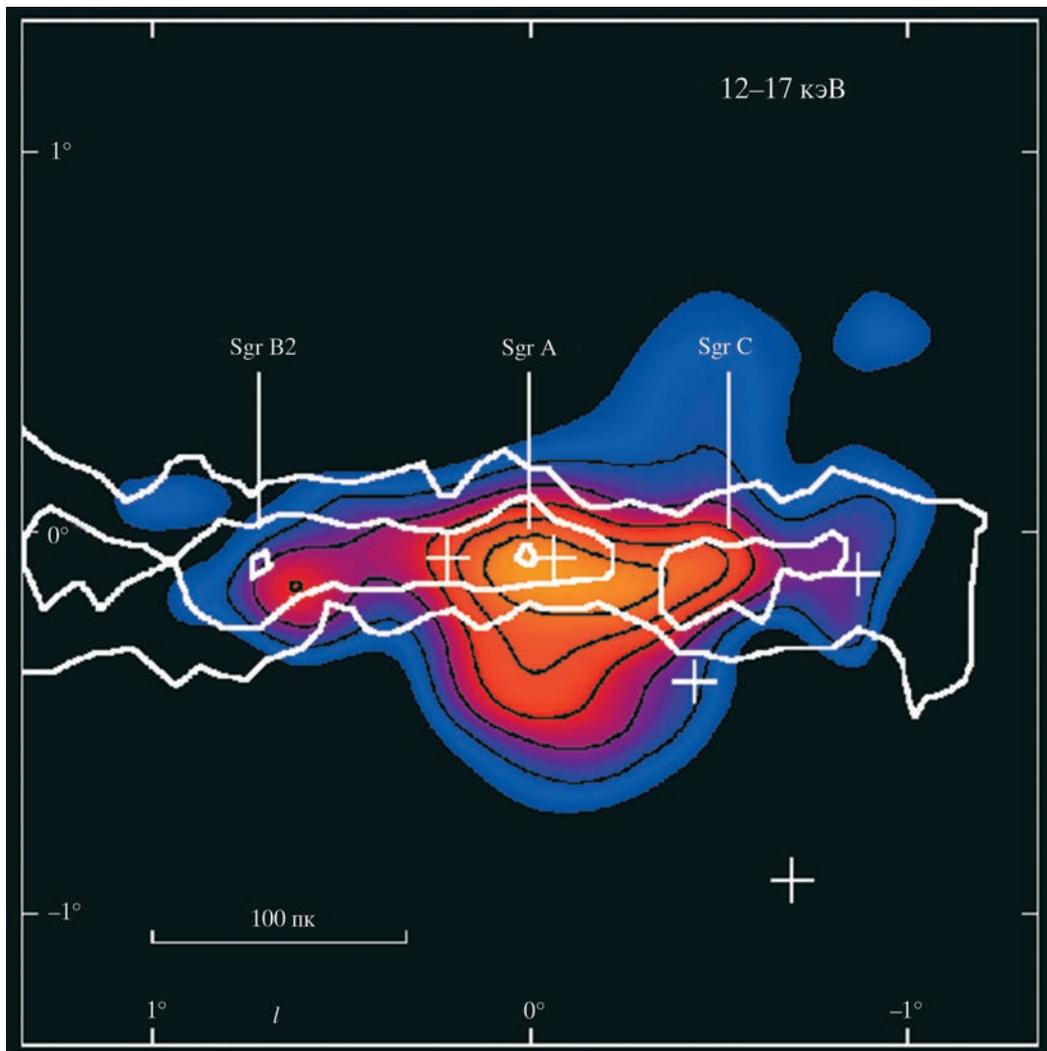
ли теоретические расчеты, гамма-излучение, обусловленное распадом радиоактивного кобальта ^{56}Co , должно выходить наружу сквозь расширяющуюся оболочку примерно через полгода после взрыва, что и зафиксировали инструменты обсерватории “Рентген” модуля “Квант”.

Помимо открытия рентгеновского излучения от Сверхновой 1987А, среди наиболее значимых результатов обсерватории “Рентген” следует отметить следующие:

- впервые обнаружено жесткое рентгеновское/гамма-излучение рентгеновских Новых, простирающееся до энергий выше 200–300 кэВ, что позволило указать на необходимость учета нетепловых процессов в формировании, по крайней мере, части излучения от аккрецирующих черных дыр;

- открыт ряд аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр, для которых были впервые получены широкополосные спектры;

- получены изображения области центра Галактики в широком диапазоне энергий.



Область Галактического центра в диапазоне энергий 12–17 кэВ. Белые контуры показывают распределение молекулярного газа. Рентгеновское излучение, регистрируемое от молекулярного облака Sgr B2, рождается в результате переизлучения прошлой активности сверхмассивной черной дыры в центре Галактики. Изображение получено в 1990-е гг. телескопом АРТ-П обсерватории “Гранат”. Фото ИКИ РАН.

Практически одновременно с подготовкой запуска обсерватории “Рентген” в СССР велись разработки по созданию космической обсерватории “Гранат” (1989–1998; Земля и Вселенная, 1989, № 3; 1993, № 6). Этот

проект осуществлялся совместно советскими, французскими, датскими и болгарскими учеными. Обсерватория была задумана как комплекс научной аппаратуры для детальных исследований астрофизических объек-

тов в диапазоне энергий 2 кэВ – 100 МэВ. В комплекс вошли основные приборы: французско-советский телескоп “Сигма” и телескоп АРТ-П (астрофизический рентгеновский телескоп позиционно-чувствительный),



Международная космическая астрофизическая обсерватория “Интеграл” (ESA – Россия). Работает на околоземной орбите с 2002 г. Рисунок ESA.

разработанный в ИКИ АН СССР. Оба телескопа работали по принципу кодирующей апертуры и дополняли друг друга, имея перекрывающиеся рабочие диапазоны энергий: 2–60 кэВ (АРТ-П) и 40 кэВ – 2 МэВ (“Сигма”). Телескоп “Сигма” был первым в мире астрофизическим телескопом, способным строить изображения в жестком рентгеновском диапазоне (40–1300 кэВ).

Необходимо упомянуть советско-болгарский прибор “Подсолнух”, предназначавшийся для наблюдения гамма-всплесков и транзиентных источников в диапа-

зоне энергий 2–25 кэВ. Особенностью прибора было его размещение на поворотной платформе, обеспечивающий оперативный поворот (со скоростью 90° в секунду) и наведение в автоматическом режиме установленных на ней приборов в предполагаемую точку расположения источника космического гамма-всплеска по сигналам прибора “Конус”. В рамках программы исследований предполагалось изучение временной структуры гамма-всплеска, проведение спектрального анализа его послесвечения, осуществление точной локали-

зации источника гамма-всплеска. На поворотной платформе устанавливался также оптический монитор, построенный на основе ПЗС-матрицы. Таким образом, весь комплекс приборов на поворотной платформе был задуман и создан для исследования гамма-всплесков. К сожалению, после запуска обсерватории он так и не заработал в штатном режиме, отсрочив открытие природы гамма-всплесков на 8 лет, когда на орбите начала свою работу итало-голландская космическая обсерватория “BeppoSAX” (1996–2003), впервые обнаружившая

Спектр галактического балджа вблизи энергии аннигиляции позитронов (511 кэВ). По данным спектрометра SPI обсерватории "Интеграл". Из работы Е.М. Чуразова и др. (2011).

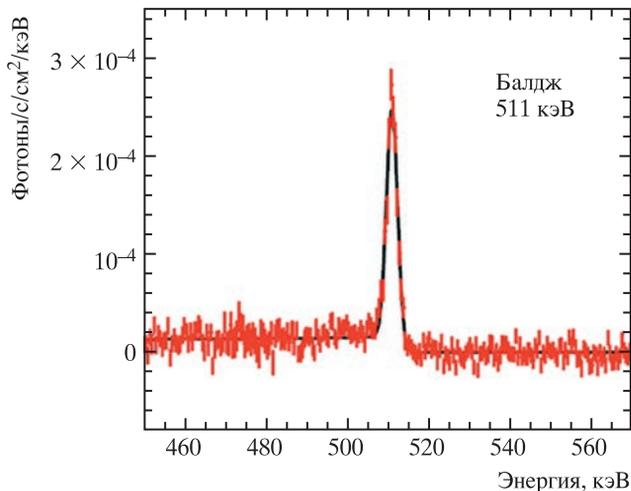
в 1997 г. рентгеновское послесвечение гамма-всплесков и способная быстро и точно проводить их локализацию.

Среди наиболее значимых результатов обсерватории "Гранат" следует отметить:

- глубокие изображения области Галактического центра в жестком (40–150 кэВ) и мягком (4–20 кэВ) рентгеновских диапазонах (Р.А. Сюняев, 1991; М.Н. Павлинский, 1994), в них найдено несколько ранее неизвестных черных дыр и нейтронных звезд в нашей Галактике;

- высококачественные широкополосные спектры кандидатов в черные дыры и нейтронные звезды;

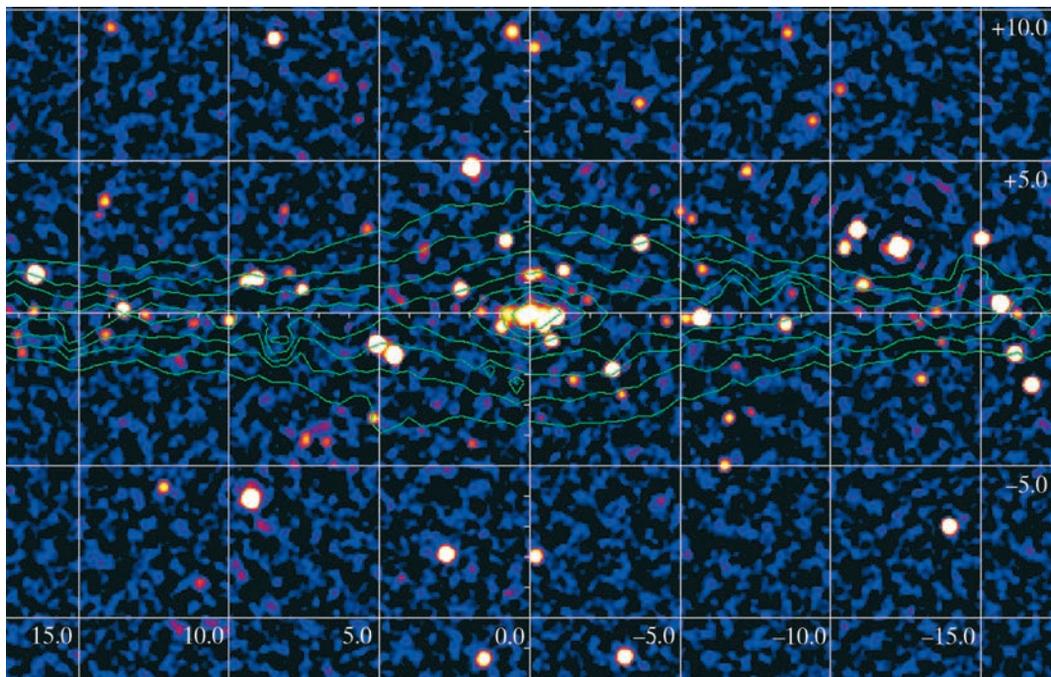
- протяженное жесткое (8–22 кэВ) диффузное излучение вокруг центра Галактики и в направлении на молекулярное облако Sgr B2 – эхо прошлой активности центральной сверхмассивной черной дыры Стрелец А* (Р.А. Сюняев и др., 1993). Последнее блестяще подтвердили наблюдения космической обсерватории "Интеграл" спустя почти 15 лет.



Большие научные успехи обсерваторий "Рентген" и "Гранат" (особенно последней в жестком рентгеновском и гамма-диапазоне) подвели ученых к мысли о создании полноценной космической лаборатории гамма-лучей. Такая обсерватория позволяла бы не только строить изображения неба в жестких рентгеновских и гамма-лучах и производить спектральный и временной анализ рентгеновских источников в широком диапазоне энергий, но и строить тонкую спектроскопию с высочайшим энергетическим разрешением регистрируемого излучения на энергиях вплоть до 8 МэВ. Группа ученых разных стран создала концепцию Международной астрофизической лаборатории гамма-лучей "Интеграл" ("INTEGRAL", INTErnational Gamma Ray Astrophysical Laboratory –

международная астрофизическая лаборатория гамма-излучения), совместного проекта ESA и России (работает на орбите с 2002 г.; Земля и Вселенная, 1997, № 3; 2003, № 2; 2010, № 1).

Многолетняя работа обсерватории "Интеграл" ознаменовалась выдающимися достижениями в разных областях рентгеновской и гамма-астрономии. Одно из них – измерение энергии линии аннигиляции электронов и позитронов с высочайшей точностью $E/m_e c^2 = 1,00002 \pm 0,00007$ (Е.М. Чуразов и др., 2011). Пространственное распределение интенсивности излучения этой линии показывает, что аннигиляция позитронов происходит в центральной зоне Галактики. По ширине линии 511 кэВ и относительной яркости трехфотонного континуума (на энергиях ниже 511 кэВ) можно сделать



Карта рентгеновских источников в Галактическом центре, полученная по данным, накопленным обсерваторией “Интеграл” в 2003–2012 гг. Черным и синим цветом показаны области, из которых не регистрируется статистически значимый рентгеновский поток. Рентгеновские источники (в основном двойные системы с нейтронными звездами и черными дырами) видны как красные, желтые и белые пятна. Зелеными контурами показано распределение обычных звезд в нашей Галактике. Рисунок ИКИ РАН.

заключение, что аннигиляция происходит в теплой (примерно 10^4 K), частично ионизованной межзвездной среде, причем в основном не напрямую, а через образование позитрония – короткоживущей связанной системы из электрона и позитрона. Интенсивность линии свидетельствует о том, что в области ее формирования аннигилирует порядка 10^{43} позитронов в секунду.

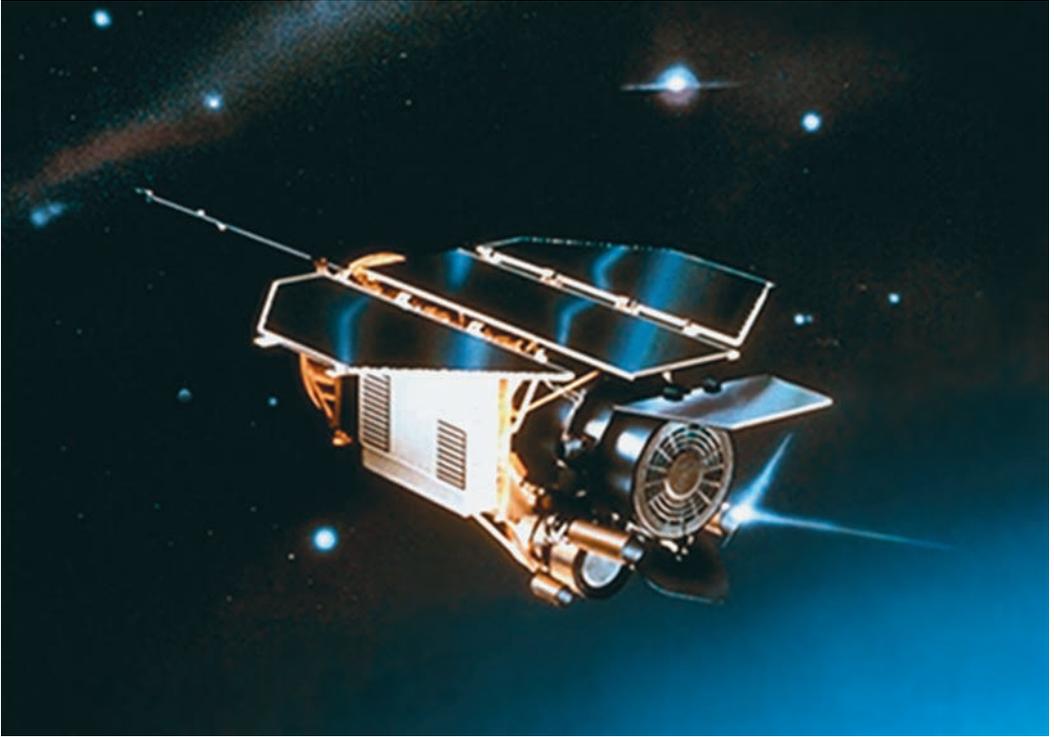
Среди других важных результатов обсер-

ватории “Интеграл” – построение карты нашей Галактики с беспрецедентной чувствительностью в большой части неба (Р.А. Кривонос, 2012); разрешение проблемы протяженного жесткого рентгеновского излучения вдоль плоскости Галактики (проблема “хребта” Галактики; М.Г. Ревнивцев, 2006, 2009; Р.А. Кривонос, 2007); регистрация эмиссионных гамма-линий от Сверхновой 1987А на энергиях 67,9 и 78,4 кэВ, возникающих после рас-

пада радиоактивного титана и скандия (С.А. Гребенев, 2012); открытие новых классов двойных систем с нейтронными звездами и многое другое.

КОСМИЧЕСКИЕ
ОБСЕРВАТОРИИ 1980–1990-х гг.

Исследования объектов Вселенной методами астрономии дают информацию только трех типов: пространственную (изображение), спектральную (распределение плотности потока фотонов от энергии или длины вол-



Немецкая космическая обсерватория “ROSAT” (1990–1999). На ее борту функционировал рентгеновский телескоп косоугольного падения с большим полем зрения и эффективной площадью около 240 см². Рисунок NASA.

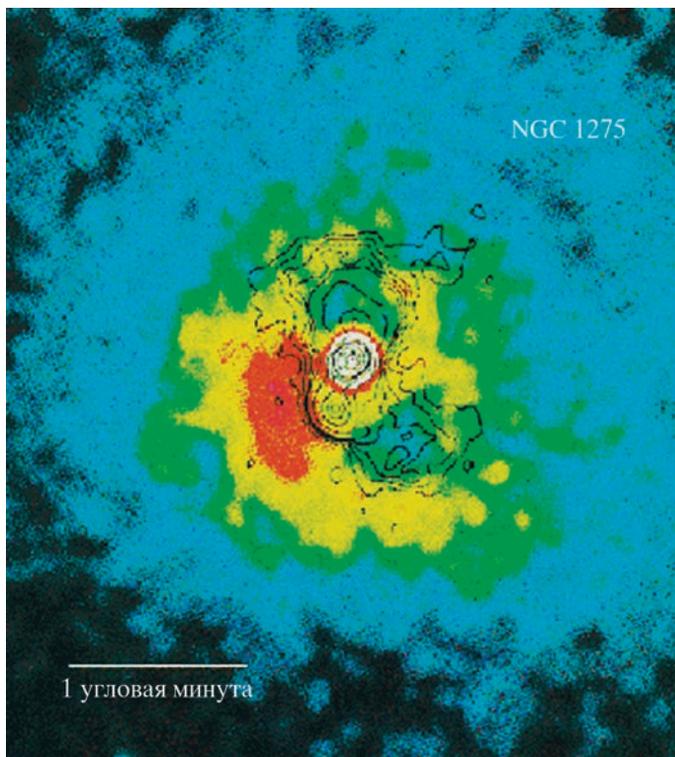
ны) и временную (зависимость яркости объектов от времени).

Американская космическая обсерватория “HEAO-2” им. Эйнштейна (1978–1981), впервые имевшая возможность получать высокоточную пространственную информацию о рентгеновском излучении неба, в то же время имела и несколько существенных недостатков. Преж-

де всего, эффективная площадь детекторов, имеющих возможность строить пространственное изображение с высоким разрешением, была очень мала – около 10 см² на энергии 1 кэВ. Этого было совершенно недостаточно для полной реализации потенциала фокусирующих рентгеновских телескопов.

Огромный шаг вперед в развитии рентгеновских инструментов – создание телескопов косоугольного падения с большим полем зрения (около 1°) и большой эффективной площадью. Такой телескоп площадью около 240 см² на энергии 1 кэВ стал основой немецкой космической обсервато-

рии “ROSAT” (1990–1999). Повышение эффективной площади, и особенно такого параметра, как произведение эффективной площади на поле зрения зеркальной системы, дало возможность выполнить беспрецедентный по чувствительности обзор всего неба в рентгеновских лучах на энергиях 0,2–2,5 кэВ. Обнаружены ранее неизвестные остатки вспышек сверхновых, изолированные нейтронные звезды, более 150 тыс. рентгеновских источников, излучение комет, составлены каталоги объектов разных классов, детально изучены известные остат-



Скопление галактик в созвездии Персея. На изображении наложены контуры радиояркости этого скопления. Антикорреляция яркости скопления галактик в рентгеновском и радиодиапазоне указывает на существенное влияние выбросов центральной сверхмассивной черной дыры на горячий межгалактический газ. Рентгеновское изображение получено в 1993 г. обсерваторией "ROSAT". Из работы Х. Берингера и др. (1993).

ки сверхновых и многое другое.

При исследованиях компактных объектов – черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов – пространственная информация оказывается практически недоступной: источники слишком малы (например, нейтронная звезда имеет размер около 10–15 км на расстоянии от нас в сотни и тысячи парсек, то есть должна иметь угловой размер менее наносекунды). Остаются только спектральная и временная информация. Чтобы увеличить научную ценность спектральной информации, необходимо повысить

энергетическое разрешение регистрирующих приборов. Первые инструменты рентгеновского диапазона обладали энергетическим разрешением на уровне 20–25% до энергий 5–10 кэВ (газовые пропорциональные счетчики) и на уровне 10–15% в диапазоне 50–300 кэВ (сцинтилляторы).

Кардинально новым способом получения хорошего энергетического разрешения стало использование диспергирующих элементов – брэгговских кристаллов и дифракционных решеток. Основной принцип работы таких приборов – их свойство отклонять

плоскопараллельный пучок фотонов на угол, пропорциональный энергии фотонов. Регистрация потока фотонов позиционно-чувствительным детектором позволяет приписать фотонам, отклоненным на разные углы, определенную энергию. Впервые этот метод построения спектров астрофизических источников был использован на обсерватории "Ariel-V" (1974–1980), затем на обсерваториях "HEAO-2", "EXOSAT" (1983–1986). Однако наряду с преимуществами этот метод получения спектров высокого разрешения обладает и не-

достатком – большой потерей потока фотонов.

Важным шагом в росте энергетического разрешения на энергиях ниже 10 кэВ при высокой эффективности регистрации фотонов стало применение газовых сцинтилляционных пропорциональных счетчиков, улучшивших энергетическое разрешение до 10% без потери эффективности регистрации фотонов. Это сразу дало возможность открыть несколько новых явлений в рентгеновской астрономии. По данным японской космической обсерватории “Тенма” (“Astro-B”; 1983–1985), на которой впервые использованы газовые сцинтилляционные пропорциональные счетчики рентгеновских фотонов, найдены предсказанные незадолго до этого (М.М. Баско и др., 1974) флуоресцентные линии железа у ряда источников в нашей Галактике (К. Сузуки и др., 1984) и у внегалактических объектов.

Флуоресцентные линии возникают в результате отражения рентгеновского излучения от относительно холодного вещества. Эти эмиссионные линии очень важны при изучении окрестностей черных дыр и нейтронных звезд. Профили линий, их ширина и смещение энергии относительно истинного положения дает информацию

о движении вещества вокруг компактных объектов, о гравитационном красном смещении в этом месте. Однако для детальных исследований эмиссионных линий в спектрах рентгеновских источников имеющегося качества наблюдений было недостаточно.

В 1978 г. впервые на рентгеновской обсерватории “HEAO-2” при измерении спектров с высоким разрешением употреблялись твердотельные детекторы рентгеновского излучения. Спектрометр SSS (Solid State Spectrometer) представлял собой криогенно-охлаждаемый кремниевый детектор (рабочая температура 100 К), обеспечивающий энергетическое разрешение около 160 эВ (до 4%) во всем рабочем диапазоне энергий. Но в этом эксперименте рабочий энергетический диапазон спектрометра был ограничен свойствами зеркальной системы и фактически заканчивался на энергиях 4–4,5 кэВ, не захватывая флуоресцентную линию железа на энергии 6,4 кэВ.

В 1990 г. в ходе полета КК “Колумбия” (STS-16) криогенно-охлаждаемый кремниевый спектрометр был установлен в фокусе зеркал косоугольного падения, выполненных по технологии тонких фольг (телескоп BBXRT). Телескоп не обеспечивал такое пространствен-

ное разрешение, как телескоп обсерватории “HEAO-2” (угловое разрешение его зеркал составляло всего около 1 угловой минуты), но тем не менее позволял успешно концентрировать рентгеновские фотоны на небольшой криогенно-охлаждаемый кремниевый спектрометр. В этом эксперименте рабочий диапазон спектрометра составлял 0,3–12 кэВ с энергетическим разрешением 90 эВ.

Впервые скомбинировать умеренное пространственное разрешение с хорошим энергетическим разрешением фокального прибора удалось на японской космической обсерватории “ASCA” (1993–2000). Обсерватория состояла из четырех телескопов косоугольного падения, выполненных по технологии тонких фольг (изготовлены в Центре космических полетов им. Годдарда, США), в фокусах которых стояли два позиционно чувствительных газовых сцинтилляционных пропорциональных счетчика и два твердотельных спектрометра, сделанных на основе четырех ПЗС-матриц (размером 420 × 400 элементов, изготовлены в Массачусетском технологическом институте, США). Рабочая температура твердотельных спектрометров составляла около –60° С.

Возможность получить пространственно-разрешенную информацию с хорошим спектральным разрешением от протяженных объектов рентгеновского неба (галактики, скопления галактик, остатки вспышек сверхновых) сразу привела к важным открытиям. Например, было выявлено нетепловое излучение в отдельных частях оболочек остатков вспышек сверхновых, появилась возможность исследовать распределение температур и обилие тяжелых элементов в оболочках. Изучение горячего газа скоплений галактик привели к регистрации в них температурных неоднородностей. Хорошее спектральное разрешение твердотельного детектора ПЗС-матрицы

обсерватории позволило обнаружить структуру флуоресцентных эмиссионных линий компактных объектов.

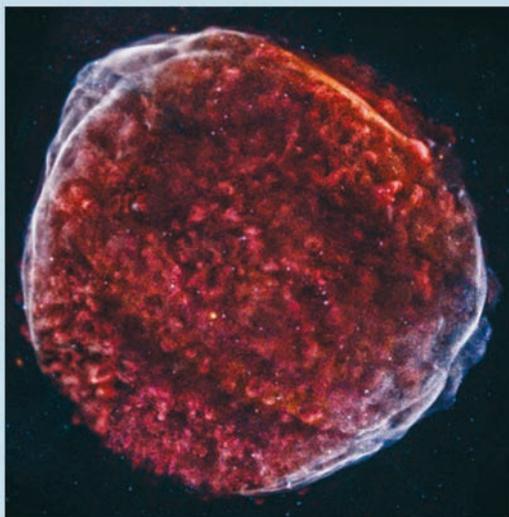
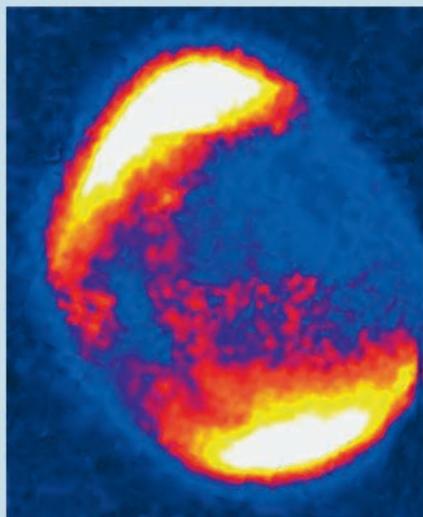
ПЕРЕМЕННОСТЬ ЯРКОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Размеры релятивистских компактных объектов (белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры) – менее световой секунды. Это означает, что переменность их рентгеновской яркости может быть очень быстрой – до миллисекунды и даже меньше. Действительно, уже первые ракетные и спутниковые измерения ярчайших компактных объектов (например, источника Лебедь X-1) показали, что их рентгеновский поток может меняться на масштабах существенно меньше секунды (М. Ода

и др., 1971). Именно на таких масштабах времени вещество обращается вокруг черных дыр и нейтронных звезд (размер черной дыры звездной массы или нейтронной звезды около 10–30 км, а скорость движения вещества на круговой орбите вокруг них может доходить до половины скорости света).

Работа с временными масштабами малых долей секунды представля-

Остаток вспышки сверхновой SN 1006 в созвездии Волк, находящейся в 6850 св. лет от нас. На краях остатка рентгеновское излучение формируется за счет нетепловых процессов, в отличие от внутренней части. Изображения получены в 1996 г. и 2013 г. космическими обсерваториями "ASCA" (Япония) и "Чандра" (США). Фото NASA, GSFC.



Американская космическая рентгеновская обсерватория "RXTE". На ее борту располагался спектрометр с самой большой эффективной площадью. Рисунок NASA.

ет собой очень сложную задачу. Основная сложность наблюдений такой быстрой переменности состоит в том, что объекты наших исследований находятся так далеко, что число фотонов, приходящих от них в единицу времени, очень мало. Для накопления полезного сигнала необходима большая собирающая площадь инструмента.

Одна из первых попыток сконцентрироваться на изучении быстрой переменности яркости рентгеновских источников предпринята на обсерватории "EXOSAT" (1983–1986). Основным инструментом обсерватории была система пропорциональных газовых счетчиков с общей эффективной площадью около 1600 см^2 , в то время самой большой на космических аппаратах с трехосной стабилизацией. Обсерватория зарегистрировала разные типы квазипериодических осцилляций яркости рентгеновских источников (Г. Хазингер, М. ван дер Клис; 1989), связанных, по-видимому, с особенностями аккреционных течений вбли-

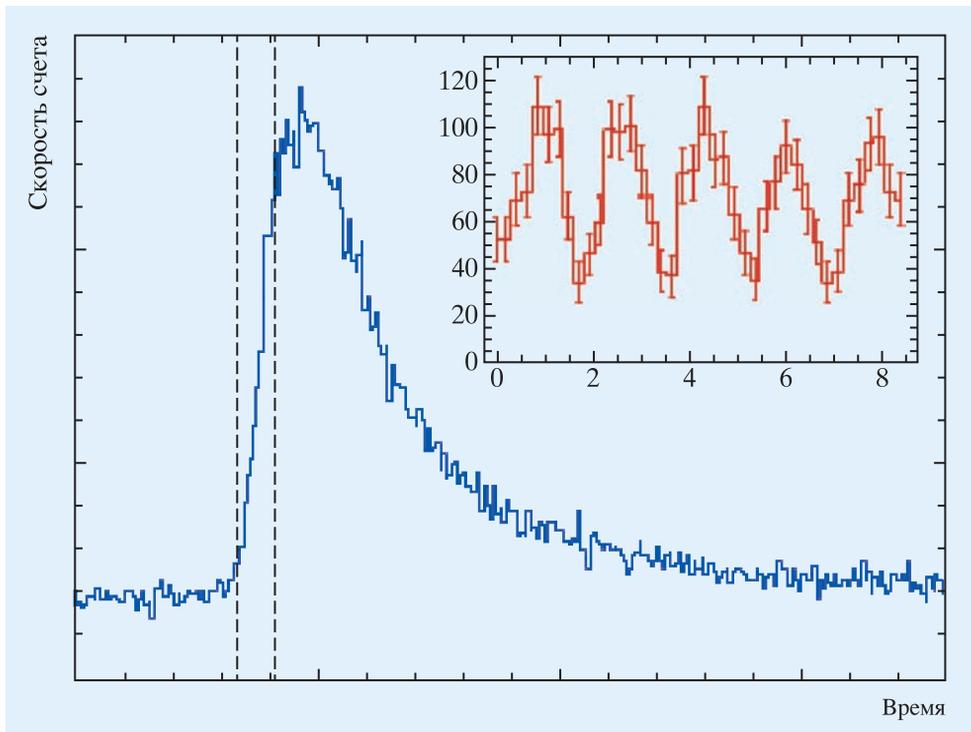


зи компактного объекта. Это привело к созданию нового метода диагностики поведения вещества вблизи черных дыр и нейтронных звезд.

Следующим шагом в этом направлении стали инструменты на космических обсерваториях "GINGA" (Япония; 1987–1991, эффективная площадь основного инструмента около 4000 см^2) и "RXTE" (США; 1995–2012, эффективная площадь основного детектора около 6400 см^2). Важнейшим открытием в области быстрой переменности яркости астрофизических объектов стало открытие пульсаций яркости нейтронных звезд с частотами в сотни герц, т.е. с периодами

вращения нейтронных звезд $1,5\text{--}4 \text{ мс}$ (Р. Вэйландс и др., 1998). Это позволило впервые подтвердить предсказанный путь эволюции нейтронных звезд в двойных системах, их раскрутку при аккреции и превращение после исчерпания вещества звезды-компаньона в одиночные миллисекундные радиопульсары.

Быстровращающиеся нейтронные звезды были обнаружены не только среди пульсаров (нейтронные звезды, у которых магнитное поле достаточно сильно для того, чтобы направить падение аккрецируемого вещества на магнитные полюса, что вместе с вращением нейтронной звезды создает эффект



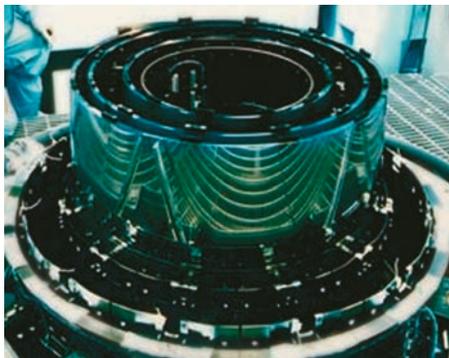
“маяка”), но и среди нейтронных звезд со слабыми магнитными полями. В частности, пульсации яркости рентгеновского излучения были открыты во время всплесков термоядерного горения, происходящего в атмосферах нейтронных звезд. Было замечено, что в самом начале термоядерного горения в течение времени, за которое оно еще не успело распространиться по всей поверхности нейтронной звезды, видны осцилляции яркости горячего пятна на частоте вращения нейтронной звезды (Т. Стромайер и др., 1998).

Обнаружение таких больших частот враще-

ния нейтронных звезд дало новый инструмент диагностики их физических параметров. При частотах вращения около 500 Гц линейная скорость поверхности нейтронной звезды составляет 10–20% скорости света, что должно приводить к видимым эффектам на кривой яркости пульсаций. Ожидается, что измерение этих искажений может стать одним из самых надежных методов определения радиусов нейтронных звезд, объектов, в центрах которых вещество находится при плотностях больше, чем в ядрах различных элементов. Эти измерения очень важны для понимания уравне-

Диаграмма кривой блеска источника 4U1636-563 во время всплеска термоядерного горения на поверхности нейтронной звезды. В начальный период всплеска, до того как термоядерное горение распространилось на всю поверхность звезды, наблюдаются осцилляции яркости (на врезке) из-за быстрого вращения звезды. Из работы Т. Стромайера и др. (1998).

ния состояния вещества при сверхядерной плотности: превращается ли нейтронное вещество при таких плотностях в кварковое? образуется ли каонный или бозонный конденсат в центре компактной звезды?



Космическая рентгеновская обсерватория “Чандра” (США) и ее зеркальная система телескопа косоуго падения (справа). Рисунок и фото NASA.

ДОСТИЖЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ АСТРОНОМИИ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ

В 1999 г. состоялись запуски сразу двух космических обсерваторий, обеспечивших скачок в наблюдательной технике рентгеновской астрономии. В июле 1999 г. была запущена обсерватория “Чандра” (США), в декабре 1999 г. – “ХММ-Ньютон” (ESA).

Обсерватория “Чандра” (Земля и Вселенная, 2000, № 4, с. 59–62) оснащена зеркалами косоуго падения – технологическими наследниками зеркал обсерватории “НЕАО-2”, их эффективная площадь увеличилась до 600–700 см² на энергиях 1–2 кэВ, продолжившись до энергий около 8 кэВ. В качестве фокальных детекторов

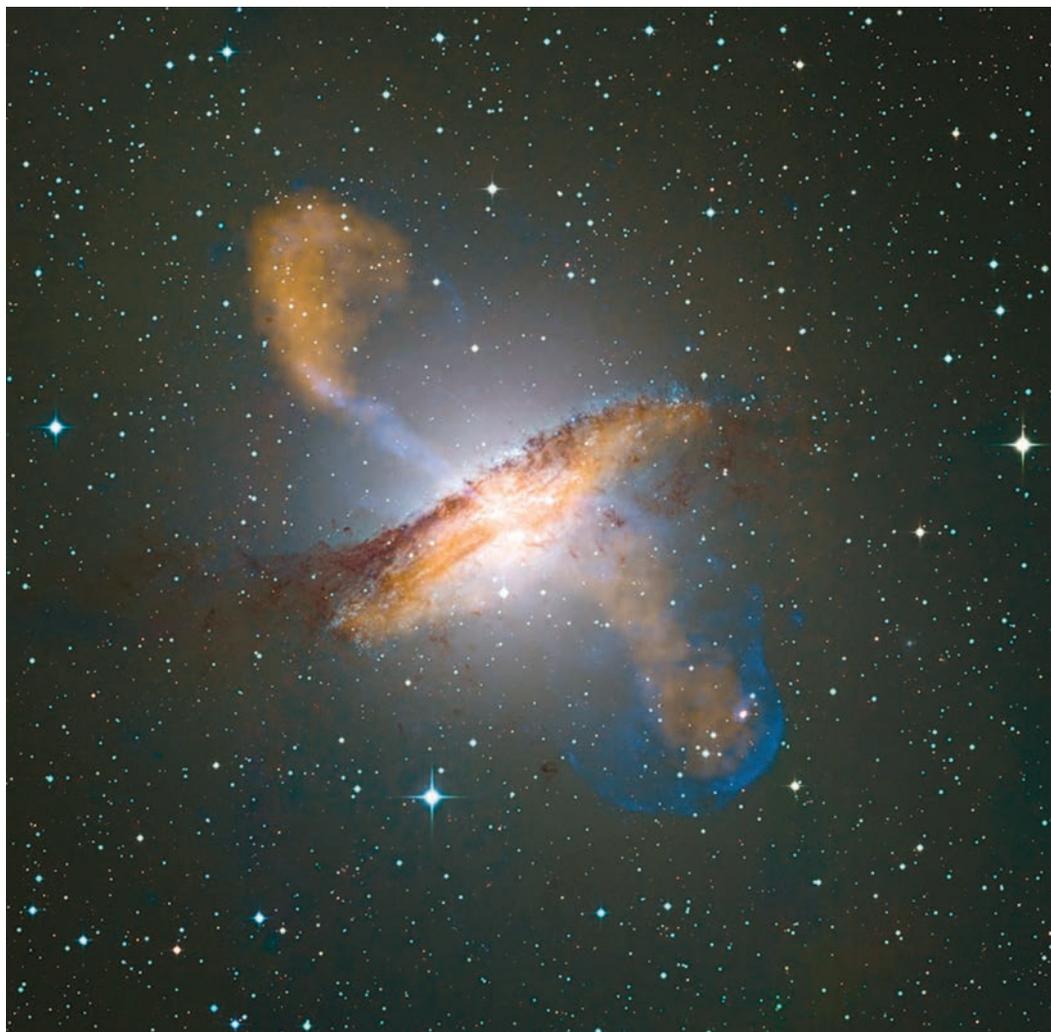
используются ПЗС-матрицы нового поколения с энергетическим разрешением около 150–200 кэВ на энергии 6 кэВ. Введение в комплекс инструментов дифракционных решеток позволяет составлять спектры точечных источников с еще большим энергетическим разрешением (до $E/dE \sim 1000$).

На обсерватории “ХММ-Ньютон” (Земля и Вселенная, 2011, № 2) также установлены зеркала косоуго падения, однако технология их изготовления немного другая. Чтобы увеличить эффективную площадь зеркал косоуго падения, большое число параболоидов и гиперболоидов (58 слоев) вкладывают друг в друга, создавая сложную систему вложенных труб. Точная юстировка такой системы практически невозможна, поэтому увеличение эффективной площади рентгеновских телескопов (до 1000 см²) обсерватории “ХММ-Ньютон” происходит ценой ухуд-

шения пространственного разрешения до значений 5–7 угловых секунд. Для получения максимально возможного углового разрешения телескопа в зеркальную систему обсерватории “Чандра” включили всего четыре слоя, обеспечивающие угловое разрешение около 0,5".

За годы работы обсерваторий “Чандра” и “ХММ-Ньютон” получен огромный объем информации. Здесь мы хотели бы упомянуть лишь о некоторых результатах, связанных с наиболее фундаментальными проблемами современной физики.

Открытие излучения горячего газа в скоплениях галактик в ходе наблюдений обсерватории “Ухуру” дало начало космологическим исследованиям в рентгеновской астрономии. Рост скоплений галактик – наиболее массивных гравитационно-связанных объектов во Вселенной – существенно зависит от эволюции Вселенной, от



ее космологических параметров. Измерение распределения скоплений по их массам, а также данные об эволюции этого распределения с красным смещением (с возрастом Вселенной), дает возможность сделать надежные оценки космологических параметров Вселенной. В случае существенного вклада темной энергии (она фактически расталкивает пространство,

Галактика Центавр А, по данным радио-, оптических и рентгеновских наблюдений. Хорошо видно, что струи релятивистского газа (оранжевые области, радиодиапазон), бьющие из центра галактики, из ее сверхмассивной черной дыры, расталкивают межзвездный газ, излучающий в рентгеновском диапазоне (синий цвет). Вынос межзвездного газа из галактики может подавить темпы звездообразования в ней. Считается, что в ходе эволюции Вселенной активные ядра – сверхмассивные черные дыры в центрах галактик – существенно влияют на темпы роста массы звезд в галактиках. Фото NASA.

препятствуя образованию сгущений вещества на больших расстояниях) рост массивных скоп-

лений галактик должен быть подавлен по сравнению со случаем отсутствия темной энергии.

Поиск скоплений галактик на небе – нетривиальная задача. В настоящее время такие исследования ведутся как в рентгеновском, так и в оптическом, инфракрасном и субмиллиметровом (на основе эффекта Сюняева – Зельдовича, связанного с искажением излучения реликтового фона при его прохождении через горячий газ скоплений галактик) диапазонах длин волн. Однако пока оказывается, что наиболее полную выборку скоплений галактик можно получить при использовании обзоров неба в рентгеновском диапазоне энергий. Используя обзоры неба обсерватории “ROSAT” и детальные наблюдения скоплений галактик при помощи обсерваторий “Чандра” и “ХММ-Ньютон”, удалось получить независимое подтверждение существования темной энергии во Вселенной (А.А. Вихлинин, 2009; Земля и Вселенная, 2010, № 1; 2012, № 5).

Горячий газ скопления галактик представляет собой разреженную плазму, поведение которой в присутствии магнитного поля очень сложно предсказать теоретически. Благодаря разрешающей способности инструментов обсерваторий “Чандра” и “ХММ-Ньютон” свойства такой плазмы можно измерить в астрофизиче-

ских наблюдениях, что представляет большой интерес для плазменной физики.

Комбинация хорошо пространственного, энергетического разрешения и большой эффективной площади обсерваторий “Чандра” и “ХММ-Ньютон” позволила развиваться целым направлениям в рентгеновской астрономии, таким как изучение популяций аккрецирующих объектов в далеких галактиках, детальное изучение химического состава горячей плазмы в галактиках, в скоплениях галактик, в остатках вспышек сверхновых. На новый уровень точности вышли измерения влияния активности центральных сверхмассивных черных дыр в галактиках и в скоплениях галактик на галактическую и межгалактическую среду.

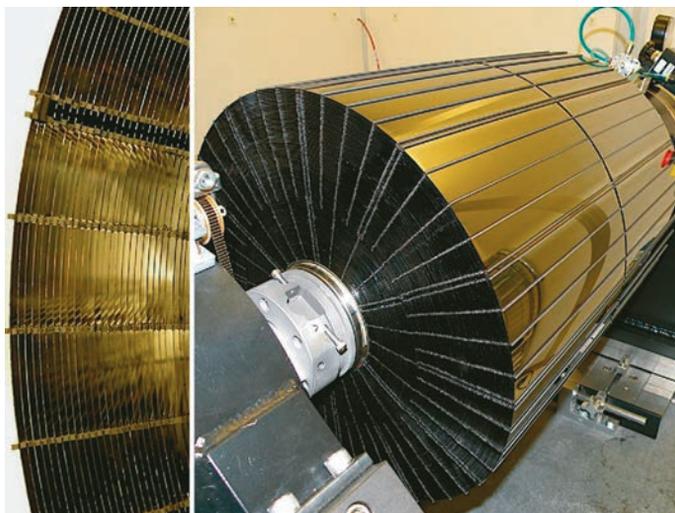
НОВЫЕ ШАГИ РЕНТГЕНОВСКОЙ АСТРОНОМИИ

В ближайшее десятилетие следует ожидать улучшения характеристик рентгеновских инструментов по нескольким направлениям.

Прежде всего, планируется значительно увеличить энергетическое разрешение приборов, которое в современных рентгеновских инструментах ограничено физическими свойствами полупроводников. Давно

ожидаемый ввод в строй рентгеновских микрокалориметров, способных довести энергетическое разрешение в области энергий 6 кэВ до уровня в 3–5 эВ, был задержан из-за нескольких технических аварий. Японская рентгеновская обсерватория “Астро-Е”, на которой были установлены первые криогенные рентгеновские микрокалориметры, была потеряна в ходе неудачного запуска в феврале 2000 г. В июле 2005 г. успешно стартовала ее копия “Suzaku” (“Астро-Е2”), на которой характеристики энергетического разрешения микрокалориметра были еще немного улучшены. К сожалению, уже через несколько недель после старта проблемы в системе охлаждения микрокалориметра привели к полной потере жидкого гелия, что фактически означало его полный выход из строя. Следующей орбитальной обсерваторией с микрокалориметрами на борту должна стать обсерватория “Astro-H” (в настоящее время время запуск запланирован на 2015 г.).

В области жесткого рентгеновского диапазона современные технологии построения изображения и увеличения чувствительности фактически достигли своего технического предела (обсерватории “Интеграл”, “Свифт”). Дальнейшее увеличение чувстви-



Рентгеновские зеркала косого падения с многослойным покрытием обсерватории “NuSTAR”. Внизу – “NuSTAR” на орбите. Фото и рисунок NASA.



ную границу энергии фотонов, отражаемых от зеркал, до 70–80 кэВ. Орбитальная обсерватория “NuSTAR” (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) с такими зеркалами была запущена на орбиту в июне 2012 г. (Земля и Вселенная, 2012, № 5, с. 35). Ожидаемая чувствительность рентгеновских телескопов обсерватории “NuSTAR” в области жесткого рентгеновского диапазона приблизительно в 100 раз лучше чувствительности обсерватории “Интеграл” (это достигается за счет фокусирующей оптики), тогда как поле зрения телескопа при этом очень мало, менее 12'. Основные мишени обсерватории “NuSTAR”: остатки вспышек сверхновых, активные ядра галактик и ультраяркие рентгеновские источники, природа которых пока остается неясной.

Потенциал открытий рентгеновской астрономии, созданный обзором всего неба обсерватории “ROSAT” в 1990-х гг., постепенно заканчивается. Особенно это видно по тому, что за последние годы рентгеновские об-

тельности инструментов в этом диапазоне энергий (20–200 кэВ) с использованием такой же технологии телескопов с кодирующей апертурой требует значительного увеличения площади (в 5–10 раз) и массы регистрирующей аппаратуры (до массы более 10 т), что делает практически невозможным выведение таких обсерваторий

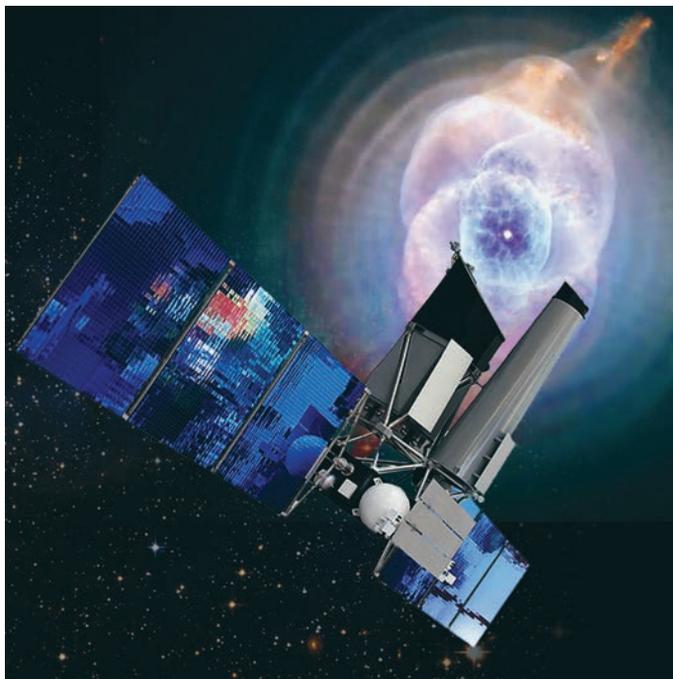
на орбиту. Поэтому для улучшения характеристик аппаратуры, работающей в жестком рентгеновском диапазоне, требуются принципиально новые технические решения.

Одно из таких решений – применение рентгеновских зеркал косого падения с многослойными покрытиями, позволяющими поднять верх-

Российская космическая обсерватория “Спектр-Рентген-Гамма”. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина и ИКИ РАН.

серватории все больше времени уделяют обзорам разных площадок на небе. В задачи этих обзоров, как правило, входят исследования космологической эволюции галактик и сверхмассивных черных дыр.

Следующим обзором рентгеновского неба, который даст огромный импульс рентгеновской астрономии на ближайшие десятилетия, станет обзор космической обсерватории “Спектр-Рентген-Гамма”. Это совместный проект России и Германии, нацеленный на решение фундаментальных проблем космологии – свойств и эволюции Вселенной, природы темной энергии и темной материи, возникновения и роста сверхмассивных черных дыр и поиск наиболее редких объектов. Основой обсерватории являются два рентгенов-



ских телескопа косопадающего – eROSITA (Германия) и АРТ-ХС (Россия), совместно перекрывающих область энергий 0,2–30 кэВ. Главная задача обсерватории – обзор всего неба с чувствительностью, в сто раз превышающей чувствительность существующих обзоров неба, и продление такого обзора в область более жестко-

го рентгеновского диапазона.

Ожидается, что в ходе обзора всего неба обсерватория “Спектр-Рентген-Гамма” обнаружит все скопления галактик в наблюдаемой части Вселенной (около 100 тыс. скоплений), около 3 млн аккрецирующих сверхмассивных черных дыр, сотни тысяч звезд с активными коронами, десятки тысяч звездообразующих галактик.

Проект “Бион-М”

В.Н. СЫЧЁВ,
доктор биологических наук,
заместитель директора по науке ИМБП РАН
Е.А. ИЛЬИН,
доктор медицинских наук
главный научный сотрудник ИМБП РАН

После 16-летнего перерыва в нашей стране возобновились запуски в космос биоспутников – автоматических космических аппаратов, предназначенных для проведения в орбитальных полетах комплексных биомедицинских экспериментов на различных представителях животного и растительного мира. В 2013 г. начался новый этап физиологических и биологических экспериментов в космосе с использованием современных технологий. Основная задача 30-суточного полета КА “Би-



он-М” № 1 – изучение влияния невесомости на физиологические функции организма животных на тканевом, клеточном и молеку-

лярном уровнях. Получен большой объем научной информации, важной для теории и практики космической медицины.

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Успехи медицины в диагностике, профилактике и лечении многих заболеваний теснейшим образом связаны с экспериментами на живот-

ных. Не исключение и космическая медицина, научный фундамент которой создается в лабораторных экспериментах на животных, но глав-

ное – при исследованиях в космических полетах.

В нашей стране физиологические эксперименты в космосе ведутся с 1951 г. в полетах геофизических ракет.

Собака Лайка при подготовке полета второго советского ИСЗ. 1957 г.

В качестве основных объектов исследований выбрали беспородных собак. В 1951–1958 гг. осуществлено 29 запусков ракет на высоту 110–460 км, на их борту размещались собаки (Земля и Вселенная, 1996, № 6; 1997, № 6). Полеты показали, что собаки нормально переносили ускорения и вибрации при запуске и возвращении на Землю, невесомость, продолжавшуюся не более 20 мин. Существенных отклонений от нормы в поведении, частоте сердечных сокращений и дыхания не отмечалось. Все это вселяло надежду на скорый полет человека в космос.

В ноябре 1957 г. такая уверенность получила экспериментальное подтверждение. Исторический полет собаки Лайки на втором ИСЗ показал, что при воздействии ускорений и в условиях невесомости регистрируемые физиологические показатели не выходили за границы нормы. К сожалению, из-за постепенного



повышения температуры воздуха в гермокабине до +41° С примерно через 4,5 ч полета животное погибло от перегрева. Тем не менее биомедицинская информация, полученная

в этом полете, ускорила создание космических кораблей “Восток” для полетов человека.

В 1960 г. начались летно-конструкторские испытания КК “Восток”,



Стрелка и Белка перед полетом на втором космическом корабле-спутнике. 1960 г.



в полетах проводились эксперименты на собаках, крысах, мышах, кроликах, плодовых мушках и клеточно-тканевых культурах. Наряду с изучением влияния невесомости, длившейся не более 27 ч, испытывались созданные для пилотируемых полетов системы жизнеобеспечения и телеметрического контроля за состоянием организма. Собаки Белка и Стрелка стали первыми существами, благополучно вернувшимися из космоса на Землю.

После первых пилотируемых полетов вплоть до начала 1970-х гг. какие-либо систематические физиологические и биологические эксперименты в космосе по целевым программам не проводились. Лишь в 1973 г. с запуска биоспутника "Бион-1" в нашей стране началась программа регулярных полетов КА "Бион", результаты которых позволили усовершенствовать системы

медицинского обеспечения космических полетов человека.

В 1973–1996 гг. 11 биоспутников серии "Бион" выполнили полеты длительностью 5–22 сут. На их борту в специально разработанной научной аппаратуре размещались живые системы различных таксономических рангов – от одноклеточных организмов до млекопитающих. В программе "Бион" участвовали специалисты многих европейских стран, США, Канады и Китая. Основными объектами исследований в первых пяти полетах были 212 белых крыс линии Вистар и в последующих шести полетах – 12 обезьян макак-резусов. Крысы представляли несомненное преимущество по сравнению с беспородными собаками. Они генетически однородны, имеют малые размеры и массу, их анатомия, физиология и биохимия хорошо изучены. На борту

Крысы в контейнерах и обезьяна, совершившие полеты по программе "Бион". 1973–1996 гг.

биоспутника можно было разместить до 45 крыс и в одном полете выполнить одновременно несколько экспериментов на различных группах этих животных. В те годы крысы были идеальным объектом изучения влияния факторов космического полета на структурно-функциональное состояние различных тканей и органов, то есть морфологических и биохимических исследований. Обезьяны макаки-резусы были запущены для физиологических исследований, в первую очередь вестибулярной системы, кровообращения и мышечной системы. Анатомия и физиология этих животных хорошо изучены, поведение и физиология делала

их предпочтительными объектами при исследовании физиологических механизмов влияния невесомости на организм с последующим прямым переносом полученных результатов на человека.

Установлено, что в условиях невесомости возникают существенные изменения во многих физиологических системах организма, в первую очередь в сенсорной, сердечно-сосудистой, мышечной и костной. Суть этих изменений от полета к полету становилась во многом более понятной, что позволило обосновать ряд практических рекомендаций по профилактике неблагоприятных изменений в организме человека в условиях длительного космического полета.

Программа "Бион" началась в период, когда в нашей стране приступили к эксплуатации долговременных орбитальных станций "Салют" и результаты исследований на животных и других биообъектах были использованы при медицинском обосновании возможности осуществления человеком космического полета продолжительностью до года.

Сегодня наступил новый этап в развитии отечественной и мировой космонавтики – подготовка к полетам на Луну, Марс и астероиды с соз-

данием на этих небесных телах обитаемых баз. Новые стратегические планы освоения космоса поставили перед космической биологией и физиологией новые задачи, их решение возможно лишь при использовании самых современных технологий исследований и выборе наиболее адекватных экспериментальных биологических моделей.

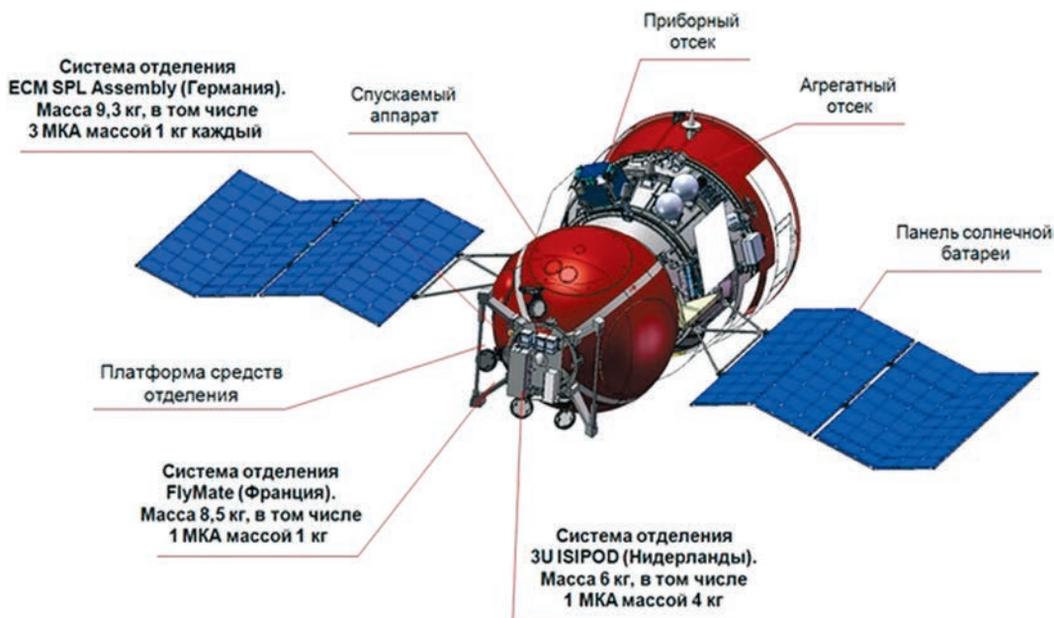
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА "БИОН-М"

В будущих межпланетных полетах экипажей становятся актуальными такие нерешенные проблемы, как биологические последствия комбинированного воздействия невесомости и ионизирующей радиации в повышенных дозах, влияние гипомагнитной среды, биологические эффекты лунной и марсианской силы тяжести, создание перспективных средств жизнеобеспечения и профилактики неблагоприятного влияния факторов полета на различные функциональные системы организма. Ключевой задачей стало изучение реакций организма на клеточном и молекулярном уровнях. Этому уделено первостепенное внимание при реализации научной программы в новом проекте "Бион-М".

Научная программа "Бион-М" состоит из че-

тырех основных частей. Первая часть посвящена исследованиям по гравитационной физиологии животных. Вторая – изучению влияния динамических факторов полета и открытого космоса на микроорганизмы и микробные ассоциации, что позволит выйти на общие закономерности функционирования жизни во Вселенной. Третья часть включала биотехнологические эксперименты. Четвертая часть представляла собой комплекс радиобиологических и дозиметрических экспериментов, необходимых для решения задач обеспечения радиационной безопасности при полетах человека по межпланетным трассам.

Запуск в космос первого биоспутника серии "Бион-М" через 16 лет после полета биоспутника "Бион-11" – важное событие в мировой космонавтике и свидетельство признания научно-практической значимости космической биологии и физиологии. Как и предыдущие биоспутники, "Бион-М" создан в Ракетно-космическом центре "ЦСКБ-Прогресс" (Самара). ИМБП РАН разрабатывал бортовую научную аппаратуру, отбор и подготовку биообъектов к полету, реализовывал комплексную программу. В ней участвовали специалисты из 70 научных и образовательных учреждений России, а



также ученые Болгарии, Германии, Казахстана, США, Украины, Франции и Южной Кореи.

КА «Бион-М» массой 6840 кг имеет ряд принципиальных отличий от своего предшественника, поэтому он считается биоспутником нового поколения. В первую очередь его усовершенствование связано с установкой панелей солнечных батарей, что увеличивает возможности энергоемкой научной аппаратуры и продолжительность полета до 30 и более суток. «Бион-М» оснащен жидкостным двигателем многократного использования, обеспечивающим вывод КА на более высокую орбиту. Применена также новая система поддержания требуемого состава газовой среды

на борту с использованием размещаемых снаружи биоспутника баллонов с кислородом под повышенным давлением и фильтров очистки воздушной среды.

Все биообъекты были доставлены на космодром «Байконур» charterным рейсом самолета за 7 сут до старта. За 3 сут до старта после предполетной подготовки биообъектов и научной аппаратуры их разместили в спускаемом аппарате КА «Бион-М». 19 апреля – 19 мая 2013 г. КА «Бион-М» № 1 совершил полет на орбите высотой 564×589 км, с наклоном $64,9^\circ$ и периодом обращения 96,1 мин. Это был первый в мире полет ИСЗ с биологическими объектами длительностью 30 сут. На борту биоспутника поддержи-

Устройство космического аппарата «Бион-М». Рисунок «ЦСКБ-Прогресс».

вались относительная влажность в среднем 66%, температура $+20-22^\circ\text{C}$. В связи с существенным повышением высоты орбиты и возрастом интенсивности радиационного излучения проводился контроль облучения различных биообъектов, размещенных внутри спускаемого аппарата (СА) и на его наружной поверхности. Интегральная поглощенная доза за весь полет в СА изменялась от 32 до 72 мГр (в зависимости от места расположения биообъектов), мощность дозы – $0,5-1,25$ мГр/сут, что примерно в шесть раз

выше, чем на типичной для МКС орбите высотой 400 км. Таким образом, доза облучения биообъектов примерно равна дозе, получаемой экипажами МКС за полугодовой полет. На наружной поверхности СА с экраняющей защитой мощность дозы была в 3 тыс. раз выше, чем внутри аппарата. СА совершил

“БИОС-ГК” и три блока “БИОС-МЛЖ” при подготовке к полету на КА “Бион-М”. Фото ИМБП РАН.

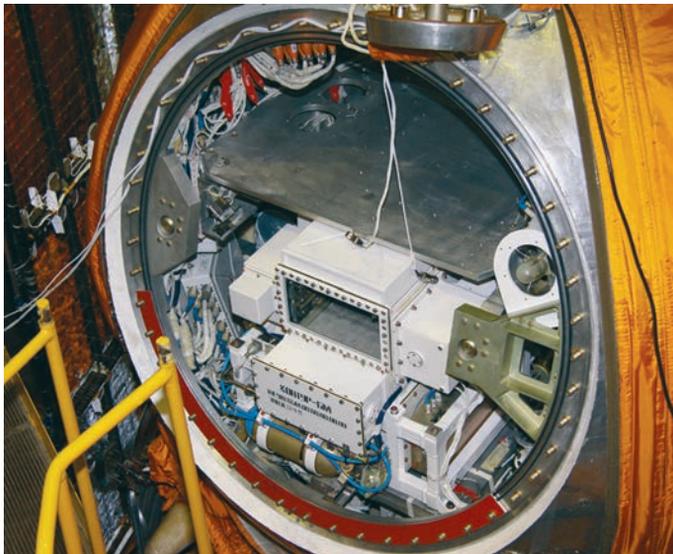
посадку в 120 км юго-западнее г. Оренбурга. Максимальная величина перегрузки при спуске с орбиты составляла 6 g. Поисковая команда прибыла к месту приземления через 13 мин. Извлечение из СА научной аппаратуры закончилось через 3 ч после приземления, затем в течение 3 ч проводилась работа с биообъектами. В лабораторию ИМБП РАН их доставили за 8 ч, то есть с момента возвращения на Землю прошло менее 12 ч. Через 3 месяца по-

сле окончания полета на экспериментально-стендовой базе ИМБП РАН был выполнен контрольный эксперимент с биообъектами, аналогичными полетным. Во время 30-суточного контрольного эксперимента воспроизводились те же параметры среды обитания, что и в полете, за исключением более высокого содержания CO_2 .

БИООБЪЕКТЫ И БОРТОВАЯ НАУЧНАЯ АППАРАТУРА

Программа фундаментальных и прикладных





Научная аппаратура "КОНТУР-БМ" внутри КА "Бион-М". Фото ИМБП РАН.

исследований по проекту "Бион-М" одобрена решениями Ученого совета ИМБП РАН, секцией по космической биологии и физиологии Совета РАН по космосу, Комиссией по биомедицинской этике при ИМБП РАН и утверждена 9 сентября 2012 г. председателем Совета РАН по космосу академиком А.Ф. Андреевым. На "Бионе-М" № 1 располагалась научная аппаратура массой 850 кг, из них 600 кг возвратилось на Землю. Исходя из конкретных задач исследований, специалисты выбрали такие биообъекты:

- млекопитающие (45 мышей возрастом 4–5 мес и массой 27,4 г, 8 монгольских песчанок возрастом 5 мес и массой 59,4 г);

- рептилии (15 ящериц-гекконов возрастом

1,5-2 года и массой 19–20 г);

- рыбы *Oreochromis mossambicus*;

- моллюски (16 виноградных и пресноводных улиток);

- ракообразные *Nullaella Azteca*;

- насекомые (личинки жука-древоточца);

- микроорганизмы (микробный комплекс многолетнемерзлого грунта и почвенного чернозема, грибная культура и грибная споровая масса);

- высшие растения (гаметофоры мха, плоды расторопши пятнистой, семена лимонника китайского и Melissa лекарственной, семена овощных и покровных культур);

- низшие растения (водоросли и лишайники);

- биопрепараты (образцы пептидов и нуклеотидов).

Мыши и ящерицы-гекконы размещались в трех блоках "БИОС-МЛЖ", содержащих по пять камер (клеток), разработанных и изготовленных СКТБ "Биофизприбор". Мышей кормили шесть раз в сутки пастообразным кормом, гекконов – в течение 4 ч через каждые 3 сут. Информацию о работе аппаратуры "БИОС-МЛЖ" ежесуточно передавали на Землю по каналам телеметрической связи.

Монгольские песчанки находились в установке "Контур-БМ" с автономной системой жизнеобеспечения. Аппаратура была разработана и изготовлена в СКБ ЭО при ИМБП РАН в 2007 г. и испытана в 12-суточном полете КА "Фотон-М3". Эксперимент с рыбами, водорослями и рачками выполнялся на аппаратуре "Омегахэб", разработанной и изготовленной в Германии. Виноградных улиток поместили в контейнеры ББ-1М, аналогичные используемым в полетах КА "Фотон-М2" и "Фотон-М3". Эксперименты с высшими растениями и микроорганизмами проводились главным образом в модифицированной установке "Био-

конт-Б” производства ЦНИИмаш.

В установленных на внешней поверхности СА контейнерах, созданных “ЦСКБ-Прогресс”, размещались платы с микроорганизмами, грибной культурой, лишайниками и семенами. Биообъекты экспонировались в условиях открытого космоса. Перед спуском с орбиты термоизолированная крышка контейнеров закрывалась, защищая биообъекты от перегрева при прохождении плотных слоев атмосферы.

В эксперименте “Метеорит” изучалась возможность сохранения жизнеспособности термофильных культур бактерий в условиях аэродинамического нагрева во время спуска с орбиты. Научной аппаратурой для этого эксперимента служил искусственный метеорит, крепившийся в теплозащитном покрытии СА.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На борту КА “Бион-М” № 1 место крыс и обезьян заняли мыши – самые мелкие из лабораторных грызунов. В этом состоит наиболее очевидное их преимущество, поскольку возможность запуска сразу большого числа животных, обусловленная их малыми размерами, позволяет существенно увеличить объем получаемых научных данных.

Мыши – пожалуй, наиболее изученные экспериментальные животные. Так, именно их геном был расшифрован одним из первых. Хорошо разработаны и активно применяются технологии получения генетически модифицированных животных. В частности, генетические модификации мышей позволяют создавать специфические экспериментальные модели, которые дополняют существующие многочисленные и различные по фенотипу линии мышей, а значит, и возможности исследования клеточных и молекулярных механизмов физиологических функций. Немаловажно, что многие методы и оборудование для физиологических исследований на целом организме к настоящему времени адаптированы для мышей.

Мыши наряду с обезьянами были одними из ключевых объектов исследований в США. Самые первые эксперименты, проводившиеся в середине XX в. в США и в СССР, были направлены на выяснение возможности выживания млекопитающих в космических полетах. В 1998–2011 гг. проводились систематические биомедицинские исследования на мышах в течение 12–16 сут в полетах КК “Спейс Шаттл” STS-90, -108, -129, -131, -133 и -135. Научная программа этих экспериментов была на-

правлена на исследование мышц, костей, соединительнотканых структур, нервной, сердечно-сосудистой и иммунной систем. Наиболее длительным стал эксперимент MDS (Mice Drawer System – система ящиков с мышами) итальянского космического агентства. В рамках этого эксперимента шесть мышей содержали на борту Международной космической станции в течение 91 сут. К сожалению, три мыши по различным причинам погибли.

Благополучию животных с самых первых полетов уделялось пристальное внимание. Собак, обезьян, крыс и песчанок специально готовили для повышения качества научных данных. Для мышей, ставших основным объектом исследований на “Бионе-М” № 1, также была разработана программа подготовки. В полета выжило 16 из 45 мышей (36%), в наземном контрольном эксперименте – 38 из 45 (84%). Причины гибели мышей связаны с системой подачи корма. Так, серьезная неисправность системы подачи корма в одном из блоков “БИОС-МЛЖ” была причиной гибели всех 15 мышей, содержавшихся в нем. В то же время в полете существенно изменилось поведение животных, в частности до полета и в наземном контрольном эксперименте



Демонтаж установки «БИОС-МЛЖ» на месте посадки. Извлечение мышей из клеток. 19 мая 2013 г. Фото ИМБП РАН.



ях блока «БИОС-МЛЖ» животные не травмировались и не погибали. Скорее всего, причины их гибели связаны с изменениями поведения в условиях микрогравитации.

Послеполетные исследования проводились на современном уровне биомедицинской науки. Изучались механизмы восприятия гравитационного стимула, передачи и обработки полученной информации, структурно функциональных изменений исполнительных структур на уровне экспрессии генов, посттрансляционные модификации белковых молекул и их функционирование в целостном организме млекопитающего в условиях космического полета.

У мышей обнаружено резкое снижение двигательной активности после полета, которая восстановилась только к 7–8-м суткам. Исследования структур мозга, ответственных за процессы обучения и памяти, эмоционально-мотивационных состояний показали существенные изменения в концентрации моноаминов и их метаболитов. Экстраполируя полученные данные на

мыши в клетках предпочитали находиться на решетке системы удаления отходов, а в полете они проводили большую часть времени вблизи кормушек или на них. Причины таких изменений в предпочтении места неясны. Интересно, что такие же изменения поведения мышей были отмечены в эксперименте MDS. По-видимому, в полете мыши попадали

в движущиеся части кормушки во время процедуры их наполнения, что и привело к гибели некоторых особей. В пользу этого предположения свидетельствуют данные внешнего осмотра животных после полета. У четырех мышей (25%) были обнаружены травмы конечностей, у шести (38%) – травмы хвоста. Важно отметить, что при наземных испытани-

Ученые исследуют мышей в лабораториях ИМБП РАН через 12 ч после посадки СА "Бيون-М" № 1. 19 мая 2013 г. Фото ИМБП РАН.

человека, можно сделать заключение об ограничении способности людей выполнять разного рода задачи после перелета, например, на Марс. На изменения, происходящие в мозгу под действием факторов космического полета, указывают и результаты исследования экспрессии генов. Такие данные, полученные впервые, свидетельствуют о существенных изменениях функции мозга во время космического полета. Однако уже сейчас ясно, что это имеет комплексный характер и затрагивает практически все системы организма. Выявленные изменения в мозгу, например, могут быть связаны со снижением сократимости базиллярной артерии, которое показано впервые. Оно может быть причиной неадекватного увеличения кровотока в мозге, повышения внутричерепного давления и нарушения функций головного мозга по переработке сенсорной информации.

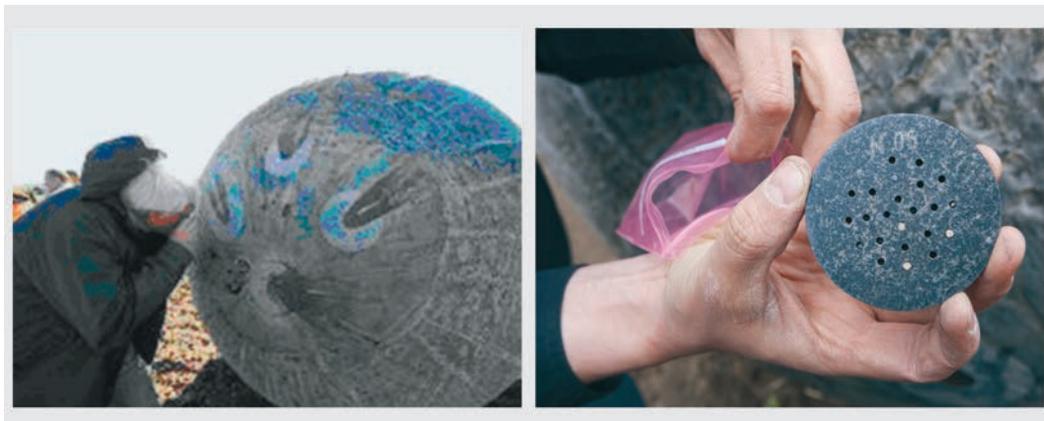
Спускаемый аппарат КА "Бيون-М" № 1 после приземления. 19 мая 2013 г. Фото ИМБП РАН.



Впервые получены данные, свидетельствующие об изменении состояния различных типов мышечных клеток, что дает возможность приблизиться к решению фундаментальной проблемы современной клеточной биологии и биофизики, связанной с взаимодействием внешнего физического поля и клетки. Иммунологические исследования показали достоверное снижение количества

лимфоцитов в тимусе и селезенке мышей. Замечено нарушение целостности структуры костной ткани у полетных мышей по сравнению с контрольными. Эти результаты подкрепляются комплексным изучением показателей, характеризующих состояние системы иммунитета и костной ткани мышей при воздействии на организм разных уровней гравитации. Микробиологические исследования позволя-





Спускаемый аппарат КА "Бион-М" № 1 со следами плавления базальта. Образец базальта, внутри которого во время полета располагались споры бактерий. Фото ИМБП РАН.



Российские и зарубежные специалисты – участники подготовки запуска КА "Бион-М" № 1. Космодром "Байконур". 19 апреля 2013 г. Фото ИМБП РАН.

ют сделать следующие выводы о влиянии факторов космического полета:

– перенос генетического материала среди штаммов стрептомицетов;

– провоцирование полярности при скрещивании микроорганизмов, выражающееся в преимущественном вкладе фрагмента хромосомы одного из родителей;

– уменьшение уровня синтеза пигментированного антибиотика;

– снижение процессов биосинтеза биологически активных веществ у микроорганизмов.

Из всех экспонировавшихся микроорганизмов (эксперимент “Метеорит”) достоверные данные о выживаемости получены только для спорообразующих бактерий. Микроорганизмы были загружены в базальт, который имитировал “метеорит”, с минералом глауконитом (железистый силикат, продукт выветривания гранита), имеющим меньшую теплопроводность по сравнению с исполь-

зовавшимся для всех остальных организмов магнетитом.

Выращенные кристаллы белков на борту биоспутника “Бион-М” № 1 (эксперимент “БЕЛКА”) значительно превосходит их количество в наземном эксперименте. Особенно впечатляют результаты получения кристаллов глюкозоизомеразы методом диффузии из газовой фазы, в условиях гравитации на Земле это связано с большими трудностями.

Российские и зарубежные специалисты, участвовавшие в программе “Бион”, после успешного выполнения послеполетных исследований настоятельным образом рекомендуют, не отказываясь от перспектив использования МКС, продолжить эксперименты на животных в полетах космических аппаратов. Данное направление поможет глубже понять механизмы воздействия космических факторов на живые системы, включая человека, расширят возможности решения

фундаментальных проблем общей биологии и физиологии.

При реализации проекта “Бион-М” создана инфраструктура, способная решать столь сложные задачи в области космической биологии и медицины. Сформирована научная кооперация, в которую входят российские институты РАН, РАМН и университеты из большинства регионов России, а также ведущие зарубежные университеты и научные учреждения. В ИМБП РАН создана экспериментальная база, в том числе стендовая, разработаны и отработаны методики, позволяющие с использованием современного технологического аппаратурного обеспечения проводить на клеточном и молекулярно-генетическом уровнях углубленные исследования тонких механизмов реакции воздействия факторов космического полета на живые организмы, включая человека.

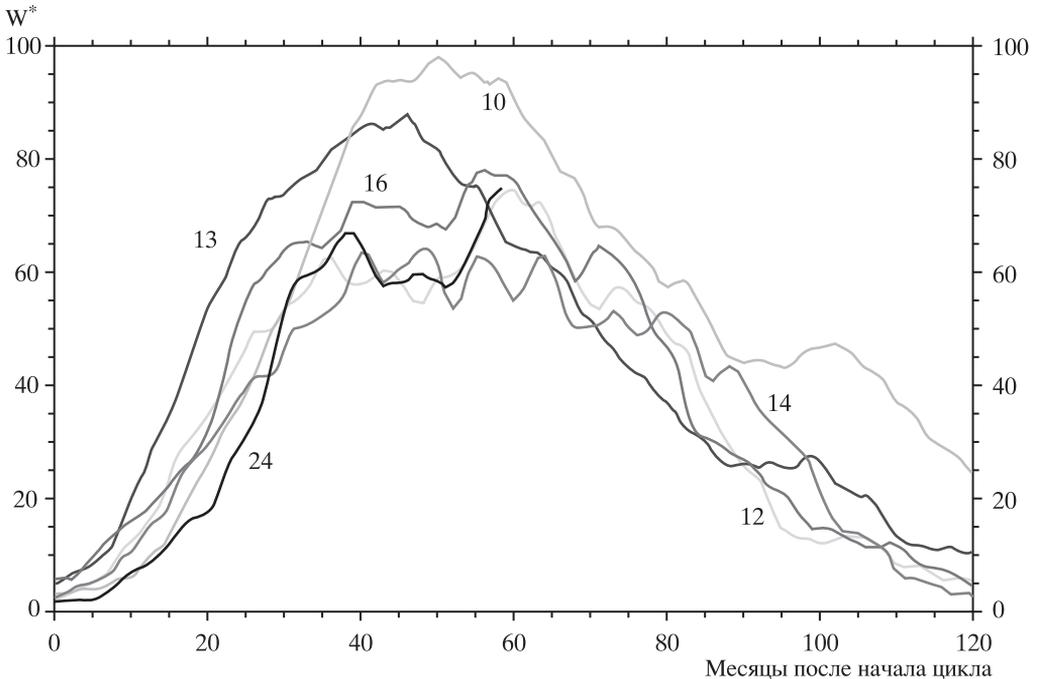
Солнце в апреле – мае 2014 г.

Пятнообразовательная активность Солнца в этот период уверенно держалась на среднем уровне и во второй декаде каждого месяца достигала высокого уровня. Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 5 до 11. В подавляющем большинстве они были небольшими и спокойными, но 8 групп пятен выросли до средних значений площадей ($300 \leq Sp < 500$ м.д.п.), 5 из них образовались в Южном полушарии. Всего же из 59 групп солнечных пятен

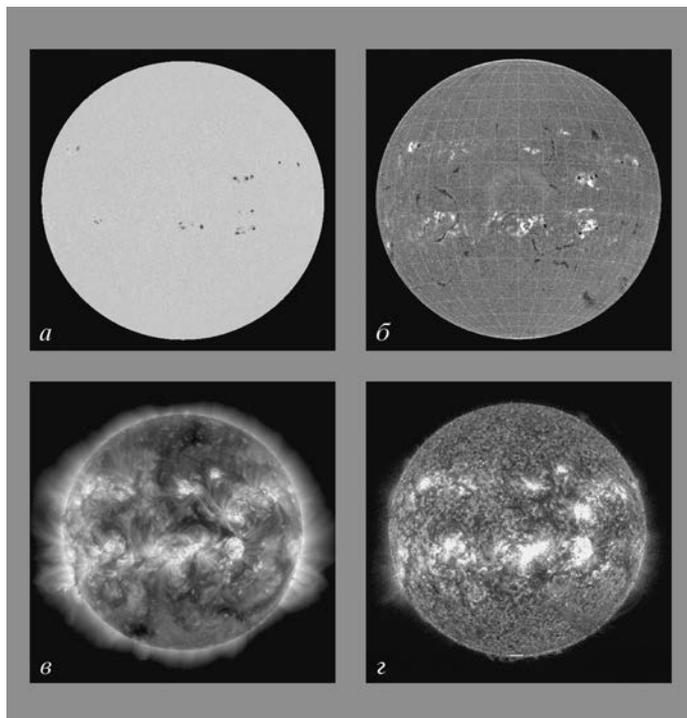
16 появились в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен продолжает подъем к максимуму текущего цикла, который должен оформиться в ноябре – декабре 2014 г. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа $W_{\text{апр.}} = 84,7$ и $W_{\text{май}} = 75,2$. Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в октябре и ноябре 2013 г. составило $W^* = 75,0$ и $75,4$ соответственно.

В первой половине апреля относительное число солнечных пятен держалось на среднем уровне (4 и 5 апреля – на высоком), затем достаточно резко выросло до высоких значений и лишь

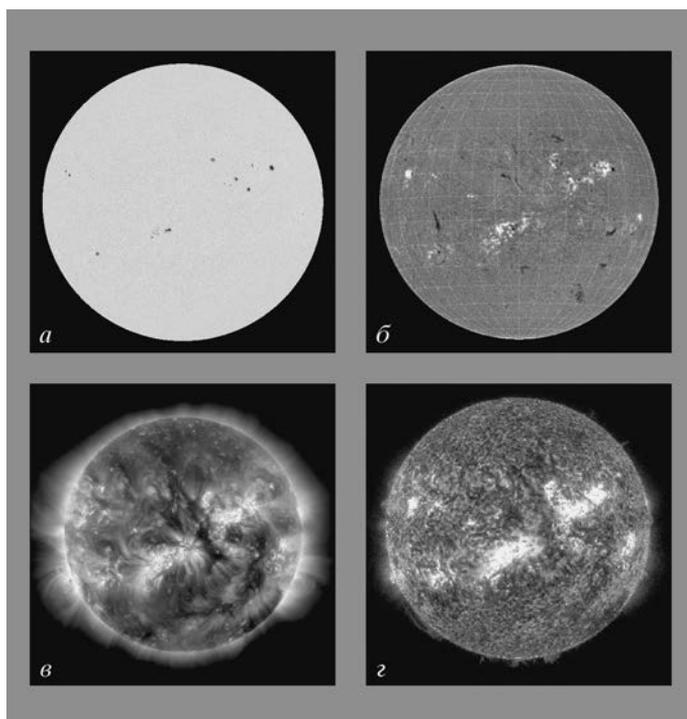
Ход развития (58 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен.



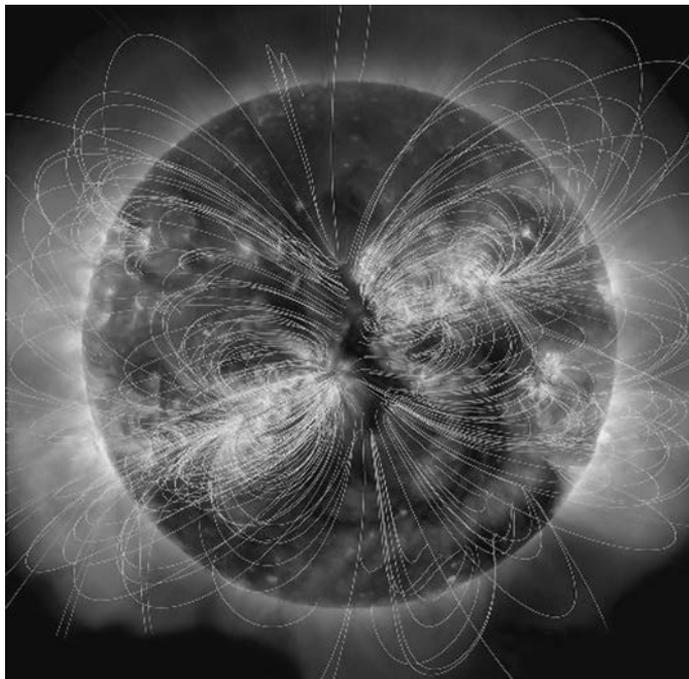
Солнце 18 апреля 2014 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4096 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Снимки космической солнечной обсерватории "SDO" (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).



22 апреля вернулось к тому уровню, который сохранился до конца месяца. Минимальное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 26 апреля ($W = 34$), **максимальное – 17 апреля ($W = 150$)**. Вспышечная активность отмечена на высоком уровне 2, 18 и 25 апреля. Первая из этих больших вспышек (M6.5/2B) произошла в группе пятен Северного полушария недалеко от восточного лимба, вторая (M7.3) и третья (X1.3/SF) – в Южном, причем последняя – прямо на восточном лимбе. Средний уровень вспышечной активности отмечен 2, 16 и 18 апреля. В остальные дни вспышечная активность была на низком уровне, лишь 27 ап-



Солнце 14 мая 2014 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4096 \text{ \AA}$); 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 ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Снимки космической солнечной обсерватории "SDO" (<http://spaceweather.com>).



Корональная дыра в центре видимого солнечного диска в линиях крайнего ультрафиолета ($\lambda = 211, 193, 171 \text{ \AA}$) с нанесенными силовыми линиями магнитного поля, рассчитанными в потенциальном приближении. В корональных дырах магнитное поле открыто в межпланетное пространство. Комбинированный снимок космической солнечной обсерватории "SDO" получен 13 мая 2014 г.

реля опустилась до очень низкого. Выбросы солнечных волокон (28 событий) наблюдались 1 (3), 5, 10 (3), 14, 16, 18 (2), 20, 21 (2), 22 (2), 24, 27 (3) и 29 (2) апреля. Коронаграфы космической обсерватории "SOHO" зарегистрировали 195 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых один был типа "гало", один – типа "частичное гало III" (угол раствора 180° – 270°) и 12 – типа "частичное гало II" (угол раствора 90° – 180°). Два малых солнечных протонных события зарегистрировано в околоземном космическом пространстве 4 и 18 апреля. Последнее связано с большой солнечной вспышкой 18 апреля и длилось трое суток. Межпланетная ударная волна от вспышки среднего балла, произошедшей

16 апреля, достигла околоземного космического пространства и вызвала малую магнитную бурю 20–21 апреля – единственную магнитную бурю в этом месяце. Три рекуррентные и две вновь образовавшиеся корональные дыры проходили по видимому диску Солнца, однако высокоскоростные потоки не вызвали в околоземном космическом пространстве значимых геомагнитных возмущений. На средних широтах Земли отмечено 5 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ отмечен 25–28 апреля.

В мае 2014 г. пятнообразовательная активность Солнца немного уменьшилась, оставаясь на среднем

уровне. Высокий уровень пятнообразовательной активности был отмечен 11–14 мая. На видимом диске Солнца наблюдалось от 5 до 12 групп солнечных пятен, 4 из них были средней площади. **Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено 14 мая ($W = 111$)**, минимальное – 29 мая ($W = 32$). Высокий уровень вспышечной активности наблюдался 8 мая (вспышка балла M5.2/2B). Вспышки средних баллов отмечены 5–7 и 24 мая в группах пятен Южного полушария. Выбросы солнечных волокон наблюдались 1, 9, 10 (2), 12 (2), 13, 14, 16, 19 (2), 20, 21, 22 (5), 24 и 27 мая. Коронаграфы космической обсерватории "SOHO" зарегистрировали более 158 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди них один типа "частичное гало III" (угол раствора 180° – 270°) и 17 – типа "частичное гало II" (угол раствора 90° – 180°).

В мае были зарегистрированы 2 рекуррентные и 5 вновь образовавшихся корональных дыр, но их геоэффективность была незначительной. В этом месяце произошла лишь одна малая магнитная буря – 8 мая. Всего в мае зарегистрирова-

но трое суток с возмущенным геомагнитным полем. На геостационарных орбитах очень высокие потоки релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ не наблюдались.

Текущее состояние солнечной активности и ее про-

гноз на русском языке можно найти в Интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

*В.Н. ИШКОВ
ИЗМИРАН*

Информация

Дюнные поля на Марсе

Активные поля песчаных дюн на Марсе постоянно находятся под наблюдением камеры HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment – научный эксперимент съемки высокого разрешения), установленной на борту ИСМ “Марсианский орбитальный разведчик” (“Mars Reconnaissance

Orbiter”). Например, снимки области Волны Олимпии (Olympia Undae) площадью 470 тыс. км² вблизи Северной полярной шапки камера делает каждые шесть недель (см. стр. 3 обложки, внизу). Это позволило зафиксировать происходящие изменения всего за 16 месяцев, которые наглядно демонстрируют, насколько сильно ветры модифицируют пейзажи Марса. Рябь на дюнах “сдвинулась”, как и некоторые границы дюн, заметны оползни на поверхности подветренной стороны центральной дюны.

Скорость ветра на Марсе иногда достигает 130 км/ч (на Земле – более 117 км/ч,

движение дюн варьируется до 2–3 м в год. Наблюдения доказали, что дюны перемещаются в гораздо больших масштабах, чем предполагалось ранее, что сравнимо с движением дюн на нашей планете. Отслеживая изменения, которым подвергаются песчаные дюны, можно определить, как изменяются ветры в зависимости от сезона и из года в год. По мнению ученых, полученные результаты свидетельствуют о том, что в настоящее время процессы эрозии на поверхности Марса продолжают.

Пресс-релиз NASA,
13 мая 2014 г.

Семён Самсонович Ковнер

Сегодня мало кто помнит имя замечательного исследователя и организатора науки С.С. Ковнера. А ведь он был соратником академика О.Ю. Шмидта и внес значительный вклад в развитие геофизики в нашей стране. Он был также инициатором строительства Плана-



Доктор технических наук С.С. Ковнер.

тария в Москве и много сил отдал популяризации науки.

Семён Самсонович Ковнер родился 10 (22) февраля 1896 г. в Москве в семье фельдшера при заводе. Начальное образование получил в школе Е.А. Кирпичниковой. В 1905 г. поступил в Московскую гимназию № 10, которую окончил с медалью в 1914 г. В том же году он один год слушал лекции в Народном университете Шанявского. В 1915 г. Семён Ковнер поступил на физико-математический факультет Московского университета по специальности математический анализ. В 1918 г., будучи студентом, написал под руководством профессора Б.К. Млодзиевского самостоятельное исследование “О трансцендентальных кривых на Римановых поверхностях”. В 1921 г. после окончания учебы он был оставлен профессором Д.Ф. Егоровым при университете для подготовки к профессорскому званию.

В 1924 г. Семён Самсонович поступил в аспирантуру НИИ математики и механики при физико-математическом факультете МГУ и в 1929 г. окончил ее. Он принадлежал к математической школе Н.Н. Лузина, в аспирантские годы много общался с П.С. Урынсоном и П.С. Александровым.

С.С. Ковнер свободно владел немецким, английским, итальянским и французским языками, в такой же степени владел эсперанто. Он перевел

несколько книг с немецкого и английского языков: в 1918 г. “Секреты искусственного вычислителя” Мэнхена, “Теория вероятностей” О. Мейсснера, “Введение в исчисление бесконечно малых” А. Виттинга, в 1919 г. “Новая тригонометрия” Локка и Чайльда.

В 1920-е гг. стажировка за границей по окончании вузовского курса была обычной практикой. Семён Самсонович неоднократно выезжал стажироваться за границу. В мае – сентябре 1923 г. по линии Главнауки Наркомпро-са он был в Геттингене и Берлине. Он слушал лекции профессоров Давида Гильберта, Эдмунда Ландау и Альберта Эйнштейна и был с ними в дружеских отношениях. Результаты самостоятельных научных исследований С.С. Ковнер докладывал в Геттингенском университете в семинаре профессора Рихарда Куранта. В Берлине он бывал проездом и слушал лекции А. Эйнштейна в Берлинском университете. Кроме того, С.С. Ковнер как турист посетил Гамбург, Дрезден, Мюнхен, Нюрнберг и Данциг.

В мае – сентябре 1924 г. Семён Самсонович вновь стажировался от Главнауки в Геттингене, лишь проездом посетив Берлин. Он жил, учился, работал у профессоров Д. Гильберта и Э. Ландау, принимал участие в заседаниях Математического общества. Через три года С.С. Ковнер посетил города Германии и Франции. В Германии прожил месяц, десять дней провел в Берлине, где слушал лекции, и затем двадцать дней в Геттингене, где выступал с докладами. Познакомился здесь с работой Геофизического института профессора Э. Вихерта. Три месяца он провел во Франции, в основном в Парижском университете. Побывал у профессора Ш. Морена в Институте физики земного шара. Объяехал геофизические обсерватории в Валь-Жуайе, Парле-Сен-Море, Клермон-Ферране и Ронсле-Бэне, поднялся на вершину горы Пюи-де-Дом.

С октября 1920 г. С.С. Ковнер – старший ассистент, приват-доцент, с 1927 г. – доцент, с мая 1931 г. – профессор и заведующий кафедрой математики Московского текстильного института, в котором работал до конца жизни. В 1928–1930 гг. Семён Самсонович состоял членом коллегии НИИ математики и механики при физико-математическом факультете МГУ. В 1929 г. он издал учебный курс высшей математики, переизданный в 1932 г. В январе 1930 г. его назначили заведующим кафедрой математики геофизического факультета МГУ. В ноябре 1930 г. факультет был реорганизован в Московский гидрометеорологический институт, где до 1935 г. С.С. Ковнер возглавлял кафедру математики. 16 ноября 1930 решением Государственного ученого совета Наркомпро-са РСФСР он был утвержден в ученом звании профессора по кафедре математики. В Гидрометеорологическом институте, в Государственном научно-исследовательском геофизическом институте и в Институте теоретической геофизики читал ряд курсов для аспирантов по специальным главам математического анализа и по уравнениям математической физики, руководил научной подготовкой молодых ученых. Его лекции отличались научной глубиной и ясностью изложения, за что ученики были ему признательны.

С ноября 1925 г. Семён Самсонович работал в Государственном научно-исследовательском геофизическом институте научным сотрудником 1-го разряда, в 1928–1935 гг. заведовал теоретическим отделом, в 1932–1933 гг. был заместителем директора по научной части. В июне 1935 г. – октябре 1937 г. Ковнер – старший ученый специалист геофизического отдела Института географии АН СССР. С ноября 1935 г. по январь 1939 г. – член президиума и ученый секретарь Группы географии и геофизики АН СССР. С октября 1937 г. он работал старшим научным сотрудником и заведующим отделом



Геофизическая группа при Институте географии АН СССР, которая впоследствии стала ядром Института теоретической геофизики: П.П. Лазарев, О.Ю. Шмидт, С.С. Ковнер, Н.П. Горбунов, А.А. Григорьев (стоит), В.В. Шулейкин. 1936 г.

математической геофизики в организованном академиком О.Ю. Шмидтом Институте теоретической геофизики АН СССР (позже преобразованном в Геофизический институт АН СССР). 25 мая 1938 г. Ученым советом МГУ Семёна Самсоновича утвердили в ученой степени кандидата физико-математических наук без защиты диссертации.

В мае 1927 г. С.С. Ковнер выступил перед Президиумом Московского облисполкома с предложением построить Планетарий в Москве. 6 марта 1928 г. при Моссовете была создана Общественная комиссия по устройству Планетария, С.С. Ковнера включили в ее состав ученым секретарем и председателем секции постройки, в этом качестве он работал до окончания строительства в 1929 г. За деятельность по постройке Планетария Семён Самсонович получил благодарность от Президиума Мособлисполкома и Моссовета (постановление от 4 января 1930 г.).

“Известия” опубликовали его статью об открытии Планетария. Академик О.Ю. Шмидт сказал: “Советская общественность всегда будет благодарна С.С. Ковнеру за его самоотверженную и энергичную деятельность по созданию Московского планетария”.

Начиная с работы в Государственном научно-исследовательском геофизическом институте, С.С. Ковнер руководил научно-исследовательскими структурами, которые занимали лидирующее положение в области математической геофизики в СССР. Фактически он создал коллектив крупных ученых в области математической геофизики.

В 1935–1939 гг. Семён Самсонович как ученый-секретарь Группы географии и геофизики АН СССР работал под непосредственным руководством О.Ю. Шмидта. В ее состав входили

Н.П. Горбунов, А.А. Григорьев, П.П. Лазарев, В.В. Шулейкин. Вместе с В.В. Шулейкиным С.С. Ковнер входил в состав Научно-технического совета Главного управления – Гидрометеорологической службы. Группа географии и геофизики АН СССР стала основой будущего Института теоретической геофизики АН СССР, созданного в 1938 г. В Институте изучали физику Земли во взаимодействии с ее твердой, жидкой и газообразной оболочками. Семён Самсонович проделал большую организационную работу по созданию Института, что особо отметили на пленуме группы 22 декабря 1937 г. В руководимом С.С. Ковнером отделе математики работали А.Н. Колмогоров, Л.С. Лейбензон, А.Н. Тихонов, А.М. Обухов, Л.Н. Сретенский, Е.С. Кузнецов, С.В. Чибисов, Н.В. Зволинский и другие крупные ученые-математики.

В ноябре 1941 г. С.С. Ковнер эвакуировался с Институтом в Казань. В апреле 1943 г. сотрудники ИТГ вернулись в Москву. В годы Великой Отечественной войны он занимался оборонной тематикой.

В работах прикладного характера Семён Самсонович касался главным образом приложений математических методов к различным вопросам геофизики, например теории земного магнетизма, обосновал возможность использования термических измерений при

разведке полезных ископаемых. Академик П.П. Лазарев считал, что эти исследования особенно важны для математического обоснования его теории термического режима земной коры и происхождения земного магнетизма и могут быть применены к решению других аналогичных проблем.

С.С. Ковнер организовал вычислительную лабораторию на кафедре Московского текстильного института. Среди его студентов и преподавателей Семён Самсонович пользовался уважением и авторитетом. 11 декабря 1958 г. он защитил на Ученом совете Института диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Помимо большой научной и педагогической работы С.С. Ковнер активно участвовал в общественной жизни Института, был членом редколлегии журнала “Технология текстильной промышленности”, вел большую работу в народном университете научно-технических знаний.

Умер Семён Самсонович Ковнер 23 апреля 1962 г.

*А.В. КОЗЕНКО,
доктор физико-математических наук
Институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН
С.Н. КОПЦАКОВ,
кандидат философских наук
Институт философии РАН*

Экспедиция по следам Челябинского метеорита

О.П. ПОПОВА,
кандидат физико-математических наук
Институт динамики геосфер РАН

Утром 15 февраля 2013 г. над Челябинском в атмосферу вошел крупный небесный объект, который создал весьма сильные оптические и акустические эффекты и ударную волну, приведшую к легким разрушениям на большой территории. С чем можно сравнить это явление, названное в СМИ “Челябин-

ским метеоритом”? Например, с Тунгусским метеоритом. Его падение 30 июня 1908 г. вызвало катастрофические последствия и сопровождалось глобальными атмосферными аномалиями (Земля и Вселенная, 2008, № 3). Взрыв болида на высоте 8 км вызвал землетрясение магнитудой около 5 баллов.

Его мощность от 3–5 до 10–50 Мт в тротиловом эквиваленте, такой разброс оценок связан с неполнотой наблюдательных данных. Даже на расстоянии в десятки километров от эпицентра был полностью повален лес.

По оценкам специалистов, подобные события происходят в среднем раз в 100–1000 лет.

ЭКСПЕДИЦИИ НА МЕСТО ПАДЕНИЯ МЕТЕОРИТА

Научно-технический прогресс за последние сто с небольшим лет привел к значительному увеличению возможностей регистрации скоротечных и внезапных природных явлений. В 2013 г. впервые получено множество видео- и фотоматериалов, зафиксировавших вход и полет в атмосфере Земли небесного тела размером около 20 м и массой порядка 10 тыс. т.

Видеозаписи пролета болида сделаны во многих населенных пунктах, разбросанных на протяжении 540 км с севера на юг от Нижнего Тагила до Карталы и на 900–1000 км с запада на восток от Самары и Оренбурга до Тюмени. Кроме того, удалось накопить большой объем инструментальных данных об инфразвуковых, сейсмических колебаниях и оптическом излучении свидетелей и впечатлений очевид-

цев события, а также собрать много осколков небесного тела. На место падения было организовано несколько экспедиций. В частности, поиск и сбор метеоритных фрагментов проводили экспедиции Уральского федерального университета, Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского и Челябинского госуниверситета.

В ходе экспедиции 9–26 марта 2013 г. Рос-



Болид над Челябинском. Фото Е. Андреева.

сийской Академии наук на место события, организованной Институтом динамики геосфер РАН и Институтом астрономии РАН, поддержанной Челябинским и Южно-Уральским госуниверситетами, собраны показания очевидцев, фото- и видеоматериалы, сведения о разрушениях. К ней присоединился и известный американский специалист по малым телам

Солнечной системы Питер Дженнискенс. Экспедиция РАН посетила более 50 населенных пунктов, расположенных в разных направлениях от траектории Челябинского метеорита, чтобы составить карту разрушений и получить официальные данные от подразделений МЧС и других служб. Данные, собранные путем анкетирования через Интернет,

проведенного фондом поддержки астрономии Ка-Дар (Станислав Короткий) дополнили показания очевидцев.

Экспедиция посетила ряд мест, где были сделаны наиболее информативные видеозаписи полета болида и провела там астрономическую съемку, что дало возможность определить точную траекторию полета болида и скорость



След болида после его пролета над Челябинском. Фото Е. Андреева.

входа космического объекта в атмосферу. Одна из задач полевых исследований – выяснение всех обстоятельств, сопровождавших формирование и распространение ударной волны, которая привела к повреждениям на большой площади. За медицинской помощью обратилось более 1600 человек.

После окончания экспедиции началась обработка собранного материала, оперативно сформировали международную кооперацию из

59 ученых и специалистов девяти стран. В результате интенсивной и плодотворной работы были выполнены разнообразные исследования, их итоги опубликованы в ноябре 2013 г. в журнале “Science”.

Ведущие авторы статьи в “Science” – российские специалисты из нескольких институтов Российской Академии наук:

– Института динамики геосфер (О.П. Попова, В.В. Шувалов, Ю.С. Рыбнов и другие),

– Института астрономии (В.В. Емельяненко, А.П. Карташова),

– Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (Д.Д. Бадюков, А.В. Корочанцев),

– Челябинского государственного университета (С.М. Хаибрахманов, А.Е. Дудоров и другие),

– Южно-Уральского государственного университета (Е.Е. Бирюков),

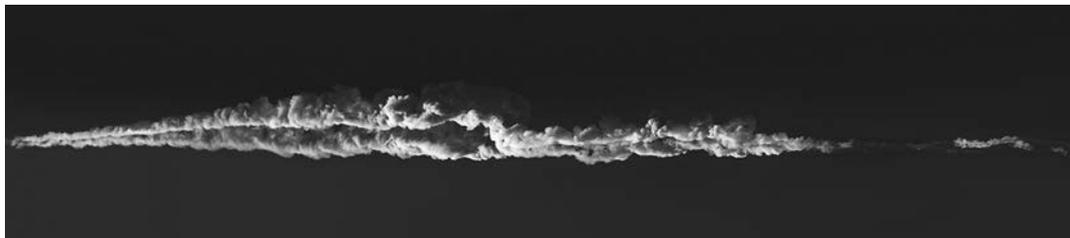
– Уральского федерального университета (В.И. Гроховский, М.Ю. Ларионов и другие).

Важная роль в сборе данных принадлежит нашим зарубежным коллегам, в первую очередь П. Дженнискенсу (Исследовательский центр Эймса, NASA), Д. Сирзу (Исследовательский центр Эймса, NASA), М. Золенски (Космический центр им. Л. Джонсона, NASA), К. Йену (Калифорнийский университет).

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ
“SCIENCE”

Публикация в журнале “Science” состоит из небольшой статьи о Челябинском метеорите, где лаконично изложены все результаты, и обширных дополнительных материалов, разбитых на четыре больших раздела:

– определение орбиты до входа в атмосферу и параметров траектории метеорита в атмосфере по видео- и фоторегистрациям, особенно-



След Челябинского метеорита. Вход в плотные слои атмосферы слева. Фото Е. Творогова.

сти теплового излучения от облачного следа метеорита, анализ запахов от пролетевшего тела, электрофонные звуки, оценка энергии метеороида по инфразвуковым данным;

– опрос населения для оценки нанесенного ущерба, включающего отрицательные воздействия на человека, вызванные излучением болида, контузии, ушибы и ранения от разбитых осколков стекла под воздействием ударной волны, модель которой обсуждается в этом разделе;

– оценка выпавшей массы и информация о поле рассеяния, собранная ко времени подготовки публикации;

– характеристики вещества собранных осколков метеорита и анализ минералов и микроэлементов в них различными физико-химическими методами: рентгеновская компьютерная томография, спектроскопия, термолюминесценция, масс-спектрометрия, а также определение магнитных

свойств вещества метеорита и содержания изотопов урана и свинца для определения возраста.

ХРОНИКА СОБЫТИЯ

Утром 15 февраля, примерно в 9 ч 20 мин по местному времени, в районе Челябинска в атмосферу под углом менее 20° к горизонту вошло космическое тело размером 16–20 м. Сближение с Землей космического объекта внушительных размеров не зафиксировало ни одно из существующих средств космического и наземного наблюдения за небесными телами. Только после его вторжения в атмосферу произошли явления, которые вызвали разрушения и привлекли внимание общественности. При взаимодействии с атмосферой возникло сильное свечение. Через несколько секунд яркость начала интенсивно расти, максимальная вспышка произошла примерно через 11–12 с после появления болида. По сообщениям очевид-

цев, в момент максимальной вспышки свечение стало намного ярче солнечного, ощущался жар. До вспышки и после нее в небе был хорошо виден след от болида. Через несколько минут к поверхности пришла взрывная, то есть ударная волна, вызванная преобразованием кинетической энергии тела в тепловую при его торможении. По сообщению МЧС, разрушения от взрывной волны были зафиксированы в Челябинске и десяти районах области. Самые большие разрушения наблюдались в Челябинске, Коркино, Копейске и поселке Роза. Получили травмы более 1600 человек, в основном от выбитых стекол, двое пострадавших оказались в реанимации, 69 человек госпитализировали, в том числе 13 детей.

Излучение Челябинского болида отличалось высокой яркостью, он относится к суперболидам, то есть болидам ярче -17^m . Такие болиды регистрируют датчи-



Участники экспедиции (справа) с фотокамерой во время привязки к звездному фону (слева внизу) видеокадра с полетом болида (вверху), снятым из г. Белорецк.

ки, размещенные на геостационарных спутниках Министерства обороны США, образующие систему контроля за ядерными испытаниями. К сожалению, полная информация о событиях, регистрируемых со спутников, сейчас недоступна для независимого научного анализа. В некоторых случаях (Витимский болид, астероид TC₃2008) становилась доступной лишь часть информации. Были опубликованы примерные координаты места максимальной яркости Челябинского болида (54,8° с.ш. и 61,1° в.д.), соответствующая высота – 23,3 км и скорость – 18,6 км/с, а позднее величина излученной энергии – $3,75 \times 10^{14}$ Дж, что соответствует примерно 90 кт тротилового эквивалента.

Двадцать инфразвуковых станций Организации по контролю за ядерными вооружениями (СВТО) зарегистрировали падение Челябинского метеорита. Кроме того, инфразвук зарегистрировали и другие станции, в том числе микробарометры Института динамики геосфер РАН в Москве и на Геофизической обсерватории в Михнево.

Сейсмические колебания, вызванные входом болида в атмосферу (по разным источникам, $M = 2,7-4$), зарегистрированы сейсмическими станциями на расстояниях в сотни и тысячи кило-

метров. Предварительно определенные координаты источника сейсмических колебаний находились достаточно далеко от определенной траектории полета метеороида. Данные, полученные позже, позволили точнее определить местоположение источника сейсмических возмущений, которое неплохо согласуется с траекторией полета.

Исследователи из Уральского федерального университета собрали мелкие фрагменты метеорита вблизи семиметровой полыньи на льду озера вскоре после падения и установили тип вещества метеорита. Используя магнитометр, они определили возможное местоположение крупного фрагмента на дне озера. Через восемь месяцев после падения (16 октября) крупнейший фрагмент метеорита массой около 600 кг подняли со дна озера с глубины примерно 12 м.

Впервые в истории науки падение метеорита на поверхность Земли зафиксировала видеокамера, направленная в сторону озера Чебаркуль. На записи видно, как облако кусочков льда и пыли поднимается и затем относится ветром. Скорость падения самого большого фрагмента метеорита – чуть больше 200 м/с.

ТРАЕКТОРИЯ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА

Построение траектории болида в атмосфере требовало привязки видеозаписей его полета к координатам небесной сферы. Для калибровки изображений были сделаны кадры звездного неба с тех же позиций, что и видеозаписи. Последующее совмещение кадров видеозаписи и калибровочного кадра со звездным небом дало возможность определить положение болида и восстановить траекторию его полета. В качестве дополнительных данных использовались видеосъемки сети стационарных камер видеонаблюдения в Челябинском регионе, синхронизированных с сетевым сервером. Записи этих камер позволили определить точную временную привязку, а также высоту и направление на траекторию в различные моменты времени по движению теней. Болид стал заметен на высоте 97 км и достиг максимальной яркости на высоте 29,7 км, он светился до высоты 13,6 км.

Аналогичный подход к определению траектории полета болида использовали и другие специалисты. Вычисленные ими траектории хорошо согласуются между собой и с траекторией, определенной на основе снимков следа болида, пере-

Время и место ключевых событий падения болида из анализа видеозаписей

Событие	Время (UT), ч:м:с ± 0,1 с	Широта (с.ш.), град ± 0,03	Долгота (в.д.), град ± 0,03	Высота, км ± 0,7	Скорость, км/с ± 0,6
Первое обнаружение	3:20:20,8	54,445	64,565	97,1	19,16
Первый пик	3:20:29,8	54,760	62,086	43,9	19,16
Главный пик	3:20:32,2	54,844	61,425	29,7	19,16
Конец образования облака фрагментов и пыли	3:20:32,65	54,859	61,301	27,0	19,16
Второе разрушение	3:20:33,4	54,879	61,136	23,9	14,1
Третье разрушение	3:20:34,7	54,910	60,886	18,5	12,6
Окончание свечения	3:20:36,8	54,940	60,652	13,6	менее 4
Остановка облака	3:20:37	54,866	61,237	6,2	менее 1

данных метеоспутниками “Метеосат”. Скорость метеорита в начале свечения составляла примерно 19 км/с, до высоты 27 км он почти не тормозился в атмосфере.

ЭНЕРГИЯ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА

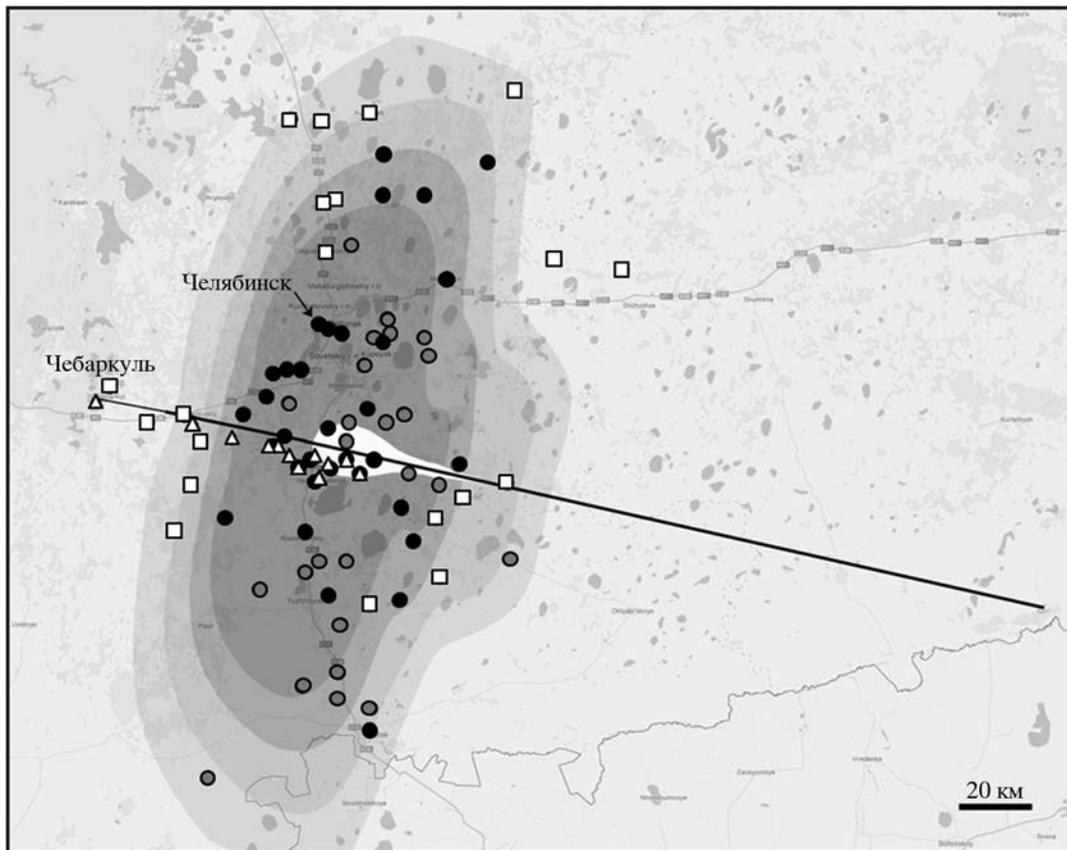
Энергию Челябинского метеорита можно найти разными способами, например по излученной энергии. Интегральная эффективность свечения болида, то есть отношения полной энергии излучения к начальной кинетической энергии, вычисляется по формуле: $\eta = E_r/E_k$, где E_r – энергия излучения, зарегистрированная детектором, E_k – кинетическая энергия болида. Теоретически определенная интегральная эффективность свечения составляет около 14–16,5%, что соответствует кинетической энергии 540–640 кт тротилового эквивалента.

Другим методом определения эффективности высвета является анализ событий, зарегистрированных ИСЗ, для которых есть независимые оценки энергии, полученные по инфразвуковым данным. В этом случае эффективность высвета оказывается около 20%, и энергия оценивается в 450 кт.

Основной источник возмущений атмосферы при входе в нее космических тел – ударная волна, ее распространение приводит к образованию нагретой излучающей области, генерации акустических, инфразвуковых и сейсмических волн. Инфразвуковые возмущения распространяются в атмосферных волноводах, сформированных на различных высотах градиентами температуры, скорости и направления ветра на расстоянии несколько тысяч километров. Зафиксированные инфразвуковые сигналы

дают возможность подсчитать выделившуюся энергию болида. Один из способов основан на измерении амплитуды инфразвуковых колебаний и оценке энергии по аппроксимациям, нормированным по различным взрывам. Разброс приближительной величины энергии болида достаточно велик – до двух порядков. Другой подход предполагает использование частоты максимальной амплитуды, в меньшей степени зависящей от условий распространения волны. Характерные частоты в спектрах инфразвуковых колебаний от Челябинского метеорита позволили с учетом различных поправок определить его энергию – 570 ± 150 кт тротилового эквивалента.

Разрушение оконных стекол и доля таких разрушений в Челябинске также дает возможность оценить энергию болида.



Карта области разрушений с наложенным на нее расчетным контуром избыточных давлений 300 и 520 кт тротилового эквивалента. Серые символы – наиболее пострадавшие места, по данным МЧС, черные – по данным полевых исследований, белые квадраты – нет разрушений. Черная линия – траектория полета болида, белые треугольники – районы находок метеоритов.

Она зависит от принятой величины избыточного давления в ударной волне, при которой разрушаются оконные стекла. Это значение может заметно варьироваться в зависимости от размеров стекол, их толщины и крепления. Предположим, что стекла разрушаются при давлении 500 Па, их доля становится заметной при 1000 Па. Численное мо-

делирование ударной волны позволило рассмотреть разные гипотезы о характере энерговыделения на участках траектории его полета. Наиболее близкий к полету метеорита характер энерговыделения получается при использовании кривой светового излучения в зависимости от высоты. Форма поврежденной области согласуется с тем фактом, что

энергия метеорита выделялась не в одной точке, а вдоль значительного участка траектории. Заметная доля энергии излучилась во время основного разрушения, соответствующего основной вспышке, но время прихода ударной волны в различные населенные пункты позволяет заключить, что ударная волна формировалась на протяженном участке траек-

тории – до высоты около 23 км.

Определение энергии по инфразвуковым данным, интенсивности излучения и размерам области заметных разрушений позволили оценить энергию Челябинского метеорита примерно в 400–600 кт тротилового эквивалента, что в 100 раз больше, чем энергия метеорита Sutters Mill, взорвавшегося 22 апреля 2012 г. над штатом Вашингтон. При такой энергии и плотности – 3,2 г/см³, масса Челябинского метеороида должна быть 10–13 тыс. т, диаметр – 17–20 м.

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Моделирование также установило, что начальный размер космического объекта – 17–20 м, свечение фрагментов на низких высотах (ниже 20 км) дало возможность предположить существование крупных фрагментов, вероятно, достигших поверхности. Разрушение метеороида началось на высоте 45–50 км при нагрузках порядка 0,2–0,7 МПа, наиболее интенсивным оно было на высоте около 30 км и продолжалось вплоть до высоты около 20 км (4–10 МПа). Высота, на которой зафиксирована максимальная яркость, – приблизительно 30 км. Для свидетелей падения Челябинского метеорита яркость вспышки вблизи

траектории превышала солнечную, доля ультрафиолетового излучения оказалась достаточной, чтобы несколько человек получили ожоги. Большинство очевидцев избежали заметного повреждения глаз, отведя взгляд в сторону. Максимум яркости наблюдался во время катастрофического разрушения объекта, тогда образовались множественные мелкие фрагменты, найденные в области к югу от поселка Александровка до Депутатского и Тимирязевского. Челябинский метеорит не отличается по прочностным свойствам от других известных метеоритов, чей вход был зарегистрирован.

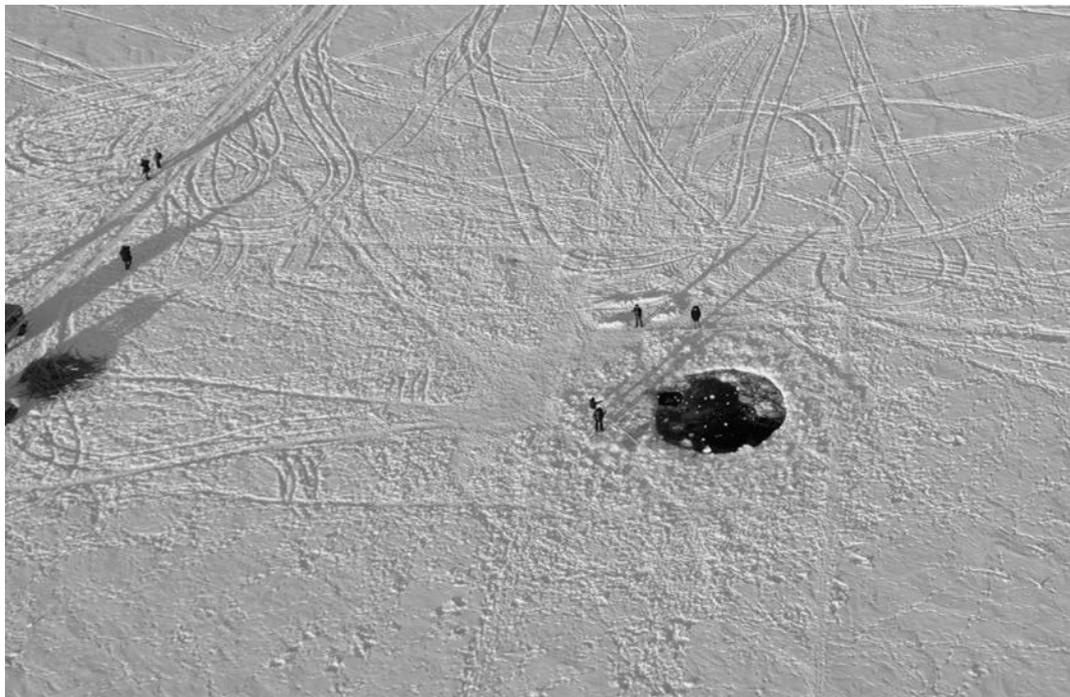
Сложный характер распада метеорита привел к тому, что его фрагменты были рассеяны на большой площади. При моделировании ставилась цель воспроизвести кривые блеска и торможения, а не поле рассеяния, тем не менее модельное поле рассеяния не противоречит наблюдаемому.

Полное количество метеоритного материала – 4–6 т, это только 0,03–0,05% начальной массы. Большая часть начальной массы (свыше 70%) испарилась, пыль, образовавшаяся при разрушении, также составила заметную долю. На высоте около 30 км в результате разрушения сформировалось тормо-

озящееся облако мелких фрагментов и паров, они испарялись благодаря излучению. Облако, затормозившись на высоте примерно 26 км, оставалось настолько горячим, что светилось оранжевым цветом.

СЛЕД И СБОР ФРАГМЕНТОВ МЕТЕОРИТА

Двойной облачный след за телом, наблюдавшийся фактически с самого начала (с высоты около 90 км), образовывался при всплытии (по закону Архимеда) горячего газа в холодном воздухе и образовании двух цилиндрических вихрей. Такой же двойной след был виден и за крупными фрагментами, уцелевшими после основного разрушения. Разделение двух вихрей – показатель интенсивности плавлучести горячего воздуха, оставшегося в следе метеора. Характер следа свидетельствует, что большая часть энергии метеорита выделилась между 50 км и 27 км, что согласуется и со световой кривой болида. След состоит из паров вещества, горячего воздуха, мелкой пыли, образовавшейся при разрушении метеороида и в результате конденсации паров. Пылевой след Челябинского метеорита через неделю обогнул земной шар на высоте 35–40 км и наблюдался в атмо-



Польня, возникшая при падении метеорита на оз. Чебаркуль. Фото Э. Калинина.

сфере еще в течение нескольких месяцев.

Сбор метеоритного материала начался сразу после падения, первые находки мелких фрагментов на озере Чебаркуль подтвердили метеоритную природу события. Благоприятные погодные условия – ясная и солнечная бесснежная погода – облегчали поиск метеоритного вещества (фрагменты метеорита оставляли отверстия в снегу, в этих отверстиях были ледяные столбики, оканчивающиеся кусочком метеорита). Фрагменты собирали многие жители Челябинска и окрестностей. К сожалению, они, как правило, не

отмечали места и параметры находок, поэтому полную информацию о поле рассеяния собрать не удалось.

Точно известны места падения примерно 1800 фрагментов (массой 0,04–540 кг), собранных на площади около 500 км². Весной 2013 г. местные жители магнитом вытаскивали из польны мелкие фрагменты метеорита, только одна из коллекций включает фрагменты общей массой около 1,7 кг (масса отдельных экземпляров – 0,002–0,1 кг). В октябре 2013 г. со дна озера Чебаркуль подняты фрагменты метеорита, размер наиболь-

шего – 62 × 66 × 88 см, примерная масса – 540 кг. Кроме того, из озера извлекли меньшие фрагменты, массой 0,9–8 кг, фрагмент массой 65 кг откололся от основного фрагмента при подъеме. Возможно, какие-то фрагменты еще находятся на дне озера. Полная масса вытасканных на данный момент фрагментов превышает 625 кг. Самый крупный фрагмент, найденный вне озера, весит больше 23 кг. Могут существовать и другие фрагменты, с массами порядка нескольких или десятков килограммов в западной части эллипса рассеяния.



Коллекция фрагментов Челябинского метеорита, собранная одним из местных жителей. Фото П. Дженнискенса.

Анализ вещества Челябинского метеорита показал, что в нем присутствуют ударные прожилки и при большой нагрузке тело вдоль них разрушается. Прожилки стекловидного расплава сформировались при столкновении родительского тела метеороида с другим небесным объектом, что привело к растрескиванию тела и проникновению в трещины металл-сульфидного расплава. В некоторых случаях это повышает механическую прочность метеорита, но Челябин-

ский, как оказалось, был ослаблен этим эффектом. Вероятно, поэтому он распался на фрагменты на высотах 55–20 км.

ОПРОС ОЧЕВИДЦЕВ

Жители Челябинской области наблюдали эффекты, вызванные входом небесного тела в атмосферу (приход ударной волны, вызвавшей разрушения и травмы, тепловые и звуковые эффекты). Данные о некоторых из этих эффектов (например, электрофонных звуках, запахах) в принципе

могли быть получены с помощью приборов, если бы соответствующая аппаратура была установлена в нужное время в нужном месте, а в ее отсутствие могут быть собраны только методом опроса. Очевидцев опрашивали также для того, чтобы узнать о полученных травмах. В ходе экспедиции были опрошены очевидцы в 59 населенных пунктах. Люди общались, например, что ощущали тепло во время пролета болида, некоторые даже говорили, что их “жаром обдало”.

Те, кто находился ближе к траектории болида, сообщили, что получили легкие ожоги. В основном это было покраснение открытых (или плохо прикрытых) участков тела – руки, шея, лицо. Такие данные дают возможность оценить поток излучения в УФ-диапазоне, поскольку известно, при какой интенсивности возникают покраснения кожи.

Собранные показания очевидцев позволили определить области, где наблюдались различные эффекты, сопровождавшие пролет болида: запахи, электрофонные звуки, недомогания. Такие данные позволят уточнить условия входа крупного небесного тела в атмосферу, составить более точную картину разрушений от воздействия космических импактов.

СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ СОБЫТИЯМИ

Спутниковая система наблюдений регистрирует в среднем около 30 световых вспышек на высоте 30–45 км в год. Длительность вспышек – 1–3 с, энергия излучения в среднем равна энергии 0,01–1 кт в тротиловом эквиваленте. Полные данные оптических наблюдений известны только за 1994–1996 гг. (51 событие), эта информация позволила определить кинетическую энергию метеороидов,



Фрагменты Челябинского метеорита, собранные на льду оз. Чебаркуль экспедицией Уральского федерального университета. Фото П. Дженнискенса.

внедряющихся в атмосферу Земли (0,06–40 кт в тротиловом эквиваленте). Максимальная кинетическая энергия метеороида составляла около 40 кт, что заметно меньше энергии Челябинского метеорита. В 1960–1974 гг. системы микробарометров, развернутые в тот период на территории США регистрировали инфразвуковые волны от нескольких болидов. Энергия наиболее крупного зарегистрированного за эти 14 лет события (3 августа 1963 г., в районе островов Принца Эдуарда, Южная Африка) – 300–1000 кт в тротиловом эквиваленте, что сравнимо

с энергией Челябинского метеороида.

Столкновения космических тел (астероидов и комет) с Землей происходили регулярно еще до полного формирования нашей планеты и продолжают на протяжении всего ее существования. Удары крупных тел приводят к образованию кратеров размером от нескольких до сотен километров и способны изменить ход эволюции биосферы. Но маловероятно, что в ближайшее столетие Земле будет угрожать столкновение с крупным космическим телом. Столкновения со значительно меньшими по размеру телами, на-

чиная от первых десятков метров, случаются значительно чаще (раз в 100–1000 лет). Их трудно обнаружить заранее, последствия могут быть локальными и региональными в зависимости от типа космического объекта и его траектории, и современная цивилизация уязвима по отношению к явлениям, которые были несущественными

раньше. Сильные электромагнитные возмущения могут привести к потере связи, а разрушение космического тела в атмосфере может быть воспринято как ядерная атака. Пример Челябинского метеорита показал, что простое стремление жителей области узнать, все ли в порядке с их близкими, привел к отказу сотовой связи.

Появилось множество статей в российских и зарубежных журналах, посвященных различным аспектам Челябинского метеорита. Например, изданы специальные выпуски журналов “Астрономический вестник” и “Геохимия”, в Институте динамики геосфер РАН выходит сборник статей.

Информация

Гало вокруг туманности

В центре эмиссионной туманности с биполярной симметрией NGC 6164 размером около 4 св. лет (со звездие Наугольника, расстояние – 4200 св. лет)

находится массивная и горячая звезда HD 148937 спектрального класса O (масса – $50 M_{\odot}$, температура – 4×10^4 K, диаметр – $10 R_{\odot}$). Вероятно, туманность образовалась в результате сброса внешних слоев этой умирающей звезды возрастом около 4 млн лет. Через 3–4 млн лет она взорвется как сверхновая. Направление движения выброшенного вещества вызвано магнитным полем звезды, так возникла симметричная форма биполярной туманности. Как у многих планетар-

ных туманностей, состоящих из газовых оболочек, у туманности NGC 6164 нашли обширное слабо светящееся гало вокруг яркой центральной части, которое хорошо видно на глубоких телескопических снимках этой области (см. стр. 4 обложки). Расширяющееся вещество гало, скорее всего, осталось от ранних активных фаз жизни звезды HD 148937.

По материалам Интернет-сайта Астронет,
22 мая 2014 г.

Космос, биосфера и геосфера

Междисциплинарный коллоквиум **“Космические факторы эволюции биосферы и геосферы”** состоялся 21–23 мая 2014 г. в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга МГУ. Организаторы коллоквиума: Международная общественная организация “Астрономическое общество”, ГАИШ МГУ, секция “Космические факторы в эволюции климата” Научного совета РАН по теории климата, секция “Жизнь и разум во Вселенной” Научного совета РАН по астрономии. Председатель Оргкомитета коллоквиума, сопредседатель Астрономического общества В.Н. Обридко (ИЗМИРАН); заместитель председателя Оргкомитета, исполнительный директор Астрономического общества С.А. Гасанов (ГАИШ МГУ), секретарь Оргкомитета В.Л. Штаерман (ГАИШ МГУ). В Оргкомитет вошли также сопредседатель Астрономического общества Н.Н. Самусь (ИНАСАН); ученый секретарь Астрономического общества В.М. Чепурова

(ГАИШ МГУ); Е.А. Карицкая (ИНАСАН); И.И. Мохов (ИФА РАН); Л.М. Гиндилис (ГАИШ МГУ). На коллоквиуме присутствовало более 50 человек, сделано 30 докладов, проведено несколько дискуссий.

Директор ГАИШ МГУ академик А.М. Черепашук обратился с приветствием к собравшимся. Затем выступил кандидат физико-математических наук **Л.М. Гиндилис** (ГАИШ МГУ). Его пленарный доклад был посвящен различным аспектам происхождения и эволюции жизни от античности до наших дней, включая проблемы предбиологической эволюции – от образования органических мономеров до возникновения живой клетки. Важным элементом современных представлений о происхождении жизни является гипотеза о существовании древнего мира РНК как возможного предшественника жизни на Земле. Обнаружение следов бактерий в углистых хондритах указывает на то, что прокариотная жизнь существовала в пределах

Солнечной системы еще до образования Земли.

Другие доклады о возникновении и эволюции форм жизни на Земле и во Вселенной касались фундаментальных вопросов о том, когда и как возникла жизнь на Земле и где она зародилась. Выступления авторов шло по следующим направлениям: эволюция биосферы, эволюция твердой Земли, зародилась ли жизнь на Земле или справедлива гипотеза панспермии, эволюция жизни, ее взаимодействие с атмосферой, становление современных форм жизни.

Кандидат физико-математических наук **В.В. Бусарев** (ГАИШ МГУ) в докладе “Каменно-ледяные тела как возможные инкубаторы первичной жизни” обратил внимание на то, что опубликованные сенсационные результаты исследований условий возникновения жизни, выполненных российско-итальянской группой ученых в области радиационной биологии в ОИЯИ (г. Дубна). Их суть в том, что широко распространенные в межзвездной

среде трехатомные молекулы – цианистоводородная кислота HCN и вода H₂O, а также производный от них формамид (NH₂COH) – лежат в основе зарождения жизни. На основе наблюдений и расчетов В.В. Бусарев показал, что объектами в ранней Солнечной системе, на которых в течение первых нескольких миллионов лет, вероятно, возникли необходимые условия для внеземного самозарождения жизни, были каменно-ледяные тела, точнее – их недра.

Доктор физико-математических наук **Н.Г. Бочкарёв** (ГАИШ МГУ) сделал обзорный доклад “Миграция молекул и пыли во Вселенной. Пределы панспермии”. Слипание пылинок в межзвездной среде при медленных столкновениях внутри протопланетных дисков создает пылевые кластеры (“реликтовые” межпланетные пылинки), которые далее вырастают до размера ядер комет, планетезималей. Американский астрофизик Ф. Хойл и биолог Ч. Викрамасинг (Индия) около 50 лет назад высказали предположение, что часть пылинок в межзвездном пространстве могут быть одноклеточными организмами. Оно не противоречит наблюдениям и стало базовым для представлений о возможности панспермии.

Доктор физико-математических наук **Г.В. Печерникова** (Институт

динамики геосфер) в докладе “Экзогенные факторы в эволюции Земли” отметили, что Солнце и окружающий его газопылевой диск могли сформироваться в гигантском молекулярном облаке рядом с молодыми гигантами – голубыми О-В звездами, ультрафиолетовое излучение которых обеспечило слабую хиральность (до 15% ЕЕs) в органике межзвездной пыли. Часть межзвездной пыли за орбитами более 3–4 а.е. оставалась холодной, затем вошла в первые планетезимали. Органика после плавления их недр в результате нагрева короткоживущими ²⁶A1 и ⁶⁰Fe в виде керогенов опустилась в ядро. Это произошло в первые 3–4 млн лет, задолго до того, как Солнце вышло на главную последовательность. По-видимому, следует искать в кометах анаэробную жизнь.

Кандидат физико-математических наук **О.В. Хабарова** (ИЗМИРАН) в докладе “Эволюция биосферы” проанализировала гипотезу панспермии в совокупности с гипотезой о жизни как свойстве, присущем Вселенной наравне с неживой материей.

Доктор физико-математических наук **Л.И. Мирошниченко** (НИИЯФ МГУ) в докладе “Космические лучи – фактор эволюции биосферы” рассмотрел космические лучи галактического и солнечного происхождения, межпланетную

плазму (солнечный ветер) и электромагнитные излучения различных энергий (частот) как один из важных космических факторов. Данные наблюдений солнечных лучей пока не позволяют точно оценить, насколько быстро они ускоряются. При более реалистичной модели Солнца станет возможным уверенное обсуждение роли факторов, влияющих на происхождение и эволюцию жизни на Земле. Доктор биологических наук **А.В. Марков** (МГУ, Палеонтологический институт РАН) в докладе “Ранние этапы развития жизни: архей, ранний протерозой” уточнил представления о ранних этапах развития жизни на Земле. Профессора **Ю.А. Щёкинов** (Южный федеральный университет) и **Дж. Мэрфи** (Институт исследований астрофизики, Индия) обсудили “Космологические аспекты зон обитаемости” и показали, что с точки зрения возможности обнаружения признаков биоты большой интерес представляют наиболее старые звезды тонкого и толстого дисков, а также звезды сферической подсистемы, в частности звезды с экстремально низкой металличностью.

Кандидаты физико-математических наук **В.П. Щербаков** и **Д.М. Печерский** (Институт физики Земли РАН) в докладе “Переполюсовки геомагнитного поля и жизнь на Земле” рассмотрели, что

смена полярности геомагнитного поля может быть связана с изменением вращения внутреннего ядра относительно мантии и жидкого ядра, возможно, связанная с изменением скорости и угла наклона оси вращения Земли.

Доктор физико-математических наук **Г.Г. Мангадзе** (ИКИ РАН) в докладе “Плазменный факел метеоритного удара – космический фактор нарушения зеркальной симметрии аминокислот” представил результаты опытов на баллистической метательной установке, позволяющей с помощью легкогазовой пушки метать ударники со скоростью 7,5 км/с. В процессе генерации и адиабатического разлета факельной плазмы, возникающей вследствие удара, наблюдались синтез протеиновых аминокислот, в частности глицина, аланина и серина; нарушение зеркальной симметрии энантиомеров со “знаком” асимметрии, совпадающим по “знаку” с биоорганическим; избыток L-энантиомеров над D, достигающий величины 2,2. Важнейший результат этих исследований в виде оригинальной хроматограммы был представлен на специальном рисунке, где отчетливо было видно, что в хиральной колонке глицин, не имеющий центра асимметрии, не разделяется. Однако аланин, имеющий центр асиммет-

рии, разделился на L и D энантиомеры.

А.В. Якушев, В.С. Соина, Е.А. Воробьева, Н.С. Мергелов (МГУ, ИКИ РАН, Институт географии РАН) – авторы доклада “Особенности функционирования бактериальных экосистем в условиях Антарктиды”. Они предположили, что примитивные почвы Антарктиды – интересный модельный объект для астробиологических исследований, например моделирования ситуации на раннем Марсе, возникшей вследствие экстремальных условий формирования экотопов (вид, обитающий всю жизнь в одном и том же месте) и поддержания их жизнедеятельности.

Можно заключить эту часть обзора цитатой доктора физико-математических наук Ю.Н. Ефремова (ГАИШ МГУ): *“...всюду во Вселенной должна существовать жизнь, построенная на основе углерода. Лучше сказать, первичная жизнь, — но мы все равно не можем достоверно обнаружить результаты отдаленной ее эволюции — разум, который уже переселился в ультрасверхкомпьютеры, управляет движением звезд, — ибо активность такого разума мы не можем не принимать за естественные явления. Принцип “презумпции естественности”, четко сформулированный И.С. Шкловским, должен соблюдаться до последней крайности,*

пока речь идет о научной работе, а не о научной фантастике”.

Девять докладов были посвящены проблемам раннего (“тусклого, молодого”) Солнца (**В.Н. Обридко**, ИЗМИРАН; **М.М. Кацова**, ГАИШ МГУ; **М.А. Лившиц**, ИЗМИРАН; **Ю.В. Думин** (ГАИШ МГУ), основным характеристикам и гипотезам возникновения Маундеровского минимума (**Д.Д. Соколов**, МГУ, ИЗМИРАН), магнитным полям и вспышкам на Солнце и других G-звездах малых масс (**М.М. Кацова** и **М.А. Лившиц**), солнечным вспышечным суперсобытиями (**В.Н. Ишков**, ИЗМИРАН), оценке предельной высоты солнечного цикла (**Ю.А. Наговицын**, **А.Г. Кулешова**, ГАО РАН), активным процессам на Солнце и их геоэффективности (**Г.А. Порфирьева**, **Г.В. Якунина**, ГАИШ МГУ).

Доктор физико-математических наук **В.Н. Обридко** (ИЗМИРАН) в докладе “Раннее Солнце – парадоксы и гипотезы” напомнил, что согласно стандартной модели эволюции звезд молодое Солнце должно было иметь светимость на 30% ниже, чем сегодня. Это должно было привести к температуре поверхности Земли –20 °С, то есть вся вода должна была замерзнуть. Однако это противоречит некоторым геологическим и палеонтологическим данным. Обсуждаются

возможные пути разрешения этого парадокса: атмосфера Земли значительно отличалась от современной, сильный парниковый эффект; более существенное выделение геотермальной энергии; выход через космологию, вариация гравитационной константы, космологическое расширение в масштабе Солнечной системы; погрешности в стандартной модели, молодое Солнце не было таким слабым; если масса Солнца была несколько выше, чем сегодня, тогда поток излучения был выше и Земля была ближе к Солнцу. Все предложенные решения имеют свои трудности.

В докладе директора Института динамики геосфер РАН доктора физико-математических наук **Ю.И. Зецера** “Взаимосвязь и энергетика внутренних и внешних геосфер” дано представление о нашей планете как системе взаимодействующих геосфер. Это дает возможность выделить и установить взаимные связи между различными процессами в геосферах, которые не выступают независимо, а под действием внешних (внеземных) и внутренних возмущений непрерывно взаимодействуют друг с другом, обмениваясь энергией, импуль-

сом и массой. Традиционно наибольший интерес должны представлять нелинейные взаимодействия, определяемые достаточно сильными возмущениями, когда возбуждается сразу ряд геосфер, либо реакция отдельной геосферы на такое возмущение настолько сильна, что возмущение передается в соседние геосферы. Масштаб явлений, протекающих в системе взаимодействующих геосфер, определяется, прежде всего, распределением в этих геосферах энергии/мощности, поступающей от внешних и внутренних источников. Интересно сравнить энергетические характеристики внутренних (твердой Земли) и внешних (атмосфера-ионосфера-магнитосфера) геосфер.

В докладе доктора физико-математических наук **А.В. Елисеева** (Институт физики атмосферы РАН) “Роль взаимодействия климата и экосистем в климатическом отклике на внешние воздействия” приведен обзор сведений, касающихся влияния взаимодействия климата и экосистем на климатический отклик при внешнем (естественном или антропогенном) воздействии. Проблемам климата посвятили свой

доклад “Лед, вода и климат Земли” **П.Г. Ковadlo, С.А. Язев** (Иркутский госуниверситет). Доклад **Г.Я. Смолькова, Ю.В. Баркина** (ИСЗФ СО РАН, ГАИШ МГУ) “К системному и мультидисциплинарному изучению солнечно-земных связей” показал, что наряду с солнечной активностью и потоками галактических космических лучей необходимо учитывать эндогенную активность Земли, обусловленную внешним гравитационным воздействием на нашу планету, в том числе возмущением Солнечной системы неоднородностями смежной межзвездной среды.

Отметим также доклады традиционной медико-биологической тематики, связанной с космической погодой: **С.Н. Самсонова, В.И. Манькиной, С.С. Паршиной** (СО РАН, Якутск; Государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов) “Отклик сердечно-сосудистой системы людей с различным состоянием адаптационной системы на изменения параметров космической погоды” и **М.В. Рагульской** (ИЗМИРАН) “Адаптация живых организмов к действию космических факторов – проблемы и перспективы исследований”.

Лазеры исследуют атмосферу

О.К. КОСТКО,

доктор физико-математических наук

Институт прикладной геофизики им. Е.К. Фёдорова Рос-
гидромета

В 1905 г. наш соотечественник В.В. Кузнецов подготовил и провел достаточно неожиданный эксперимент. Установив на поверхности Земли мощный прожектор, он ночью направил его луч на облака. На некотором расстоянии от прожектора был размещен прибор, регистрирующий рассеянный облаком свет. Изменяя угол наблюдения, из простых геометрических соотношений В.В. Кузнецов определил высоту облаков, наиболее интенсивно рассеивающих свет.

Этот опыт ознаменовал начало прожекторного зондирования атмосферы, которое развивалось в течение 50 с лишним лет – от измерения высоты облаков до определения общего содержания молекул и атомов в единице объема воздуха на высотах до 70 км. Прожекторное зондирование атмосферы позволило исследовать атмосферу Земли с помощью локационных оптических средств. Обратим внимание на термин “локационных”. Свойства атмосферы в оптическом диапазоне электромагнитных волн можно изучать, используя излучение Солнца или свечение метеорной материи в верхних слоях атмосферы в качестве источника света. В опытах же В.В. Кузнецова и многих других специалистов применя-

лись локационный принцип измерений и прожектор с приемником.

Характеристики атмосферы получены в основном контактными методами. Применялись приборы, установленные на шарах-пилотах, самолетах, метеорологических ракетах, ИСЗ. Эти методы обладают многими существенными недостатками: подъемные средства имеют большую цену, невозможность получить информацию в любой точке Земли, необходимость учитывать сложные газодинамические эффекты взаимодействия измерительного прибора с воздушной средой.

Ученые, занимающиеся прожекторным зондированием, пытались с помощью технических ухищрений повысить потолок измерений, расширить диапазон исследуемых параметров атмосферы. Но возможности прожекторного луча ограничены. В 1960 г. был создан принципиально новый источник оптического излучения – монохроматический когерентный лазер большой мощности. Эти свойства лазера позволили не только значительно увеличить высоту измерений, но и изучаемые параметры атмосферы.

Три года спустя после создания лазера итальянский ученый Дж. Фиокко опубликовал первую работу о лазер-



Специалисты по лазерному зондированию атмосферы Ю.С. Макушкин, О.К. Костко, К.П. Василевский и В.М. Захаров. Томск, 1977 г.

ном зондировании атмосферы. Используя лазерный локатор, установленный на поверхности Земли, он провел измерения высоты и толщины серебристых облаков, образующихся на высотах 70–80 км, исследовал рассеивающие свойства атмосферы до высот 140 км.

В дальнейшем были получены результаты изучения атмосферных процессов и определения характеристик атмосферы с помощью лазеров в приземном слое, тропосфере, стратосфере и мезосфере. Образовались многочисленные группы ученых, изучающих атмосферу с помощью лазеров в США (около 50), Германии (14), России, Англии, Франции, Швеции, Швейцарии, Канаде, Норвегии, Голландии, Италии, Японии, Индии, Китае, Австралии, Польше, – всего около 100 исследовательских центров.

Теоретическими изысканиями и экспериментами с применением лазеров для изучения атмосферы занимались

в СССР, а затем и в России Роскомгидромет (Центральная аэрологическая обсерватория), Институт экспериментальной метеорологии (ныне НПО “Тайфун”), Главная геофизическая обсерватория, Институт прикладной геофизики им. Е.К. Фёдорова), Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, МГУ, Харьковский институт радиозлектроники, Институт общей физики РАН, Институт спектроскопии РАН.

При распространении лазерного луча используются эффекты взаимодействия электромагнитной волны с воздушной средой, позволяющие сделать заключение о свойствах атмосферы. К таким эффектам относятся рассеяние на атмосферных аэрозолях, рэлеевское рассеяние, спонтанное комбинационное рассеяние, резонансное рассеяние и поглощение, деполяризация, доплеровское уширение линий и сдвиг частоты излучения, флуктуа-

ции амплитуды и фазы световой волны. Многие перечисленные явления наблюдаются одновременно, и задача заключается в создании способов выделения из общей информации той части, которая содержит интересующую характеристику атмосферы. Используя лазерные методы, можно получить данные о всех наиболее важных параметрах атмосферы.

По техническому воплощению лазерные способы изучения атмосферы можно разделить на два основных. В первом (базовом) используются различные по трассе измерений лазер и приемник излучения или совмещенный лазер-приемник и отражатель на другом конце трассы. Во втором (локационном) лазер и приемник обратного рассеянного излучения в атмосфере совмещены в лазерном локаторе, или лидаре (LIDAR, light detection and ranging – лазерная система обнаружения и измерения дальности).

Лидар по своему устройству аналогичен радару. Только в качестве передатчика применяется лазер, а антенной служит оптическое устройство, например телескоп или фотообъектив. За приемной оптической антенной установлены узкополосный интерференционный фильтр, отсекающий паразитное излучение, вызванное, например, свечением ночного неба, светом звезд, принимающий сигнал фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и радиотехническая аппаратура детектирования.

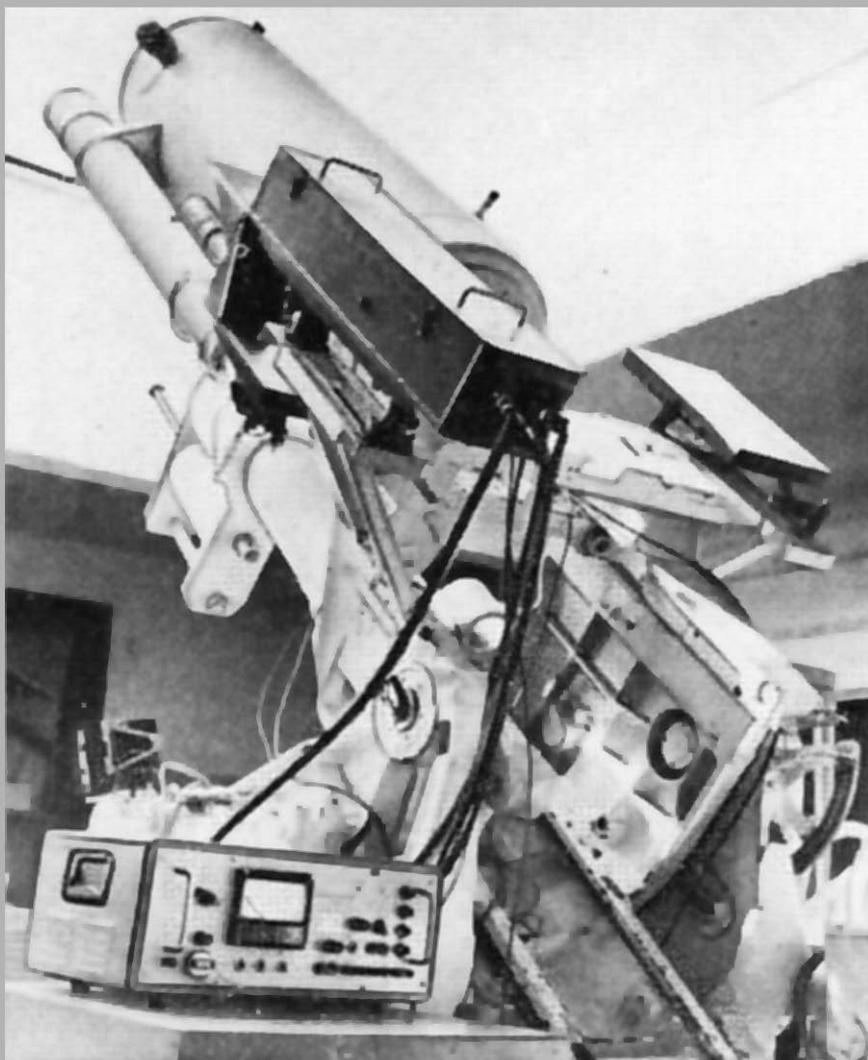
Практические задачи метеорологии требуют в первую очередь дистанционных средств исследования атмосферы. Кроме того, при изучении верхних слоев атмосферы достаточно сложно получить информацию из-за уменьшающейся с высотой плотности воздуха. Базовым лазерным методом чаще всего изучают турбулентные неоднородности приземного слоя атмосферы и измеряют поглощение лазерного излучения атмосферными газами и ослабления при распространении излучения в разных метеорологических условиях.



Геофизический лидар, созданный в НПО "Тайфун", г. Обнинск.

При локационных измерениях параметров атмосферы необходимо помнить, что турбулентные движения в атмосфере, влекущие за собой случайное изменение температуры, а следовательно и показателя преломления, вызывают флуктуации амплитуды и фазы световой волны. В некоторых случаях это явление может исказить информацию, получаемую при обратном рассеянном лазерном сигнале. Кроме самостоятельных научных задач, подобные исследования в основном продиктованы разработкой лазерных средств связи.

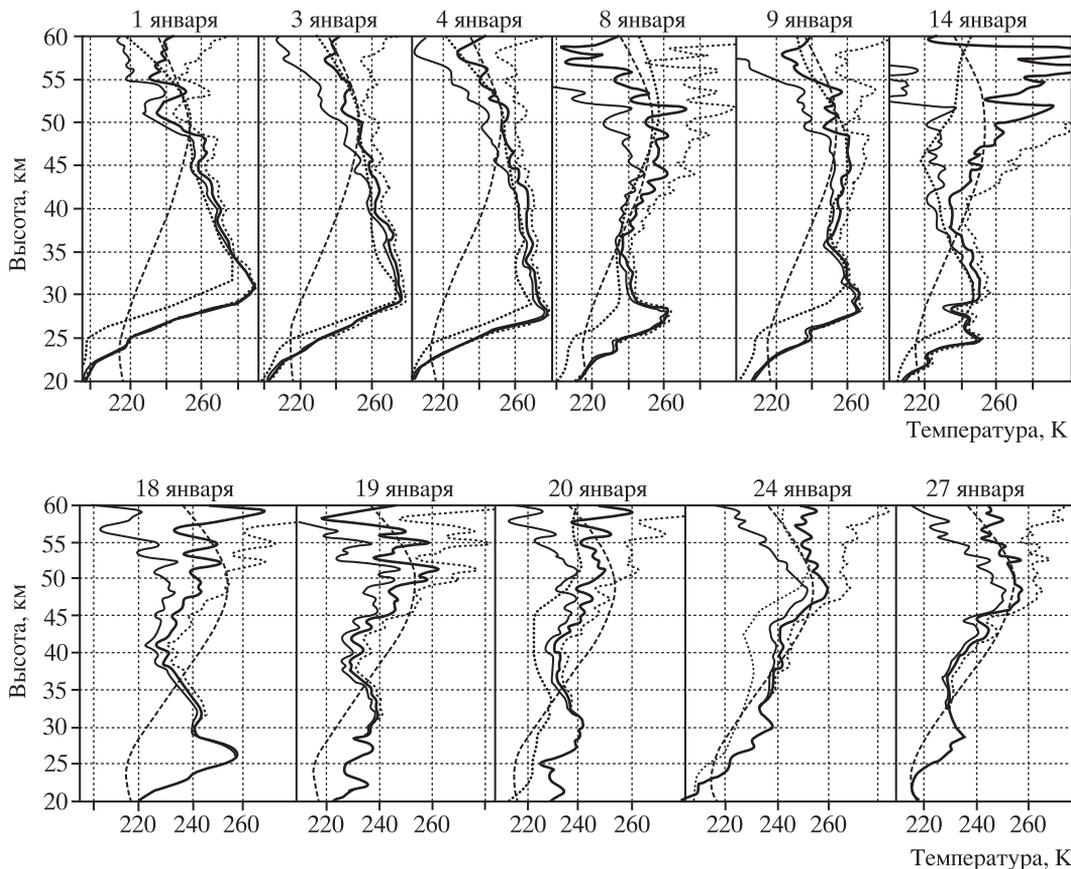
Лазерно-локационные измерения параметров атмосферы проводятся дистанционно и не нуждаются в метеорологических подъемных средствах, таких как шары-пилоты и метеорологические ракеты. Лидары можно использовать в любой точке Земли, в отличие, например, от ракет, и получать при зондировании разрезы атмосферы.



Лидар для мониторинга стратосферного аэрозоля в Центральной аэрологической обсерватории. 1990 г.

ры за небольшие промежутки времени, когда состояние основных атмосферных параметров не успевает измениться. Значительная энергия излучения современных лазеров позволяет принять на Земле сигнал, обусловленный рассеянием в высоких слоях атмосфе-

ры. Большая частота посылок зондирующего импульса дает возможность следить за быстро меняющимися вариациями параметров атмосферы, а пространственное разрешение, зависящее от длительности импульса лазера, позволяет детально определять



Результаты лидарных наблюдений (жирная кривая) стратосферного потепления в январе 2013 г. над Томском. Для сравнения показаны среднемесячный профиль модели CIRA-86 (пунктирная кривая) и профили по данным синхронных наблюдений с французского ИСЗ "Аура" (кривая с точками). По данным В.Н. Маричева.

структуру изучаемого метеорологического образования. Использование волн оптического диапазона разрешает создать малогабаритную приемно-передающую аппаратуру лазерного локатора по сравнению с аналогичной радиотехнической аппаратурой, что важно при создании бортовых лазерных систем.

В большинстве первых экспериментов по лазерному зондированию атмосферы использовались импульсные лазеры с достаточно скромными характеристиками, например лазер на рубине ($\lambda = 694,3$ нм, 1 нм = 10^{-9} м) с энергией излучения в импульсе $0,1-1$ Дж

при длительности импульса 30 нс (3×10^{-8} с). Это означает, что в атмосферу из лазера со скоростью света выбрасывается сгусток фотонов, причем последний фотон вырывается из лазера позже первого на 30 нс. Такой "световой зонд" за тысячную долю секунды пролетает сквозь атмосферу толщиной 300 км. Пространственная протяженность зонда в данном случае составляет $L = 9$ м ($L = ct$, где c – скорость света, t – длительность импульса). Обычно эту величину делят пополам и называют локационной протяженностью импульса. Не будем уточнять, зачем это делают, главное, что

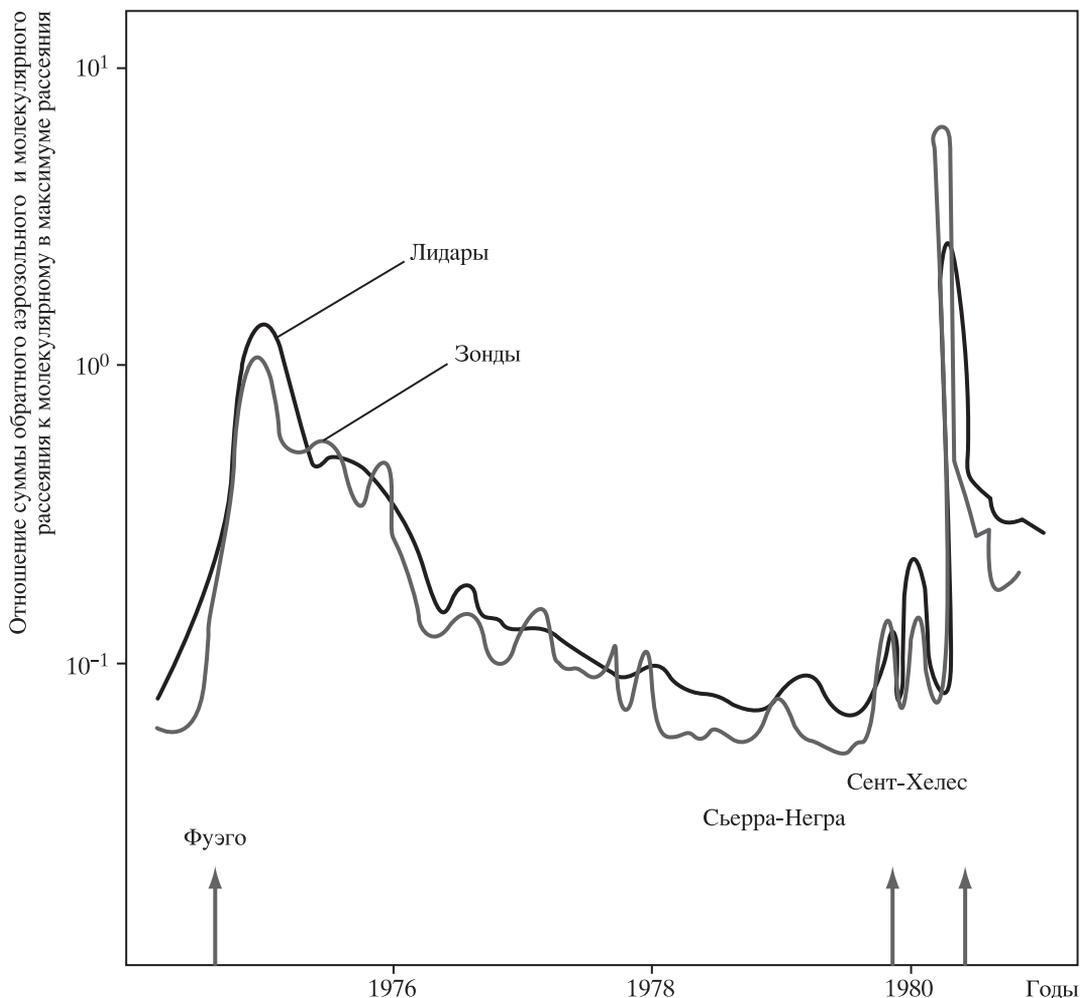


График содержания аэрозолей в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Количество аэрозолей возрастает после вулканических извержений. Результаты измерений с помощью лидаров и аэрозольных зондов, поднимаемых на шарах-пилотах, совпадают. Стрелки указывают время крупных вулканических извержений.

импульс такой длительности занимает в пространстве несколько метров. Отсюда и высокое пространственное разрешение: зондируя облака, например, можно определять интенсивность рассеянного света через каждые несколько метров, или, другими словами, изучать тонкую структуру облака.

При энергии излучения лазера на рубине 1 Дж "световой зонд" содержит $3,5-10^{18}$ фотонов. Для сравнения: солнечное излучение, приходящее на

границу верхней атмосферы каждые 30 нс, на длине волны излучения рубинового лазера "поставляет" всего лишь 10^8 фотонов. Излучение лазера когерентно и монохроматично: число фотонов с чуть большей или меньшей длиной волны излучения по сравнению с основной обычно не превышает сотые доли процента. Эти свойства определяют возможности лазерного зондирования, его существенное преимущество

по сравнению, например, с прожекторным лучом.

Взаимодействуя с молекулой или частицей аэрозоля, фотон может участвовать в нескольких процессах. В одном процессе фотон полностью передает свою энергию, например, молекуле. Вещество нагревается, а сам фотон исчезает – это процесс поглощения. Во втором – фотон при столкновении изменяет направление движения – происходит рассеяние.

Столкнувшись с молекулой, фотон может поглотиться с последующим испусканием других фотонов. Это третий процесс – спонтанное комбинационное рассеяние. Если частота энергетического перехода в спектре атома совпадает с частотой излученного лазером фотона, наблюдается процесс резонансного рассеяния.

Молекулы и атомы воздуха находятся в хаотическом тепловом движении, а аэрозоли, более тяжелые частички, переносит ветер. В акустике эффект Доплера проявляется как изменение частоты звуковых колебаний приближающегося или удаляющегося источника звука. Фотоны, которые упали на молекулы и рассеялись, изменяют частоту. Так как хаотическое движение молекул характеризуется разными скоростями и направлениями, в рассеянном излучении наблюдается спектр частот и в результате происходит доплеровское уширение линии излучения лазера. Такое явление использовалось ранее, например для определения температуры верхних слоев атмосферы по линиям излучения полярных сияний (скорость молекул зависит от температуры). Аэрозоли испытывают направленное движение и возникает доплеровский сдвиг частоты. Эффектом Доплера пользуются, в частности, астрофизики для определения скорости разлетающихся галактик.

Интенсивность процесса поглощения находят по величине поперечного сечения поглощения одной молекулой, произведение этой величины на число



Профессор физического факультета МГУ Е.Г. Швидковский (1910–1970) – один из инициаторов и научных руководителей лидарных исследований атмосферы.

молекул в единице объема – показатель поглощения данной среды.

Самое неприятное обстоятельство при лазерном зондировании атмосферы – плотная облачность. Ослабление лазерного излучения в ней огромно, и с поверхности Земли нельзя получить сведения о состоянии атмосферы выше облаков. Во многом это и стимулировало установку лазерных локаторов на самолетах, а затем и космических аппаратах.

В нашей стране лазерное зондирование атмосферы началось с исследований облачности. В 1966 г. сотрудники Центральной аэрологической обсерватории А.Е. Тяботов, В.И. Шляхов, А.Б. Шупяцкий установили разработанный ими лидар на самолете-лабо-



Полярные стратосферные облака в Гренландском секторе Арктики. Снимок предоставил В.У. Хаттатов.

ратории Ил-18 и измерили деполяризацию отраженного лазерного сигнала от облаков. Проведенные эксперименты позволили определить фазовое состояние облачности. Через два года Е.Г. Швидковский, Э.А. Чаянова и О.К. Костко разработали там же метод восстановления профиля концентрации водности и концентрации числа капель в облаках по сигналу обратного рассеяния излучения лазера. Профессор Е.Г. Швидковский был инициатором и научным руководителем лазерных исследований в Росгидромете.

Говоря об изучении облачности с использованием лидаров, следует отметить работы по изучению перистой облачности с одновременным применением лидара и ИК-радиометра (В.А. Журавлёва, С.Ф. Калачинский, О.К. Костко).

С появлением лазеров сразу же возник значительный интерес к использованию лидаров для изучения стратосферного аэрозоля. Работы по лазерному зондированию стратосферного аэрозоля начаты в 1970-е гг. Их цель – получение профилей распределения аэрозольного рассеяния в атмосфере и его пространственно-временных вариаций. Информация об этих параметрах представляет научный интерес при изучении изменений климата вследствие загрязнения стратосферы вулканическим пеплом. Содержание аэрозолей в верхней тропосфере и нижней стратосфере возрастает после вулканических извержений. Об этом свидетельствуют регулярные измерения, проведенные с помощью лидаров и аэрозольных зондов, поднимаемых на шарах-пилотах. В последующие годы лазерное зондирование страто-

сферного аэрозоля нашло применение во многих национальных гидрометеорологических службах для мониторинга фонового состояния стратосферного аэрозоля и контроля за распространением вулканического пепла в стратосфере и тропосфере.

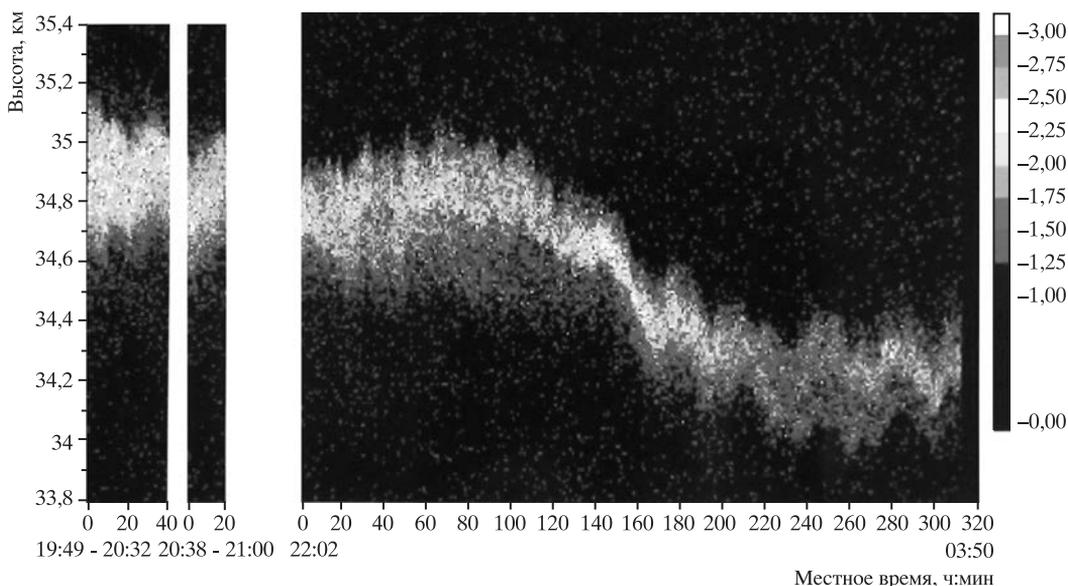
Аэрозольные лидары на основе мобильных платформ использовались также для регистрации промышленных аэрозольных загрязнений в нижних слоях атмосферы.

На основе метода спонтанного комбинационного рассеяния лазерного излучения в атмосфере была создана аппаратура для определения профиля концентрации водяного пара в нижней тропосфере. Применяя этот метод, сигнал обратного рассеяния на парах воды сравнивается с сигналом, обусловленным рассеянием на молекулярном азоте.

Метод дифференциального поглощения лазерного излучения был успешно применен для определения кон-

центрации составляющих атмосферы. При этом используются две длины волны излучения лазера: одна – в области сильного, другая – слабого поглощения атмосферного газа. Чаще всего этот метод применялся при изучении распределения стратосферного озона по высоте. В 1974 г. были предприняты первые попытки лазерных измерений профилей концентрации озона на длинах волн 303,5 нм и 308 нм. Затем исследования выполняли в НПО “Тайфун” (С.Е. Хмелевцов, Ю.Г. Кауфман, О.К. Костко), ИОА им. В.Е. Зуева АН (В.В. Зуев, А.В. Ельников, В.Н. Марищев, С.Л. Бондаренко).

При резонансном рассеянии частота лазерного излучателя совпадает с частотой перехода изучаемой атомарной или молекулярной системы. Это явление позволяет значительно усилить сигналы обратного рассеяния, принимаемые лидаром. Использование резонансного рассеяния позволило создать методы и лидары для определения



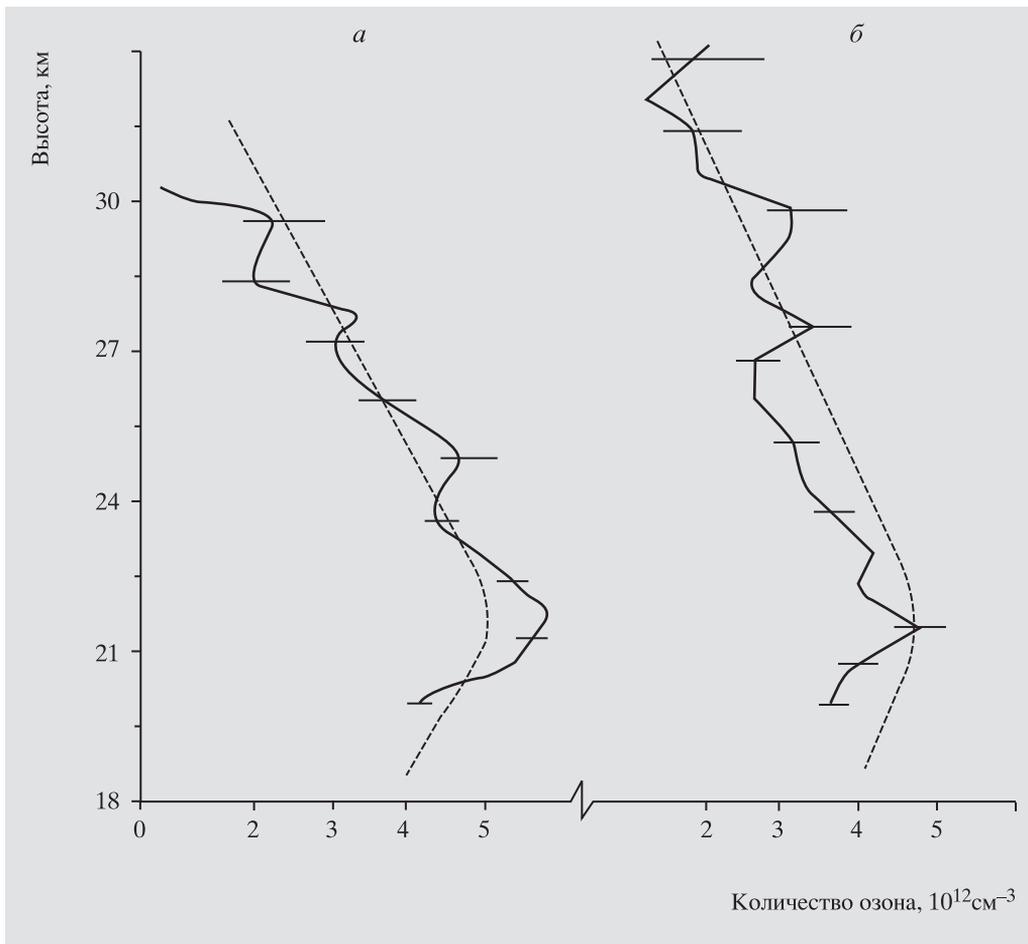


График распределения озона в атмосфере на высоте 18–35 км. Жирные кривые линии – лидарные измерения 25 декабря 1990 г. (а) и 25 января 1991 г. (б), пунктирные – теоретические данные.

концентрации атмосферных составляющих (Na, K, Li и других), температуры и ветра в верхних слоях атмосферы.

Кроме вышеуказанных методов, лазерная газоаналитическая аппаратура показала свою эффективность и применялась для оценки уровней загрязнения атмосферы в ряде крупных городов и промышленных центров. Получены систематические данные о фоновом содержании окиси углерода в атмосфере в Приокско-Тerrasном, Березинском и Северо-Кавказском био-

сферных заповедниках. Результаты этих исследований позволили оценить источники окиси углерода в приземном слое атмосферы естественного происхождения, изучить суточный, сезонный и годовой ход концентрации окиси углерода, дать оценку глобальной концентрации CO в атмосфере средних широт. В 1979–1985 гг. коллективы ученых Физического института им. П.Н. Лебедева, Институтов общей физики и спектроскопии РАН и Центральной аэрологической обсерватории (В.У. Хаттатов) выполнили цикл работ.

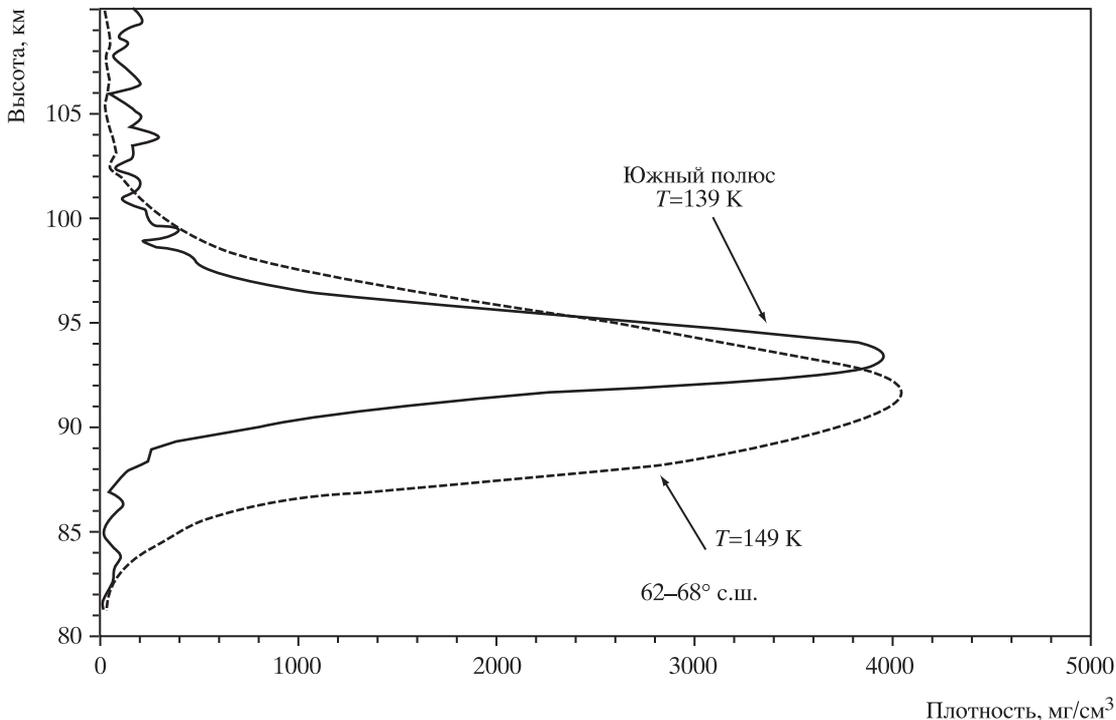


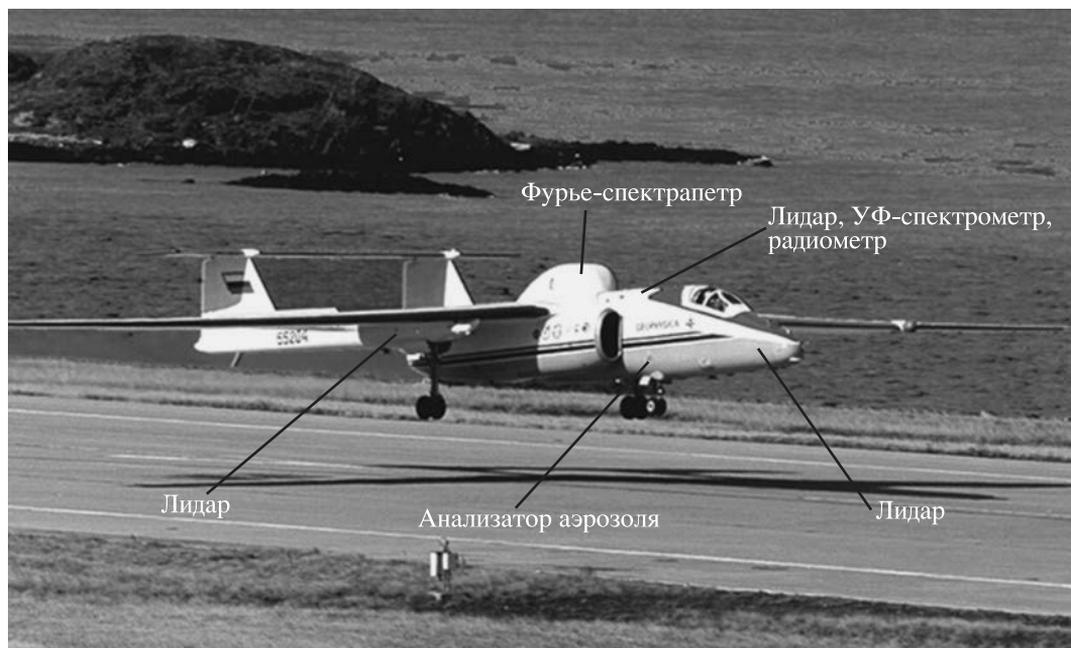
График профилей содержания натрия, усредненных по данным летних измерений самолетным лидаром между 62° и 68° с.ш. (июль – август 1993 г.) и стационарным лидаром на Южном полюсе (январь 1955 г. и 1996 г.).

На основе применения диодных лазеров его авторы сформировали новое направление лазерной молекулярной спектроскопии, позволившее на качественно новом уровне решить ряд проблем, имеющих фундаментальное и прикладное экологическое значение.

Одно из актуальных направлений работ последнего десятилетия в Центральной аэрологической обсерватории было связано с созданием российского высотного самолета-лаборатории М-55 «Геофизика» и его применением в исследованиях верхней атмосферы. Лазерные приборы для зондирования атмосферы заняли достойное место в составе самолетной аппаратуры. На борту самолета установлены многоволновые лидары, высокочувствительные лазерные газоанализаторы, лазерные счетчики аэрозольных частиц, много-

канальные анализаторы спектров размеров облачных частиц и другая дистанционная и контактная лазерная аппаратура. В 1996–2009 гг. лазерная аппаратура на борту М-55 «Геофизика» успешно применялась для газового анализа примесей, ответственных за разрушение стратосферного слоя озона в Арктике, Антарктике и в тропических широтах, в исследованиях стратосферного аэрозоля и полярных стратосферных облаков.

Следует сказать еще и об исследованиях подстилающей поверхности с использованием наземных и самолетных лидаров (В.М. Захаров, А.И. Герман, В.Е. Рокотян). Лидарные измерения параметров подстилающих поверхностей дают сведения о видах и толщине пленок, загрязняющих поверхность океана, температуре приповерхностно-



Высотный самолет-лаборатория М-55 "Геофизика" с научным оборудованием массой 2 т: три лидара, анализаторы аэрозоля, УФ- и Фурье-спектрометр, радиометр. Снимок предоставил В.У. Хаттатов.

го слоя воды, переносе загрязнителей, высоте ветровых волн.

Анализ результатов исследований степени поляризации, коэффициентов отражения и уширения импульсных сигналов лазера показал, что степень поляризации отраженного излучения от ледяной поверхности, покрытой снегом, пустыни и степи существенно отличается от аналогичной величины для чистого льда и тем более для водной поверхности.

В одном из первых экспериментов с использованием лидаров на борту самолетов для определения нефтяной пленки на Каспийском море применялся метод, основанный на измерениях коэффициентов отражения и деполаризации лазерного излучения. Исследования показали возможность обнаружения нефтяной пленки. Оказалось, что ее отражательные свойства имеют достаточно тесную корреляцию с толщиной нефтяной пленки. Примене-

ние лазеров позволило создать дистанционные способы для определения характеристик водной среды (мутность, соленость, состав, температура), включая параметры переноса загрязнителей и органических веществ. Среди отечественных исследований необходимо прежде всего отметить работы, проведенные в МГУ (В.В. Фадеев) и Институте общей физики РАН (Д.В. Власов).

Возможность лазерных измерений параметров атмосферы выше слоя облачности, а также глобальных наблюдений стимулировали установку лидаров на космические аппараты. Были проведены необходимые теоретические работы (В.М. Захаров). В 1994 г. американский лидар "LITE" выполнил исследование на КК "Дискавери", в 1995–1996 гг. совершили полеты российские лидары "Балкан" на модуле "Спектр" и "АЛИСА" на модуле "Природа" орбитального комплекса "Мир". Ли-



Самолет-лаборатория М-55 "Геофизика", исследующий атмосферу на высоте до 21 км. Снимок предоставил В.У. Хаттатов.

дар "АЛИСА" создан в Институте прикладной геофизики им. Е.К. Фёдорова и в РКК "Энергия" совместно с французской Службой аэронавтики. Отечественным и французским ученым удалось разработать методы измерения характеристик облачности и системы Земля – атмосфера по данным лидарного зондирования из космоса.

Для прогноза погоды необходимы постоянные измерения характеристик атмосферы и в первую очередь – распределения с высотой температуры, влажности, давления, скорости и направления ветра. Эти параметры измерялись с помощью радиозондов – приборов, установленных на шарах-пилотах. Радиозонд – прибор одноразовый, а

используя лидары, можно многократно измерять перечисленные характеристики атмосферы. Лидары позволяют измерять с поверхности Земли температуру атмосферы до высоты около 100 км, влажность и давление в тропосфере и стратосфере, скорость и направление ветра до высоты 15 км.

В последние десятилетия успешно разрабатываются фемтосекундные лазеры, позволяющие получать ультрарелятивистские интенсивности излучения. Анализ их особенностей показывает широкие возможности получать больше и более подробной информации для определения самых различных характеристик атмосферы.

Научно-образовательный центр в Казани

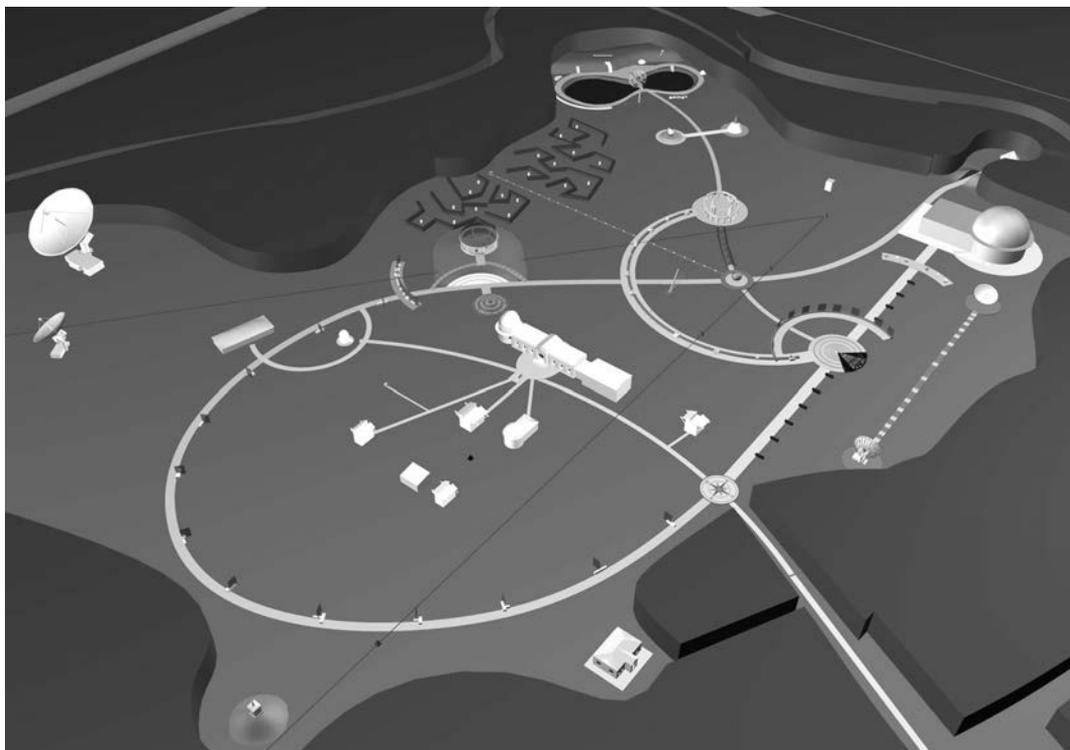
Ю.А. НЕФЕДЬЕВ,
доктор-физико-математических наук
директор Астрономической обсерватории
им. В.П. Энгельгардта
А.И. ГАЛЕЕВ,
кандидат физико-математических наук
доцент Астрономической обсерватории
им. В.П. Энгельгардта

С 2008 г. в Казани осуществляется крупный проект по созданию Научно-образовательного центра космических исследований и технологий на базе Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта (АОЭ) Казанского университета. Здесь была организована первая в России кафедра астрономии, недавно отметившая 200-летие, а затем на ее основе – Астрономическая обсерватория (Земля и Вселенная, 2011, № 2). Идея создания такого Центра связана с ростом значимости астрономии и космонавтики как инструмента фундаментальных научных исследований. Однако без развития астрономического образования невозможен прогресс дан-

ного направления науки. Необходимо приобщать молодых людей к современным научным знаниям, популяризировать науку. В настоящее время разрабатываются и внедряются инновационные технологии в сфере космической связи, навигации, метеорологии, изучения природных ресурсов, мониторинга природных и антропогенных процессов, картографии. Космическая навигация и геодезия основаны на современных наземных наблюдениях и технологиях сканирования небесной сферы, обработка данных ведется в астрономических обсерваториях. Для того чтобы Россия оставалась в числе лидеров космических исследований, нужно строить назем-

ные станции астрономических и геодезических наблюдений. КФУ – один из ведущих российских и мировых центров подготовки кадров по астрономии и космической геодезии, фундаментальных и прикладных исследований. В разное время выпускники КФУ были инициаторами создания научных школ в области астрофизики звездных атмосфер, космической астрометрии и метеорных исследований, образовательных центров, возглавляли крупные творческие коллективы. Научные данные, полученные казанскими астрономами, были использованы при подготовке запусков межпланетных станций к Луне и Марсу.

Возник интегрированный проект создания на-



План Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта с новыми объектами и Астропарком, в центре – наблюдательная площадка АОЭ, слева внизу – две радиодантели, справа вверху – Планетарий, слева вверху – озеро.

учно-образовательного центра космических технологий на базе АОЭ – ключевая часть Программы развития КФУ на 2010–2019 гг. Ее цель – переход КФУ на более высокий качественный уровень, соответствующий лучшим мировым стандартам образовательной и научно-исследовательской деятельности. Проект предусматривает организацию в инфраструктуре АОЭ двух радиофизических полигонов, прилегающих к территории обсерватории, кафедр астро-

номии, радиофизики, радиоастрономии, радиоэлектроники. Цель Проекта также – создание уникального научно-образовательного, просветительского и научно-технологического комплекса мирового уровня в области изучения космоса. В АОЭ предполагается готовить специалистов, проводить учебную, учебно-производственную и научную стажировку студентов и аспирантов Казанского университета и других учебных и научных учреждений России, ближ-

него и дальнего зарубежья.

Научно-образовательный центр в составе АОЭ станет первым в мире образовательно-научным комплексом, сочетающим действующую астрономическую обсерваторию с Планетарием и Астропарком. В настоящее время в мире насчитывается более 2500 планетариев, в том числе 1200 в США, 540 – в европейских странах, 400 – в Японии. Планетарии, совмещенные с астрономическими обсерваториями, в настоящее



время отсутствуют, что снижает эффективность их деятельности. В России всего 56 планетариев, причем они расположены в черте городов, что не позволяет проводить полноценные астрономические наблюдения. Большинство из них технически и морально устарели. В последнее время предпринимаются попытки модернизации сети планетариев. Реконструированы планетарии в Москве и Калуге, построен современный планетарий в Ярославле, но это не носит системного характера и не увязано с решением научно-исследовательских задач.

Первый в мире подобный Центр, технологически, методологически и

территориально интегрированный с действующей астрономической обсерваторией международного класса, будет способствовать переходу на новый качественный уровень астрономического образования в Казани. Планетарий станет высокотехнологичной интерактивной экспериментально-образовательной лабораторией, вносящей значимый вклад в инновационный потенциал, подготовку кадров и обучение.

22 августа 2011 г. Президент Республики Татарстан Р.Н. Минниханов заложил первый камень Центра и Планетария. На этой церемонии, прошедшей в рамках Международной астрономической

Закладка первого камня Планетария. 22 августа 2011 г. Фото В.В.Силантьева.

конференции, приуроченной к 50-летию полета Ю.А. Гагарина, 100-летию со дня рождения Главного теоретика космонавтики академика М.В. Келдыша и 110-летию АОЭ, присутствовали руководители и сотрудники Федерального космического агентства, РКК "Энергия" им. С.П. Королёва, астрономических организаций и институтов, известные российские и зарубежные ученые.



Открытие Планетария: Президент Республики Татарстан Р.Н. Минниханов, ректор КФУ И.Р. Гафуров, директор АОЭ Ю.А. Нефедьев, заместитель министра финансов РФ А.М. Лавров. 23 июня 2013 г. Фото В.В. Силантьева.

23 июня 2013 г. на территории АОЭ открылся Планетарий. Здание построено в рекордные сроки – меньше чем за два года. Внутреннее убранство вестибюля Планетария напоминает фантастические интерьеры космического корабля, есть буфет и магазин сувениров. В холле Планетария планируется проводить выставки, установить развивающие экспонаты, предназначенные для детей. С их помощью школьники смогут понять строе-

ние Солнечной системы, суть различных физических процессов и получить полезные знания. В комплекс Планетария войдут Музей астрономических знаний, обсерватория и Астропарк.

В Звездном зале Планетария 83 удобных кресла испанской фирмы Euro Seating International, отклоняющихся на 15°. В центре находится небольшая сцена для проведения обучающих и развлекательных программ, конференций, лекций, конкурсов, кон-

цертов классической музыки. Зал оборудован специальным помещением для переводчиков-синхронистов. Купол диаметром 15 м американской фирмы Spitz Inc., наклоненный к горизонту на 10°, выстелен перекрывающимися листами из тонкого перфорированного алюминия, что важно для облегчения его веса и звукопроницаемости. Этот вариант купола создает эффект присутствия и позволяет зрителям погружаться в происходящее действие.



В Звездном зале работает основное проекционное оборудование – оптико-механической аппарат-планетарий и цифровая система воспроизведения. Здесь демонстрируют полнокупольные видеопрограммы и научно-образовательные фильмы.

Главный прибор Планетария – аппарат Megastar-IIA японской фирмы Ohira Tech Ltd – способен проецировать на купол звезды блеском до 6,5^m, причем более 40 наиболее ярких звезд имеют цвет, соответствующий их спектральному классу, и могут отображаться отдельно от других звезд.

Изображения небесных объектов создаются с помощью металлических пластинок с мельчайшими отверстиями разного диаметра в соответствии с яркостью звезд. Рядом с основным “звездным шаром” расположены специальные проекторы для демонстрации движения по звездному небу Солнца, Луны и пяти планет, также видимых невооруженным глазом. С помощью проекционного оборудования можно легко “перемещаться” в пространстве и времени, например оказаться в далеком прошлом, чтобы понять, каким видели небо древние люди или как изменятся формы со-

*Здание Казанского планетария на территории АОЭ.
Фото Ю.А. Нефедьева.*

звезд в будущем. Посетители буквально за несколько секунд могут “перелететь” на другой континент, увидеть, как движется небосвод в течение суток не только в нашем городе, но и на экваторе, на полюсах...

Стремительное развитие цифровых технологий увеличивают возможности цифровой и компьютерной техники, во много раз превышающие возможности классических аппаратов-планетариев. В Казанском



В Звездном зале Планетария. Фото Ю.А. Нефедьева.

планетарии при показе видеопрограмм на купол проецируются изображения с разрешением 4K (приблизительно соответствует 4000 пикселей по горизонтали), хотя в мире уже есть планетарии с разрешением 8K. Используется специализированное программное обеспечение – универсальный цифровой эмулятор Вселенной “Uniview” шведской фирмы SCISS. Изображения моделируются в режиме реального времени на основе данных различных астрономических источни-

ков, причем обновление происходит ежедневно. В отличие от классических планетариев с помощью цифрового эмулятора можно наблюдать вид звездного неба из любой точки Вселенной, расположение нашей Галактики относительно других галактик. Хотите прогуляться по поверхности Марса? Пожалуйста! Полный эффект присутствия вам гарантирован. Можно не просто устроить экскурсию на планеты Солнечной системы, но и, например, побывать внутри кольца Сатурна или в районе аккреционного диска черной дыры!

В небольшой башне диаметром 4,5 м установлены 50-см астрограф, планетный рефрактор

с профессиональными приемниками излучения и два солнечных телескопа. Полусфера купола башни раскрывается полностью, около него размещена автоматическая метеостанция, и, если датчики зафиксируют капли дождя, купол автоматически закроется. Изображения со всех телескопов планетария можно транслировать как на большой монитор, расположенный в вестибюле Планетария, так и как полнокупольную проекцию.

Согласно распоряжению проректора КФУ по образовательной деятельности Р.Г. Минзаринова в 2013/2014 учебном году в Планетарии проводятся ознакомитель-



ные занятия для студентов. В конце 2013 г. его посетили 1700 студентов различных учебных подразделений КФУ, школьники лицея им. Лобачевского и IT-лицея при КФУ. Демонстрировались программы, закупленные вместе с проекционным оборудованием: “Черные дыры”, “Естественный отбор” и “Рассвет космической эры”. Недавно были приобретены еще четыре полнокупольные астрономические программы. В дальнейшем планируется проводить для студентов учебные занятия по астрономии и естествознанию. Студентам различных специальностей (астрономия, геодезия, физика, история, филология) и разных

курсов читают дисциплины “Естественнонаучная картина мира” и “Астрофизика”. Проводился опрос, что они хотели бы увидеть в Планетарии. Выяснилось, что подавляющее большинство студентов желают, чтобы на всех показах присутствовал преподаватель-астроном, который читал бы лекции и отвечал на вопросы.

В Планетарии планируется принимать экскурсии школьников Казани и Республики Татарстан. Во многих планетариях проводятся полнокупольные лекции, когда известный ученый демонстрирует свою презентацию на куполе. В Планетарии можно проводить научные конференции,

Комплекс пяти телескопов в обсерватории Планетария. Фото Ю.А. Нефедьева.

творческие вечера, концерты, другие мероприятия. Так, в Звездном зале в 2013 г. состоялась выездное заседание Учебно-методического совета КФУ и III Международная научно-практическая конференция “Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем”.

В комплекс будет включен Астропарк с системой научно-образовательных интерактивных объектов круглогодичного использования, расположенных вокруг здания Планетария:

– интерактивная модель Солнечной системы, показывающая соотношения размеров планет;

– тематическая площадка “Космические весы”, где с помощью прибора определяется вес человека на различных космических объектах;

– площадь “Великих заблуждений”, посвященная развенчанию астрономических мифов (в частности, о возможности увидеть звездное

небо днем из глубокого колодца);

– зона проведения учебно-методических занятий с наблюдением звездного неба с балкона телескопа-рефрактора и созданием проекционного отражения звездного неба;

– аттракцион “Свободное падение”, основанный на восприятии информации непосредственно через моторно-двигательные ощущения человека при парении его на струе воздуха;

– аттракцион “Шаги по Луне”, позволяющий ощутить изменение веса на разных небесных объектах, в том числе на Луне;

– аттракцион “Солнечный огонь”, дающий возможность оценить тепловую энергию Солнца с помощью оптической системы;

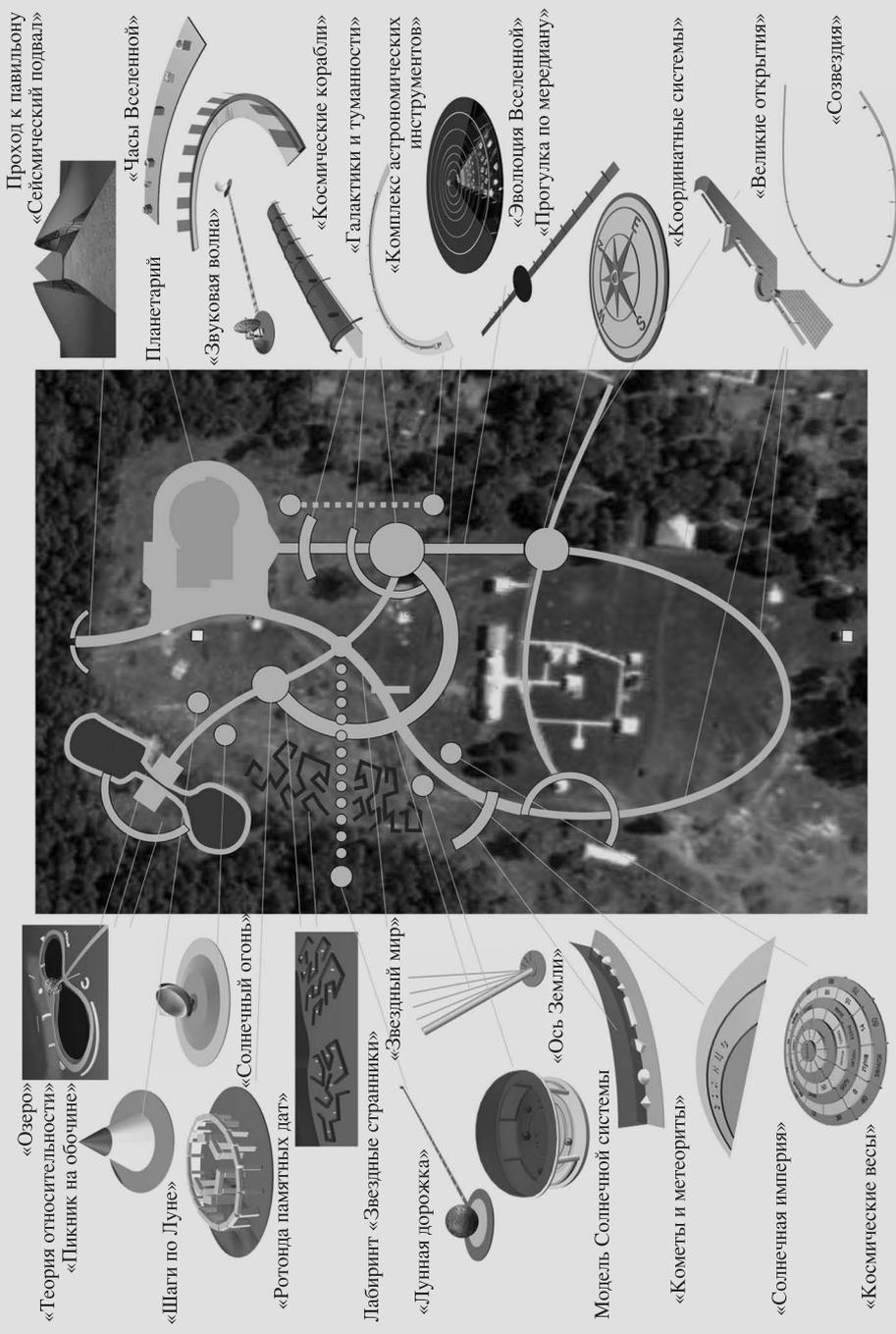
– площадка в форме диска для установки любительских телескопов (в том числе выдаваемых напрокат) и организации массовых наблюдений небесных явлений;

– солнечные, песочные и водяные часы, значомящие с разными системами счета времени;

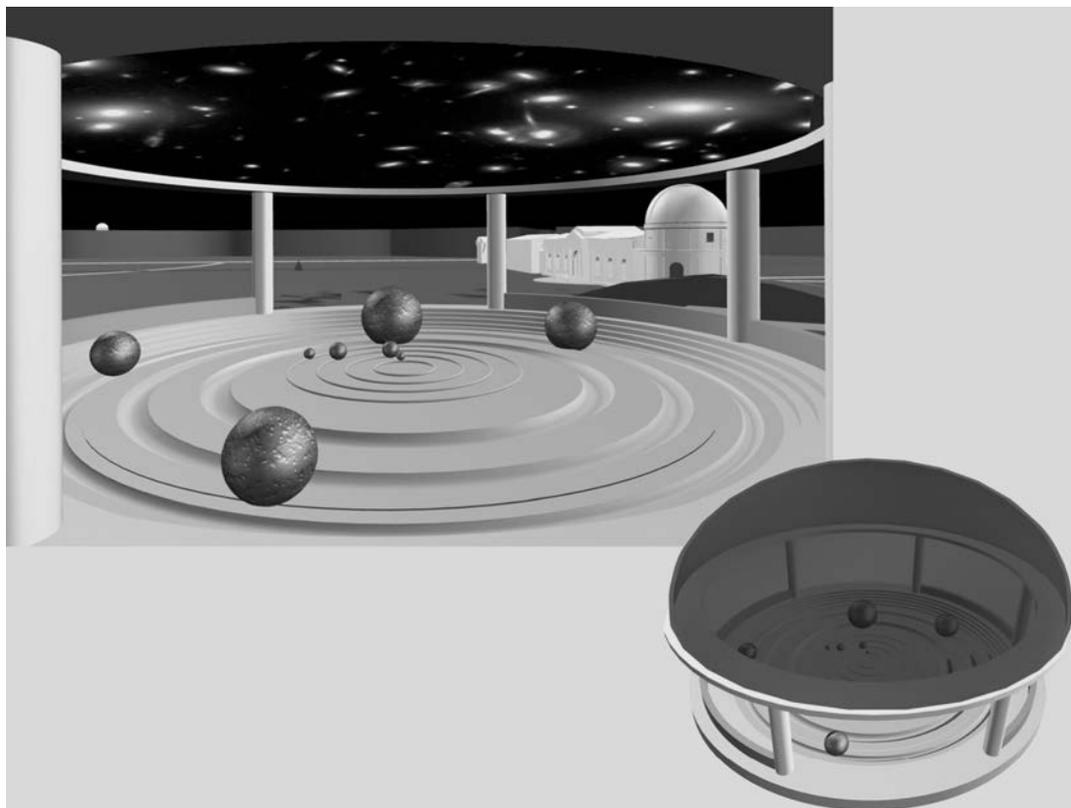
– “Сейсмический подвал” для демонстрации эффекта землетрясения, измеряемого с помощью профессиональных сейсмографов;

*В вестибюле Планетария.
Фото Ю.А. Нефедьева.*





План расположения объектов в Астропарке Планетария.



Модель Солнечной системы. Проект.

– площадка астрономических инструментов, на которой установлены макеты астрономических обсерваторий мира и исторических приборов.

Астропарк представляет собой парково-архитектурный комплекс, состоящий из аллей, малых архитектурных форм, декоративных скульп-

тур и тематико-рекреационных зон с индивидуальным ландшафтом. В Астропарке от центрального входа до Планетария проляжет парадная аллея. От нее разойдутся большая и малая эллиптические аллеи, определяющие внешнюю и внутреннюю границы между научной и “познавательной” зонами. Планируется создание следующих тематических зон:

– “Великие астрономы” – галерея скульптур астрономов и мыслителей;

– “Кольцо Зодиака” – композиция из 12 зодиакальных созвездий и

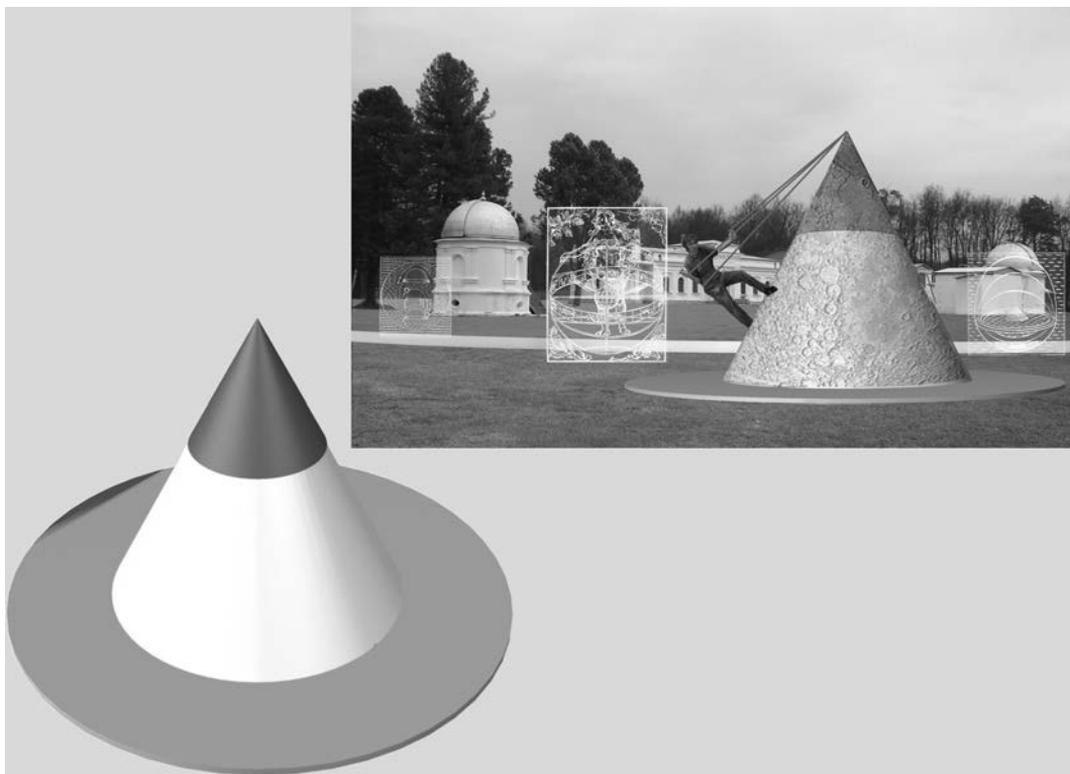
планшетов с текстами, раскрывающими мифологию созвездий;

– “Озеро” – один из примеров следов падения метеоритов и образования некоторых водоемов нашей планеты;

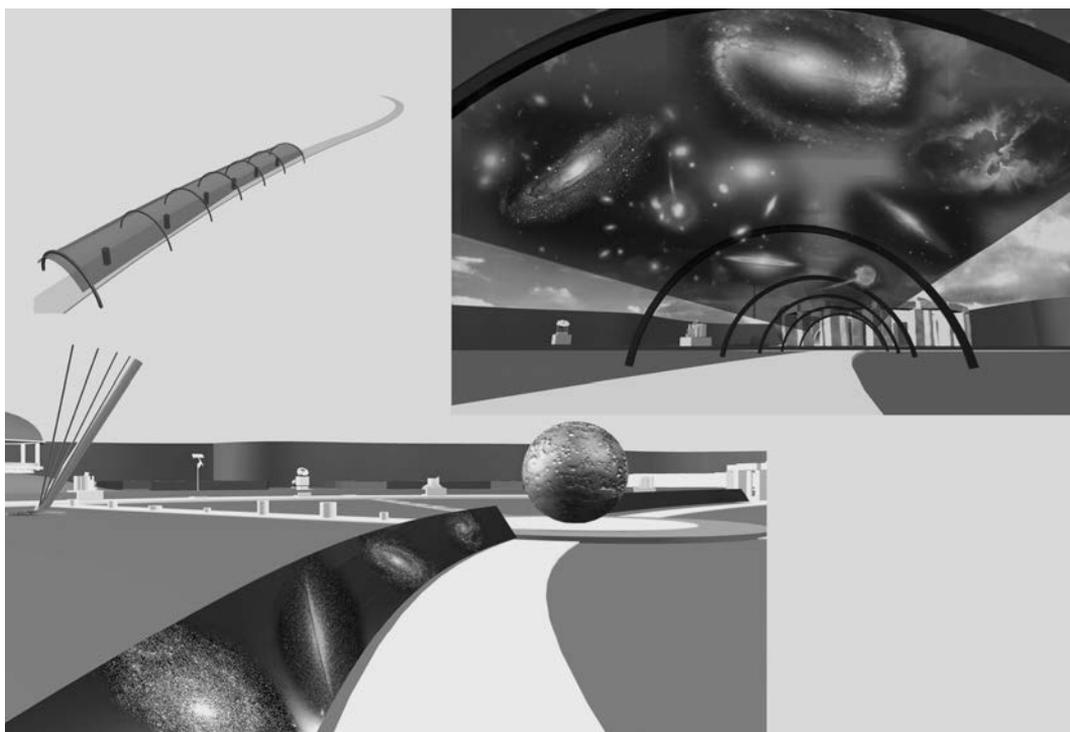
– “Пикник на обочине” – создание зрительных иллюзий, меняющих представление о законах гравитации;

– аллея “Прогулка по меридиану” – идеально прямая тропа с информацией о его географических координатах и значимых географических объектах;

– аллея “Лунная дорожка”, на которой раз-



Аттракцион "Шаги по Луне". Проект.



Аллея "Галактики и туманности". Проект.

местится масштабная модель системы Земля – Луна;

– аллея “Галактики и туманности” будет включать скульптурные малые формы, изображающие наиболее известные галактики и туманности, например Туманность Андромеды.

Тематико-рекреационные зоны Астропарка будут включать “Ротонду памятных дат” – архитектурную форму с макетами древних сооружений (например, египетские пирамиды, Стоунхендж, Джайпурская обсерватория, пирамиды майя) и отражением ключевых

дат и событий в истории астрономии.

Мы надеемся, что все наши планы осуществятся и в Казани будет создан уникальный научно-образовательный комплекс, который позволит его посетителям проникнуть в бесконечные тайны Вселенной.

Информация

Метеориты на Марсе

Марсоход “Кьюриосити” 26 мая 2014 г. обнаружил в кратере Гейла железоникелевые метеориты – фрагменты небесного тела, распавшегося при падении. Такие метеориты часто падают на Землю и хорошо изучены. При падении метеориты обычно образуют кратеры, но марсианские метеориты словно аккуратно положили, что могло произойти по разным причинам. Во-первых, метеориты не всегда оставляют в грунте кратеры, все зависит от угла вхождения в атмосферу и твердости грунта. У метеорита, если он вошел в атмосферу под пологим углом и долго летел почти параллельно поверхности, значительно снижает-



Железоникелевые метеориты, найденные в кратере Гейла марсоходом “Кьюриосити”. 26 мая 2014 г. Фото JPL/NASA.

ся скорость и он опускается мягко. Во-вторых, метеориты могли упасть давно, когда существовало древнее озеро, покрытое льдом, и силу удара приняла на себя вода. Сейчас эта местность считается дном пересохшего озера. В-третьих, из-за ветровой эрозии песчаные

бури сточили весь верхний слой грунта, обнажив метеориты.

С момента посадки в августе 2012 г. марсоход “Кьюриосити” проехал 4,89 км, с января 2014 г. – 264 м.

Пресс-релиз NASA,
2 июня 2014 г.

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: ноябрь – декабрь 2014 г.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Ноябрь		
1	20	Меркурий в наибольшей западной элонгации (19°)
2	23	Луна в перигее
4	14	Меркурий проходит в 4,2° севернее звезды Спика (α Девы)
6	22	Полнолуние
14	14	Луна проходит в 5° южнее Юпитера
14	15	Луна в последней четверти
15	1	Луна в апогее
16	10	Нептун переходит от попятного движения к прямому
18	8	Сатурн в соединении с Солнцем
22	12	Новолуние
27	23	Луна в перигее
29	10	Луна в первой четверти
Декабрь		
6	12	Полнолуние
8	9	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
9	6	Юпитер переходит от прямого движения к попятному
12	0	Луна проходит в 5° южнее Юпитера
12	22	Луна в апогее
14	12	Луна в последней четверти
19	21	Луна проходит в 1° севернее Сатурна
21	22	Зимнее солнцестояние
22	1	Новолуние
22	6	Уран переходит от попятного движения к прямому
24	17	Луна в перигее
25	4	Луна проходит в 5° севернее Марса
28	18	Луна в первой четверти

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

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	
Ноябрь	1	14	24	-14	16	06:39	16:52	07:04	16:27	07:48	15:43
	11	15	03	-17	17	06:53	16:39	07:24	16:07	08:23	15:09
	21	15	45	-19	48	07:06	16:29	07:44	15:51	08:57	14:38
Декабрь	1	16	27	-21	43	07:19	16:23	08:02	15:40	09:30	14:11
	11	17	11	-22	57	07:29	16:21	08:16	15:34	09:57	13:53
	21	17	55	-23	26	07:36	16:23	08:24	15:35	10:12	13:48
	31	18	39	-23	08	07:39	16:30	08:27	15:43	10:10	13:59

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время восхода Солнца 13 декабря 2014 г. в Москве (широта – 55°45', долгота – 2°30', 2-я часовая зона). Пользуясь Таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 13 декабря, получаем 8^ч 22^м. Вычтем из него долготу места, прибавим номер часовой зоны и один час для учета декретного времени, получим 8^ч 52^м.

Таблица III

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
								45°	55°	65°		
	ч	м	°	'		"						
Меркурий												
Ноябрь	1	13	16,1	-05	46	-0,6	6,9	0,55	1,2	1,3	1,4	Утро Утро
	11	14	05,1	-10	42	-0,8	5,5	0,85	0,9	0,9	0,3	
	21	15	05,3	-16	31	-0,9	4,9	0,96	–	–	–	
Декабрь	1	16	09,3	-21	17	-1,1	4,7	0,99	–	–	–	
	11	17	16,4	-24	21	-1,3	4,6	1,00	–	–	–	
	21	18	26,0	-25	08	-0,9	4,8	0,98	–	–	–	
	31	19	36,0	-23	48	-0,8	5,2	0,92	–	–	–	
Венера												
Ноябрь	1	14	31,4	-14	03	-4,0	9,8	1,00	–	–	–	
	11	15	21,0	-17	58	-3,9	9,8	1,00	–	–	–	
	21	16	12,6	-21	05	-3,9	9,9	0,99	–	–	–	
Декабрь	1	17	06,1	-23	12	-3,9	10,0	0,99	–	–	–	
	11	18	00,8	-24	10	-3,9	10,1	0,98	–	–	–	
	21	18	55,7	-23	53	-3,9	10,2	0,97	0,7	–	–	Вечер Вечер
	31	19	46,9	-22	24	-3,9	10,4	0,96	1,1	0,8	–	

Таблица III (окончание)

Дата		α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости
		ч	м	°	'				45°	55°	65°	
Марс												
Ноябрь	1	18	17,3	-24	53	0,9	05,5	0,90	2,4	1,6	–	Вечер
	11	18	50,2	-24	25	0,9	05,4	0,91	2,5	1,8	–	Вечер
	21	19	23,2	-23	31	1,0	05,3	0,92	2,7	2,1	–	Вечер
Декабрь	1	19	56,1	-22	10	1,0	05,1	0,92	2,7	2,4	0,7	Вечер
	11	20	28,5	-20	25	1,0	05,0	0,93	2,8	2,6	1,7	Вечер
	21	21	00,3	-18	19	1,1	04,9	0,94	2,8	2,7	2,2	Вечер
	31	21	31,4	-15	53	1,1	04,8	0,94	2,7	2,7	2,5	Вечер
Юпитер												
Ноябрь	1	09	31,3	+15	20	-1,9	36,4	0,99	7,0	7,9	9,6	Утро
	11	09	35,2	+15	03	-2,0	37,4	0,99	7,9	8,9	10,7	Утро
	21	09	38,0	+14	52	-2,0	38,6	0,99	8,7	9,8	11,9	Утро
Декабрь	1	09	39,7	+14	46	-2,1	39,8	0,99	9,5	10,7	13,0	Утро
	11	09	40,1	+14	46	-2,2	41,0	0,99	10,3	11,6	14,0	Утро
	21	09	39,2	+14	53	-2,2	42,2	0,99	11,1	12,4	14,8	Утро
	31	09	37,1	+15	06	-2,3	43,2	1,00	11,8	13,1	15,4	Ночь
Сатурн												
Ноябрь	1	15	27,2	-16	49	0,5	15,3	1,00	–	–	–	
	11	15	31,9	-17	07	0,5	15,3	1,00	–	–	–	
	21	15	36,8	-17	24	0,5	15,3	1,00	–	–	–	
Декабрь	1	15	41,6	-17	41	0,5	15,3	1,00	–	–	–	
	11	15	46,3	-17	56	0,5	15,3	1,00	0,8	0,4	–	Утро
	21	15	50,9	-18	10	0,5	15,4	1,00	1,6	1,5	0,7	Утро
	31	15	55,3	-18	23	0,5	15,6	1,00	2,3	2,2	1,6	Утро

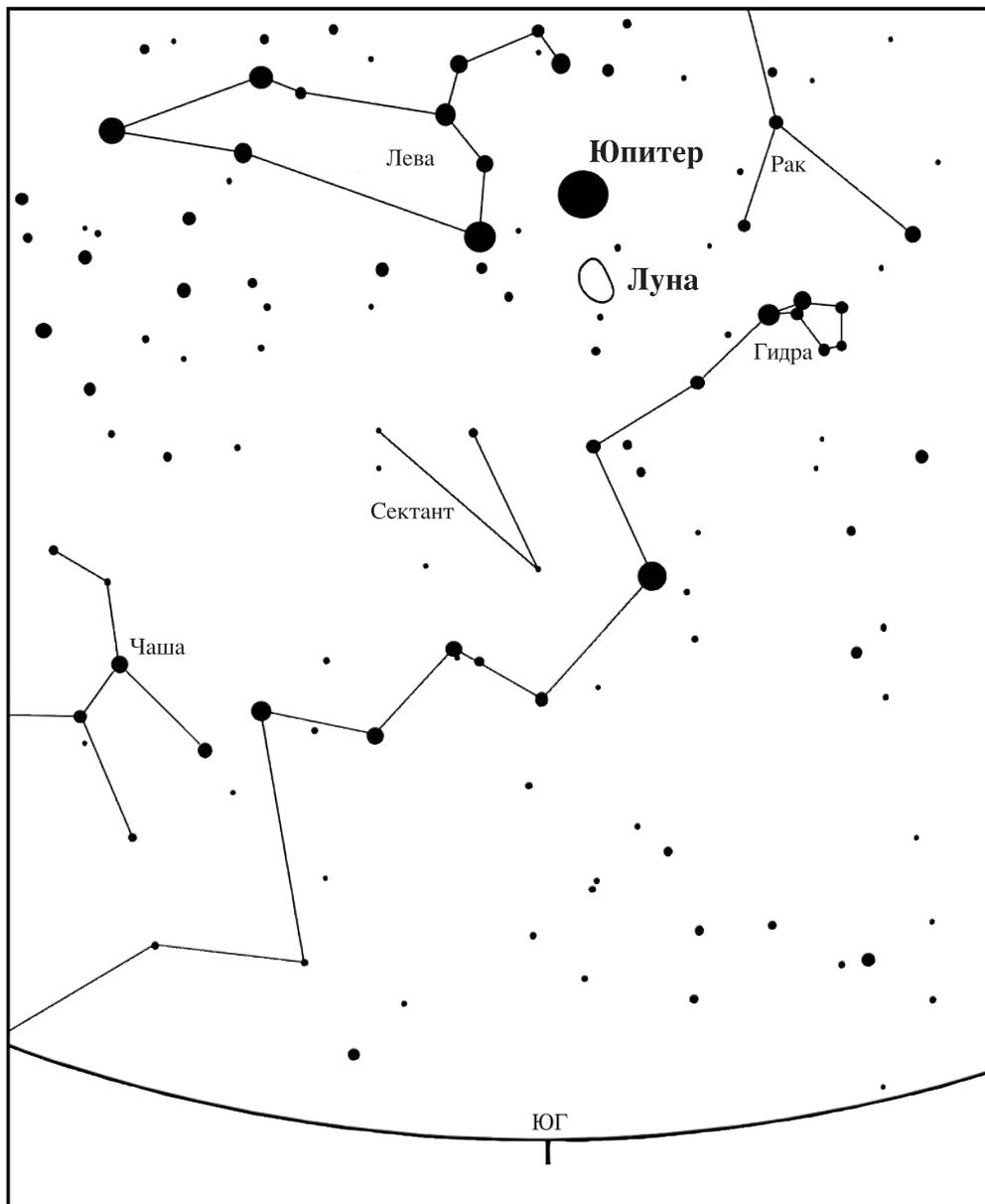
Примечание. Координаты даны на момент 0^ч по Всемирному времени, F – фаза планеты.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий 1 ноября находится в наибольшей западной элонгации (19°), начинается период его утренней видимости. 4 ноября ближайшая к Солнцу планета проходит в 4,2° севернее звезды Спика (α Девы) и будет немного ярче нее. Видимый угловой диаметр Меркурия уменьшается с 6,9" до 5,5". После 10 ноября он исчезнет с небосвода до конца года.

Венера в ноябре не видна. После 20 декабря ее можно наблюдать по вечерам примерно в течение часа в южных широтах и в самом конце года менее одного часа – в средних широтах. Видимый угловой диаметр планеты – около 10".

Марс хорошо виден в вечернее время в южных широтах нашей страны более двух часов и немного меньше – в средних широтах, сравнительно не высоко над горизонтом. В северных широтах в ноябре Марс не заметен, в декабре он виден низко над горизонтом в течение 2,5 ч. Луна пройдет вблизи Красной планеты 26 ноября и 25 декабря (в таблице I не указано 26 ноября, так как Луна проходит немного далее 6° от планеты). Видимый угловой диаметр Марса уменьшается с 5,5" в начале ноября до 4,8" в конце года. В ноябре Марс перемещается по созвездию Стрельца, 4 декабря переходит в созвездие Козерога.



Вид южной части звездного неба в Москве 12 декабря 2014 г. в 5 ч по московскому времени. Отмечено положение Юпитера и Луны.

Юпитер хорошо виден в утреннее время, продолжительность его видимости растет, достигая к концу года 11–15 ч в зависимости от широты. Видимый угловой диаметр этой планеты-гиганта увеличивается с 36,4" в начале

ноября до 43,2" в конце декабря. Юпитер находится в созвездии Льва, 9 декабря переходит от прямого движения к попятному. Луна пройдет недалеко от планеты 14 ноября и 12 декабря.

Сатурн 18 ноября находится в со-

единении с Солнцем, утром его можно увидеть примерно с 10 декабря в южных широтах нашей страны. В конце декабря продолжительность видимости планеты будет немногим более двух часов в южных и средних широ-

тах нашей страны и примерно 1,5 ч в северных широтах. Сатурн находится в созвездии Весов, видимый угловой диаметр планеты составляет чуть более 15". 19 декабря Луна пройдет в 1° севернее планеты.

В.И. ЩИВЬЁВ

г. Железнодорожный (Московская обл.)

Информация

Пределная скорость вращения черной дыры

Астрономы, возглавляемые Р. Рейсом из Мичиганского университета (США), измерили скорость вращения квазара RX J1131-1231 в созвездии Чаши, находящегося в 6,1 млрд св. лет от Земли. Увеличенные изображения окрестностей сверхмассивной черной дыры массой $2 \times 10^8 M_{\odot}$ и возрастом 7,7 млрд св. лет в этом квазаре получены благодаря эффекту гравитационного линзирования в серии наблюдений крупного скопления галактик с помощью космических рентгеновских обсерваторий “Чандра” и “ХММ-Ньютон” (см. стр. 1 обложки).

Черные дыры характеризуются массой и скоростью вращения. Измеряя их скорости вращения, можно определить, как растут такие объекты. Первые измерения скорости вращения сверхмассивных черных дыр показали, что их подпитывали соседние галактики, когда Вселенная была вдвое моложе. Позд-

нее черные дыры увеличивались при столкновении и слиянии галактик, материал накапливался в устойчивом диске, что приводило к их быстрому вращению. В других случаях черные дыры насыщались небольшими объектами, аккреционный диск формировался неравномерно, замедляя их вращение. Мощное рентгеновское излучение возникает в результате падения на черную дыру материи, нагретой из-за столкновения и ускорения магнитными полями. Его спектр позволяет определить расстояние между черной дырой и ее аккреционным диском. Отражаясь от внутренней границы аккреционного диска, втрое превышающего по радиусу горизонт событий, рентгеновские лучи испускаются в космос. Чтобы материя могла подойти так близко к дыре, не падая на нее, она должна вращаться вместе с дырой очень быстро. Аккреционный диск RX J1131-1231 чрезвычайно мал, поэтому черная дыра вращается со скоростью 261 тыс. км/с – это 87% световой скорости (!). Диск рос, поглощая очень крупные сверхмассивные черные дыры. Подобным путем формировалось и большинство других сверхмассивных черных дыр Вселенной,

то есть они тоже вращаются с колоссальной скоростью.

“То, что мы обнаружили в этой системе, доказывает, что сверхмассивная черная дыра вращается очень быстро и потребляет в год массу вещества, эквивалентную примерно массе Солнца. Это позволяет предположить, что квазар RX J1131-1231 растет, прежде всего, за счет когерентной аккреции. Такой эффект возникает, когда две галактики сливаются, производя огромное количество газа, которое притягивает черная дыра. Предполагается провести аналогичные исследования более отдаленных галактик, чтобы понять, когда появилась черная дыра в квазаре RX J1131-1231 и сколько слияний произошло. Различные теории эволюции галактик предсказывают различную скорость слияний и других процессов, протекающих в центре галактики. Эти процессы определяют окончательную скорость вращения черной дыры. Зная распределение темпов вращения сверхмассивных черных дыр, можно будет узнать, как они формировались”, – сказал один из исследователей, М. Рейнольдс.

Пресс-релиз NASA,
5 марта 2014 г.

Новые открытия внесолнечных планет

Г.М. РУДНИЦКИЙ,
доктор физико-математических наук
ГАИШ МГУ

В настоящее время открыто свыше тысячи планет, обращающихся вокруг других звезд. Большинство из них – горячие газовые гиганты на близких к звездам орбитах. В результате наблюдений

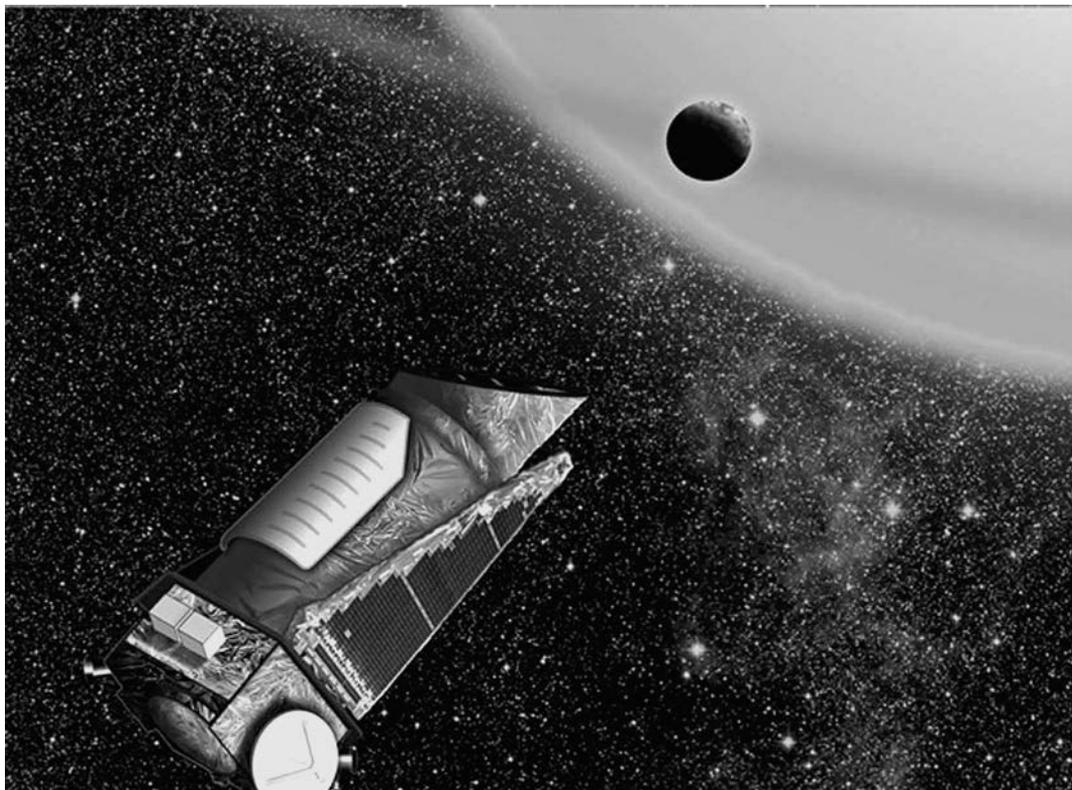
с помощью наземных и космических обсерваторий удается открывать все большее число планет, по своим свойствам напоминающих Землю. Некоторые из новых внесолнечных планет находят-

ся в пределах “зоны обитаемости”. В статье приводятся сведения об обнаруженных за последнее время экзопланетах и обсуждаются наиболее интересные из них.

6 марта 2014 г. исполнилось пять лет со дня запуска американской космической обсерватории “Кеплер” (Земля и Вселенная, 2009, № 4, с. 44–45; 2011, № 6). На ее борту работал 95-см телескоп-фотометр массой 478 кг, состоящий из 42 ПЗС-матриц общим разрешением 95 мегапикселей для проведения исследований и четырех дополнительных ПЗС-матриц для обеспечения точного управления. “Кеплер” вел поиски внесолнечных планет транзитным методом, по периодическим ослаблениям блеска звезд при

прохождении экзопланеты по звездному диску. “Кеплер” был ориентирован на площадку неба в созвездиях Лебеда, Лиры и Дракона и, обладая широким полем зрения (115°), мог наблюдать одновременно до 150 тыс. звезд на расстоянии около 600 св. лет от Земли. Миссия оказалась исключительно успешной. За четыре года наблюдений открыто более 3500 кандидатов в планетные системы, из которых 246 впоследствии подтвердились. В ближайшее время ожидается публикация данных еще о более 700 планетных си-

стемах, обнаруженных “Кеплером”. К сожалению, в мае 2013 г. вышли из строя два из четырех гироскопов, обеспечивающих точную ориентацию аппарата, поэтому поиск экзопланет завершился. Но ученые не сдались, и в настоящее время разрабатывается проект “Second Light” (второй свет) для продолжения работы обсерватории “Кеплер”, не требующий точного наведения на звезды. Планируется работа в плоскости эклиптики – поиск вспышек сверхновых, астероидов Солнечной системы и исследование



Космическая обсерватория “Кеплер” исследует экзопланету. Рисунок NASA/JPL.

областей звездообразования в Галактике.

В таблице, составленной по материалам “Энциклопедии внесолнечных планет” Жана Шнейдера, приводятся данные о 214 планетных системах, обнаруженных с июля 2012 г. по февраль 2014 г. Заметную долю среди них составляют планеты, открытые “Кеплером”. Планетные системы в таблице расположены в порядке возрастания периодов P обращения ближайшей к звезде известной планеты. Первые 28 объек-

тов, у которых период обращения планет определить не удалось, расположены в порядке возрастания больших полуосей планетных орбит a .

В предыдущих статьях серии (Земля и Вселенная, 2005, №№ 4–6; 2008, № 2; 2009, № 1; 2010, № 4; 2011, № 3; 2012, № 6) более подробно рассказывалось о методике обнаружения внесолнечных планетных систем и о выполняемых с этой целью обзорах неба. Напомним некоторые обозначения планетных систем в

таблице согласно названию центральной звезды. HD – каталог Генри Дрэпера спектральных классов звезд. GJ (по фамилиям авторов Gliese – Jahreiss) – каталог близких к Солнцу звезд, многие из которых относятся к красным карликам. KIC (Kepler Input Catalog) – предварительный список звезд вплоть до 21^m поле обзора обсерватории “Кеплер”, содержащий свыше 13 млн объектов. KOI (Kepler Object of Interest) – объект или вероятная планетная система, представляю-



Горячая Суперземля Kepler-78 b (№ 30). Рисунок из журнала "Nature", 2013, т. 503, с. 344.

щие интерес при исследовании обсерваторией "Кеплер". Kepler – подтвержденная планетная система (это обозначение получают со временем объекты KIC и KOI, у которых наличие планет подтвердилось). CoRoT (Convection Rotation and planetary Transits – конвекция, вращение и транзиты планет) – космическая обсерватория Французского и Европейского космических агентств, работавшая на околоземной орбите в 2007–2012 гг., одна из ее задач – поиск экзопланет (Земля и Вселенная, 2007, № 5, с. 61; 2012, № 6). WASP (Wide Angle Search for Planets) – британский обзор неба с помощью роботизированных обсерваторий с

телескопами на основе широкоугольных камер. HAT (Hungarian Automated Telescope) – сеть автоматизированных венгерских телескопов на основе широкоугольных камер, расположенных в разных частях света. OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) – поиск планетных систем методом гравитационного линзирования в поле силы тяжести звезды, лежащей на луче зрения в направлении на исследуемый объект. MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) – совместный проект новозеландских и японских ученых по поиску планетных систем методом гравитационного линзирования.

Остановимся на наиболее интересных систе-

мах из перечисленных в таблице.

Самые важные объекты с точки зрения поиска жизни во Вселенной – планеты, схожие по размерам и массе с Землей. В таблице за единицу массы и радиуса планет приняты масса и радиус Юпитера. Напомним, что масса Юпитера в 317 раз больше земной ($M_3 \approx 0,003 M_{\text{Юп}}$) и он в 11 крупнее нашей планеты ($R_3 \approx 0,09 R_{\text{Юп}}$). Экзопланеты, сравнимые с Землей или несколько более массивные, – KOI 1843 b (№ 29), Kepler-78 b (№ 30), KOI 2700 b (№ 32), Kepler-138 c (№ 139) и другие. Примечательно, что в этой группе присутствует ближайшая к Солнцу звезда – компонент двойной системы α Центавра-B

ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТЫ, ОТКРЫТЫЕ С ИЮЛЯ 2012 г. ПО ФЕВРАЛЬ 2014 г.

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{Юп}$	Радиус планеты, $R_{Юп}$	Период обращения планеты, сут	Большая полуось орбиты а, а.е.	Эксцентриситет орбиты e	Год открытия
1.	OGLE-2011-BLG-0420 b	1990,0	14,7	-	0,025	-	9,4	-	-	0,19	-	2013
2.	OGLE-2009-BLG-151 MOA-2009-232 b	390,0	15,84	-	0,018	-	7,5	-	-	0,31	-	2013
3.	MOA-2011-BLG-262L b	7350,0	-	-	0,12	-	0,056634	-	-	0,84	-	2013
4.	OGLE-2012-BLG-0358L b	1760,0	-	-	0,022	-	1,85	-	-	0,87	-	2013
5.	MOA-2010-BLG-328L b	810,0	-	M	0,11	-	0,029	-	-	0,92	-	2013
6.	MOA-2011-BLG-293L b	7700,0	-	-	0,86	-	4,8	-	-	1,1	-	2012
7.	HD 2952 b	115,2	5,83	K0III	2,54	12,02	1,6	-	-	1,2	0,129	2013
8.	MOA-2010-BLG-477L b	2300,0	-	K	0,67	-	1,5	-	-	2	-	2012
9.	OGLE-2012-BLG-0406L b	4970,0	-	-	0,44	-	2,73	-	-	3,45	-	2013
10.	MOA-2011-BLG-322 b	7740,0	-	-	0,31	-	7,8	-	-	3,6	-	2013
11.	OGLE-2011-BLG-0251 b	4090,0	-	-	0,47	-	0,96	-	-	3,86	-	2012
12.	MOA-2008-PLG-379L b	3600,0	-	-	0,66	-	4,8	-	-	4,1	-	2013
13.	WISE 1217+16A b	10,0	19,0	T8,5	0,03	0,091	22	1	-	7,6	-	2012
14.	MOA-bin-1 b	5100,0	-	-	0,75	-	3,7	-	-	8,3	-	2012
15.	OGLE-2012-BLG-0026L b _c	4080,0	-	-	0,82	-	0,11 0,68	-	-	3,82 4,63	-	2012 2012
16.	GJ 504 b	17,56	5,22	GOV	1,22	-	4	-	-	43,5	-	2013
17.	2M 0121-2439 b	36,0	-	M3,5	0,4	-	13	-	-	52	-	2013
18.	к Андромеды b	51,6	4,14	B9IV	2,45	-	13	-	-	55	-	2012
19.	HD 95086 b	90,4	7,36	A8III	1,6	-	4,5	-	-	56,0	-	2013
20.	2M 0103(AB)b	47,2	-	M	0,4	-	13	-	-	84,0	-	2013

21.	ROXs 42B b	135,0	14,27	M0 D	0,6	–	10	–	–	–	140	–	2013
22.	ROXs 12 b	120,0	15,5	M0	0,87	–	16	–	–	–	210	–	2013
23.	FW Тельца b	145,0	15,5	M4	0,26	–	10	–	–	–	330	–	2013
24.	USco1612-1800 b	–	–	M3	–	–	26	–	–	–	430	–	2013
25.	HD 106906 b	92,0	7,8	F5V	1,5	–	11	–	–	–	654	–	2013
26.	UScol610-1913 b	–	–	K7	–	–	20	–	–	–	840	–	2013
27.	USco 1601-2401 b	–	–	K4	–	–	47	–	–	–	1000	–	2013
28.	HIP 77900 b	–	–	B6	–	–	20	–	–	–	3200	–	2013
29.	KOI-1843 b	–	–	–	0,46	0,45	0,001	0,052	0,176891	–	–	–	2013
30.	Kepler-78 b	–	12,0	G	0,84	0,73	0,00531731	0,107057	0,355007	0,01	–	–	2013
31.	KIC 12557548 b	470,0	16,0	K4V	0,7	0,65	3	0,0758321	0,653553	0,013	–	–	2012
32.	KOI-2700 b	–	15,9	–	0,632	0,574	0,00270585	0,094567	0,910022	–	–	–	2013
33.	WASP-103 b	470,0	12,0	F8V	1,22	1,436	1,49	1,528	0,925542	0,01985	–	–	–
34.	Kepler-80 f	–	15,0	–	–	0,738	–	0,116	0,99	–	–	–	2012
	d	–	–	–	–	–	–	0,125	3,07	–	–	–	2012
	e	–	–	–	–	–	–	0,134	4,64	–	–	–	2012
	b	–	–	–	–	–	–	0,21	7,05	–	–	–	2012
	c	–	–	–	–	–	–	0,23	9,52	–	–	–	2012
35.	WTS-2 b	1000,0	–	K3V	0,82	0,761	1,12	1,3	1,01871	0,01855	–	–	2013
36.	KELT-1 b	263,0	10,7	F5	1,471	1,335	27,38	1,116	1,21751	0,02472	0,0099	–	2012
37.	HATS-2 b	360,0	13,562	K	0,882	0,898	1,345	1,168	1,35413	0,023	–	–	2013
38.	WASP-77A b	–	11,29	G8V	1,002	0,955	1,76	1,21	1,36003	0,024	–	–	2012
39.	Kepler-76 b	–	14,0	–	1,2	1,12	1,96	1,25	1,54493	0,028	–	–	2013
40.	POTS-1 b	–	17,94	K5	0,695	–	2,31	0,941	1,6063	0,03734	–	–	2013
41.	Kepler-412 b	1056,0	13,73	G3V	1,167	1,287	0,939	1,325	1,72086	0,02959	0,0038	–	2014
42.	WASP-76 b	120,0	9,5	F7	1,46	1,73	0,92	1,83	1,80989	0,033	–	–	2013

Таблица (продолжение)

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{\text{Юп}}$	Радиус планеты, $R_{\text{Юп}}$	Период обращения планеты P_p , сут	Большая полуось орбиты а, а.е.	Эксцентриситет орбиты e	Год открытия
43.	WASP-97 b	–	10,6	G5	1,12	1,06	1,32	1,13	2,07276	0,03303	–	2013
44.	Kepler-238 b	–	–	–	1,43	0,9	–	0,154	2,090876	0,034	–	2014
	c						–	0,213	6,55557	0,069	–	2014
	d						–	0,274	13,233549	0,115	–	2014
	e						0,626	0,501	23,654	–	–	2013
	f						0,056	0,179	50,447	–	–	2013
45.	Pr0211 b	–	–	–	0,952	0,868	1,844	–	2,1451	–	–	2012
	c						0,54	–	4,4264	–	–	2012
46.	Kepler-65 b	–	11,6	B	1,25	1,41	–	0,127	2,15491	0,035	–	2013
	c						0,0849511	0,23	5,859944	0,068	–	2013
	d						0,00629267	0,135	8,13123	0,084	–	2013
47.	WASP-78 b	550,0	12,0	F8	2,02	2,31	1,16	1,75	2,17518	0,0415	–	2012
48.	WASP-95 b	–	10,1	G2	1,11	1,13	1,13	1,21	2,18467	0,03416	–	2013
49.	WASP-72 b	–	9,6	F7	1,386	1,98	1,5461	1,27	2,21674	0,03708	–	2013
50.	WASP-75 b	260,0	11,45	F9	1,14	–	1,07	1,27	2,48419	0,0375	–	2013
51.	HAT-P-49 b	322,0	10,21	A5	1,543	1,833	1,73	1,413	2,69155	0,0438	–	2014
52.	HAT-P-41 b	311,0	11,09	–	1,405	1,525	0,812	1,529	2,69405	0,0424	–	2012
53.	KELT-3 b	178,0	9,8	F	1,282	1,482	1,418	1,333	2,70339	0,04117	–	2012
54.	WASP-82 b	200,0	10,1	F5	1,63	2,18	1,24	1,67	2,70578	0,0447	–	2013
55.	WASP-100 b	–	10,8	F2	1,57	2,0	2,03	1,69	2,84938	0,0457	–	2013
56.	WASP-71 b	200,0	–	F8	1,572	2,32	2,258	1,5	2,90367	0,04631	–	2012
57.	WASP-98 b	–	13,0	G7	0,69	0,7	0,83	1,1	2,96264	0,036	–	2013

58.	KOI-1781 b	–	12,5	–	0,83	0,79	–	0,168	3,00516	0,038	–	2013
59.	WASP-80 b	60,0	11,88	K7V	0,58	0,63	0,554	0,952	3,06785	0,0346	0,07	2013
60.	HAT-P-45 b	305,0	12,794	–	1,259	1,319	0,892	1,426	3,12899	0,0452	0,049	2013
61.	KOI-117 b	–	12,7	–	1,171	1,434	0,00943901	0,140958	3,17996	0,045	–	2013
	c						0,100683	0,152556	4,90147	0,06	–	2013
62.	α Центавра B b	1,3	1,33	K1V	0,934	0,863	0,0036	–	3,2357	0,04	–	2012
63.	HAT-P-43 b	543,0	13,36	–	1,048	1,104	0,66	1,283	3,33269	0,0443	–	2012
64.	GJ 3470 b	30,7	12,27	M1,5	0,539	0,568	0,0437341	0,373807	3,33671	0,03557	–	2012
65.	WTS-1 b	3200,0	16,3	–	1,2	1,15	4,01	1,49	3,35206	0,047	0,1	2012
66.	WASP-96 b	–	12,2	G8	1,06	1,05	0,48	1,2	3,42526	0,0453	–	2013
67.	HAT-P-39 b	642,0	11,42	–	1,404	1,625	0,599	1,571	3,54387	0,0509	–	2012
68.	HATS-3 b	453,0	11,44	F	1,209	1,404	1,071	1,381	3,54785	0,0485	–	2013
69.	CoRoT-27 b	–	15,54	G2	1,05	1,08	10,39	1,007	3,57532	0,0476	0,065	2012
70.	Kepler-77 b	570,0	15,0	G5V	0,95	0,99	0,43	0,96	3,57871	0,04501	–	2013
71.	WASP-101 b	–	10,3	F6	1,34	1,29	0,5	1,41	3,58572	0,0506	–	2013
72.	GJ 676A d	16,45	9,59	M0V	0,71	–	0,014	–	3,6	0,0413	0,15	2012
	e						0,036	–	35,37	0,187	0,24	2012
	b						4,95	–	1050,3	1,8	0,328	2009
	c						3,0	–	4400,0	5,2	0,2	2012
73.	WASP-79 b	240,0	10,1	F3	1,56	1,64	0,9	1,7	3,66238	0,0539	–	2012
74.	Kepler-89 b	–	12,4	–	1,25	1,656	0,033	0,153	3,74325	0,05	–	2012
	c						0,03	0,386	10,4237	0,099	–	2012
	d						0,164	1	22,343	0,165	–	2012
	e						0,041	0,55	54,3199	0,298	–	2012
75.	BD-06 1339 b	20,0	6,69	K7V/M0	0,7	–	0,027	–	3,8728	0,0428	–	2013
	c			V			0,17	–	125,94	0,435	–	2013
76.	GJ 221 BD-06 1339 b	20,0	6,69	K7V/M0	0,7	–	0,027	–	3,8728	0,0428	–	2013

Таблица (продолжение)

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{\text{Юп}}$	Радиус планеты, $R_{\text{Юп}}$	Период обращения планеты P_p , сут	Большая полуось орбиты а, а.е.	Эксцентриситет орбиты e	Год открытия
	c			V			0,17	–	125,94	0,435	–	2013
	d						0,0912437	–	500	1,06	0,04	2014
77.	Kepler-71 b	–	15,386	–	0,923	0,816	–	1,0452	3,90508	0,047	–	2013
78.	WASP-90 b	340,0	11,7	F6	1,55	1,98	0,63	1,63	3,91624	0,0562	–	2013
79.	WASP-73 b	–	10,5	F9	1,34	2,07	1,88	1,16	4,08721	0,05514	–	2013
80.	CoRoT-26 b	1670,0	15,76	G8IV	1,09	1,79	0,52	1,26	4,20474	0,0526	–	2012
81.	HAT-P-44 b	374,0	13,212	–	0,939	0,979	0,392	1,28	4,30122	0,0507	0,072	2013
	c						1,6	–	219,9	0,699	–	2013
82.	HD 40307 b	12,8	7,17	K2,5V	0,77	–	0,0126	–	4,3123	0,0468	0,2	2008
	c						0,0208	–	9,6184	0,0799	0,06	2008
	d						0,0299	–	20,432	0,1321	0,07	2008
	e						0,011	–	34,62	0,1886	0,15	2012
	f						0,0164	–	51,76	0,247	0,02	2012
	g						0,0223	–	197,8	0,6	0,29	2012
83.	HAT-P-40 b	501,0	11,7	–	1,512	2,206	0,615	1,73	4,45724	0,0608	–	2012
84.	HAT-P-46 b	296,0	11,936	–	1,284	1,396	0,493	1,284	4,46313	0,0577	0,123	2013
	c						2	–	77,7	0,387	–	2013
85.	HAT-P-42 b	447,0	12,17	–	1,179	1,528	0,975	1,277	4,64188	0,0575	–	2012
86.	HATS-5 b	257,0	12,63	–	0,936	0,871	0,237	0,912	4,76339	0,0542	0,019	2014
87.	Kepler-48 b		13,5	–	0,89	0,89	0,0123965642	0,16772266522	4,7779803	–	–	2012
	c						0,0459679702986	0,2477043763	9,6739283	–	–	2012
	d						0,0249504	0,181997	42,8961	–	–	2014

Таблица (продолжение)

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{Юп}$	Радиус планеты, $R_{Юп}$	Период обращения планеты, P, сут	Большая полуось орбиты а, а.е.	Эксцентриситет орбиты e	Год открытия
102.	HD 285507 b	41,3	10,5	K5	0,734	0,656	0,917	-	6,0881	0,0729	0,086	2013
103.	Kepler-25 b	-	11,0	-	1,22	1,36	9,6	0,2477043763	6,2385	0,068	-	2012
	c						0,0773998678539	0,463913754864	12,7204	0,11	-	2012
	d						0,282856	-	123	-	-	2014
104.	Kepler-91 b	1030,0	12,9	-	1,31	6,3	0,88	1,384	6,24658	0,072	-	2013
105.	YBP1194 b	-	14,6	G5V	1,01	0,99	0,34	-	6,958	-	0,24	2014
106.	Kepler-90 b	-	14,0	-	1,13	1,2	-	0,117	7,00815	0,074	-	2013
	c						-	0,106	8,71937	0,089	-	2013
	d						-	0,257	59,7367	0,32	-	2013
	e						-	0,238	91,9391	0,42	0,01	2013
	f						-	0,258	124,914	0,48	-	2013
	g						-	0,725	210,607	0,71	-	2013
	h						-	1,01	331,601	1,01	-	2013
107.	KOI-82 d	-	12,0	-	0,81	0,76	0,0125853	0,0615578	7,07134	0,067	-	2013
	c						0,00943901	0,119547006061	10,3118	0,086	-	2013
	b						0,0220244	0,196	16,1457	0,117	-	2013
108.	Kepler-50 b	-	14,5	-	1,1	1,5	-	0,2	7,13162	-	-	2012
	c						-	0,22	8,91935	-	-	2012
	d						-	0,23	11,9016	-	-	2012
109.	GJ 667C b	6,84	10,22	M1,5V	0,33	-	0,01718	-	7,199	0,0504	0,09	2009
	c						0,0134	-	28,13	0,1251	0,34	2011
	f						0,0085	-	39,026	0,156	0,03	2013
	e						0,0085	-	62,24	0,213	0,02	2013
	d						0,0218	-	106,4	0,3035	0,68	2012

Таблица (продолжение)

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{\text{Юп}}$	Радиус планеты, $R_{\text{Юп}}$	Период обращения планеты P_p , сут	Большая полуось орбиты а, а.е.	Эксцентриситет орбиты е	Год открытия
124.	Kepler-63 b	200,0	12,02	–	0,984	0,901	–	0,545	9,43415	0,08	–	2013
125.	Kepler-83 b	–	16,511	–	0,664	0,539	–	0,209	9,77051	0,078	–	2013
	c	–	–	–	–	–	–	0,1733	20,0898	0,126	–	2013
126.	Kepler-58 b	–	15,3	–	0,95	1,03	0,086	0,25	10,2185	–	–	2012
	c	–	–	–	–	–	0,13	0,26	15,5742	–	–	2012
127.	Kepler-307 b	–	14,1	–	0,78	1,03	0,0079	0,286	10,416	–	–	2013
	c	–	–	–	–	–	0,0038	0,25	13,084	–	–	2013
128.	Kepler-56 b	–	13,0	–	1,32	4,23	0,07	0,58	10,5016	0,1058	–	2012
	c	–	–	–	–	–	0,569	0,88	21,40239	0,1652	–	2012
	d	–	–	–	–	–	3,3	–	–	2,0	0,4	2013
129.	Kepler-88 b	385,0	5,183	B	1,022	0,961	0,0055264	0,37647	10,9542	–	0,05611	2013
	c	–	–	–	–	–	0,76	–	22,1	0,1529	0,19	2013
130.	Kepler-350 b	–	13,8	–	1,03	1,33	–	0,165	11,189562	0,104	–	2014
	c	–	–	–	–	–	0,0176	0,277	17,849	–	–	2013
	d	–	–	–	–	–	0,048	0,25	26,136	–	–	2013
131.	KOI-111 b	–	12,7	–	0,807	0,93	0,0597804	0,190918	11,4275	0,092	–	2013
	c	–	–	–	–	–	0,00943901	0,182889	23,6683	0,15	–	2013
132.	Kepler-59 b	–	14,8	–	1,04	0,94	–	0,098	11,8682	–	–	2012
	c	–	–	–	–	–	–	0,18	17,9801	–	–	2012
133.	Kepler-279 b	–	13,7	–	1,23	1,27	–	0,323	12,309681	0,112	–	2014
	c	–	–	–	–	–	0,171	0,385	35,736	0,232	–	2013
	d	–	–	–	–	–	0,13	0,277	54,414	0,30728	–	2013

134.	HD 159243 b	69,2	8,65	G0V	1,125	-	1,13	-	12,62	0,11	0,02	2013
	c						1,9	-	248,4	0,8	0,075	2013
135.	Kepler-37 b	66,0	9,77	-	0,803	0,77	0,00874681	0,0285485	13,3673	0,1003	-	2013
	c						0,0314633609162	0,0669106	21,3019	0,1368	-	2013
	d						0,0383853003178	0,173076	39,7922	0,2076	-	2013
136.	Kepler-79 b	-	14,11	-	1,165	1,302	0,18878	0,2948	13,4847	0,117	-	2013
	c						0,047195	0,333	27,4029	0,187	-	2013
	d						0,0692194	0,64	52,0902	0,287	-	2013
	e						0,0129	0,312	81,0669	0,386	-	2013
137.	Kepler-69 b	-	13,7	G4V	0,81	0,93	-	0,2	13,7223	0,094	-	2013
	c						-	0,153	242,461	0,64	-	2013
138.	Kepler-92 b	-	11,6	-	1,17	1,53	0,189	0,314	13,749	-	-	2013
	c						0,0179	0,233	26,723	-	-	2013
139.	Kepler-138 b	-	13,5	M1V	0,57	0,54	0,0120505	0,14363	13,7816	-	0,05	2014
	c						0,00317779945254	0,14363	23,008933	-	0,024	2014
140.	Kepler-36 b	-	12,0	-	1,113	1,66	0,0140327	0,132037	13,8399	0,1153	-	2012
	c						0,0254	0,329	16,2386	0,1283	-	2012
141.	Kepler-276 b	-	-	-	0,96	0,95	-	0,256	14,12841	0,119	-	2013
	c						0,045	0,259	31,884	-	-	2013
	d						0,044	0,25	48,648	-	-	2013
142.	Kepler-128 b	-	11,4	-	1,17	1,55	0,0941	0,101	15,09	-	-	2013
	c						0,104	0,101	22,804	-	-	2013
143.	Kepler-67 b	1107,0	16,4	G9V	0,865	0,778	0,31	0,26	15,7259	0,1171	-	2013
144.	Kepler-277 b	-	13,4	-	1,19	1,65	0,28	0,261	17,324	-	-	2013
	c						0,21	0,3	33,006	-	-	2013
145.	Kepler-66 b	1107,0	15,3	G0V	1,038	0,966	0,31	0,25	17,8158	0,1352	-	2013
146.	Kepler-410A b	132,0	9,5	-	1,214	1,352	-	0,25319	17,8336	0,1236	0,17	2013

Таблица (продолжение)

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{Юп}$	Радиус планеты, $R_{Юп}$	Период обращения планеты P_p , сут	Большая полуось орбиты $a, a.e.$	Эксцентриситет орбиты e	Год открытия
147.	HD 41248 b c	52,38	8,82	G2V	0,92	0,78	0,0387	-	18,357	0,137	0,15	2013
148.	Kepler-53 b c	-	16,0	-	0,98	0,89	0,26	0,26	25,648 18,649	0,172	-	2012
149.	HD 13908 b c	71,2	7,51	F8V	1,29	-	0,865	0,28	38,5583	-	-	2012
150.	Kepler 145 b c	-	11,9	-	1,26	1,98	0,108	0,237	931 22,951	2,03	0,12	2013
151.	PSR 1257 12 b c d	710,0	-	-	-	-	0,234 7×10^{-5}	0,395	42,882 25,262	-	-	2013
152.	HD 117618 b c	38,0	7,18	G2V	1,05	1,19	0,178	-	25,827 318	0,176	0,42	2004
153.	Kepler-82 b c	-	15,437	-	-	-	-	0,3573	26,4429	0,169	-	2013
154.	KOI282 b	-	-	-	1,0	1,17	-	0,4734	51,5301	0,264	-	2013
155.	Kepler-55 b c	-	16,3	-	0,62	0,58	-	0,258721	27,5087	0,178	-	2013
156.	HD 3651 c b	11,0	5,8	K0V	0,79	0,947	0,09	0,22	27,9481	-	-	2012
157.	Kepler-46 b c	857,0	15,3	-	0,902	0,94	>6	0,812	42,1516	-	-	2012
							0,376	-	31	0,186	0,04	2013
								-	62,23	0,284	0,63	2003
								0,812	33,6013	0,1967	0,01	2012
								-	57,004	0,2799	0,0145	2012

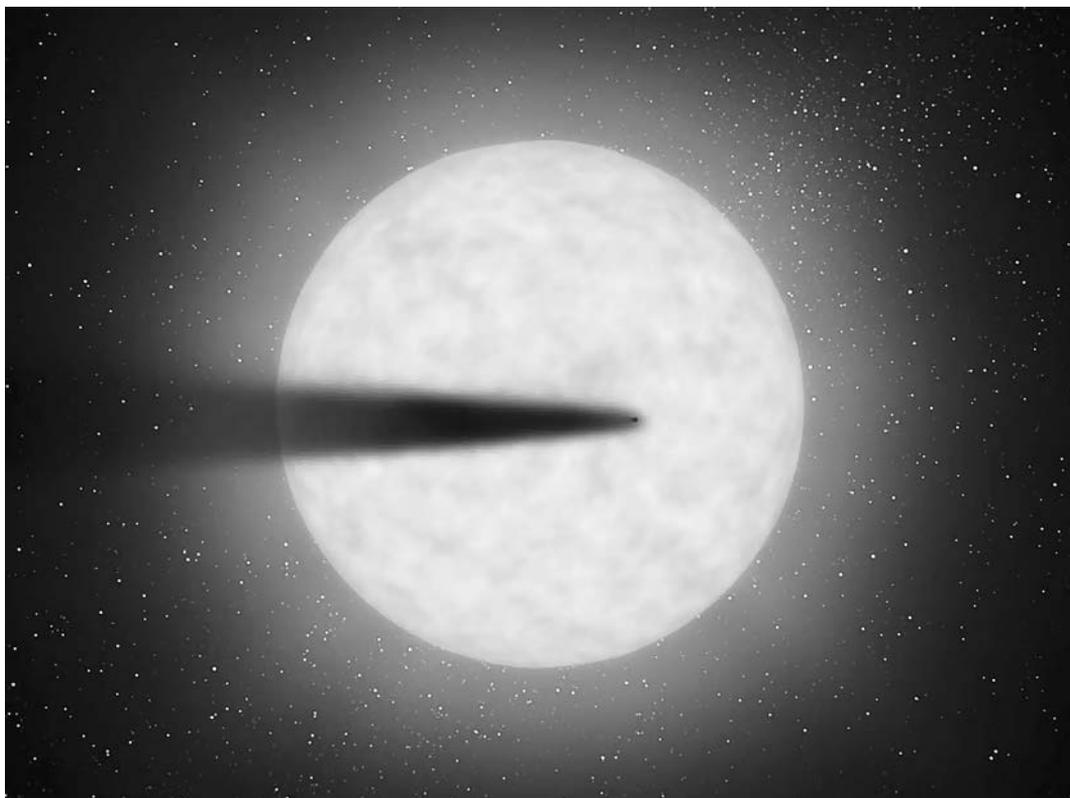
158.	Kepler-328 b	-	-	-	0,98	0,97	0,069	0,206	34,921	-	-	2013
	c						0,1	0,483	71,312	-	-	2013
159.	Kepler-177 b	-	15,0	-	0,93	0,98	0,00535	0,259	35,855	-	-	2013
	c						0,0198	0,635	49,412	-	-	2013
160.	Kepler-396 b	-	-	-	0,81	1,04	0,22	0,31	42,994	0,36709	-	2013
	c						0,053	0,47	88,506	0,22662	-	2013
161.	Kepler-51 b	-	15,0	-	1,0	0,91	0,00660731	0,633421	45,1555	0,2514	0,04	2012
	c						0,0125853	0,802928	85,3129	0,384	0,014	2012
162.	Kepler-47(AB) b	-	-	-	1,043	0,964	-	0,27	49,514	0,2956	-	2012
	c						-	0,41	303,148	0,989	-	2012
163.	Kepler-61 b	-	15,0	K7V	0,635	0,62	-	0,192	59,8776	0,27	0,25	2012
164.	HD 52265 c	28,0	6,3	G0V	1,2	1,25	0,35	-	59,9	0,316	0,05	2013
	b						1,05	-	119,6	0,5	0,35	2000
165.	Kepler-413(AB)b	-	-	-	1,3623	0,7761	0,210805	0,387814	66,262	0,3553	0,1181	2013
166.	HD 89744 c	40,0	5,74	F7V	1,4	2,14	3,2	-	85,2	0,44	-	2013
	b						7,2	-	256,0	0,88	0,7	2000
167.	KIC 8552719 b	-	-	-	0,94	0,822	-	0,315	88,4075	0,19757	-	2012
168.	Kepler-38(AB) b	-	14,3	-	0,949	1,757	0,38	0,39	105,595	0,4644	-	2012
169.	Kepler-87 b	-	15,0	-	1,1	1,82	1,02	1,21	114,73709	0,471	0,036	2013
	c						0,0201	0,549	192,363	0,664	0,039	2012
170.	SAND364 b	-	9,8	K3III	1,35	21,8	1,54	-	121,71	-	0,35	2014
171.	HIP 63242 b	135,0	6,86	G8III	1,54	-	9,18	-	124,6	0,565	0,23	2013
172.	KOI-620,02 b	-	15,0	-	1,0	0,91	0,0239122	0,865378	130,194	0,509	0,008	2014
173.	BD+15 2940 b	585,0	9,19	K0	1,1	14,7	1,11	-	137,48	0,539	0,26	2013
174.	PH1-Kepler-64 b	-	-	F+M	1,93	1,7	0,53	0,553	138,506	0,634	0,0539	2013
175.	HD 207832 b	54,4	8,79	G5V	0,94	0,901	0,56	-	161,97	0,57	-	2012
	c						0,73	-	1155,7	2,112	-	2012

Таблица (окончание)

№	Название	Расстояние, пк	Звездная величина, V	Спектральный класс звезды	Масса звезды, M_{\odot}	Радиус звезды, R_{\odot}	Масса планеты, $M_{Юп}$	Радиус планеты, $R_{Юп}$	Период обращения планеты P, сут	Большая полуось орбиты а, а.е.	Эксцентриситет орбиты е	Год открытия
176.	HD 92788 c b	32,82	7,31	G5	1,13	0,99	0,9	-	162	0,6	0,04	2013
177.	о Северной Короны b	84,0	5,51	K0III	2,13	10,4	1,5	-	325,81	0,97	0,334	2000
178.	HD 233604 b	-	10,41	K5	1,5	10,9	6,575	-	187,3	0,83	0,191	2012
179.	HD 82943 c b d	27,46	6,54	G0	1,18	1,12	4,78	-	192	0,747	0,05	2013
180.	DE0823-49 b	20,77	-	-	0,07841	-	28,5	-	246,36	0,36	0,345	2003
181.	KIC 5094412 b	-	16,0	-	-	0,8	-	0,51	276,88	0,78	-	2013
182.	ω Змеи b	80,6	5,21	G8III	2,17	12,3	1,7	-	277,02	1,1	0,106	2013
183.	KIC 6372194 b	-	16,3	-	0,8	0,74	-	0,74	281,585	0,78	0,65	2013
184.	Kepler-86 b	-	-	-	0,94	1,0	-	0,905	282,526	0,828	0,41	2013
185.	KIC 11152511 b	-	14,0	-	1,01	2,08	-	0,36	287,363	0,85	0,67	2013
186.	HD 113337 b	36,9	6,0	-	1,4	1,5	2,83	-	324	0,92	0,46	2013
187.	HR 228 b c	-	5,893	K0III	1,7	-	2,37	-	360,2	1,19	0,13	2012
188.	HD 154857 b c	64,2	7,25	G5V	1,718	1,76	2,24 2,58	-	2732	4,6	0,23	2012
189.	ε Северной Короны b	67,9	4,14	K2III	1,7	21,0	6,7	-	417,9	1,3	0,11	2012
190.	HD 4203 b c	77,5	8,68	G5	1,13	1,33	1,82	-	437,05	1,164	0,52	2001
191.	KIC 9662267 b	-	15,3	-	0,86	0,89	-	0,34	6700	-	0,24	2014
192.	HD 66141 b	80,9	4,39	K2III	1,1	21,4	6	-	466,202	1,12	0,11	2013
									480,5	1,2	0,07	2012

193.	KIC 6436029 b	–	16,2	–	0,79	0,72		0,274	505,45	1,15	–	2013
194.	BD+20 274 c	–	9,36	K5	0,8	17,3	4,2	–	578,2	1,3	–	2012
195.	KIC 5732155 b	–	15,5	–	1,13	2,0	–	1,14	644,168	1,52	–	2013
196.	HD 220074 b	290,2	6,4	M2III	1,2	49,67	11,1	–	672,1	1,6	0,14	2012
197.	75 Кита b	81,5	5,36	G3III	2,49	10,5	3,0	–	691,9	2,1	–	2012
198.	KIC 9704149 b	–	15,5	–	0,86	0,78	–	0,4	697,016	1,46	0,29	2013
199.	KIC 10255705 b	–	13,5	–	1,1	2,12	–	0,65	707,379	1,6	–	2013
200.	KIC 12454613 b	–	14,0	–	0,87	0,82	–	0,24	736,51	1,52	–	2013
201.	KIC 5522786 b	–	9,8	–	1,79	1,3	–	0,11	757,164	1,98	0,56	2013
202.	HD 85390 b c	33,96	8,54	KIV	0,76		0,132 0,2	–	788,0 3700	1,52 4,23	0,41	2009 2013
203.	HD 5608 b	58,2	6,0	K0IV	1,55	5,5	1,4	–	792,6	1,9	–	2012
204.	HD 208527 b	320,2	6,4	M1III	1,6	51,1	9,9	–	875,5	2,1	0,08	2012
205.	KIC 5010054 b	–	14,5	–	1,05	2,17	–	0,62	904,24	1,86	–	2013
206.	о Большой Медведицы b	56,3	3,35	G4II–III	3,09	14,1	4,1	–	1630	3,9	–	2012
207.	GJ 849 b c	9,1	10,37	M3,5V	0,49	0,52	0,9 0,77	–	1814 7049	2,35 0,218	–	2006 2013
208.	HD 120084 b	97,7	5,91	G7 III	2,39	9,12	4,5	–	2082	4,3	0,66	2013
209.	HD 219415 b	–	8,94	K0III	1,0	2,9	1,0	–	2093,3	3,2	–	2012
210.	HD 114613 b	20,67	4,85	G3–4	1,364	–	0,48	–	3827	5,16	0,25	2014
211.	GJ 328 b	19,8	9,98	K7	0,69	–	2,3	–	4100	4,5	0,37	2013
212.	RR Резца b		14,4	DAZ8+d M	0,622	–	4,2	–	4350	5,3	–	2012
213.	HD 219077 b	29,35	6,12	G8V	1,05	–	10,39	–	5501	6,22	0,77	2012
214.	WISE 1711+3500b	19,0	18,0	T8	0,024	–	13	–	125000	15,0	–	2012

Примечания. Планетные системы в таблице расположены в порядке возрастания периодов (P) обращения ближайшей к звезде внешней планеты. Звездные величины даны в фотометрической полосе V (эффективная длина волны $\lambda_{\text{эфф}} = 0,55 \text{ мкм} = 5500 \text{ \AA}$). Массы экзопланет указаны в единицах массы Юпитера ($M_{\text{Юп}} = 318 M_{\oplus}$) с точностью до множителя $\sin i$, где i – угол между плоскостью орбиты планеты и картинной плоскостью (для большинства перечисленных планет он близок к 90°), PSR 1257 – пульсар, находящийся примерно в 980 св. годах в созвездии Дева.



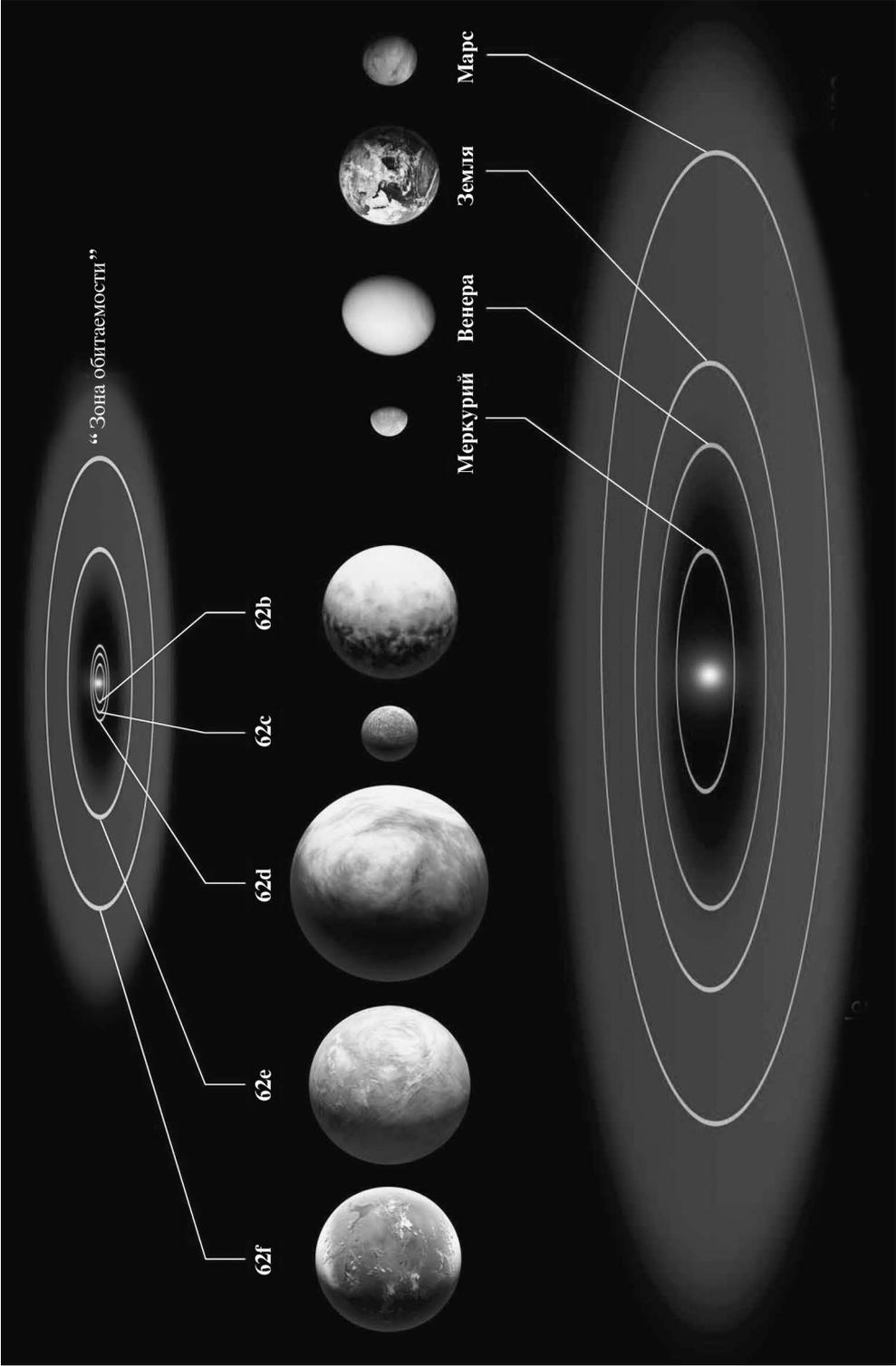
Испаряющаяся экзопланета KIC 12557548 b (№ 31). Рисунок NASA/JPL.

(№ 62). Она, как оказалось, обладает планетой, масса которой почти равной земной. Однако планета слишком близка к звезде (большая полуось орбиты всего 0,04 а.е., а период обращения – 3,2357 сут) и, скорее всего, очень горячая (как Kepler-78 b), поэтому непригодна для жизни. В отличие от нее экзопланета KIC 12557548 b (№ 31) размером чуть больше Меркурия также обращается вокруг своей звезды на очень близкой орбите с апоцентром, лишь вдвое превышающим диаметр звезды.

Год на планете 12557548 b – 0,654 сут, или 15 ч – один из самых коротких среди известных экзопланет. Температура ее поверхности, 2000 °С, столь высока, что планета испаряется, оставляя за собой пылевой хвост, напоминающий хвост кометы. При нынешних темпах потери массы планета KIC 12557548 b должна полностью исчезнуть примерно через 100 млн лет.

Самая маломассивная планета на сегодняшний день – KOI-1843b (№ 29), открытая в 2013 г. Ее масса – всего 0,001 $M_{Юп}$,

или 0,317 M_3 . К сожалению, планета слишком близка к звезде (период обращения – 4,25 ч) и находится вне “зоны обитаемости”. В пределах этой зоны расположены две из пяти экзопланет недавно открытой системы Kepler-62 (№ 96), а также планета Kepler-69 c (№ 137). Центральная звезда системы Kepler-69 по своим характеристикам сходна с Солнцем, а равновесная температура планеты Kepler-69 c (+26 °С) вполне комфортная. Правда, масса и радиус планеты пока неизвестны. Подходящая



Планетная система Керлер-62 (№ 96) в сравнении с Солнечной системой. Размеры планет показаны в масштабе. Рисунок NASA/JPL.



Внесолнечная планета Kepler-62 f (№ 96), яркая звездочка справа от нее – “утренняя звезда” Kepler-62 e. Рисунок NASA/JPL.

в смысле температуры поверхности (чуть выше 0 °C) и планета Kepler-86 b (№ 184), но сведений о ней также очень мало.

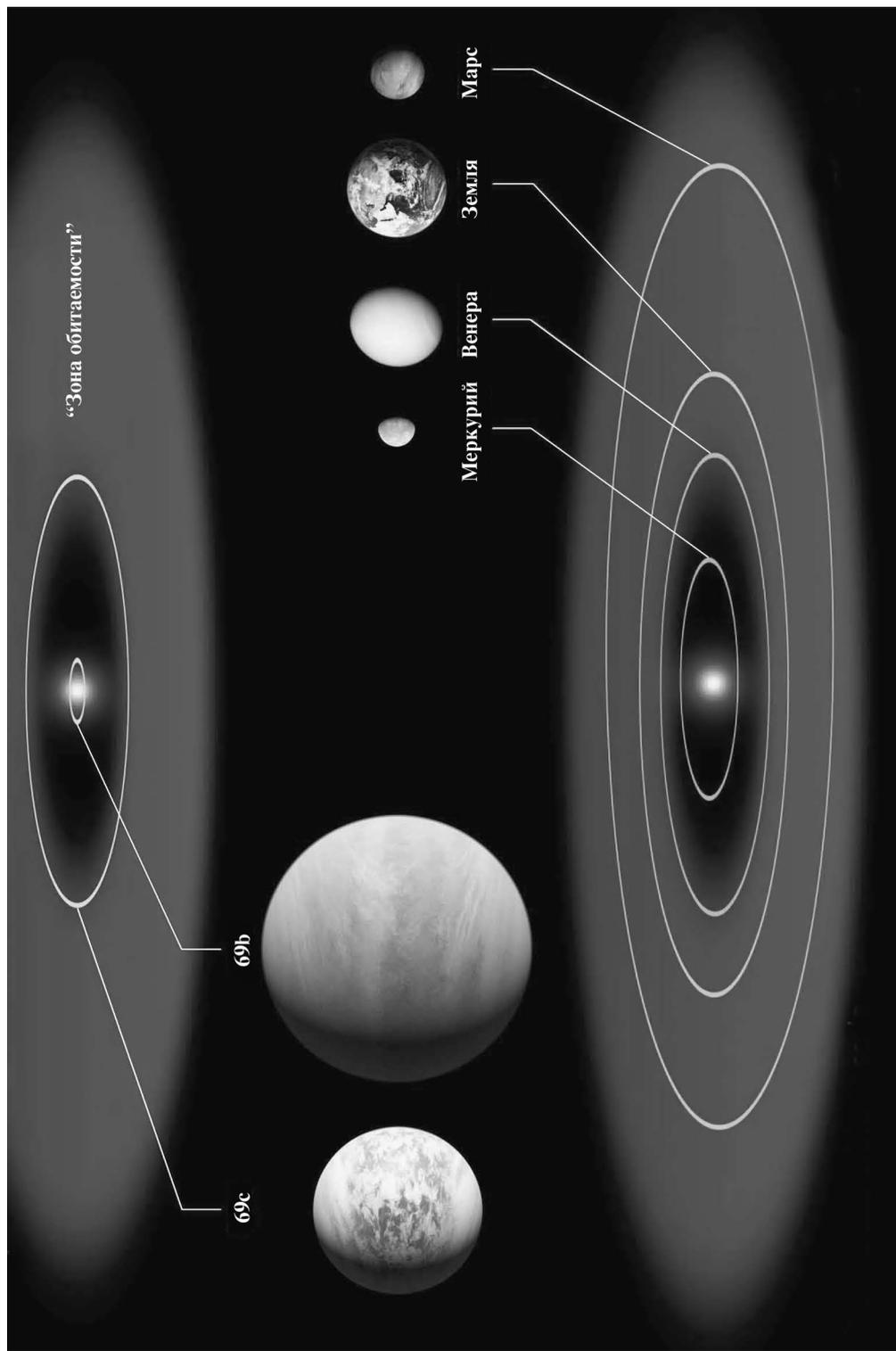
В таблице под № 109 – интереснейшая, богатая планетами тройная система красных карликов: у одной из звезд-компонент расположена планета GJ 667C c. Ее период обращения – 28 сут, масса – 4,26 M_{\oplus} (“Супер-земля”). Планета также попадает в “зону обитаемости”, ее расчетная температура около +4 °C, и

на ней возможно существование жидкой воды.

Представляет интерес и система HD 40307 (№ 82). Шестая планета этой системы – HD 40307 g, ее масса – 7,1 M_{\oplus} период обращения – 200 сут. Это пока единственная из планет в системе HD 40307, которая находится в “зоне обитаемости”. Она получает от своей звезды примерно 62% энергии, которую Солнце отдает Земле. Дальнейшие исследования позволят выяснить, возможно ли наличие жидкой воды

и, как следствие, жизни “земного типа” на HD 40307 g.

Всего же, согласно данным сайта (http://planetarybiology.com/explorer_planets/), 46 из уже открытых экзопланет, вероятно, находятся в “зоне обитаемости”. На том же сайте размещен “калькулятор обитаемой зоны”. Пользуясь им, все желающие могут проверить, насколько та или иная планета по своим параметрам пригодна для жизни.



Планетная система Кергел-69 (№ 137) в сравнении с Солнечной системой. Размеры планет показаны в масштабе. Рисунок NASA/JPL.

Последний объект в таблице – WISE 1711+3500 (№ 214). Это система из двух коричневых карликов с орбитальным периодом 342 года и угловым расстоянием между компонентами 0,8". Получено прямое изображение системы в ближней инфракрасной области –

это результат одного из прямых наблюдений маломассивных спутников других звезд.

Регулярно обновляемую информацию обо всех вновь открываемых экзопланетах можно найти на сайтах: <http://exoplanet.eu/>, <http://www.allplanets.ru/> и [\[planetarybiology.com/exoexplorer_planets/\]\(http://planetarybiology.com/exoexplorer_planets/\). Подробная таблица всех планет, открытых “Кеплером”, включая характеристики звезд и планет и даже расчетную температуру на них, приведены на сайте проекта \(<http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/>\).](http://</p></div><div data-bbox=)

Информация

Уникальная звезда-гигант

Ученые из США и Чили изучили спектры звезды HV 2112 в Малом Магеллановом облаке (200 тыс. св. лет от нас) и обнаружили в них аномально высокое содержание рубидия, лития и молибдена. Такое большое количество химических элементов свидетельствует в пользу того, что звезда HV 2112 относится к объектам Ландау – Торн – Житков (ОТЖ). Астрономы

сделали свое открытие, используя оптические 6,5-м телескопы Обсерватории Лас-Кампанас (Чили).

Лев Давидович Ландау предсказал существование нейтронных звезд в работе “Об источниках звездной энергии”, опубликованной в 1938 г. В 1975 г. получено теоретическое обоснование ОТЖ физиком Кипом Торном и астрономом Анной Житков.

Такие объекты состоят из красного гиганта (или сверхгиганта), внутри которого находится нейтронная звезда. Они подобны обычным красным сверхгигантам, таким как Бетельгейзе в созвездии Ориона, но различаются химическим составом – результат процессов в недрах звезд. Предполагается, что ОТЖ образуются при взаимодействии

массивных звезд – красного сверхгиганта и нейтронной звезды – в момент взрыва сверхновой в тесной двойной системе. Но возможно, что нейтронная звезда входит во внешние слои умирающей звезды-компаньона и аккрецирует на себя ее вещество. Звезда на стадии ОТЖ может находиться около тысячи лет, дальнейшая эволюция приводит к взрыву сверхновой и образованию системы двух релятивистских объектов (например, системы, состоящей из пульсара и нейтронной звезды, вращающихся на большой скорости относительно общего центра масс, который сам движется с высокой скоростью).

Пресс-релиз Колорадского университета,
6 июня 2014 г.

Ф.СП-1	АБОНЕМЕНТ		70336 <small>(индекс издания)</small>																								
	на <u>газету</u> журнал		<small>Количество комплектов</small>																								
Земля и Вселенная <small>(наименование издания)</small>			на ____ год по месяцам:																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">1</td><td style="width: 5%;">2</td><td style="width: 5%;">3</td><td style="width: 5%;">4</td><td style="width: 5%;">5</td><td style="width: 5%;">6</td><td style="width: 5%;">7</td><td style="width: 5%;">8</td><td style="width: 5%;">9</td><td style="width: 5%;">10</td><td style="width: 5%;">11</td><td style="width: 5%;">12</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													<small>Количество комплектов</small>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																
Куда		<small>(почтовый индекс)</small>																									
Кому		<small>(фамилия, инициалы)</small>																									
			ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА																								
		70336 <small>(индекс издания)</small>																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><small>ПВ</small></td> <td style="width: 33%;"><small>место</small></td> <td style="width: 33%;"><small>литер</small></td> </tr> </table>		<small>ПВ</small>	<small>место</small>	<small>литер</small>	на <u>газету</u> журнал																						
<small>ПВ</small>	<small>место</small>	<small>литер</small>																									
Земля и Вселенная <small>(наименование издания)</small>			на ____ год по месяцам:																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">1</td><td style="width: 5%;">2</td><td style="width: 5%;">3</td><td style="width: 5%;">4</td><td style="width: 5%;">5</td><td style="width: 5%;">6</td><td style="width: 5%;">7</td><td style="width: 5%;">8</td><td style="width: 5%;">9</td><td style="width: 5%;">10</td><td style="width: 5%;">11</td><td style="width: 5%;">12</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													<small>Количество комплектов</small>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																
Куда		<small>(почтовый индекс)</small>																									
Кому		<small>(фамилия, инициалы)</small>																									

Дорогие читатели!

*Напоминаем, что подписаться на журнал
“Земля и Вселенная” вы можете с любого
номера по Объединенному каталогу
“Пресса России”
(II полугодие 2014 г.) во всех отделениях связи.
Подписаться можно и по Интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте Почта России.
Подписной индекс – 70336.*

Заведующая редакцией Г.В. Матророва
Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасютин
Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина
Литературный редактор О.Н. Фролова
Оператор ПК Н.Н. Токарева
Корректор Г.В. Печникова
Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 05.05.2014. Подписано в печать 28.08.2014. Дата выхода в свет 13 нечет.

Формат $70 \times 100^{1/16}$ Цифровая печать
Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отт. 2,8 тыс. Бум.л. 3,5
Тираж 290 Зак. 447 Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

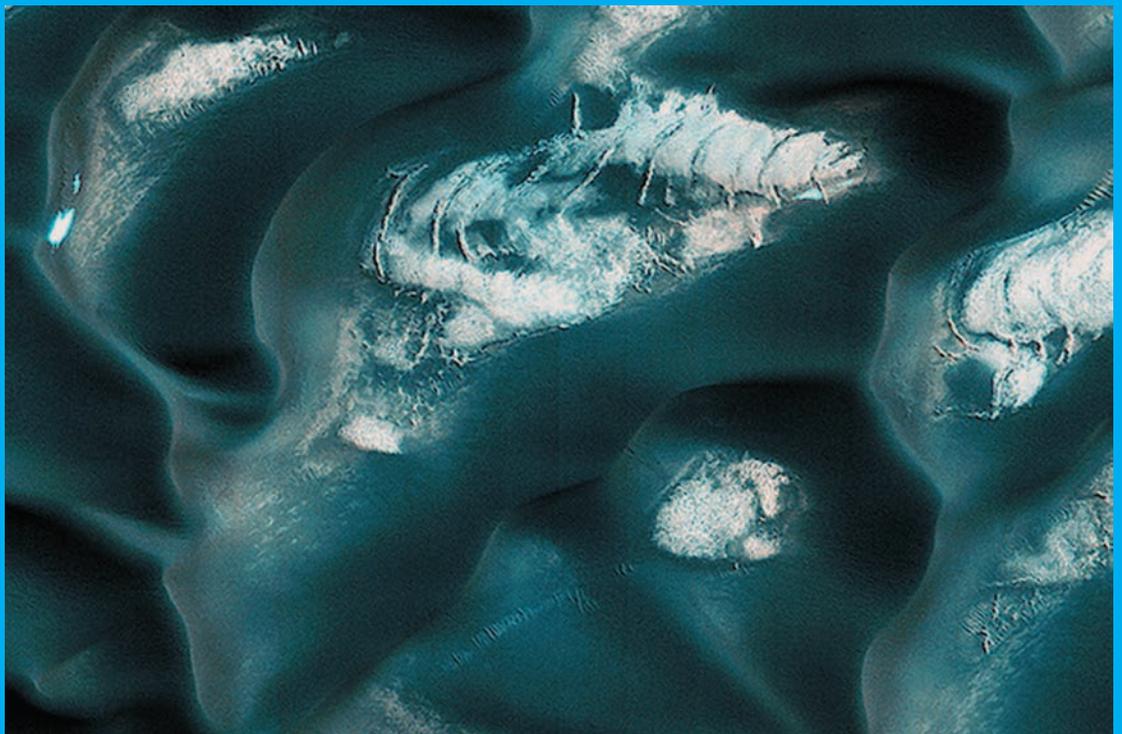
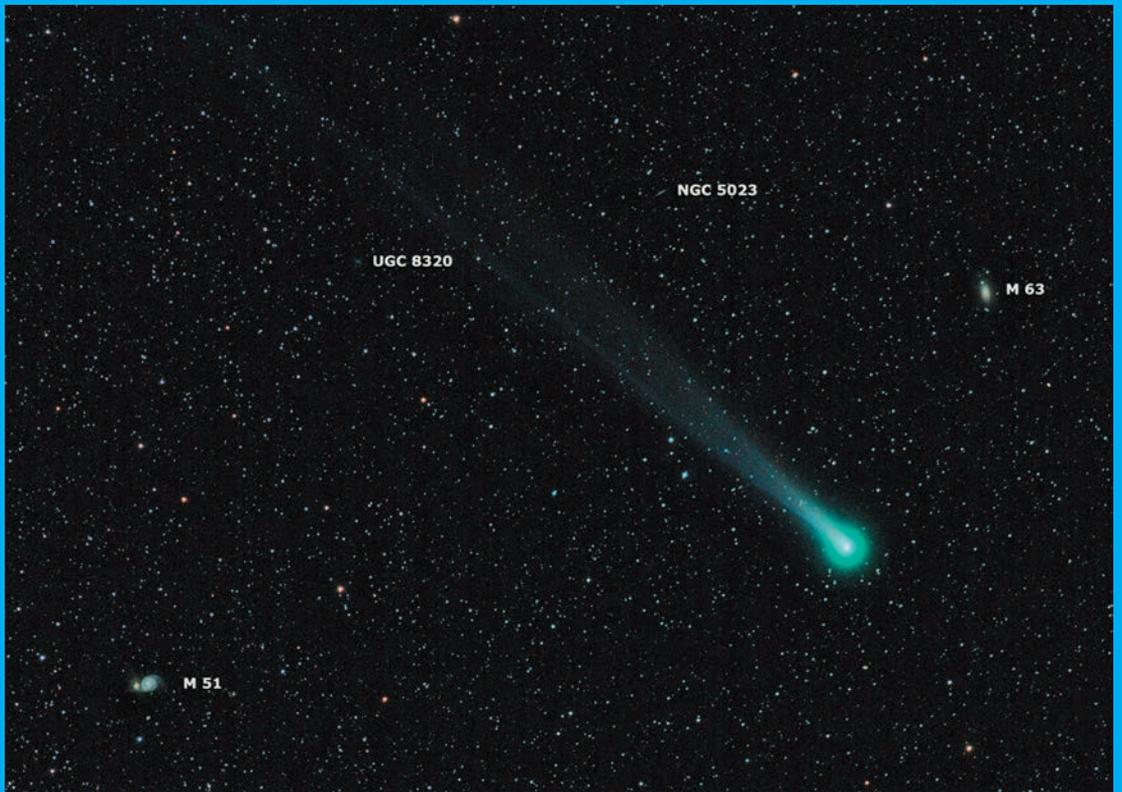
Адрес редакции: 119049, Москва, Мароновский пер., 26

Телефоны: (факс) (499) 238-42-32, 238-29-66

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен АИЦ “Наука” РАН

Отпечатано в ППП «Типография “Наука”»,
121099 Москва, Шубинский пер., 6





"НАУКА"
Индекс 70336