

# ЗЕМЛЯ И

космонавтика  
астрономия  
геофизика

№3(326) МАЙ-ИЮНЬ, 2019

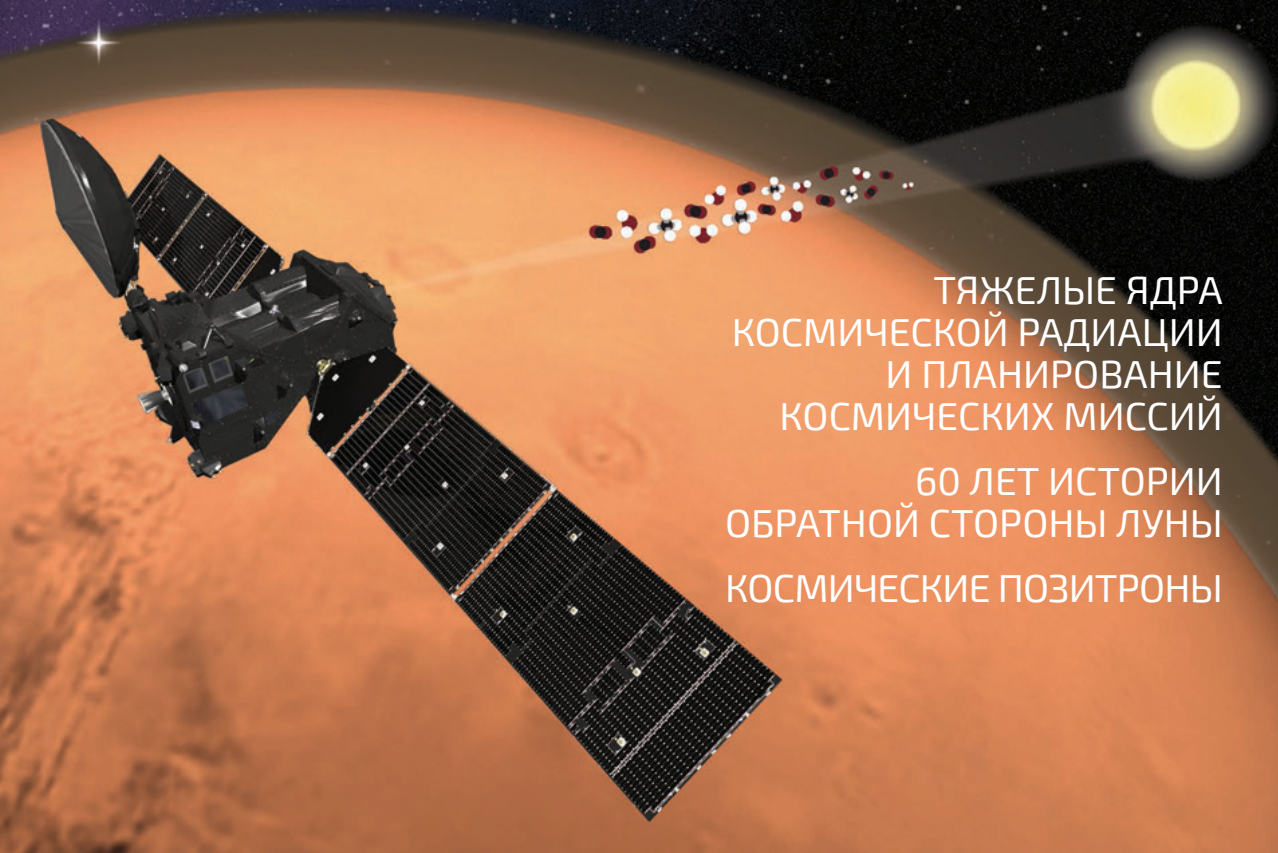
ISSN 0044-3948

# ВСЕЛЕННАЯ

МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ

ПРОЕКТ "BREAKTHROUGH STARSHOT"

KPS-1B: ПЕРВАЯ ЭКЗОПЛАНЕТА,  
ОТКРЫТАЯ В РАМКАХ РОССИЙСКОГО ПРОЕКТА



ТЯЖЕЛЫЕ ЯДРА  
КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ  
И ПЛАНИРОВАНИЕ  
КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

60 ЛЕТ ИСТОРИИ  
ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ  
КОСМИЧЕСКИЕ ПОЗИТРОНЫ

# НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



## Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц  
на номера 2019 г. научно-популярных журналов  
«Земля и Вселенная», «Природа»,  
«Энергия: экономика, техника, экология»

### **Журнал «Земля и Вселенная»**

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.

#### **Редакция журнала**

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

ул. Профсоюзная, 90, к. 423

### **Журнал «Природа»**

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

#### **Редакция журнала**

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

ул. Профсоюзная, 90, к. 417

### **Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»**

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1500 руб.

#### **Редакция журнала**

Тел.: +7(495) 362-07-82

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

ул. Красноказарменная, 17а

Журналы также можно приобрести в розницу в сети  
магазинов "Академкнига" по следующим ценам:

**«Земля и Вселенная» – 220 руб.**

**«Природа» – 270 руб.**

**«Энергия: экономика, техника, экология» – 270 руб.**

Реклама



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**НАУКА**

**NAUKA**

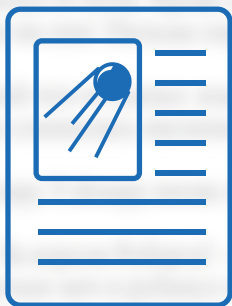
PUBLISHERS

## Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
  - редактирование
  - вёрстка
  - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВЕСЬ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

Высокопрофессиональные специалисты “Науки”  
готовы к сотрудничеству

**[naukapublishers.ru](http://naukapublishers.ru)**



НАУКА

[www.libnauka.ru](http://www.libnauka.ru)

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

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

**Электронная библиотечная система это:**

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

Реклама

*Присоединяйтесь к миру «Науки»!*



# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№3(326) МАЙ-ИЮНЬ, 2019

ISSN 0044-3948

космонавтика  
астрономия  
геофизика

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

## НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Очень большой телескоп (VLT)  
в авангарде исследования  
экзопланет [55];  
Первая карта распределения  
воды в подповерхностном слое  
грунта Марса получена с помощью  
прибора FRENД [64];  
У Проксими Центавра, возможно,  
обнаружена вторая планета [71];  
“ЭкзоМарс – 2016” не нашел метан  
на Марсе [81];  
Первые изображения черной дыры  
в высоком угловом разрешении [96]

## На стр. 1 обложки:

С помощью приборов TGO  
проводятся исследования  
атмосферы Марса в режиме  
солнечных затмений. Используя  
спектрометры ACS и NOMAD,  
ученые смотрят на Солнце  
через марсианскую атмосферу,  
состоящую, в основном,  
из углекислого газа. “Малые  
составляющие” атмосферы –  
различные газы и водяной  
пар, общий объем которых  
не превышает 1%; оставляют  
“отпечаток” – полосы поглощения  
в спектре солнечного излучения,  
их регистрируют с помощью  
спектрометров (ESA/ATG,  
medialab) – к стр. 81

## В НОМЕРЕ:

<b>Колонка главного редактора</b>	<b>3</b>
ПАНАСЮК М.И. Тяжелые ядра космической радиации и планирование космических миссий	5
ШЕВЧЕНКО В.В., РОДИОНОВА Ж.Ф. 60 лет истории обратной стороны Луны	20
БЫКОВ А.М. Космические позитроны	29
ПОПОВА Е.П., ГАБИТОВ И.Р. Проект “Breakthrough Starshot”	42
<b>Служба Солнца</b>	
ИШКОВ В.Н. Солнце в декабре 2018 года – январе 2019 года	51
<b>Люди науки</b>	
ИОГАНСОН Л.И. В.В. Белоусов и его книга “Очерки истории геологии”	56
<b>История науки</b>	
ИВАНОВ К.И., БУРДАНОВ А.Ю. KPS-1b: первая экзопланета, открытая в рамках российского проекта	65
<b>Симпозиумы, конференции, съезды</b>	
НЕФЕДЬЕВ Ю.А., ГАЛЕЕВ А.И., АНДРЕЕВ А.О. Пятая Международная молодежная школа-конференция “Космическая наука”	73
<b>Любительская астрономия</b>	
УСАНИН В.С. Метеорная астрономия	84
БЕКЯШЕВ Р.Х. Выбор монтировки любительского телескопа	97
КОНОНОВ Д.А. Небесный календарь: июль – август 2019 г.	99
<b>Хроника сейсмичности</b>	
СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли во втором полугодии 2018 года	102
<b>От редакции</b>	<b>108</b>

© Российская академия наук, 2019  
© Редколлегия журнала  
“Земля и Вселенная” (составитель), 2019  
© ФГУП “Издательство “Наука”, 2019

Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Profsoyuznaya str., 90, f.1965, 6 a year; 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; Editor-in-Chief acad. L.M. Zelenyi; Deputy Editor O.V. Zakutnaya; Deputy Editor O.Yu. Malkov

## **Редакционная коллегия: IN THIS ISSUE:**

главный редактор академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,	<b>Editorial</b>	<b>3</b>
зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,	PANASYUK M.I. Heavy Nuclei of Cosmic Radiation and Planning of Space Missions	<b>5</b>
летчик-космонавт П.В. ВИНОГРАДОВ,	SHEVCHENKO V.V., RODIONOVA Zh.F. 60 Years History of the Dark Side of the Moon	<b>20</b>
зам. главного редактора кандидат филолог. наук О.В. ЗАКУТНЯЯ,	BYKOV A.M. Space Positrons	<b>29</b>
доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,	POPOVA E.P., GABITOV I.R. "Breakthrough Starshot" Project	<b>42</b>
летчик-космонавт А.Ю. КАЛЕРИ,	<b>Solar Monitoring Service</b>	
кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,	ISHKOV V.N. The Sun in December 2018 – January 2019	<b>51</b>
доктор физ.-мат. наук А.А. ЛУТОВИНОВ,	<b>People of Science</b>	
зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук О.Ю. МАЛКОВ,	IOGANSON L.I. V.V. Belousov and his Book "Essays on History of Geology"	<b>56</b>
доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ,	<b>History of Science</b>	
академик И.И. МОХОВ,	IVANOV K.I., BURDANOV A.YU. KPS1b: First Exoplanet Discovered in Course of the Russian Project	<b>65</b>
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ,	<b>Symposia, Conferences, Congresses</b>	
доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,	NEFEDYEV Y.A., GALEEV A.I., ANDREEV A.O. Fifth Youth School-Conference "Space Science"	<b>73</b>
доктор физ.-мат. наук К.А. ПОСТНОВ,	<b>Amateur Astronomy</b>	
доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,	USANIN V.S. Meteor Astronomy	<b>84</b>
научный директор Московского планетария Ф.Б. РУБЛЁВА,	BEKYASHEV R.H. Choosing the Mount for Amateur Telescope	<b>97</b>
член-корр. РАН А.Л. СОБИСЕВИЧ,	KONONOV D.A. Celestial calendar: July–August 2019	<b>99</b>
член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,	<b>Chronicles of the Earth's Seismicity</b>	
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК,	STAROVOYT O.E., CHEPKUNAS L.S., KOLOMIETS M.V. Seismicity of the Earth in the Second Half of 2018	<b>102</b>
доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО,	<b>From the editorial staff</b>	<b>108</b>
член-корр. РАН Б.М. ШУСТОВ		



## Колонка главного редактора

Уважаемые читатели, дорогие друзья!

В начале апреля состоялось заседание Совета по космосу Российской академии наук, целиком посвященное космическим обсерваториям серии “Спектр”. Когда вы читаете эти строки – за окном уже июль, но тема по-прежнему актуальна: официально завершилась миссия первой обсерватории “Спектр-Р”, и в это время мы с волнением ожидаем запуск второй миссии – “Спектра-РГ”.

Судьба серии “Спектр” складывалась непросто. Это была фактически первая по-настоящему комплексная программа фундаментальных астрофизических исследований в Советском Союзе. Предшествующие проекты были, скорее, “разовыми”, хотя среди них было много по-настоящему блестящих: это обсерватории “Астрон” (запуск в 1983 г.) и “Гранат” (запуск в 1989 г.), обсерватория “Рентген” на борту станции “Мир” (начало работы – 1987 г.), а также прибор и эксперимент “Реликт” на борту спутника “Прогноз” (запуск в 1983 г.). Благодаря “Реликту” впервые была построена полная карта неба космологического реликтового излучения (на длине волны 8 мм). На ней хорошо заметно, что реликтовое излучение не совсем одинаково на разных участках неба. Но чувствительности этого прибора не хватило для того, чтобы составить более точную карту, а именно она необходима, чтобы выяснить – была ли температура ранней Вселенной полностью одинакова или различалась в разных областях?

За первым “Реликтом” планировался второй – с высокими пространственным разрешением и чувствительностью. Но этот проект так и не осуществился, хотя научная аппаратура была разработана и готова к запуску (сегодня ее можно увидеть в музее-выставке ИКИ). Наступила эпоха развала Союза

и всей промышленности. И очень жаль: в это же время наши американские коллеги и соперники подготовили аналогичный проект “COBE”, за результаты которого – наблюдения анизотропии реликтового излучения – в 2006 г. им была вручена Нобелевская премия по физике.

Вернусь к серии “Спектр”, которая, как и “Реликт”, оказалась “жертвой” внешних обстоятельств и экономического кризиса. В конце 1980-х годов в СССР (прежде всего, в Академии наук) сформировалось четкое понимание того, что для комплексного исследования Вселенной на новом уровне необходима серия обсерваторий. В 1987 г. эта идея была реализована в виде программы “Спектр”. Согласно ей, планировался запуск обсерваторий: в 1992 г. – “Спектр-Рентген-Гамма”, через три года, в 1995 – “Спектр-Р” (“РадиоАстрон”), в 1997 г. – “Спектр-УФ”.

Но в начале 1990-х годов, с развалом науки и промышленности, годовые бюджеты на космические исследования упали в десятки раз (в 1993-м они составляли менее 1/200 от аналогичных затрат в NASA). В течение 15 лет космическая наука просто пыталась выжить, хотя и в это время что-то удавалось сделать.

Об этом, впрочем, хорошо известно. Менее известно, что серия “Спектр” не была закрыта, работы по ней – с неизбежными поправками на изменившиеся обстоятельства – продолжались. Для аппарата “Спектр-РГ”, например, были частично созданы летные образцы приборов, которым, увы, не суждено было отправиться в космос. Постоянные переносы запуска стали нормой. Так продолжалось все 1990-е и в первые годы уже XXI века.

С 2005 г., с наведением некоторого порядка в стране и с появлением Федеральной космической программы 2006–

2015 г., финансирование науки начало восстанавливаться и появилась возможность снова работать над реализацией (уже на новом уровне) проектов задуманной серии “Спектр”. Конечно, без трудностей не обошлось, но свет в конце длинного туннеля все-таки засиял.

В 2011 г. была запущена обсерватория “Спектр-Р” – 10-метровый радиотелескоп, который успешно проработал на орбите больше семи лет (при пяти запланированных). К большому сожалению, в начале 2019 г. из-за неполадок радиокомплекса связь с ним была потеряна (подчеркну – сам аппарат, скорее всего, продолжает работать). С помощью “Спектра-Р” был реализован проект “РадиоАстрон” – космический радиоинтерферометр со сверхдлинной базой, одно “плечо” которого находилось на Земле (его роль исполняли наземные радиообсерватории), а второе “подставил” космический аппарат “Спектр-Р”, который двигался по сильно вытянутой эллиптической траектории, в апогее уходящей далеко за орбиту Луны. Благодаря этому, во-первых, удалось достичь очень высокого пространственного разрешения, а во-вторых – провести попутный эксперимент “Плазма-Ф” по мониторингу солнечного ветра. Этот эксперимент, хотя и занимал совсем немного места на основном аппарате, позволил получить очень интересные данные о структуре солнечного ветра и процессах ускорения частиц на Солнце и в межпланетной среде.

В июле 2019 г. должен состояться долгожданный запуск обсерватории “Спектр-РГ”. Ее облик существенно изменился по сравнению с 1987 г.: фактически мы говорим о новом аппарате с новыми научными задачами. Цель – провести обзор всего неба в рентгеновском диапазоне электромагнитного излучения, чтобы найти все довольно массивные скопления галактик (ожидается их обнаружить около 300 тыс.) и миллионы активных сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик. Эта

“перепись” поможет понять, как распределено вещество в нашей Вселенной, как она эволюционировала во времени, какую роль в этом играли экзотические темная материя и темная энергия. Проект сейчас реализуется с участием Германии, которая создала один из двух рентгеновских телескопов на борту космического аппарата “Спектр-РГ” (можно пошутить, что аббревиатура “РГ”, которая когда-то означала “Рентген-Гамма”, теперь может означать и “Россия-Германия”).

Запуск третьей обсерватории, “Спектр-УФ”, к сожалению, запланирован только на 2025 г., он разрабатывается в партнерстве с коллегами из Испании. Исследования в ультрафиолетовом диапазоне спектра, для которых предназначена обсерватория, нацелены на изучение физико-химических свойств планетных атмосфер, физики атмосфер горячих звезд, природы активных галактических ядер, межгалактических газовых облаков.

В том, сколь важна, а главное – интересна астрофизика, мы могли убедиться недавно во время масштабной публичной презентации первого изображения тени черной дыры. Коротко об этом событии можно прочитать в лежащем перед вами выпуске журнала.

Хотя этот результат получили с помощью наземных, а не космических обсерваторий, он не менее важен для исследователей космоса и – неожиданно – еще для миллионов людей на нашей планете, к астрофизике отношения не имеющих. Думаю, что это – ответ на вопрос о том, зачем нужно изучать космос. Жаль, конечно, что именно в этой работе не принимали участия российские ученые, но, думаю, вы разделите наше восхищение мощью современной науки, способной “увидеть незримое и услышать неслышимое”.

*Главный редактор журнала  
“Земля и Вселенная”  
академик Лев Матвеевич Зелёный*



# ТЯЖЕЛЫЕ ЯДРА КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ<sup>1</sup>



**М.И. ПАНАСЮК,**

*доктор физико-математических наук  
НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына  
МГУ им. М.В. Ломоносова*

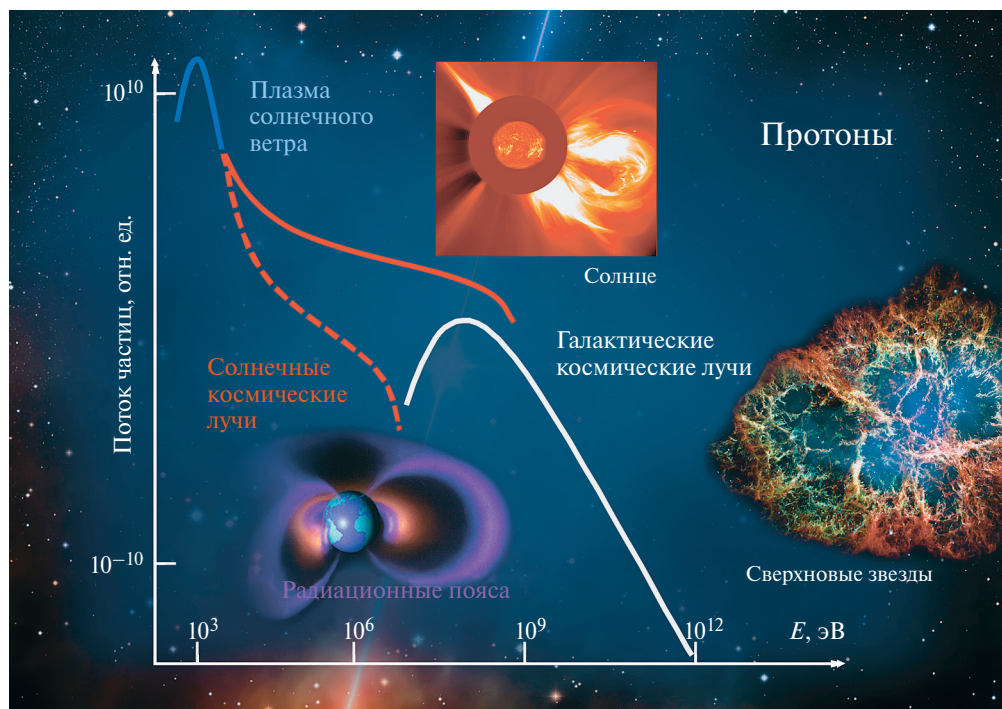
DOI: 10.7868/50044394819030010

**Р**адикация в околоземном космическом пространстве сложна по своему составу, а диапазон ее энергий широк. Среди основных источников заряженных частиц – галактические космические лучи (ГКЛ), солнечные космические лучи (СКЛ) и захваченные в магнитное поле Земли частицы радиационных поясов (РП). Наиболее энергичные частицы – ГКЛ. Максимум их потока приходится на энергию около 400 МэВ/нуклон<sup>2</sup>. Они

более “свободно” проникают вглубь магнитного поля – в отличие от СКЛ, средняя энергия которых значительно меньше. Однако во время наиболее мощных солнечных вспышек максимальная энергия протонов СКЛ может достигать довольно больших значений – таких, как 10–30 ГэВ, что даже значительно больше энергий протонов ГКЛ в максимуме их потока. Но, в отличие от ГКЛ, их потоки – спорадические. Энергия ионов в радиационных поясах Земли находится в широком диапазоне – от сотен кэВ до 1 ГэВ (для протонов). Что касается состава ионов в РП, то к настоящему времени экспериментально подтверждено существование элементов – вплоть до железа. Есть еще другие компоненты радиации на

<sup>1</sup> Окончание (начало статьи опубликовано в *ЗиВ*, 2019, № 2, с. 4–14).

<sup>2</sup> Электронвольт (эВ) – единица измерения энергии. 1 килоэлектронвольт (кэВ) =  $10^3$  эВ, 1 мегаэлектронвольт (МэВ) =  $10^6$  эВ, 1 гигаэлектронвольт (ГэВ) =  $10^9$  эВ.



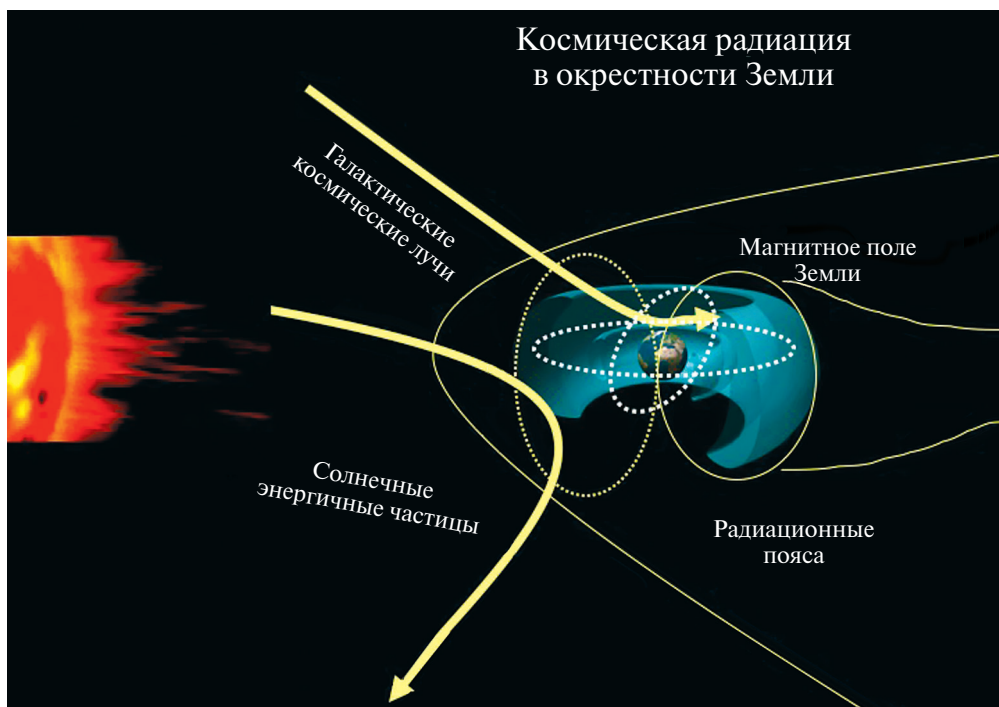
Примерные энергетические спектры протонов солнечной плазмы, солнечных и галактических космических лучей; показан также интервал величин энергий протонов, "захваченных" в радиационных поясах Земли. Для солнечных космических лучей представлены спектры, характерные для спокойного Солнца и во время вспышек

## ТЯЖЕЛЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСАХ ЗЕМЛИ

Радиационные пояса Земли – потоки захваченных в магнитном поле Земли заряженных частиц различного происхождения. Здесь “живут” частицы солнечного происхождения – ускоренная плазма солнечного ветра и СКЛ, частично проникающие вглубь магнитного поля и захваченные им. ГКЛ, вследствие значительной величины их импульса, не могут быть захвачены магнитным полем Земли, но продукты их взаимодействия с атмосферой – нейтроны, распадаясь, создают протоны и электроны, которые заполняют внутреннюю область радиационных поясов Земли. И наконец, частицы из ионосферы Земли – вполне реальный источник электронов и протонов, а также ионов кислорода в радиационных поясах.



## Космическая радиация в окрестности Земли

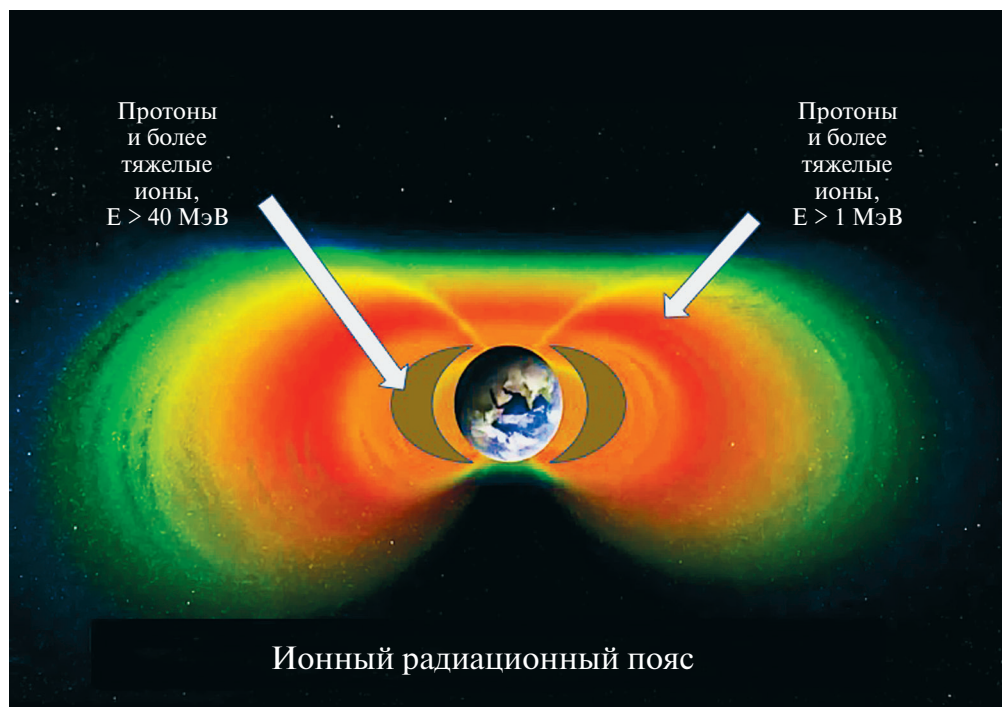


В рамках предлагаемой статьи интерес для нас представляют тяжелые заряженные частицы, обладающие достаточной линейной передачей энергии (ЛПЭ – удельные потери энергии частицей на единицу длины ее пробега в веществе; именно они способны вызвать сбои в работе электроники космических аппаратов и нарушения в биологических структурах). Область локализации таких частиц – во внутренней зоне радиационных поясов Земли (см. рисунок). Известно, что основной источник частиц радиационных поясов находится вблизи их внешней границы, в районе орбит геостационарных космических аппаратов, на расстояниях 6–7 радиусов Земли ( $R_3$ ). Частицы от различных источников (солнечного ветра, ионосферы) посредством механизма переноса – радиальной диффузии – перемещаются внутрь РП под действием флуктуаций электрических и магнитных полей и одновременно ускоряются,

*Космические лучи солнечного и галактического происхождения в околоземном космическом пространстве. Эти частицы, наряду с радиационными поясами Земли, представляют основную радиационную опасность для космических полетов*

дрейфуя поперек магнитных силовых линий. В результате на внутренних магнитных оболочках в плоскости экватора, на расстояниях менее нескольких тысяч километров от поверхности Земли, происходит формирование очень энергичного ионного пояса, состоящего из тех частиц, которые присутствуют в солнечном ветре и в ионосфере. Энергия захваченных протонов в этой области может достигать ~1 ГэВ, то есть в этой области она сопоставима с энергией ГКЛ.

Тем не менее радиальная диффузия не может быть преобладающим механизмом формирования протонов и ТЗЧ во внутренней зоне

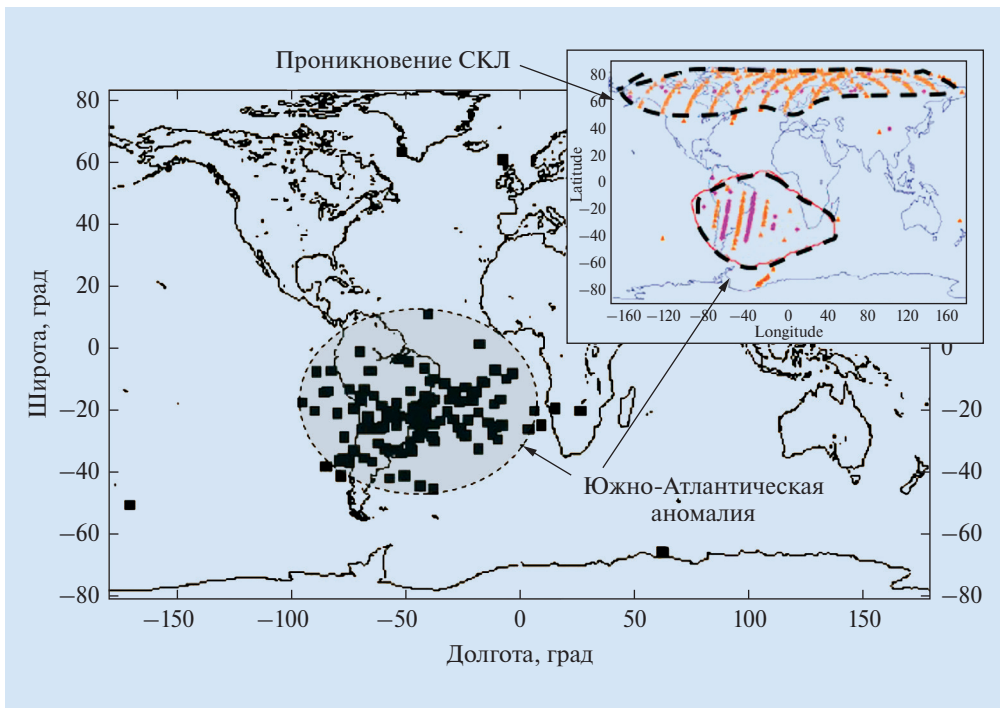


*Радиационные пояса ионов. Протоны и более тяжелые частицы высоких энергий (более десятков и сотен МэВ) существуют только во внутренней зоне, около Земли*

радиационных поясов – прежде всего из-за малого “времени жизни” частиц в этой области: они теряют свою энергию вследствие ионизационных потерь на остатках атмосферы значительно быстрее, чем происходит пополнение этой области дрейфующими внутрь “свежими частицами”. Так называемый “альбедный” механизм распада нейтронов – возникающих при взаимодействии ГКЛ с атмосферой, часть которых вылетает из атмосферы в космическое пространство, – является дополнительным и мощным источником протонов в области высоких энергий в этой области пространства. Более тяжелые частицы возникают здесь как продукты ядерных реакций – в результате взаимодействия первичных протонов ГКЛ и протонов внутренней зоны радиационных

поясов с атомами атмосферы Земли. Однако следует констатировать, что наши знания об ионном составе внутренней зоны РП крайне ограничены, что связано с экспериментальными трудностями проведения здесь измерений ТЗЧ на фоне очень интенсивных потоков высокоэнергичных протонов (с энергиями более десятков МэВ). Тем не менее существуют модельные расчеты формирования потоков ядер в радиационных поясах Земли, которые доказывают существование захваченных ТЗЧ в этой области.

Из рассмотренной структуры радиационных поясов очевидно, что источником сбоя и нарушений в них являются ТЗЧ во внутренних областях РП. Отсюда вывод: орбиты высотой до нескольких тысяч километров (и ниже)

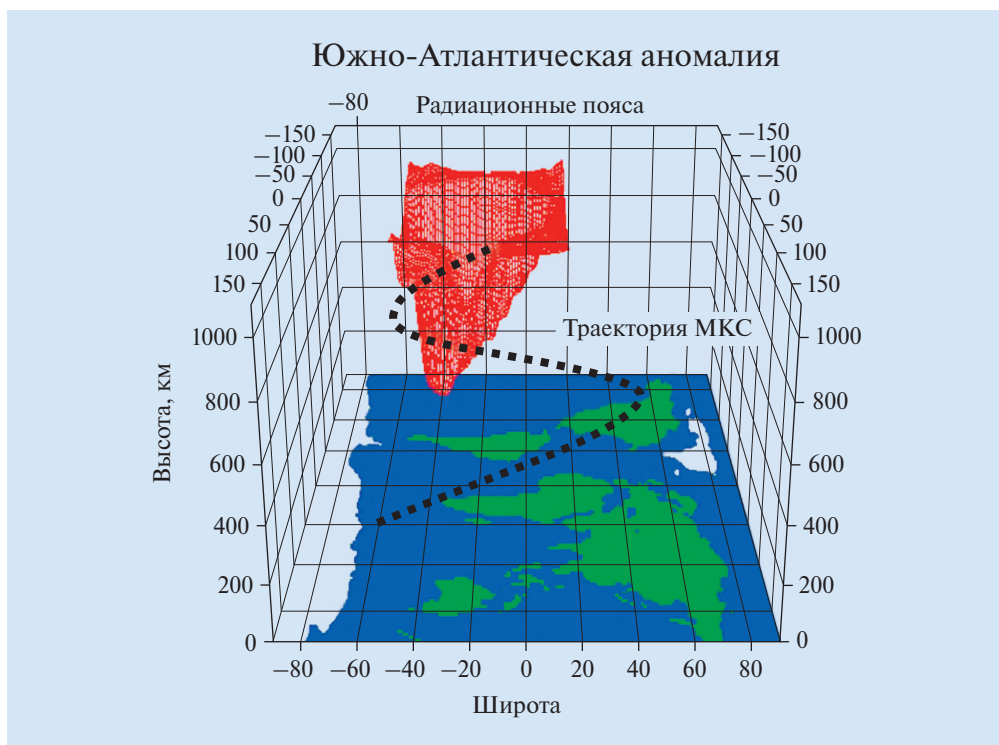


Карта пространственного распределения одиночных сбоев в микросхемах по измерениям, выполненным на высоте около 500 км. Большая часть сбоев происходит в районе магнитной аномалии – в районе Южной Атлантики. Именно здесь радиационные пояса “провисают” над Землей. Во время солнечных вспышек частицы СКЛ проникают в авроральные зоны, где и вызывают одиночные сбои в работе электроники КА (показано во врезке) (Bashkirov V., Kuznetsov N., Nymmik R. An analysis of the SEU rate of microcircuits exposed by the various components of space radiation // Radiation Measurements, 1999. V. 3. № 3. P. 427–433)

наиболее опасны для космических аппаратов с точки зрения проявления эффектов от ТЗЧ. При этом следует отметить, что эта область радиационно опасна как вследствие дозовых эффектов от высокоинтенсивных потоков протонного пояса, так и из-за последствий, вызванных генерацией одиночных сбоев в электронике и воздействием на биообъекты от малоинтенсивной тяжелой ядерной компоненты радиационных поясов.

При этом высокая зависимость частоты сбоев характеризуется ярко выраженной ограниченной пространственной структурой: с уменьшением высоты орбиты КА сбои начинают

локализоваться в пределах сравнительно узкой географической зоны над Южной Атлантикой и – частично – над Южным континентом Америки (Южно-Атлантической магнитной аномалией, ЮАА), областью локального ослабления магнитного поля Земли. Для низкоорбитальных КА, например, для Международной космической станции (МКС), высота орбиты которой – примерно 400 км, этот участок ее траектории наиболее радиационно опасен. Нетрудно представить, что электроника любого КА, летящего на высотах в несколько сотен километров и ниже, должна “чувствовать” эти частицы именно в указанной зоне.



*Радационные пояса Земли над Южной Атлантикой. Именно здесь, на высоте около 400 км, МКС пересекает область повышенного уровня радиации*

Так оно и есть: наибольшая частота сбоев наблюдается как раз в районе ЮАА.

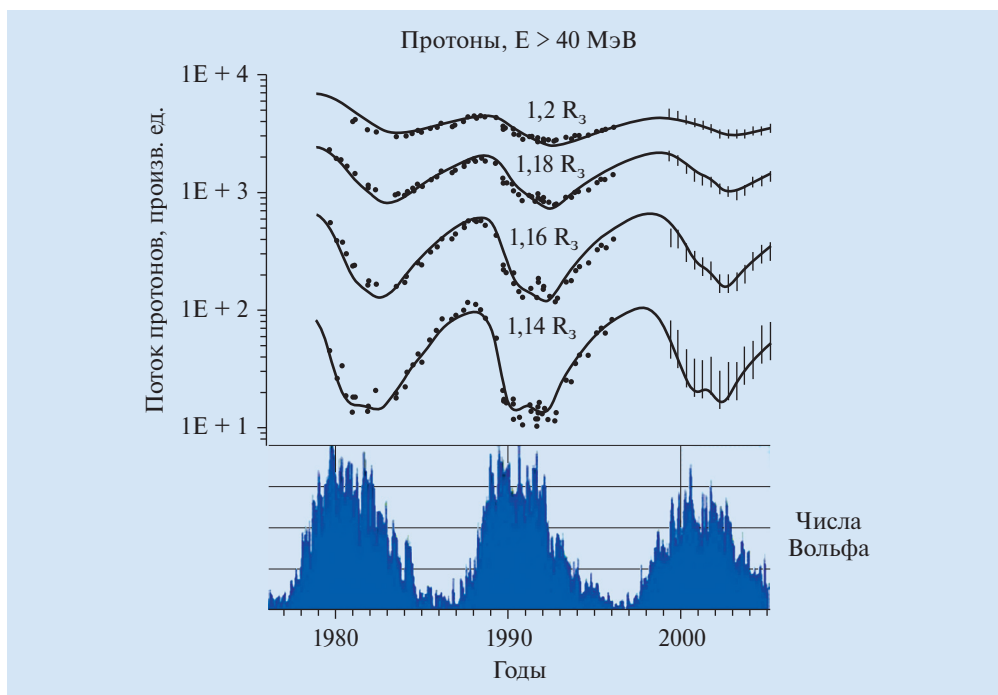
По свидетельству многих космонавтов, именно в этой области частота появления фосфенов в их глазах превышает их наблюдаемое количество на других участках орбиты пилотируемой орбитальной станции.

Очевидно, что источником сбоев в электронике (и фосфенов) являются высокоинтенсивные потоки протонов и более тяжелые частицы, существующие в ЮАА. Что касается протонов, то такие явления сбоев под их воздействием должны возникать как следствие взаимодействия продуктов ядерных реакций (с участием протонов) с материалом КА, расположенным вокруг микросхем.

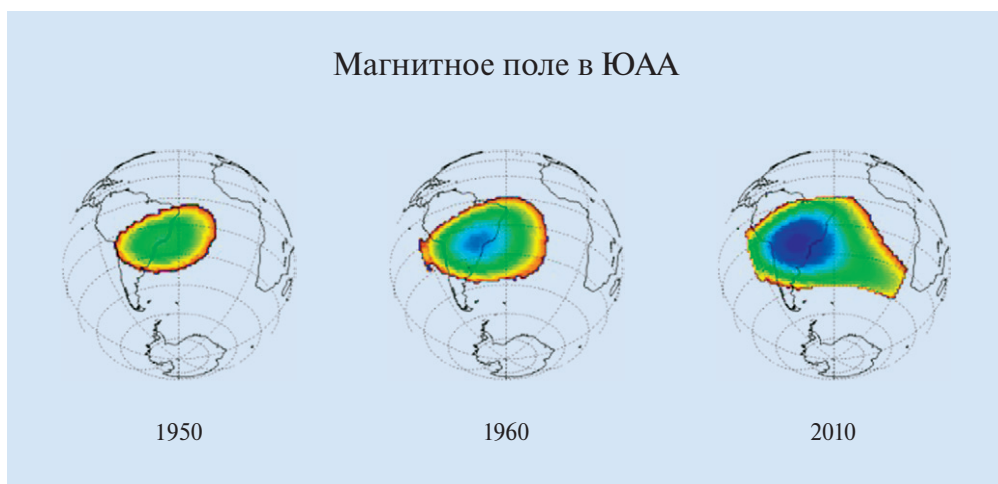
В связи с этим отметим, что существуют характерные для этой области пространственно-временные вариации потоков протонов ЮАА, которые связаны как с солнечным циклом, так и с вековыми (долговременными) вариациями главного магнитного поля Земли. Очевидно, такие вариации следует учитывать при планировании будущих космических миссий с целью снижения радиационного риска.

Солнечно-циклические вариации потоков высокоэнергичных протонов (очевидно, и более тяжелых частиц) на высотах <1000 км обусловлены изменением ионизационных потерь частиц вследствие нагрева и охлаждения верхней атмосферы в течение 11-летнего цикла солнечной активности. Во время солнечного минимума



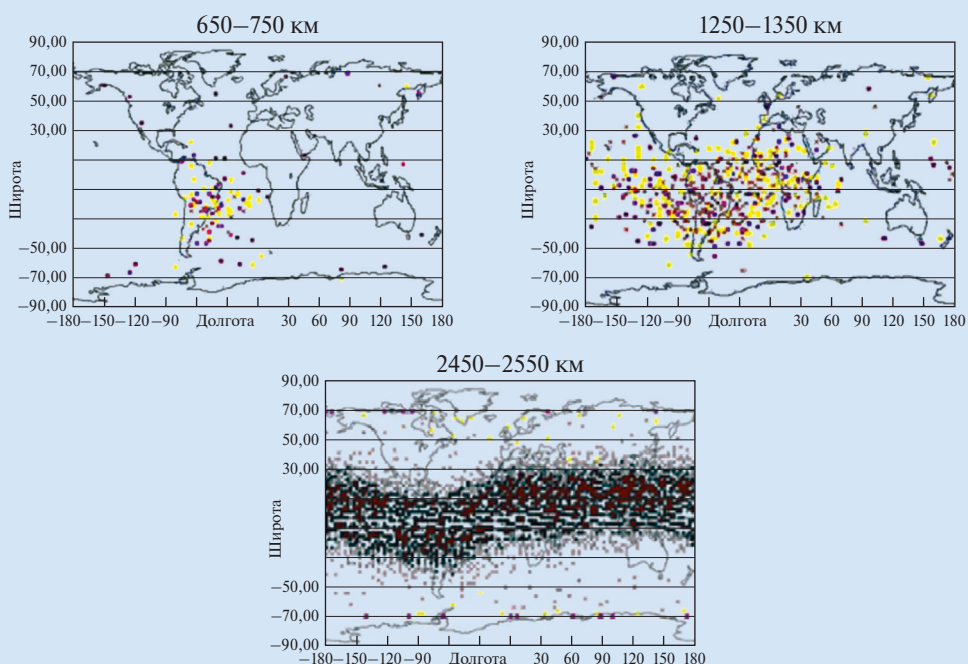


Солнечно-циклические вариации потоков протонов на малых высотах (расстояние в экваториальной плоскости указано в радиусах Земли ( $R_3$ ), обусловленные изменением плотности атмосферы (Kuznetsov N.V., Nikolaeva N.I., Panasyuk M.I. Variation of the trapped proton flux in the inner radiation belt of the earth as a function of solar activity // Cosmic Research, 2010. V. 48. № 1. P. 80–85)



Медленные, "вековые" вариации магнитного поля Земли: с течением времени поле в ЮАА ослабевает и расширяется, двигаясь в северо-западном направлении (Башкиров В.Ф. Динамические модели захваченной радиации на низких высотах в магнитосфере // Космические исследования, 1993. Т. 36. № 5. С. 359–369)

## Одинокные сбои на малых высотах



Пространственное распределение сбоев в микросхемах с изменением высоты орбиты (данные со спутника APEX; Coka T., Matsumoto H., Nemoto N. SEE Flight Data from Japanese Satellites // IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1998. V. 45. № 6. P. 2771–2778)

потоки возрастают, что должно приводить к повышению частоты сбоев. Обратная картина будет наблюдаться в солнечном максимуме: в это время плотность атмосферы на больших высотах увеличивается, вызывая рост потерь частиц и, соответственно, уменьшая потоки захваченных частиц (в том числе, конечно, и ТЗЧ).

Поэтому можно ожидать, что в максимуме цикла солнечной активности частота сбоев в работе электроники в районе ЮАА и количества фосфенов в глазах космонавтов должна быть меньше.

Топология ЮАА меняется и вследствие существования вариаций главного магнитного поля Земли. Как пока-

зывают модельные расчеты, на шкале времени в десятки лет и более область ЮАА должна будет расширяться и смещаться к западу. И этому уже есть экспериментальные подтверждения. Таким образом, можно ожидать, что в перспективе ЮАА будет представлять большую радиационную опасность, чем в настоящее время, в том числе и в плане генерации одиночных сбоев от ТЗЧ.

С увеличением высоты орбиты КА пространственная картина расширяется: “географическое” распределение частоты сбоев в работе электроники приобретает пространственные очертания, характерные для распределений ТЗЧ внутренней зоны РП.

## ТЯЖЕЛЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

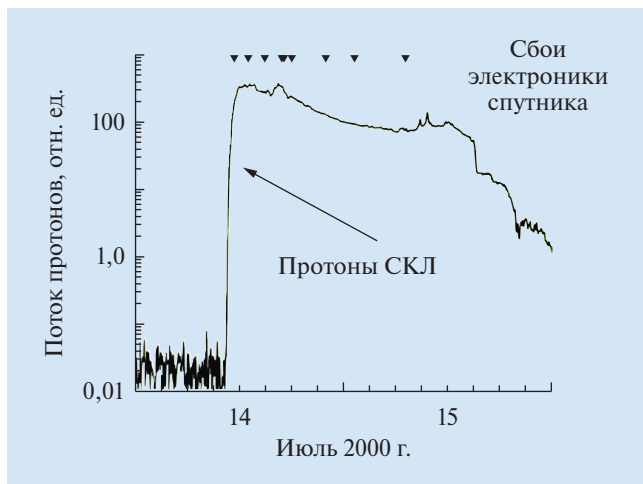
Одинокое сбои в работе электроники происходят и при мощных солнечных вспышках. Протоны и тяжелые ядра в составе СКЛ могут вызвать в чипах такие же одиночные сбои, как и протоны, и ТЗЧ в РП. И они, действительно, наблюдаются. Так, например, во время мощной солнечной бури 14 июля 2000 г. (она произошла 14 июля, в день взятия Бастилии, поэтому ей присвоили имя “День Бастилии”) на магнитосферу Земли “обрушились” интенсивные потоки солнечных протонов, вызвавших сбои в работе спутников. Как результат – появились сбои в работе электроники космического аппарата. Какие частицы в составе СКЛ их вызвали?

Солнечные космические лучи генерируются в активных областях Солнца посредством, к примеру, механизма пересоединения – быстрого изменения конфигурации магнитного поля во вспышечной области или вследствие стохастического ускорения на фронтах ударных волн, распространяющихся в межпланетном пространстве (так

называемых корональных инъекций масс). Помимо протонов в составе СКЛ присутствуют и более тяжелые ионы. В данном контексте нас интересуют прежде всего ТЗЧ с энергиями в десятки и сотни МэВ/нуклон – наиболее вероятные источники сбоев микросхем и нарушений в биологических объектах на клеточном уровне. Есть ли такие частицы в СКЛ? Да, есть. И об этом убедительно свидетельствуют эксперименты. Но и здесь не все очевидно.

Так, для ряда солнечных событий обогащение состава СКЛ тяжелыми ядрами группы Fe (по сравнению с другими, более легкими), действительно, наблюдается при достаточно больших энергиях (>30 МэВ/нуклон). Однако такое обогащение происходит не всегда: оно было замечено только для периода 1997–2005 гг. и не позже. Но нас интересуют ТЗЧ в СКЛ достаточно высоких энергий, а такие частицы генерируются только во время очень мощных солнечных вспышек. В качестве примера можно привести результат, “обобщающий” энергетические спектры ряда мощных возрастаний потоков СКЛ. Из него следует совершенно очевидное указание на возрастание обогащения тяжелыми ионами состава СКЛ с ростом полной

График изменений потоков СКЛ и сбоев в работе электроники КА на геостационарной орбите. Во время мощного возрастания потока частиц СКЛ 14 июля 2000 г. (в День Бастилии) начались сбои (их временная “привязка” отмечена треугольниками) в работе бортовой электроники. (Tylka A., Dietrich W.F., Boberg P.R. Solar Events Upsets caused by heavy solar particles // IEEE, Trans. Nucl. Sci., 1996. V. 43. P. 2758–2766)



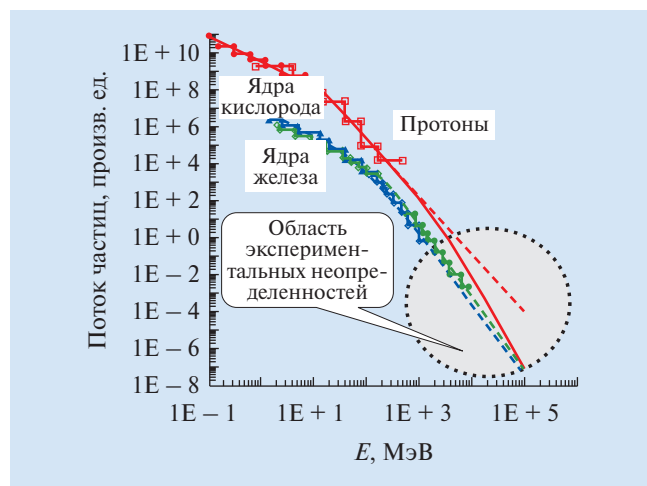
энергии, при условии аппроксимации протонного спектра в сторону больших энергий с показателем наклона, характерным для более низкоэнергичных частиц.

Однако важно подчеркнуть, что область энергий более сотен МэВ – пока “белое пятно” для прямых наблюдений протонов на КА. Этот энергетический диапазон “перекрывается” измерениями только наземных нейтронных мониторов. Результаты именно этих экспериментов используются для оценки максимальной энергии инжектируемых во время вспышек солнечных частиц. Но следует принять во внимание, что данные нейтронных мониторов не могут “дать” независимые от модельных представлений оценки относительного содержания ионов в этом диапазоне энергий. Поэтому следует констатировать, что в экспериментальном плане наши знания о ядерном составе СКЛ для самых больших их энергий на сегодня весьма ограничены.

Если же обратиться к теории генерации СКЛ, то, согласно стохастическому механизму ускорения, их максимальная энергия, генерируемая во время активных процессов ( $E_{max}$ ), должна быть пропорциональна заряду ядер  $Z$ ,

то есть относительное содержание тяжелых ионов по мере приближения к предельной энергии ускорения должно увеличиваться. В этом диапазоне энергий наблюдается очевидное обогащение состава ГКЛ тяжелыми ядрами.

Следует отметить, что, согласно данным, полученным с помощью мюонных подземных телескопов, максимальная энергия ускоренных протонов во время GLE (Ground Level Enhancement – возращание потока солнечных частиц, наблюдаемое на уровне Земли) может достигать 10–30 ГэВ. Если это так – то можно ожидать, что при генерации самых мощных солнечных событий (типа GLE) поток тяжелых ионов в составе СКЛ на “хвосте” энергетического распределения может превысить (при равных энергиях) протонный. В этом случае значения потоков ТЗЧ, используемых в современных моделях СКЛ в качестве основы для расчета сбоев, следует считать несоответствующими фактическим космическим условиям. Этот вывод относится к энергиям более сотен МэВ. Ну а если это так, то и для электронных чипов, и для биологических объектов в космосе мощные события СКЛ должны представлять гораздо большую опасность в плане инициирования сбоев и нарушений на



Спектры ядер солнечных космических лучей. Показаны усредненные по нескольким событиям спектры протонов ( $p$ ) и более тяжелых элементов ( $O$  и  $Fe$ ) в СКЛ. Интерполяция спектров к большим энергиям (пунктирные линии) демонстрирует обогащение тяжелыми элементами состава СКЛ (Ныммик Р.А. К вопросу об особенностях химического состава солнечных космических лучей // Космические исследования, 2011. Т. 49. № 2. С. 1–7)



клеточном уровне, чем менее мощные события СКЛ.

Немного успокаивает тот факт, что мощных событий на Солнце значительно меньше, чем слабых... Но вероятность генерации их все же отлична от нуля, и не учитывать этот факт при планировании долговременных космических миссий нельзя.

Рассмотрим некоторые особенности характеристик наиболее энергичных в нашей Солнечной системе частиц – ГКЛ.

## ТЯЖЕЛЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

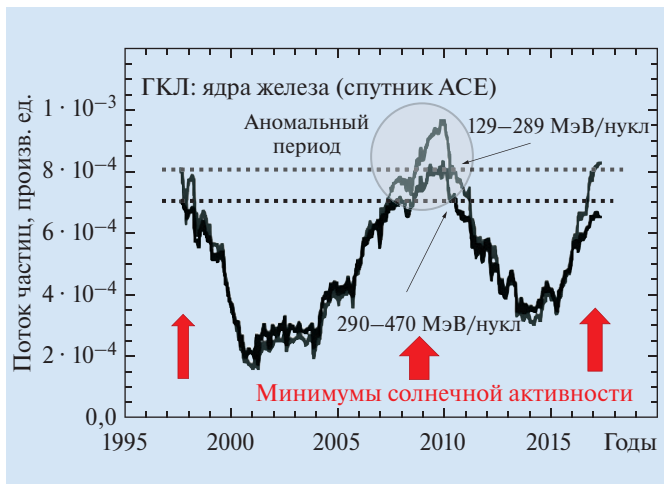
ТЗЧ в составе ГКЛ так же относительно мало, как и в СКЛ. Максимум интенсивности этих частиц приходится на диапазон энергий от 300 до 600 МэВ/нуклон. Как отмечалось выше, именно эти частицы и представляют опасность: могут возникать сбои в работе электроники и повреждения в биологических структурах.

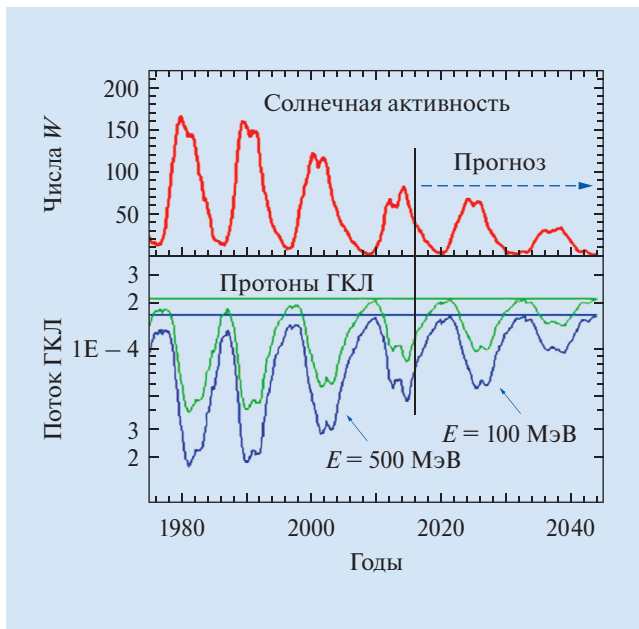
Важные особенности ГКЛ – их постоянное присутствие в космическом пространстве и характерная модуляция потока в течение солнечного

цикла: изменения солнечной активности сопровождаются синхронными – но в противофазе – изменениями потоков ГКЛ. Для расчетов частоты сбоев в микросхемах применяются модели потоков ГКЛ, описывающие временные характеристики их изменения, в зависимости от параметра солнечной активности – чисел Вольфа. Прямым доказательством воздействия ТЗЧ ГКЛ на микросхемы КА служит наблюдаемая в эксперименте корреляция между частотой сбоев и долговременной солнечно-циклической модуляцией ГКЛ. Очевидно, что ТЗЧ ГКЛ представляют особую опасность для длительных межпланетных миссий в силу именно их постоянного присутствия в космосе. Использование моделей модуляции ГКЛ для расчета сбоев позволяет выбрать оптимальный временной интервал для осуществления космических миссий. Такие модели созданы и применяются для инженерных расчетов прогноза сбоев в работе электроники на КА.

Однако здесь следует вспомнить об аномалии в проявлении солнечной активности – затянувшегося минимума солнечного цикла в 2007–2012 гг., который привел к возрастанию потока

*График изменения потоков ядер железа ГКЛ за 20 лет их наблюдений на космическом аппарате ACE (США). Также, как и для протонов ГКЛ, аномально высокие потоки ядер железа наблюдались в период с 2009 по 2011 гг. Пунктирами показаны средние уровни потоков ядер Fe с данными энергиями. (Полученные данные со спутника ACE: <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/OSS-reports/ACE-OSS-Cumulative.pdf>)*





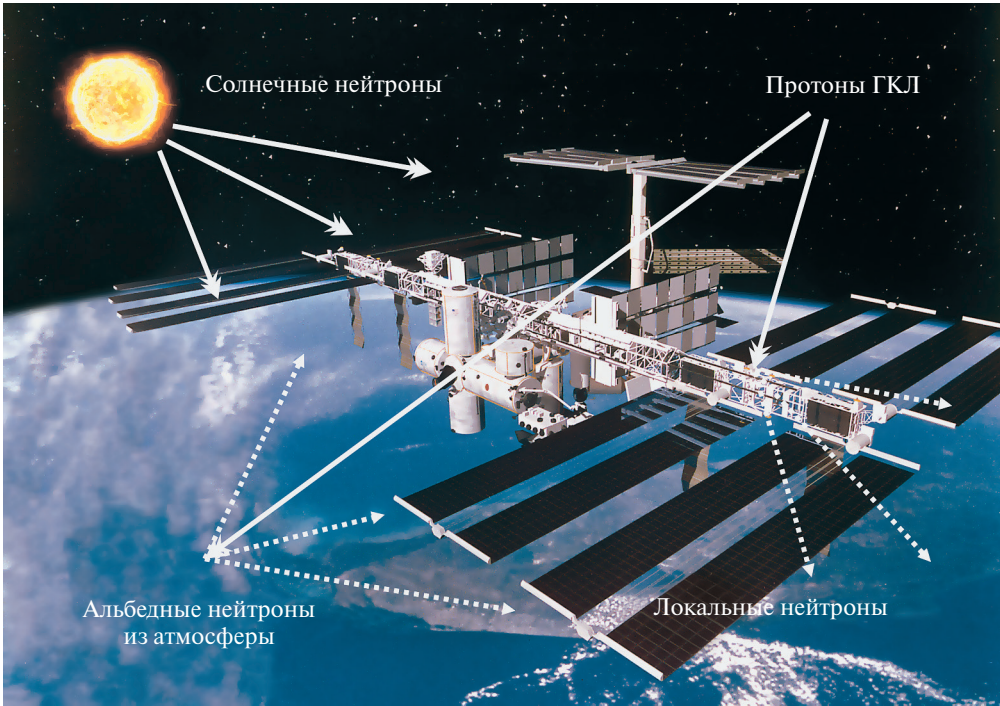
Прогноз изменения потоков ГКЛ на основе одной из моделей солнечной активности, которая предсказывает ее снижение в будущем. Согласно этому сценарию, следует ожидать увеличения потока ГКЛ, что приведет и к возрастанию радиационного риска при долговременных полетах. Две горизонтальные линии демонстрируют максимальные потоки ядер железа при числе Вольфа  $W = 0$ . (Kuznetsov N., Popova N., Panasyuk M. Empirical model of long-time variations of galactic cosmic ray particle fluxes // J. Geophys. Res: Space Physics, 2017. V. 2. P. 1472)

протонов ГКЛ. Аналогичная ситуация наблюдается и для ядер железа. Это – относительно короткий промежуток времени, но мы, земляне, не гарантированы от того, что он не повторится. Этот пример с определенностью указывает на то, что корректная оценка эффектов воздействия ТЗЧ сталкивается с трудностями прогностического характера (которые не учтены в существующих моделях). Поэтому их следует корректировать.

Что будет с потоками ТЗЧ ГКЛ в будущем? Этого не знает никто, но можно сделать оценки наихудшего сценария на основе моделей солнечной активности. Одна из таких моделей приведена на рисунке. Ее можно считать близкой к экстремальной, так как она демонстрирует значительное уменьшение активности Солнца в ближайшие десятилетия. Если это так и будет, то в ближайшем будущем следует ожидать повышения потока ГКЛ и, следовательно, увеличения радиационного риска длительных космических полетов.

## ВТОРИЧНЫЕ ТЯЖЕЛЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ НА ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТАХ

Следует заметить, что не только протоны и более тяжелые ядра могут быть источниками сбоев электроники и нарушений в биоструктурах на низких орбитах в околоземном пространстве (в частности, на орбите МКС). Как отмечалось выше, ТЗЧ могут возникать в результате ядерных реакций в веществе, окружающем микросхему. Вторичные нейтроны, возникающие при взаимодействии первичных ГКЛ с окружающим веществом, могут создавать тяжелые ядра, которые, в свою очередь, и будут источниками воздействия на электронику и биоструктуры. В действительности по факту ситуация с нейтронным полем еще сложнее. Источниками нейтронов в окружении КА могут стать и ГКЛ, взаимодействующие с атмосферой Земли: они генерируют потоки альбедных нейтронов,



*Формирование вблизи КА нейтронного поля, состоящего из нескольких компонентов: прямых (солнечных нейтронов); полей нейтронов, возникающих в результате взаимодействия протонов ГКЛ с поверхностью КА (локальные нейтроны); а также нейтронов, рожденных в результате взаимодействия ГКЛ с атомами атмосферы (альбедные частицы)*

приходящих от Земли, а также солнечные нейтроны – во время очень мощных событий на нашем светиле.

Для межпланетных миссий роль локальных нейтронов становится еще более существенной: в течение длительного полета КА подвергается непрерывной бомбардировке частицами ГКЛ. Нейтронный фон представляет собой значительную часть накопленной радиационной дозы, поэтому она становится довольно существенной при полетах большой продолжительности. Ее величина (помимо времени полета) зависит от массы КА, а так как ожидаемая масса пилотируемого КА (к примеру, для марсианских миссий) составит десятки тонн – поток вторичных нейтронов ожидается весьма

большим. Следовательно, и частота сбоев от вторичных ТЗЧ должна будет увеличиться.

## “ВТОРИЧНЫЕ” ТЯЖЕЛЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ И МАРСА

Для посадочных модулей и долговременных станций на поверхности Луны и Марса в расчетах нейтронного фона следует учитывать как свойства самого грунта, так и наличие (отсутствие) атмосферы. Как отличаются энергии вторичных нейтронов на Марсе и на Луне?

Марс (так же, как и Земля) имеет атмосферу, но слабую. Именно наличие атмосферы и дает возможность

полагать, что на Марсе нейтронный фон будет представлен более энергичными частицами – вплоть до 1 ГэВ (по сравнению с Луной); вследствие роста вероятности ядерных реакций с увеличением энергии вторичных нейтронов, генерируемых потоками ГКЛ, можно ожидать более эффективного – нежелательного – воздействия вторичных ТЗЧ. Это чрезвычайно важно для оценки частоты сбоев в работе электроники и эффективности воздействия на биологические структуры.

Следует подчеркнуть, что вторичные нейтроны – не единственный источник радиационной опасности в плане возникновения сбоев электроники и повреждений биологических структур. Выше отмечалось, что локальные повреждения могут создаваться и протонами: последние могут генерироваться при взаимодействии протонов ГКЛ с лунным и марсианским грунтом, причем с ростом толщины грунта поток вторичных частиц – нейтронов – должен возрасти до определенной глубины, в то время как поток первичных протонов ГКЛ – уменьшаться. Отсюда следует вывод, что при создании как “поверхностных”, так и “подповерхностных” станций обитания человека на Луне и Марсе требуется тщательно рассчитывать радиационные поля различной природы.

Источником вторичных частиц на Луне и Марсе являются не только ГКЛ. СКЛ – очевидный источник вторичной радиации для этих объектов Солнечной системы. Луна не имеет магнитного поля, и, соответственно, ее поверхность подвергается прямому воздействию СКЛ. Марс имеет слабое магнитное поле, которое не может эффективно “отклонить” потоки солнечных частиц. Следовательно,

СКЛ – дополнительный источник радиационного риска при осуществлении дальних космических миссий.

---

## ПРОБЛЕМА ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ПЛАНИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

---

Необходимо сделать очевидный вывод: в настоящее время любые оценки одиночных сбоев, полученные либо в ходе экспериментов на ускорительных и других (например, на лазерных или с использованием источников радиоактивных излучений) установках и тем более – расчетным путем носят приблизительный, оценочный характер – в силу прежде всего ограниченности наших знаний о механизмах самого воздействия частиц на вещество.

Проблема усугубляется еще и тем, что космический аппарат подвергается облучению космической радиации, которая по своей природе многокомпонентна, причем каждая составляющая имеет свои, особенные простран-

венно-энергетические, массовые и временные характеристики, которые невозможно воспроизвести в условиях наземного эксперимента. Возникает вопрос: как минимизировать радиационный риск, обусловленный ТЗЧ? Можно рассмотреть

следующие рекомендации, которые, конечно, необходимо уточнять по мере накопления наших знаний.

Для того чтобы минимизировать частоту сбоев в работе электроники и тем самым снизить радиационный риск, скорее всего, целесообразно проводить радиационное тестирование на стадии разработки микросхем, а не испытания готовых изделий. Применение

*Вторичные нейтроны – не единственный источник радиационной опасности в плане возникновения сбоев электроники и повреждений биологических структур*



специальных конструкционных материалов, схем резервирования и программного обеспечения вместе с радиационным тестированием на стадии разработки – конкретный путь к минимизации сбоев и снижению радиационного риска для космической электроники. Сложный состав космической радиации, разнообразие ее энергетических характеристик и временных вариаций свидетельствует о необходимости проведения натуральных испытаний электроники в условиях космического полета для адекватной оценки радиационных рисков – в дополнение к наземным ее отработкам.

То, что можно сделать для электроники – по естественным причинам невозможно для биологических объектов, включая человека. Вряд ли возможно скорректировать (изменить структуру, скажем, ДНК), сделав ее нечувствительной к ТЗЧ. Здесь возможен только путь исследования механизмов воздействия ТЗЧ на биологические структуры на клеточном уровне и, как следствие, оценка радиационных рисков. Поэтому оптимальный и наиболее эффективный способ минимизации риска от ТЗЧ – оптимизация планирования космических миссий. Она должна включать следующие рекомендации:

– запрет (или ограничение) проведения ответственных операций на борту КА во время его попадания в наиболее интенсивное поле ТЗЧ (например, при пролете над ЮАА);

– корректировка орбиты, выход человека в космос и другие подобные работы в таких районах должны быть исключены или ограничены по времени. То же относится и к периодам мощных солнечных вспышек;

– для околоземных орбит – там, где наблюдается проникновение мощных потоков СКЛ (это происходит в основном в полярных и авроральных областях на высоких широтах) – ответственные операции также должны быть исключены;

– для человека, работающего в космосе, должны быть установлены максимальные временные пределы космического полета. Они должны быть разные – для околоземных орбит, для межпланетных перелетов, для нахождения на поверхности Луны или Марса, а также для разных периодов солнечной активности.

Можно сделать вывод о том, что именно время (*продолжительность миссии*), по сути, является наиболее эффективной “защитой” для биологических объектов от воздействия ТЗЧ в условиях космического полета.

Реклама

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

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

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1  
г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 90  
Московская обл., г. Люберцы, Октябрьский пр-кт, д. 403

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-1197 доб. 3321, 3371, 2241  
Подробная информация на сайте [www.naukapublishers.ru/history/partnership](http://www.naukapublishers.ru/history/partnership)

## 60 ЛЕТ ИСТОРИИ ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ



**В.В. ШЕВЧЕНКО,**

доктор физико-математических наук

**Ж.Ф. РОДИОНОВА,**

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394819030022

*Сотни лет образованные европейцы разделяли мнение Аристотеля, который полагал, что Луна – идеальный шар. Их даже не смущало, что на ней есть хорошо различимые пятна. Земные наблюдатели могли описывать только видимую часть Луны. Дело в том, что Луна всегда повернута к нам одной стороной. Но связано это не с тем, что она не вращается (как ошибочно полагали некоторые астрономы), а с тем, что ее движение вокруг Земли и собственное вращение за миллиарды лет синхронизированы приливным воздействием нашей планеты. Долгие века обратная сторона Луны оставалась загадкой. Выдвигались самые сумасбродные гипотезы по поводу того, что же там может быть. Одновременно трезво мыслящие ученые мужи полагали, что законы небесной механики непреодолимы и человечество никогда не увидит обратное полушарие Луны.*

### НАПЕРЕКОР ЗАКОНАМ ПРИРОДЫ

Действующие в системе Земля–Луна небесно-механические законы впервые были нарушены 2 января 1959 г., когда с помощью трехступенчатой ра-

кеты-носителя была выведена в космос автоматическая межпланетная станция (АМС) “Луна-1”. АМС достигла второй космической скорости, конечной ее задачей было попадание на Луну. По ряду причин достигнуть лунной поверхности станции не удалось, и она

прошла от нее на расстоянии примерно 6 тыс. км. Тем не менее “Луна-1” сумела выйти на гелиоцентрическую орбиту и стала первым искусственным спутником Солнца, что само по себе – выдающееся достижение.

В ходе полета этой станции было открыто такое явление, как солнечный ветер, а при помощи специальных счетчиков частиц и ионных ловушек удалось измерить его параметры. Благодаря близкому прохождению к орбите Луны было выяснено, что у спутника Земли нет значимого магнитного поля. При этом магнитометр на борту “Луны-1” обнаружил вокруг Земли радиационный пояс, впоследствии названный “поясом Ван Аллена”.

Для решения задачи прямого попадания в Луну в ОКБ-1 (КБ, руководимое С.П. Королёвым) в 1950-х годах были спроектированы и сконструированы семь аппаратов серии Е-1. АМС отправлялись на Луну без выхода на переходную орбиту. При коррекции траектории циклограммы первых аппаратов не учитывали время прохождения сигнала от командного пункта до станции. Для того, чтобы исправить эту погрешность, С.П. Королёв на последующих аппаратах прибег к помощи астрофизиков.

Очевидно, что для определения орбиты космической ракеты необходимо иметь возможность наблюдать ее положение в межпланетном пространстве. В принципе эта задача, как известно, решается двумя способами – радиофизическим и оптическим. Первый метод позволяет определять расстояние до ракеты и ее угловые координаты на небесной сфере. Обработка большого количества подобных наблюдений дает возможность определить орбиту косми-

ческой ракеты. Но точность таких определений была недостаточной. Оптические наблюдения тоже не были в полной мере совершенными. Расчет позволяет оценить “ожидаемую” яркость ракеты во время ее движения в межпланетном пространстве. Находясь на расстоянии около 100 тыс. км от Земли, ракета имеет яркость менее 14-й звездной величины. Такие слабые оптические объекты наблюдать весьма сложно. Нужно еще учесть, что космическая ракета, направленная к Луне, должна была наблюдаться на фоне довольно яркого неба, так как она была близка к Луне, находившейся в последней четверти.

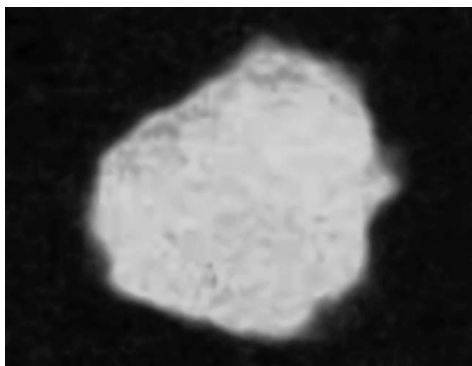
Для того чтобы обеспечить высококачественные визуальные наблю-

дения АМС на траектории движения, И.С. Шкловский и его сотрудники предложили использовать образование искусственной кометы. Какова же должна быть масса газов, находящихся в комете и вызывающих ее свечение? Оказывается, эта масса на удивление мала (разумеется, по астрономическим масштабам). Масса газов “средней” по размерам кометы, удаленной от Земли на огромное расстояние (приблизительно в 100 млн км) и легко видимой невооруженным глазом, составляет всего лишь около 1000 т.

Тут естественно возникает вопрос: сколько нужно газа, чтобы комета была видна невооруженным глазом на расстоянии, скажем, 100 тыс. км? Так как поток излучения обратно пропорционален квадрату расстояния, то, как легко убедиться, для этого нужно всего лишь около 1 кг газа!

Отсюда следует, что если с борта космической ракеты выбросить даже небольшое количество паров подходящего вещества, то образуется облако,

*В ходе полета станции “Луна-1” было открыто такое явление, как солнечный ветер, а при помощи специальных счетчиков частиц и ионных ловушек удалось измерить его параметры*



Так выглядело искусственно созданное (из паров натрия) облако, наблюдавшееся по трассе космической ракеты

которое вполне может быть наблюдаемо. В качестве такого вещества было решено воспользоваться натрием.

12 сентября 1959 г. был осуществлен пуск, который вывел на траекторию полета к Луне АМС “Луна-2”, которая по своей конструкции, набору научной аппаратуры, проводимым на ней экспериментам и измерениям окружающего космического пространства была аналогична “Луне-1”. Для уточнения траектории ракеты во время полета был проведен опыт по созданию искусственной кометы (выпуск облака паров Na).

Группа астрофизиков – авторов эксперимента по созданию искусственной кометы – осталась довольна полученными результатами. Объект хорошо наблюдался на многих станциях. 14 сентября 1959 г. в 00:02:24 станция “Луна-2” впервые в мире достигла поверхности Луны в районе Моря Дождей, вблизи кратеров Аристилл, Архимед и Автолик.

Станция буквально “врезалась” в Луну со скоростью

---

*И.С. Шкловский (в центре) и его сотрудники (слева направо): В.И. Мороз, В.Ф. Есипов, В.Г. Курт и П.В. Щеглов знакомятся с газетным сообщением о полете АМС “Луна-2”*



---

3,3 км/с, что, по оценкам специалистов, должно было создать на поверхности кратер диаметром от 15 до 130 м. Момент встречи АМС с Луной зарегистрировали зарубежные и отечественные обсерватории. Во всяком случае, в указанный момент времени радиосигналы с АМС “Луна-2” тут же прекратились, что подтверждало факт падения станции на Луну.

Результаты полета АМС “Луна-2” во всем мире были признаны выдающимся достижением современной ракетно-космической техники.

---

## ИЗВЕЧНАЯ ТАЙНА РАСКРЫТА – ЛЮДИ УВИДЕЛИ ОБРАТНУЮ СТОРОНУ ЛУНЫ

---

4 октября 1959 г. начался новый этап изучения Луны – на сложную траекторию полета была выведена АМС “Луна-3”. Этому аппарату предстояло решить историческую задачу – получить изображения невидимого с Земли лунного полушария. Через три дня космический аппарат занял положение, удобное для его съемки.





Район падения АМС "Луна-2" показан на современной обзорной карте Луны. Впоследствии эта область решением Международного астрономического союза получила название "Залив Лунника"

Обратная сторона Луны находилась прямо перед объективами фотокамер, на расстоянии 65,2 тыс. км. Солнце было позади, а Земля, свет которой мог помешать системе ориентации, оказалась далеко, в стороне. При разработке оборудования для фотосъемки и передачи изображений с борта автоматической станции была создана система ориентации, состоявшая из оптических и гироскопических датчиков, логических электронных устройств и управляющих двигателей, разворачивавших станцию в нужном направлении. Непосредственно перед съемкой система ориентации придала станции кратковременное вращательное движение, чтобы солнечные лучи равномерно прогрели ее корпус, и процессы химической обработки полученных снимков прошли

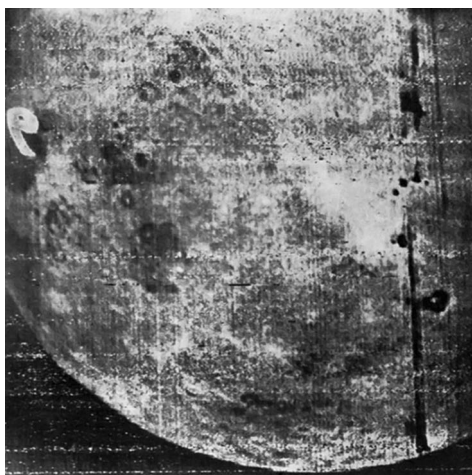
без проблем. В процессе самого фотографирования система ориентации постоянно удерживала движущуюся станцию кормой к Солнцу.

Итак, 7 октября 1959 г. автоматическая станция "Луна-3" впервые сфотографировала западную часть обратной стороны Луны. Было получено 29 кадров разного масштаба в течение 40 мин. Фотосъемка осуществлялась с помощью камеры с двумя объективами, имевшими разные фокусные расстояния. Фотопленка проявлялась, фиксировалась, промывалась и высушивалась с помощью автоматических бортовых устройств, а затем по команде с Земли изображение передавалось на наземные приемные станции. Область съемки была выбрана таким образом, чтобы на полученных снимках отображалась часть видимого полушария,



необходимая для последующей координатной привязки новых областей.

Для передачи по радиоканалам снимков на Землю станция, следуя по сложной траектории, несколько приближалась к нашей планете. Изображения передавались с помощью камеры аналоговым методом “бегущего луча”. На наземной стороне прием совершался в несколько этапов с помощью нескольких приборов: съемка камерой бегущего луча на киноплёнку, фотографирование с экрана, запись на магнитную ленту и вывод изображения на термохимическую бумагу. Записи на магнитную ленту не удавалось воспроизвести, изображения на термобумаге и снимках с экрана позволяли только оценить



*Снимки, полученные с помощью широкоугольной камеры, содержали практически полное полушарие Луны*

сюжет изображения. При полете к Луне и приеме сигналов его качество было плохим – высоки были уровни шумов. В сеансе связи, когда станция подошла ближе к Земле и можно было повторить прием с бóльшим отношением сигнал-шум, получить изображения не удалось.

Наличие шумов, естественно, мешало дешифрированию фототелевизионных изображений. Разработка методов изучения этих снимков, выявление деталей лунной поверхности, а также составление первой карты обратной стороны Луны были выполнены под руководством Ю.Н. Липского (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ) и Н.А. Соколовой (Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии) в Москве. Одновременно (и независимо) такая же работа была осуществлена под руководством А.В. Маркова (Главная астрономическая обсерватория Академии наук СССР) в Пулковке и в Харькове под руководством Н.П. Барабашова (Астрономическая обсерватория при Харьковском государственном университете им. А.М. Горького).

Подробное описание аппаратуры, методов получения изображений, дешифрирования снимков и результатов их обработки приведено в “Атласе обратной стороны Луны” (1960).

Благодаря применению оригинальной методики обработки изображений и дешифрирования, разработанной в Государственном астрономическом

*Снимки, сделанные с помощью длиннофокусной камеры, “покрывали” часть западной области обратного полушария Луны*

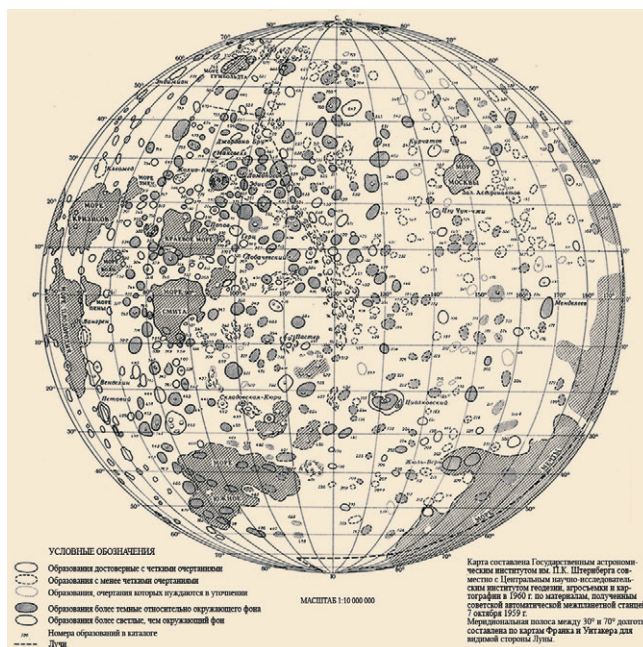
Карта обратной стороны Луны, построенная в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга МГУ

институте им. П.К. Штернберга МГУ, было выявлено много деталей рельефа. Поскольку в то время еще не существовало практики применения электронно-вычислительной техники для анализа изображений, Ю.Н. Липский разработал сложную методику фотографических преобразований оригинальных снимков. Благодаря этой методике появилась возможность в значительной мере устранить радиопомехи изображений и выявить большое число подлинных деталей лунного рельефа. Многократная повторная запись всех кадров в специально подобранных режимах работы аппаратуры (фотометрические разрезы) в последующем позволила московской группе ученых повысить возможности дешифрирования изображений. Построенная по этим данным карта содержала значительное количество образований, большинство из которых позднее были обнаружены в результате новых съемок.

Карта, построенная в Пулковской обсерватории, представляет собой схему распределения областей с различной отражательной способностью. Она содержит изображение 107 деталей, наиболее заметных на общем фоне поверхности Луны, из которых 56 образований выявлены на обратной стороне. Данная карта была дополнена

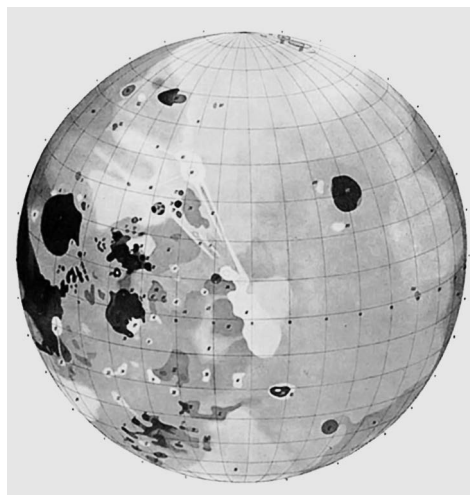
фотометрическими оценками отражательной способности различных образований, выполненными А.В. Марковым по снимкам полного диска Луны, полученного с помощью автоматической станции. Это был первый опыт фотометрического исследования на основе космических съемок.

В 1963 г. была опубликована «Карта обратной стороны Луны», состав-



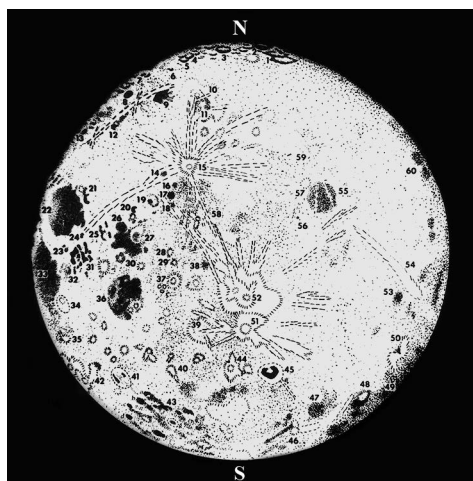
фотометрическими оценками отражательной способности различных образований, выполненными А.В. Марковым по снимкам полного диска Луны, полученного с помощью автоматической станции. Это был первый опыт фотометрического исследования на основе космических съемок.

В 1963 г. была опубликована «Карта обратной стороны Луны», состав-



Карта-схема обратного полушария Луны, построенная в Пулковской обсерватории





ленная по материалам АМС “Луна-3” Э.А. Уитакером в Аризонском университете (США).

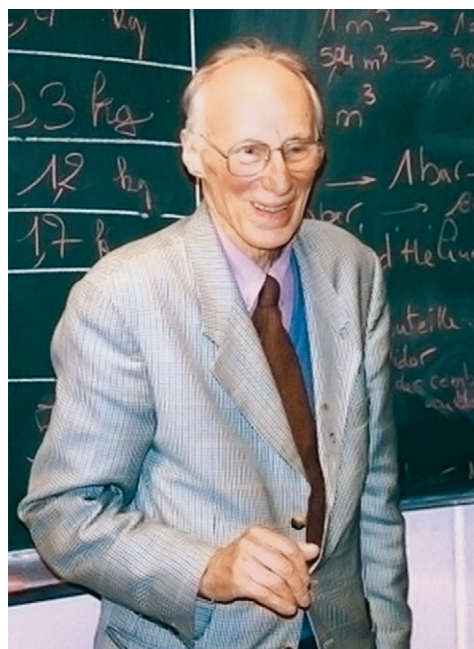
Автор использовал оригинальную технику перепроектирования лунных наземных фотографий на сферический экран, разработанную в лунно-планетной лаборатории Аризонского университета. Карта отличается большей подробностью в передаче отдельных объектов, особенно вблизи терминатора и в части видимого из точки фотографирования автоматической станции диска, восточнее меридиана  $150^\circ$  Е. Особенно подробно показаны светлые ореолы вокруг отдельных кратеров и яркие лучевые системы. Карта, составленная Э.А. Уитакером, занимает как бы промежуточное положение между насыщенной деталями картой обратной стороны, подготовленной в ГАИШ МГУ и ЦНИИГАиК, и обобщенной схемой отражательной способности сфотографированной области, построенной пулковскими астрономами.

На основе карты, опубликованной в “Атласе обратной стороны Луны”, было

“Карта обратной стороны Луны”, составленная по материалам АМС “Луна-3” Э.А. Уитакером в Аризонском университете (США)

предложено дать названия 18 крупным образованиям. После рабочей дискуссии XI Генеральная ассамблея МАС, состоявшаяся в 1961 г. в г. Беркли (США), резолюцией № 2 Комиссии 16 утвердила эти первые названия объектов на обратной стороне Луны. В список вошли такие названия, как кратеры Джордано Бруно, Максвелл, Ломоносов, Эдисон, Жолио-Кюри, Жюль Верн, Герц, Попов, Лобачевский, Пастер, Цзу Чунчжи, Менделеев, Циолковский, Скловская-Кюри, Курчатов, а также Море Москвы и Море Мечты.

Наиболее ожесточенные споры вызвало название единственного на обратном полушарии образования морского типа – “Море Москвы”. Согласно традиции, установившейся еще со времен Дж. Риччиоли (1651), названия морей должны носить абстрактный,



Знаменитый французский астроном  
О. Дольфюс



эмоциональный характер (отражают впечатление, настроение и проч.). Название “Море Москвы” нарушало все эти традиции. Дискуссии длились долго. Успокоил астрономическое сообщество и остановил споры знаменитый французский астроном О. Дольфюс, с юмором заметивший, что “Москва – это, по сути, тоже душевное состояние”.

## НЕМНОГО ИСТОРИЧЕСКИХ ФАКТОВ

Над подготовкой полета АМС “Луна-3” работало много людей. Но самый первый результат разочаровал: изображения получились не совсем такими, как ожидали. Полнолунное освещение обратной стороны нашего естественного спутника во время съемок, с последующим наложением многочисленных помех от неблагоприятного соотношения “сигнал–шум” сделали полученные изображения практически непригодными для изучения. С.П. Королёв, по свидетельству современников, был очень огорчен этой ситуацией. Действительно, техника сработала по плану, а показать качественный результат нет возможности.

По воспоминаниям очевидцев, И.С. Шкловский, который после успеха с искусственной кометой пользовался большим авторитетом у С.П. Королёва, предложил ему привлечь к обработке снимков Ю.Н. Липского. При этом следовало учесть, что тогдашние ведущие астрономы А.Б. Северный, А.А. Михайлов и другие отказывались работать

с полученными АМС “Луна-3” изображениями из-за их низкого качества.

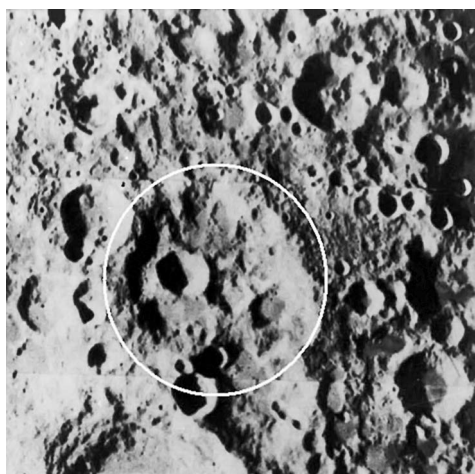
С.П. Королёв обратился к Ю.Н. Липскому, и положение было исправлено. После упорной и кропотливой работы Юрия Наумовича и его сотрудников были подготовлены материалы для построения первой карты обратной стороны нашей небесной соседки и первого лунного глобуса. Правда, на глобусе остался сектор, который надо было заполнить данными, но уже в результате новых запусков.

По признанию многих специалистов, работавших тогда в ракетно-космической отрасли и имевших прямое отношение к полету АМС “Луна-3” и полученным результатам, Юрий Наумович Липский (и руководимый им коллектив астрономов) сыграли значительную роль в успешном завершении всей миссии первого фотографирования обратной стороны Луны.

Результаты Ю.Н. Липского, фактически первого исследователя обратной стороны Луны, были признаны всем астрономическим сообществом. В 1979 г. Международный астрономический союз утвердил название “Липский” для крупного (диаметр 91,2 км) кратера, расположенного практически в самом центре обратного полушария Луны.



*Первый исследователь снимков обратной стороны Луны – Ю.Н. Липский*



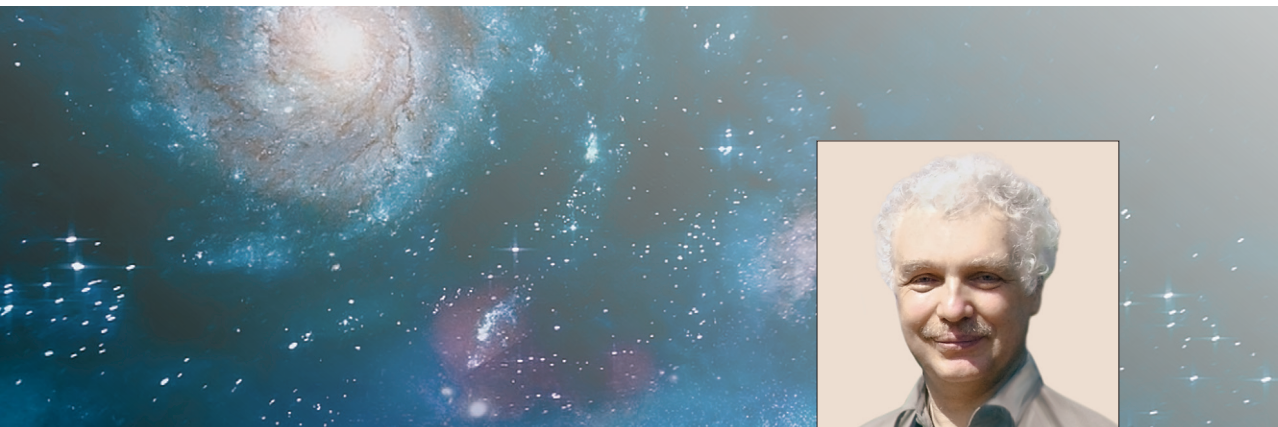
*Кратер Липский в центре обратного полушария Луны, названный так решением Международного астрономического союза*

Кратер Липский имеет полигональную форму, он значительно разрушился за длительное время своего существования: вал сглажен, перекрыт множеством кратеров различного размера и трудно различим на фоне окружающей местности. Юго-восточная часть вала перекрыта крупным спутниковым кратером Дедал С, северо-западная – спутниковым кратером Липский V. Дно чаши кратера практически полностью занято остатками крупных кратеров, в западной части чаши находится спутниковый кратер Липский S.

Окончательные итоги первого фотографирования обратной стороны Луны были подведены на международном симпозиуме “Луна”. Это научное мероприятие состоялось в декабре 1960 г. в Ленинграде (в Пулковско) по инициативе Международного астрономического союза. Участникам был

представлен только что вышедший из печати первый в мире “Атлас обратной стороны Луны” под редакцией Н.П. Барабашова, А.А. Михайлова и Ю.Н. Липского. Приведем некоторые высказывания известных ученых на этом симпозиуме. Например, лауреат Нобелевской премии Г. Юри (США) отметил следующее: «Фотографии обратной стороны Луны, прежде всего, являются итогом выдающегося исследования, в котором заинтересованы не только ученые. Отрадно, что человек успешно решил эту задачу и увидел, что представляет собой невидимая доселе часть Луны. С чисто научной точки зрения, настоящие снимки значительно изменяют наши мнения о Луне. Интересным фактом является отсутствие больших морей. Возможно, это указывает на то, что моря являются результатом столкновения больших тел с лунной поверхностью». Профессор Манчестерского университета З. Копал (Великобритания) сказал: «Фотографии обратной стороны Луны, полученные советской космической станцией в октябре 1959 г., являются, без сомнения, наиболее знаменательным вкладом в астрономию Солнечной системы за последнее десятилетие, если не вообще всего нашего поколения. Они представляют выдающееся событие, с которым следует поздравить советских ученых».

# КОСМИЧЕСКИЕ ПОЗИТРОНЫ



**А.М. БЫКОВ,**

доктор физико-математических наук  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

DOI: 10.7868/50044394819030034

**Статья посвящена исследованию одной из интереснейших задач астрофизики высоких энергий – проблемы происхождения и эволюции космических позитронов. Приведены результаты прямых и косвенных наблюдений космических позитронов на внеатмосферных космических аппаратах. Обсуждаются основные возможные источники позитронов, связанные с распадом нестабильных ядер, произведенных в процессах синтеза химических элементов в звездах; с рождением электрон-позитронных пар в магнитосферах пульсаров и с неупругими взаимодействиями космических лучей с межзвездной средой. Позитроны могут быть продуктами аннигиляции и взаимодействий гипотетических частиц темной материи, и поэтому наблюдения космических позитронов используют для выбора возможных моделей темной материи.**

---

## ОТКРЫТИЕ ПОЗИТРОНА

---

Построение релятивистской квантовой теории электрона в 1928 г. привело Поля Дирака к элегантной гипотезе о существовании положительно заряженной частицы с массой электрона и спином  $1/2$ , являющейся античастицей по отношению к электрону. Позднее ее назвали позитроном. В 1920-х годах в ленинградском Физтехе с по-

мощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, Д.В. Скобельцын уже проводил исследования ливневых частиц, порожденных в атмосфере космическими лучами, а в 1932 г. Карл Андерсон в эксперименте с камерой Вильсона открыл частицу, имевшую массу электрона, но отличающуюся от него противоположным направлением вращения в магнитном поле и, следовательно, имевшую положительный

заряд. Это было блестящим подтверждением теории Дирака и экспериментальным открытием позитрона – первой античастицы. В 1936 г. Андерсону была присуждена Нобелевская премия по физике (одновременно с Виктором Гессом, открывшим космические лучи в 1912 г.). Сегодня процессы рождения позитронов в неупругих столкновениях ускоренных частиц и взаимодействие позитронов со средой изучаются в наземных ускорителях и коллайдерах, но роль космических позитронов по-прежнему очень существенна для понимания природы астрофизических объектов и проверки различных моделей темной материи. Об этой важной их роли и пойдет речь.

Наблюдаемое сегодня глобальное преобладание вещества над антивеществом, а также наблюдаемое малое (порядка  $10^{-9}$ ) значение отношения плотности барионов к плотности фотонов связывают с малой асимметрией барионов и антибарионов в ранней Вселенной. В космологических моделях данная асимметрия обусловлена некоторыми различиями в законах взаимодействия частиц и античастиц, что находит подтверждение в лабораторных экспериментах. Эта идея, высказанная академиком А.Д. Сахаровым в 1967 г. в статье под названием “Нарушение CP-инвариантности. C-асимметрия и барионная асимметрия Вселенной”, нашла развитие в ряде современных теорий. Поскольку позитроны имеют вторичное происхождение, они могут быть использованы для диагностики различных фундаментальных физических процессов, в том числе для поиска продуктов взаимодействия частиц темной материи.

*Источниками позитронов на Земле, помимо галактических космических ливней в атмосфере и ускорителей релятивистских частиц, являются распады радиоактивных ядер*

Источниками позитронов на Земле, помимо галактических космических ливней в атмосфере (вызванных потоками космических лучей) и ускорителей релятивистских частиц, являются распады радиоактивных ядер. В 1934 г. в лабораторных экспериментах О. Клемперера и Дж. Чедвика (Великобритания) были впервые зарегистрированы гамма-кванты с характерной энергией 511 кэВ, свидетельствовавшие об аннигиляции позитронов и электронов. Реакция аннигиляции позитронов и электронов имеет несколько возможных каналов, вероятности реализации которых зависят от энергии позитронов и свойств мишени. Эти обстоятельства, как мы увидим ниже, весьма существенны для поиска аннигиляционного излучения космических объектов.

---

## АННИГИЛЯЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

---

В начале 1970-х годов в результате первых запусков высотных баллонов с гамма-детекторами на основе кристаллов NaI было обнаружено интенсивное гамма-излучение, исходящее из внутренней области Галактики с энергиями фотонов в некотором интервале около 470 кэВ (что заметно ниже энергии 511 кэВ, соответствующей энергии покоя аннигилирующих электронов и позитронов). Поэтому интерпретация гамма-квантов, детектированных в первых экспериментах, была неоднозначной. В дальнейшем выяснилось, что энергетическое разрешение детекторов NaI не позволяет выделить узкую линию 511 кэВ из более широкого непрерывного спектра, связанного с аннигиляцией позитрония.



Международная гамма-обсерватория ИНТЕГРАЛ (INTEGRAL). Изображение выполнено ESA.



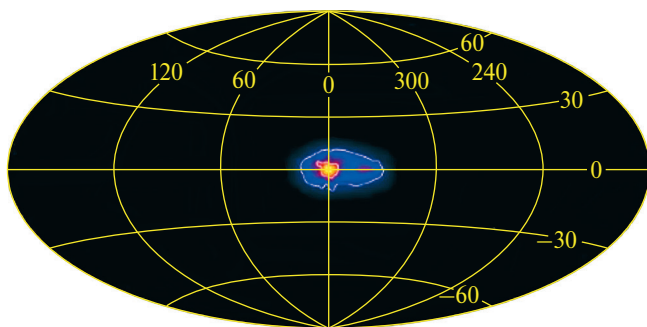
Позитронием называется связанное состояние электрона и позитрона – подобное атому водорода, но с позитроном вместо протона. Энергия связи позитрония в два раза меньше энергии связи атома водорода. Поэтому формирование позитрония в значительных количествах возможно только после охлаждения позитронов в достаточно холодной межзвездной среде. Существует две основные конфигурации позитрония: орто- (с параллельными спинами электрона и позитрона) и парапозитроний (если эти спины антипараллельны). Позитроний, в отличие от атома водорода, быстро аннигилирует, поскольку высокая вероятность одновременного нахождения частиц в очень малой окрестности друг друга. Парапозитроний за время порядка  $10^{-10}$  саннигилирует в два гамма-кванта, с образованием узкой линии около 511 кэВ. Аннигиляция ортопозитрония происходит за время около  $10^{-7}$  с и сопровождается, в основном, излучением трех гамма-квантов, формирующих непрерывный спектр, с существенной долей фотонов с энергиями ниже 511 кэВ. Совокупность этих процессов формирует спектр излучения аннигиляции позитрония, заметно отличающийся от узкой линии с энергией 511 кэВ.

Для разрешения отдельных спектральных компонент аннигиляционного излучения используются германиевые детекторы, обладающие хорошим энергетическим разрешением. В частности, гамма-спектрометр SPI на борту

международной гамма-обсерватории ИНТЕГРАЛ (INTEGRAL – International Gamma Ray Astrophysics Laboratory) имеет энергетическое разрешение около 2 кэВ на энергии 1,3 МэВ.

Эта обсерватория была построена в рамках проекта Европейского космического агентства (ESA) с участием Российской академии наук и NASA и выведена на орбиту при помощи ракеты-носителя “Протон” 17 октября 2002 г. с космодрома Байконур. Вот уже более 16 лет обсерватория надежно работает, и с нее продолжают поступать уникальные научные данные.

Длительные наблюдения Галактики с помощью гамма-обсерватории INTEGRAL и обсерватории им. А. Комптона (до 2000 г.) позволили построить карты Галактики в гамма-линиях радиоактивных элементов  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{60}\text{Fe}$  и в аннигиляционной линии 511 кэВ. Карта Галактики в линии 511 кэВ (с учетом континуума от аннигиляции ортопозитрония), построенная Г. Вейденспойнтнером и др. (2006) на основе этих наблюдений, приведена на рисунке. Наблюдаемый поток излучения в аннигиляционной линии составляет порядка  $10^{-3}$  фотонов/см<sup>2</sup>/с, что указывает на скорость аннигиляции позитронов порядка  $2 \cdot 10^{43}$  событий в секунду



Карта Галактики в гамма-лучах с энергией около 511 кэВ, соответствующей аннигиляции позитронов и электронов в межзвездной среде. Построена по данным наблюдений, выполненных с помощью международной орбитальной гамма-обсерватории ИНТЕГРАЛ. (ESA/Integral/MPE/Г. Weidenspointner и др.)

(в предположении, что источник основной доли фотонов находится на расстоянии около 8 кпк).

Если наблюдаемое аннигиляционное излучение квазистационарно, то в центральной части Галактики должны быть объекты, суммарно производящие порядка  $2 \cdot 10^{43}$  позитронов в секунду. Построение карты аннигиляционного излучения Галактики с более высоким пространственным разрешением позволит в будущем установить природу этих источников и механизмы рождения позитронов в них.

Природа космических источников позитронов может быть весьма различной. Позитроны могут рождаться при распаде нестабильных изотопов химических элементов, синтезированных звездами, при неупругих процессах взаимодействия релятивистских частиц, а также при распадах и аннигиляции гипотетических частиц, составляющих темную материю. Некоторые из этих возможностей мы коротко обсудим далее.

Галактические космические лучи имеют широкий спектр энергий, а плотность их энергии, в основном, определяется умеренно релятивистскими ядрами. Поэтому неупругие столкновения космических лучей с межзвездным газом и плотными атмосферами звезд и планет сопровождаются рождением релятивистских позитронов. Позитроны могут иметь ультрарелятивистские энер-

гии, достигающие петаэлектронвольт ( $10^{15}$  эВ), чаще всего в окрестности космических ускорителей частиц – таких, как пульсар в Крабовидной туманности. Однако во многих случаях позитроны рождаются с энергиями, близкими к энергии покоя частицы, то есть умеренно релятивистскими.

Такие позитроны образуются, например, в процессе распада неустойчивых изотопов, произведенных при синтезе химических элементов в звездах. В результате мощных вспышек сверхновых и новых звезд, а также посредством звездных ветров молодых массивных звезд синтезированные элементы затем попадают в разреженную межзвездную среду.

## ПОЗИТРОНЫ В СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗДАХ

В ходе своей эволюции звезды синтезируют несколько химических элементов, служащих важными источниками позитронов в межзвездной среде:  $^{56}\text{Ni}$ ,  $^{44}\text{Ti}$  и  $^{26}\text{Al}$ . В конце жизни, при взрыве сверхновой, звезды “сбрасывают” свои оболочки, содержащие эти элементы, в окружающую среду. Количество “выброшенного” звездой никеля варьируется от  $\sim 0,1$  массы Солнца (при взрыве, сопровождающем коллапс массивной звезды) до более чем  $0,5\text{--}0,6$  масс

Сверхновая звезда SN 1994D  
на краю галактики NGC 4526  
(в нижнем левом углу).  
Изображение получено  
с помощью космического  
телескопа "Хаббл".  
(NASA/ESA/Hubble Space  
Telescope)



Солнца (при взрыве маломассивной звезды – прародителя сверхновой типа Ia).

Так, с помощью гамма-спектрометра SPI на борту обсерватории ИНТЕГРАЛ обнаружены гамма-линии от сверхновой 2014J типа Ia в близкой галактике M82 (в 12 млн св. лет, или в 3,5 млн пк от Земли). Измерение потока гамма-квантов от цепочки распада никеля  $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$  позволило Е.М. Чуразову, Р.А. Сюняеву и их коллегам (Институт космических исследований РАН) определить, что масса никеля, синтезированного в сверхновой 2014J, составляет  $0,6 \pm 0,1$  массы Солнца. Кроме германиевого гамма-спектрометра SPI обсерватория ИНТЕГРАЛ оборудована камерой ISGRI, которая имеет достаточную чувствительность для построения изображений источников жесткого рентгеновского излучения. Детектирование галактического остатка сверхновой Кассиопея А с помощью камеры ISGRI в линиях жесткого рентгеновского излучения позволило М. Рено с коллегами оценить массу радиоактивного  $^{44}\text{Ti}$  в оболочке этой сверхновой: она равна  $(1,6 + 0,6 - 0,3) \times 10^{-4}$  массы Солнца. Процессы радиоактивного распада никеля и титана – важнейший источник рождения позитронов в межзвездной среде.

Ядра  $^{56}\text{Ni}$ , будучи радиоактивными, захватывают электрон и превращаются в ядра радиоактивного  $^{56}\text{Co}$ , которые

затем распадаются с образованием стабильного изотопа железа –  $^{56}\text{Fe}$ . Реакция распада кобальта в железо идет по нескольким каналам, в том числе с испусканием позитронов. Позитронный канал распада  $^{56}\text{Co}$  имеет вероятность примерно 19% и испускает позитроны с непрерывным спектром, до максимальной энергии около 1,45 МэВ, что соответствует умеренно релятивистским скоростям.

Сверхновые типа Ia (их часто называют термоядерными), вероятно, являются продуктом эволюции белых карликов в тесных двойных звездных системах. Это могут быть двойные системы с одним белым карликом, который аккрецирует вещество более массивной звезды-компаньона, или системы с двумя сливающимися белыми карликами. Источник энергии, обеспечивающий очень высокую наблюдаемую светимость сверхновой в первые месяцы после вспышки, – распад синтезированного  $^{56}\text{Ni}$ . Распад одной массы Солнца  $^{56}\text{Ni}$ , который в конечном итоге превращается в железо  $^{56}\text{Fe}$  (по цепочке

распада  $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ ), согласно расчету Д.К. Надежина, составляет примерно  $6 \times 10^{49}$  эрг от распада  $^{56}\text{Ni}$  и  $1,3 \times 10^{50}$  эрг от распада  $^{56}\text{Co}$ . Это позволяет объяснить энергетику наблюдаемого излучения термоядерных сверхновых. Рассчитанное выделение энергии, а также знание периодов радиоактивного распада этих изотопов позволяют объяснить характерные особенности наблюдаемых кривых блеска некоторых сверхновых. Так, период полураспада  $^{56}\text{Ni}$  (около 6 сут) определяет время выхода кривой блеска на пик светимости, а более продолжительный (порядка 77 сут) период полураспада  $^{56}\text{Co}$  определяет скорость последующего спада этой кривой. Как уже отмечено выше, цепочка распадов  $^{56}\text{Ni}$  сопровождается рождением позитронов, заметная часть которых аннигилирует в оболочке звезды.

Более легкие нестабильные элементы, выброшенные с оболочкой сверхновой ( $^{44}\text{Ti}$  и  $^{26}\text{Al}$ ), имеют большие периоды полураспада: порядка 60 лет и 1 млн лет соответственно. (Отметим, что распад  $^{44}\text{Ti}$  в  $^{44}\text{Ca}$  происходит через промежуточный захват электрона с внутренней электронной оболочки иона  $^{44}\text{Ti}$ , и потому время полураспада зависит от ионизационного состояния иона титана и свойств окружающей среды.) Распады ядер с коротким временем жизни ( $^{56}\text{Ni}$  и  $^{44}\text{Ti}$ ) происходят в “сброшенной” оболочке сверхновой, тогда как ядра с существенно более долгим временем жизни ( $^{26}\text{Al}$  и др.) могут распространяться в межзвездной среде на расстояния до 100 пк от источника. Поэтому ядра  $^{26}\text{Al}$  служат “распределенными” источниками позитронов в межзвездной среде.

*Вспышки сверхновых, сопровождающие коллапс массивных звезд, как правило, оставляют после себя компактный звездный остаток (нейтронную звезду или черную дыру), который, в свою очередь, сам может стать мощным источником позитронов*

Несколько отвлекаясь от обсуждения сверхновых звезд как космических источников позитронов, обратим внимание на интересную и не решенную до конца проблему аномально высокого содержания изотопа  $^{26}\text{Mg}$  в богатых

кальцием и магнием включениях самого древнего из известных метеоритов – Альенде (Allende). Происхождение этого метеорита, найденного в Мексике, связывают с формированием Солнечной системы, поэтому возраст данных включений, по оценкам, превышает 4,5 млрд лет. Поскольку вероятный источник  $^{26}\text{Mg}$  – распад радиоактивного  $^{26}\text{Al}$ , то наблюдаемая аномалия содержания изотопа  $^{26}\text{Mg}$

может свидетельствовать о формировании Солнечной системы в облаке межзвездного вещества, обогащенного  $^{26}\text{Al}$  благодаря близкой вспышке сверхновой или интенсивному звездному ветру массивной звезды. Вспышки сверхновых, сопровождающие коллапс массивных звезд, как правило, оставляют после себя компактный звездный остаток (нейтронную звезду или черную дыру), который, в свою очередь, сам может стать мощным источником позитронов.

---

## ПОЗИТРОНЫ В РЕЛЯТИВИСТСКИХ ВЕТРАХ ПУЛЬСАРОВ

---

Важный процесс, отвечающий за образование космических позитронов, – рождение электрон-позитронных пар при движении энергичного фотона (гамма-кванта) в кулоновском поле ядра или в магнитном поле. Сильные электромагнитные поля характерны для окрестности вращающихся



черных дыр и молодых нейтронных звезд-пульсаров с их мощными магнитосферами. Ниже в качестве примера мы рассмотрим источники космических позитронов в окрестностях пульсаров.

Молодые нейтронные звезды обладают сильным магнитным полем (порядка  $10^{12}$ – $10^{15}$  Гс), они быстро вращаются (с периодом от миллисекунд до нескольких секунд). Сочетание этих свойств приводит к тому, что приходящее на Землю от такой звезды излучение зачастую пульсирует – такую звезду именуют пульсаром. Мощное электрическое поле в приполярной области пульсара способно “вырывать” из поверхности звезды электроны и ускорять их до релятивистских энергий. Релятивистские электроны при движении вдоль искривленных силовых линий магнитного поля приполярных областей излучают энергичные гамма-кванты, способные порождать в этом же самом поле вторичные электрон-позитронные пары. Вторичные электроны и позитроны вновь ускоряются и излучают гамма-кванты, создающие уже новые пары.

Такие каскадные процессы в сильных магнитных полях пульсаров способны порождать до  $10^5$  электрон-позитронных пар на один “вырванный” из звезды электрон. Образовавшаяся электрон-позитронная

плазма заполняет магнитосферу нейтронной звезды и удерживается в ней – в области замкнутых силовых линий магнитного поля. Вращение звезды способствует истечению этой плазмы из магнитосферы в области открытых силовых линий поля. Впоследствии, ускоряясь, эта плазма формирует релятивистский, сильно замагниченный холодный ветер, большая часть энергии которого сосредоточена в эквато-

риальной плоскости вращения нейтронной звезды. Электрон-позитронный ветер может распространяться от нейтронной звезды на расстояния до десятой доли светового года.

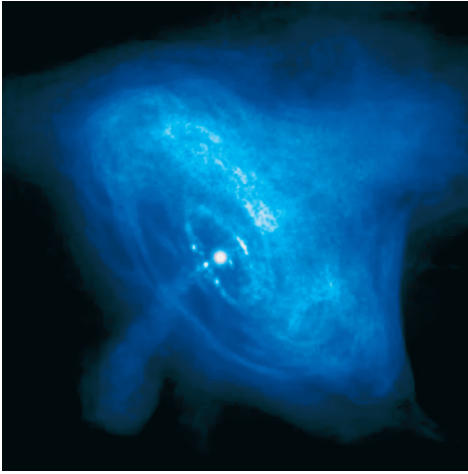
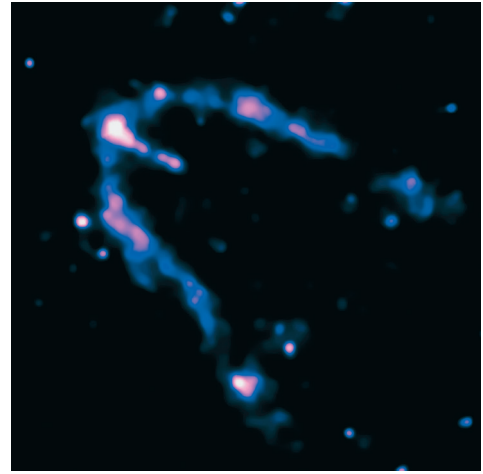
Наиболее изученная нейтронная звезда – пульсар в Крабовидной туманности – имеет период вращения около 33 мс; радионаблюдения позволяют определить скорость замедления этого вращения и тем самым рассчитать потери вращательной энергии пульсара, которые достигают  $2 \times 10^{38}$  эрг/с. Значительная их часть расходуется на формирование релятивистского ветра из электронов и позитронов. Расширяющийся релятивистский ветер пульсара тормозится за счет работы сил давления окружающей среды. Поскольку скорость ветра значительно превышает скорость звука во внешней среде, при торможении ветра образуется ударная волна. Из-за того что большая часть энергии ветра сосредото-

чена около экваториальной области, фронт ударной волны имеет несферическую форму – он сильно выпячен в области экватора и сильно сплюснут у полюсов. В окрестности ударного фронта движение большинства частиц плазмы существенно тормозится, и направления скоростей частиц становятся почти изотропными

(то есть плазма нагревается), при этом некоторая часть электронов и позитронов вовлекается в процессы ускорения до высоких энергий.

В случае Крабовидной туманности эти энергии, вероятно, достигают  $10^{15}$  эВ. Как “нагретые”, так и “ускоренные” электроны и позитроны образуют вокруг породившего их пульсара облако плазмы (саму туманность), в магнитном поле которого они вращаются,

*Образовавшаяся электрон-позитронная плазма заполняет магнитосферу нейтронной звезды и удерживается в ней – в области замкнутых силовых линий магнитного поля*

*а**б*

*Синхротронные туманности вокруг пульсаров Краб (слева – фото NASA/CXC/ASU/J.Hester и др.) и пульсар Геминга (справа – фото из “The Astrophysical Journal”, 2017. V. 835, статья 66). Существенные различия в морфологии этих туманностей связаны с тем, что пульсар Геминга движется через межзвездную среду со сверхзвуковой скоростью, что сопровождается формированием головной ударной волны. Рентгеновские изображения получены в диапазоне 0,5–8,0 кэВ с помощью космической обсерватории “Чандра” (NASA)*

испускает синхротронное излучение и постепенно теряет свою энергию. Синхротронные туманности наблюдаются вокруг многих пульсаров, причем зачастую – во всем спектральном диапазоне: от радио- до гамма-излучения.

На рисунке показано изображение Крабовидной туманности в рентгеновских лучах (в диапазоне 0,5–8,0 кэВ), полученное орбитальной рентгеновской обсерваторией “Чандра” (“Chandra”, NASA). Рентгеновские фотоны, формирующие это изображение, испускаются высокоэнергичными электронами и позитронами с характерными энергиями порядка  $10^{12}$  эВ в магнитном поле туманности. На рисунке хорошо различимы структуры, характерные для пульсарных туманностей: яркое кольцо ударной волны остановки ветра; тор, образованный экваториальным истечением ветра; узкие струйные выбросы (джеты) вдоль оси симметрии туманности, свя-

занные с “фокусировкой” приосевых плазменных потоков сильным тороидальным магнитным полем туманности.

Так как взрыв сверхновой звезды может быть асимметричным и сопровождаться анизотропным разлетом вещества, рождаемый при взрыве пульсар может испытать “эффект отдачи” и приобрести заметную собственную скорость относительно межзвездной среды. Эта скорость зачастую превышает скорость звука в среде, и тогда туманность движущегося пульсара формирует головную ударную волну. Изображение туманности Геминга, также полученное в обсерватории “Чандра”, имеет структуру, заметно отличающуюся от Крабовидной туманности. Наличие головной ударной волны может существенно повысить эффективность преобразования энергии пульсарного ветра в электроны и позитроны максимально высоких энергий. Благодаря

---

## ПОЗИТРОНЫ И АННИГИЛЯЦИЯ ТЕМНОГО ВЕЩЕСТВА

---

этому спектр излучения таких туманностей становится очень жестким (содержит относительно большую долю высокоэнергичных фотонов). Позитроны и электроны сверхвысоких энергий уходят из таких туманностей в межзвездную среду и могут достигать орбиты Земли (если на пути от пульсара к Земле они не успеют потратить значительную долю своей энергии на синхротронное и комптоновское излучение). Поэтому только достаточно близкие пульсары (например, PSR J0437-4715, PSRB0656+14 и пульсар Геминга) могут вносить вклад в потоки позитронов, наблюдаемые на орбите Земли.

В заключение отметим, что коллапс массивной звезды может заканчиваться рождением не только нейтронной звезды, но и черной дыры звездной массы. Если черная дыра рождается в двойной звездной системе в паре с обычной звездой-компаньоном, то она может “перетягивать” на себя вещество этой звезды. Захваченное звездное вещество из-за наличия у него орбитального момента движения находится на близких к черной дыре орбитах, формируя так называемый аккреционный диск. Во многих релятивистских объектах он оказывается ярким источником рентгеновского излучения. В процессе аккреции на черную дыру вдоль оси вращения диска формируются узкие релятивистские истечения в виде струй. Такие истечения (джеты) наблюдаются у ряда звездных источников рентгеновского и гамма-излучения – таких, как SS433 и GRS1915+105. Подобные объекты называют микроквасарами. Процессы в их релятивистских истечениях также могут быть существенными источниками позитронов в межзвездной среде.

*Если черная дыра рождается в двойной звездной системе в паре с обычной звездой-компаньоном, то она может “перетягивать” на себя вещество этой звезды*

На наличие в космосе темной материи (составляющей, по оценкам, порядка 25% массы Вселенной) указывает ряд наблюдательных фактов. Среди них – особенности радиального распределения скорости вращения вещества в галактиках и аномалии скорости движения самих галактик в массивных скоплениях. Ряд успешных моделей наблюдаемой крупномасштабной структуры Вселенной предполагает наличие во Вселенной холодной темной материи, образованной гипотетическими массивными частицами, слабо взаимодействующими с барионным веществом. Природа этих массивных частиц до сих пор не уста-

новлена, более того, существуют и альтернативные модели темной материи.

Среди альтернатив можно отметить модель темного вещества, образованного аксионами – гипотетическими псевдоскалярными частицами, существование которых предположено в квантовой хромодинамике для решения проблемы отсутствия сильного нарушения зарядовой и пространственной четности в реакциях элементарных частиц. Существуют также модели “квантовой жидкой темной материи” (в англоязычной литературе ее иногда называют *fuzzy dark matter*, то есть “размытая” темная материя). Особенность этого класса моделей состоит в том, что они полагают частицы темной материи сверхлегкими – например, с массой порядка  $10^{-22}$  эВ. Длина волны де Бройля для таких частиц имеет астрономические масштабы, превышающие десятки парсеков. В рамках данной модели можно понять существование

относительно небольшого количества наблюдаемых малых галактик и структуры центральных областей скопления галактик, но здесь есть и свои трудности.

В качестве гипотетической частицы – кандидата на роль составляющей холодной темной материи – рассматривают суперсимметричную частицу – нейтралينو ( $\chi$ ). Теоретически эта частица должна испытывать только слабые и гравитационные взаимодействия и обладать массой от 30 до 5000 ГэВ. Такой интервал масс позволяет нейтралино иметь нерелятивистские скорости после так называемого “процесса закалки”, происходящего из-за расширения Вселенной – в момент, когда скорость аннигиляции частиц темной материи становится малой. Поэтому нейтралино должны накапливаться в повышенных концентрациях в гравитационно-связанных областях пространства. Частицы нейтралино совпадают со своими античастицами, что позволяет им аннигилировать друг с другом; среди прочих продуктов этой реакции могут рождаться позитроны и нейтрино. Нейтрино могут свидетельствовать об аннигиляции нейтралино в центральных областях звезд и в других плотных космических объектах, поскольку для нейтрино плотное вещество почти прозрачно (еще одним свидетельством может служить дополнительный нагрев этих объектов). Ожидаемые энергии нейтрино от распада нейтралино составляют примерно одну треть от массы покоя последнего, то есть десятки и сотни гигаэлектронвольт. Позитроны же могут быть использованы для диагностики аннигиляции нейтралино в разреженных областях. В результате анни-

гиляции  $\chi + \chi \rightarrow e^+ + X$  (здесь и далее  $X$  означает совокупность всех отличных от позитронов продуктов реакции) формируется спектр позитронов с завалом (спадом) при энергиях, находящихся в интервале от половины до трети массы покоя нейтралино. Как мы увидим ниже (см. рисунок) из анализа данных эксперимента, выполняемого с помощью магнитного спектрографа “AMS-02” на Международной космической станции, оценка возможной массы нейтралино составляет порядка 0,5–1,0 ТэВ.

---

## ПОЗИТРОНЫ ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДОЙ

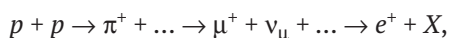
---

Значительное аннигиляционное гамма-излучение Галактики было предсказано на основе предложения академика В.Л. Гинзбурга о поиске продуктов взаимодействия космических лучей с межзвездным газом. Ядерная компонента космических лучей представляет собой высокоэнергичные ядра водорода (протоны) и ядра более тяжелых, чем водород, элементов. Космические лучи с энергиями выше порога рождения пи-мезонов могут порождать вторичные энергичные электроны и позитроны. Средняя плотность энергии ядерной компоненты космических лучей в Галактике составляет около  $1 \text{ эВ/см}^3$  и сравнима с плотностью энергий основных компонент межзвездной среды – турбулентных движений межзвездного газа, поля излучения (реликтового, инфракрасного и оптического), магнитного поля, а также с плотностью тепловой энергии межзвездной среды.

*Ядерная компонента космических лучей представляет собой высокоэнергичные ядра водорода (протоны) и ядра более тяжелых, чем водород, элементов*



Средняя плотность энергии галактических космических лучей определяется в основном протонами с энергиями  $E$  порядка гигаэлектронвольтов; однако концентрация последних падает с ростом энергии по степенному закону  $E^{-1,7}$  вплоть до энергий порядка 1 ТэВ (где наблюдаются отклонения от степенной зависимости). Неупругие столкновения протонов космических лучей с межзвездным газом сопровождаются рождением вторичных позитронов в ходе реакций:



а концентрация вторичных позитронов с энергией больше нескольких гигаэлектронвольт падает с ростом энергии. Модели диффузионного распространения галактических космических лучей также предсказывают падение отношения потока позитронов  $F(e^+)$  к суммарному потоку электронов и позитронов  $F(e^+) + F(e^-)$  с ростом энергии частиц.

## НАБЛЮДЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

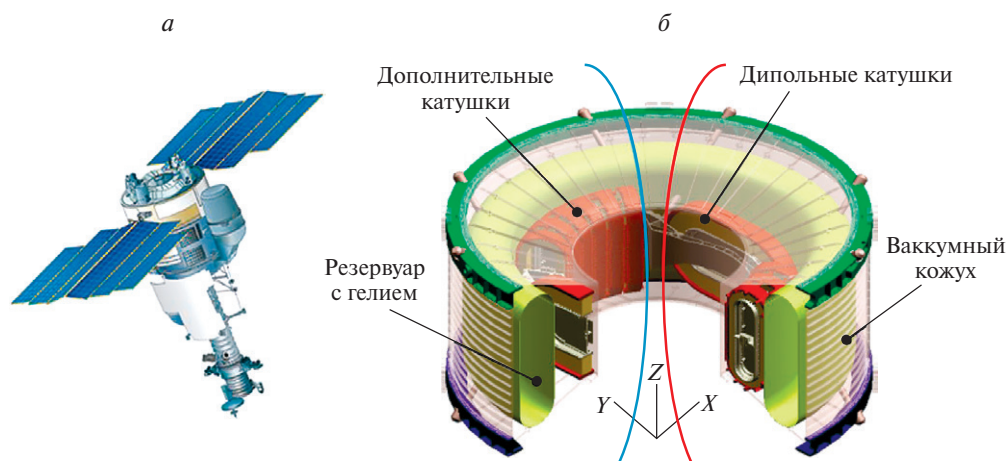
Магнитные спектрометры – это основной инструмент, который позволяет отдельно детектировать потоки позитронов и электронов в космических лучах. В 1990-х гг. успешные измерения потоков позитронов до энергий порядка 50 ГэВ были выполнены в баллонных (аэрозольных) экспериментах CAPRICE, HEAT и некоторых других. Последующий вынос спектрометров на орбиту Земли позволил существенно увеличить экспозицию (время накопления данных). Так, магнитный спектрометр PAMELA (Payload for Antimatter Matter

*Магнитные спектрометры – это основной инструмент, который позволяет отдельно детектировать потоки позитронов и электронов в космических лучах*

Exploration and Light-nuclei Astrophysics) был смонтирован на российском космическом аппарате “Ресурс-ДК” и запущен с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя “Союз”. После запуска 15 июня 2006 г. спектрометр успешно проработал до 7 февраля 2016 г.

С помощью спектрометра PAMELA был измерен поток позитронов с энергиями вплоть до  $\approx 270$  ГэВ и значимо определена его доля  $\eta = F(e^+)/[F(e^+) + F(e^-)]$  в суммарном потоке электронов и позитронов на орбите Земли. Оказалось, что эта доля ( $\eta$ ) имеет особенности при определенных энергиях: в частности, она растет вместе с энергией позитронов, начиная с энергии в несколько гигаэлектронвольтов. Такое повышение доли позитронов в суммарном потоке несовместимо со стандартными моделями вторичного происхождения позитронной компоненты космических лучей, а именно с ее появлением в результате неупругих столкновений ядерной компоненты космических лучей с межзвездным газом. Таким образом, была открыта перспектива проверки моделей происхождения наблюдаемого на орбите Земли избытка позитронов – создается ли этот избыток конкретными астрофизическими источниками или порождается аннигиляцией частиц темной материи (о них шла речь выше)?

К настоящему времени эффект роста избытка позитронов с ростом их энергий подтвержден и проверен с высокой точностью в интервале от нескольких гигаэлектронвольтов до примерно 500 ГэВ. Измерения были выполнены с помощью магнитного спектрометра AMS-02 (Alpha Magnetic Spectrometer), установленного в 2011 г. на борту Международной космической станции. Сверхпроводящий



Космические магнитные спектрометры: а – PAMELA; б – схема AMS-02, работающего на борту МКС (<http://www.ams02.org/what-is-ams/tecnology/magnet/sctagnet/>). Оба детектора предназначены для прецизионных измерений потоков позитронов и антипротонов в космических лучах

магнит AMS-02 создает магнитное поле свыше 0,8 Тл в центральной области цилиндра, а дополнительные катушки минимизируют магнитное поле вне рабочей зоны. Такое устройство спектрометра (см. рисунок) позволяет редуцировать его полный магнитный момент и тем самым максимально снизить взаимодействие его магнитного поля с магнитным полем Земли с целью исключить механическое воздействие спектрометра на МКС. Для поддержания сверхпроводящего магнита на уровне 1,8 К применяется сверхтекучий гелий. Детекторы, используемые в космических экспериментах PAMELA и AMS-02, имеют калориметры для определения энергии частиц; с их помощью можно определять время пролета частицы. Результаты наблюдений потоков космических позитронов на AMS-02, они позволяют увидеть переход доли позитронов  $\eta$  в режим роста (представлены на рисунке).

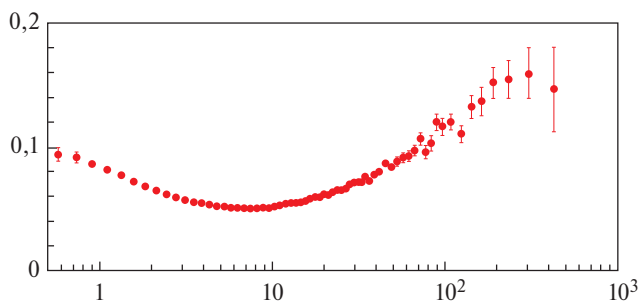
На энергиях выше 500 ГэВ суммарные спектры электронов и позитронов были измерены в 2017 г. по про-

грамме нового международного эксперимента CALET (Calorimetric Electron Telescope) на борту МКС, а также с помощью орбитального детектора DAMPE (Dark Matter Particle Explorer), созданного в Академии наук Китая. Эффективная площадь этих детекторов позволила измерить суммарные потоки и спектры электронов и позитронов до энергий свыше 10 ТэВ. Было обнаружено существенное подавление потока релятивистских лептонов на энергиях около 1 ТэВ. Это указывает на то, что источники лептонов с энергиями ниже 1 ТэВ отличны от источников электронов и позитронов более высоких энергий. В частности, вероятен сценарий, в котором источниками повышенных потоков лептонов на энергиях ниже 1 ТэВ являются синхротронные туманности с головными ударными волнами, сформированные миллисекундными пульсарами в окрестности нескольких сотен парсеков от Солнца.

Результаты вышеперечисленных экспериментов вызывают огромный интерес, поскольку они открывают воз-

возможность количественной проверки как моделей темной материи, так и моделей возможных источников позитронной компоненты космических лучей – пульсарных туманностей, остатков сверхновых звезд и микроквазаров. На настоящий момент однозначно принятой модели происхождения и спектров позитронов в космических лучах нет; тем не менее, в рамках каждой из указанных моделей уже получены важные результаты. В частности, возможными источниками, позволяющими понять наблюдаемые потоки позитронов, могут стать рентгеновские туманности, образованные релятивистскими ветрами старых, миллисекундных пульсаров в окрестности Солнечной системы – таких, как ближайший к Солнцу PSR B0656+14, а также PSR~B0656+14 и пульсар Геминга. При этом интерпретация наблюдений “AMS-02” требует рассмотрения нетривиальных режимов диффузии релятивистских частиц – как вблизи источников позитронов, так и в локальной окрестности Солнечной системы. В рамках моделей формирования спектров позитронов при распаде частиц темной материи получены оценки их массы – порядка 0,5–1 ТэВ.

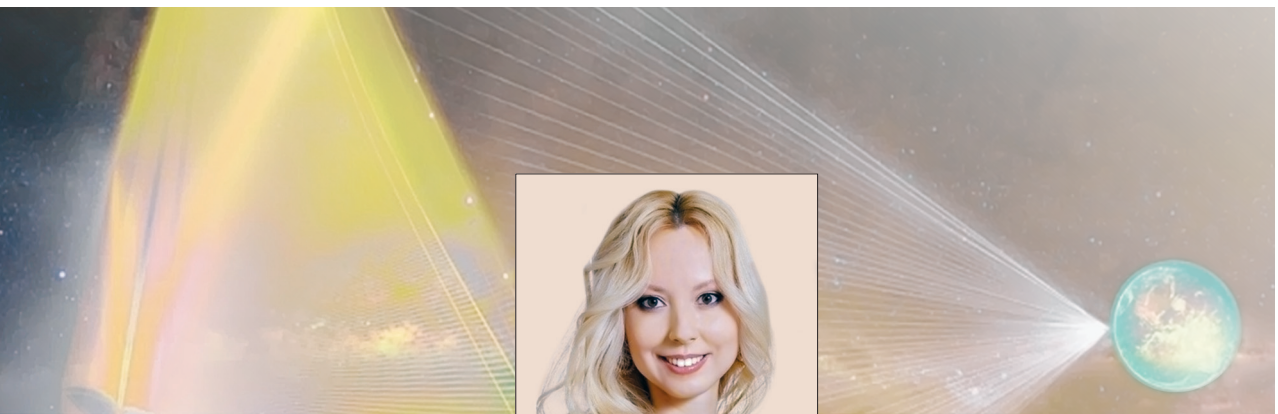
В этом кратком очерке мы обсудили лишь малую часть вопросов, связанных с космическими позитронами. Продолжающееся накопление данных о них в ходе орбитальных экспериментов AMS-02, CALET и DAMPE в сочетании с разнообразными наблюдениями фотонного излучения от возможных источников позитронов, несомненно,



*Доля позитронов – отношение потока позитронов к суммарному потоку электронов и позитронов:  $F(e^+)/[F(e^+) + F(e^-)]$  – в космических лучах на орбите Земли как функция энергии частиц в ГэВ, измеренная с помощью магнитного спектрометра “AMS-02” на борту МКС (Aguilar M. et al. // Physical Review Letters, 2014. V. 113 (12). P. 121102)*

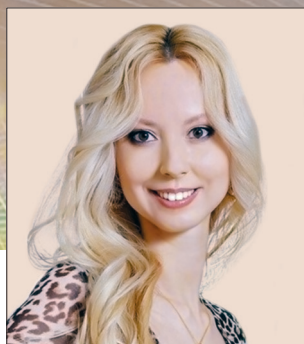
позволит выделить вклады отдельных космических объектов в наблюдаемые потоки и спектры этих античастиц на орбите Земли. В дополнение к текущим экспериментам разработан перспективный проект орбитального гамма-телескопа для чувствительных наблюдений гамма-излучения от аннигиляции позитронов и электронов в центральной части Галактики и от отдельных астрофизических источников. Этот проект создан в рамках международного консорциума eASTROGAM, в котором участвуют и российские исследователи. Спроектированный телескоп позволит изучать области активного звездообразования, релятивистские истечения в источниках гамма-излучения и их аннигиляционное излучение с применением методов ядерной спектроскопии.

## ПРОЕКТ “BREAKTHROUGH STARSHOT”



### Е.П. ПОПОВА,

*ведущий научный сотрудник  
Институт физики Земли РАН  
НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына  
МГУ им. М.В. Ломоносова*



### И.Р. ГАБИТОВ,

*кандидат технических наук  
Центр фотоники и квантовых материалов  
Сколковского института науки и технологий  
Аризонский университет (США)*



DOI: 10.7868/50044394819030046

“Breakthrough Starshot” (с англ. яз. – “Звездный прорыв”) – научно-инженерный проект, который направлен на разработку межзвездных космических аппаратов, оснащенных парусом и ускоряемых давлением света мощных лазеров. По замыслу проектировщиков, КА такого типа совершит полет к звездной системе Альфа Центавра, удаленной на 4,37 св. года от Земли, со скоростью примерно 15–20% от скорости света (45–60 тыс. км/с). Предполагается, что на аппаратах будут установлены камеры для фотографирования экзопланет. Проект требует решения многих сложнейших научно-техниче-

ских задач: создания сверхмощного лазера, способного сфокусировать свою энергию на быстро удаляющемся небольшом парусе с поперечным размером всего лишь 2–3 м (мощность лазера до 100 ГВт, он должен работать в течение нескольких минут); создания системы контроля и наведения луча лазера, которая сможет компенсировать известный эффект дрожания атмосферы, мешающей астрономам получать точные изображения звезд; конструирования принципиально новой электронной наноаппаратуры управления наноспутником; сбора научной информации и связи с Землей; разработки



и изготовления наносточника энергии для обеспечения жизнедеятельности наноспутника. Особую сложность представляет создание сверхлегких материалов для паруса, способных эффективно отражать лазерный луч (без перегрева материала) и обеспечивать устойчивость ориентации космического аппарата.

---

## ВСТУПЛЕНИЕ

---

С давних пор человечество интересовал вопрос – существуют ли другие обитаемые миры? Звездное небо будило воображение людей и заставляло задумываться над устройством мира, искать ответы на многочисленные вопросы: как устроен космос, какова причина движений Солнца, Луны, звезд и планет, почему существуют окружающий мир и человек? Исторические исследования показывают, что, начиная с древних цивилизаций, человечество могло проводить довольно точные астрономические наблюдения, а в 1609 г. Г. Галилей, создав зрительную трубу с трехкратным увеличением, стал первым, кто направил ее в небо, превратив в телескоп, и сделал ряд открытий.

4 октября 1957 г. было положено начало космической эры в истории человечества: отечественная ракета, стартовавшая с космодрома Байконур, вывела на орбиту вокруг Земли первый в мире искусственный спутник. Он находился на орбите 92 сут и проделал путь длиной около 60 млн км.

В настоящее время вокруг нашей планеты вращается множество спутников, выполняющих различные научно-исследовательские и прикладные задачи: мониторинг космической

погоды, исследование космической радиации и ресурсов Земли; обеспечение навигации, связи и телекоммуникации; физико-технические и биологические эксперименты и т.д.

---

## ДАЛЕКИЕ ПЛАНЕТЫ

---

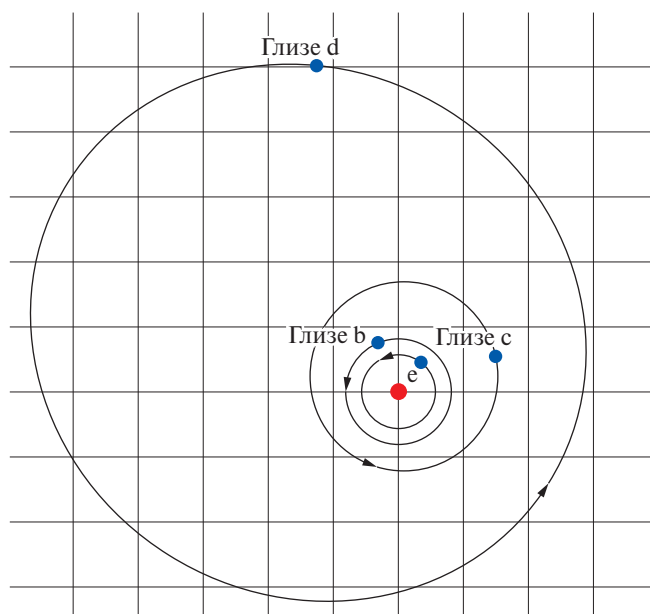
С началом космической эры стала актуальной проблема обитаемости и пригодности для жизни других планет – как в Солнечной системе, так и за ее пределами (для существования белковой жизни условия на планете должны быть близкими к земным). Поэтому наибольший интерес представляет поиск экзопланет, похожих на Землю и вращающихся вокруг звезды с параметрами излучения, сходными с солнечными.

Экзопланеты обнаружены примерно у 10% звезд, которые включены в программы поисков. Их доля растет по мере накопления данных и совершенствования техники наблюдения. К настоящему времени открыто множество планет с массами порядка массы Нептуна и ниже. Экзопланеты стали

открывать благодаря усовершенствованным научным методам, зачастую на пределе их возможностей. К ним относятся: радионаблюдение пульсаров, метод радиальных скоростей, транзитный метод, метод синхронизации, визуальное наблюдение, гравитационное линзирование, астрометриче-

ский метод. На 10 марта 2019 г. достоверно подтверждено существование 4011 экзопланет в 2996 планетных системах, из которых в 654 имеется более одной планеты. Следует отметить, что количество надежных кандидатов в экзопланеты значительно больше.

*Экзопланеты обнаружены примерно у 10% звезд, которые включены в программы поисков. Их доля растет по мере накопления данных и совершенствования техники наблюдения*



Система экзопланет Глизе 581. Каждый квадрат соответствует масштабу  $0,05 \times 0,05$  а.е.

Из 2326 кандидатов, обнаруженных с помощью космической обсерватории “Кеплер”, 207 имеют примерно земной размер, 680 – размер Суперземли, 1181 – Нептуна, 203 – сравнимый с юпитерианским и 55 – больший, чем у Юпитера.

У экзопланет, движущихся на орбитах с большим эксцентриситетом, внутренний состав которых включает в себя несколько слоев вещества (такого, как пласты коры, мантия, ядро), приливные силы в состоянии высвобождают тепловую энергию, которая может способствовать созданию и поддержанию благоприятных для жизни условий на космическом теле, а их орбита со временем – эволюционировать в околоколовую.

Экзопланетой, наиболее близкой по своим условиям к Земле (известной на 2019 г.) является Глизе 581с, температура на которой, по предварительным оценкам, находится в диапазоне от  $0^\circ$  до  $40^\circ\text{C}$ . Теоретически на этой планете могут существовать запасы жидкой воды, а, следовательно, возможна и жизнь. Планета находится в сис-

теме красного карлика Глизе 581 (его масса равна  $0,31 M_\odot$ ) и вращается по орбите, радиус которой примерно в 10 раз меньше, чем у орбиты Земли. Следовательно, на экзопланету действуют довольно существенные приливные силы, которые могли привести к прекращению ее вращения вокруг своей оси. В таком случае у Глизе 581с может

отсутствовать собственное магнитное поле – защитный щит от космической радиации (и, в частности, от вспышечной активности звезды). А она может быть довольно высока, судя по наблюдениям за красными карликами.

Возникают вопросы: можно ли выяснить, что происходит на поверхности экзопланет и как можно найти существование внеземной жизни?

## ПУТЕШЕСТВИЕ К ДАЛЕКИМ ПЛАНЕТАМ

В 1972 г. с помощью ракеты-носителя “Атлас-Центавр” была запущена АМС “Пионер-10”, а в 1973 г. – “Пионер-11”. “Пионер-10” стал первым КА, совершившим пролет вблизи Юпитера и сфотографировавшим планету, а также первым аппаратом, развившим третью космическую скорость – достаточную для преодоления силы притяжения Солнца. Обе станции несут “Межзвездное письмо” – анодированную пластинку из прочного алюминиевого сплава размером  $220 \times 152$  мм (с рисунком,

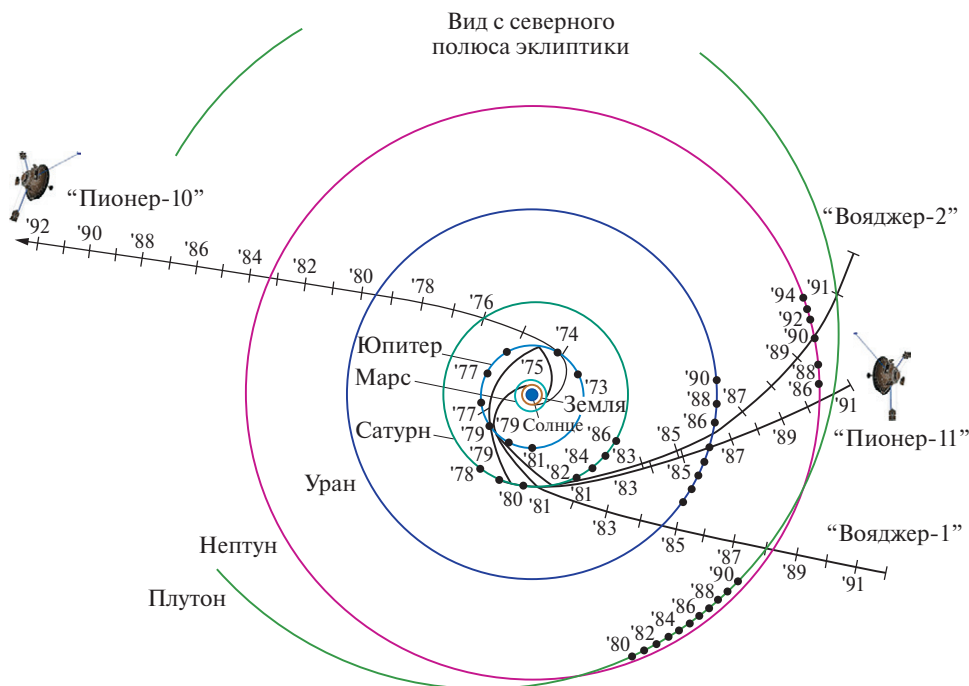


Схема полета аппаратов “Пионер-10/11” и “Вояджер-1/2” в гелиосфере. На траекториях движения космических кораблей цифрами нанесены годы, когда они “проходили” указанный участок космического пространства. В 2000-х гг. эти космические аппараты вышли за пределы Солнечной системы (из статьи “Вояджеры – полет длиною в жизнь”: <https://habr.com/ru/post/406117/>)

автором которого был Карл Саган). На пластине изображены: молекула нейтрального водорода; две человеческие фигуры (мужчины и женщины) на фоне контура аппарата; положение Солнца по отношению к центру Галактики и 14 пульсарам; схематическое изображение Солнечной системы и траектория аппарата относительно планет. Последний успешный прием данных телеметрии от “Пионера-10” состоялся 27 апреля 2002 г. Последний очень слабый сигнал от него был получен 23 января 2003 г. с расстояния свыше 12 млрд км от Земли. Сообщалось, что аппарат направляется в сторону звезды Альдебаран. Если с ним ничего не случится по пути, то его по-

лет до окрестностей этой звезды продлится более 2 млн лет. По состоянию на 21 октября 2012 г. межпланетная станция продолжала отдаляться от Солнца и вышла в межзвездное пространство.

В 1977 г. были запущены две американские АМС серии “Вояджер”: “Вояджер-1” и “Вояджер-2”, план полета которых предусматривал вылет за пределы Солнечной системы. Они впервые передали высококачественные снимки Юпитера и Сатурна, “Вояджер-2” раньше своего собрата достиг Урана и Нептуна, зато первым в истории аппаратом, достигшим границ Солнечной системы (гелиопаузы) и вышедшим за ее пределы (в декабре 2004 г.), стал “Вояджер-1”. “Вояджер-2”

[BREAKTHROUGH STARSHOT](#)

[ABOUT](#)
[BOARD](#)
[ARE WE ALONE?](#)
[NEWS](#)
[EVENTS](#)
[CONTACTS](#)

[LEADERS](#)
[CONCEPT](#)
[TARGET](#)
[RESEARCH](#)
[CHALLENGES](#)



**STARSHOT**

The story of humanity is a story of great leaps – out of Africa, across oceans, to the skies and into space. Since Apollo 11’s ‘moonshot’, we have been sending our machines ahead of us – to planets, comets, even interstellar space.

But with current rocket propulsion technology, it would take tens or hundreds of millennia to reach our neighboring star system, Alpha Centauri. The stars, it seems, have set strict bounds on human destiny. Until now.

In the last decade and a half, rapid technological advances have opened up the possibility of light-powered space travel at a significant fraction of light speed. This involves a ground-based **light beamer** pushing ultra-light **nanocrafts** – miniature space probes attached to **lightsails** – to speeds of up to 100 million miles an hour. Such a system would allow a flyby mission to reach Alpha Centauri in just over 20 years from launch, beaming home images of [its recently-discovered planet Proxima b](#), and any other planets that may lie in the system, as well as collecting other scientific data such as analysis of magnetic fields.

Breakthrough Starshot aims to demonstrate proof of concept for ultra-fast light-driven nanocrafts, and lay the foundations for a first launch to Alpha Centauri within the next generation. Along the way, the project could generate important supplementary benefits to astronomy, including solar system exploration and detection of Earth-crossing asteroids.

A number of hard engineering challenges remain to be solved before these missions can become a reality. They are listed [here](#), for consideration by experts and public alike, as part of the initiative’s commitment to full transparency and [open access](#). The initiative will also establish a research grant program, and will make available other funding to support relevant scientific and engineering research and development.

For information for all Starshot solicitations [click here](#).

BREAKTHROUGH PRIZE  
BREAKTHROUGH JUNIOR CHALLENGE

[ABOUT](#)
[BOARD](#)
[ARE WE ALONE?](#)
[NEWS](#)
[EVENTS](#)
[CONTACTS](#)

SUBSCRIBE

*Официальная страница проекта “Breakthrough Starshot”*

покинул Солнечную систему в августе 2007 г. Пятым КА, запущенным в 2004 г. с третьей космической скоростью (он тоже в будущем покинет Солнечную систему), стала АМС “Новые горизонты”. Для того чтобы достигнуть планет в других звездных системах, таким аппаратам потребуются миллионы лет.

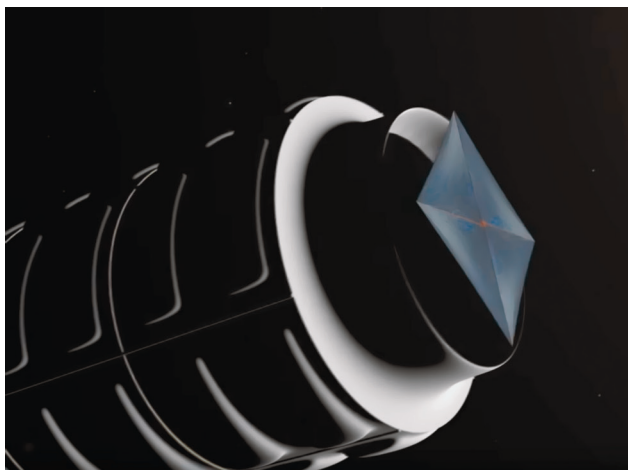
В настоящее время предложен прорывной проект, позволяющий преодолеть эту трудность. В 2016 г. русский миллиардер Ю. Мильнер (выпускник физического факультета МГУ по специальности “теоретическая физика”) заявил о своем намерении финансировать программу “Breakthrough Initiatives” (с англ. яз. – “Прорывные инициативы”) для поиска внеземной жизни

во Вселенной. В ее рамках был объявлен проект “Breakthrough Listen”, в процессе реализации которого арендуется время наблюдений на нескольких радиотелескопах, после чего идет обработка получаемых данных. 12 апреля 2016 г. на пресс-конференции в Нью-Йорке Ю. Мильнер и С. Хокинг объявили о самом амбициозном новом проекте – “Breakthrough Starshot”, который направлен на разработку межзвездных космических аппаратов, оснащенных световым парусом. О финансовой поддержке этого проекта объявил основатель “Facebook” М. Цукерберг.

Инициаторы программы планируют отправить несколько тысяч межзвездных зондов с камерами для передачи снимков планет в разные районы



Вселенной, но в первую очередь – к звездной системе Альфа Центавра, удаленной на 4,37 св. года от Земли. Предполагается, что этот путь межзвездного зонда, двигающегося со скоростью примерно 15–20% от скорости света, займет около 20 лет. Базовый аппарат доставит около тысячи таких зондов (каждый массой в 1 г) на высокоэллиптическую орбиту, а затем запустит их один за другим в разные районы Вселенной. Каждый зонд будет представлять собой StarChip (наночип), имеющий массу примерно 0,5 г, он будет соединен сверхпрочными наностропами с парусом размерами в несколько метров и толщиной 100 нм. StarChip включает в себя микропроцессор, электронику для фотокамер и миниатюрный радиоактивный источник питания. После вылета каждого зонда из базового аппарата наземные лазеры в течение нескольких минут будут направлять лучи, которые должны сойтись в суммарный луч мощностью 50–100 ГВт и сфокусироваться на парусе. Лазерная энергетическая установка будет представлять собой фазированную решетку (размером  $1 \times 1$  км), составленную из 20 млн лазерных излучателей с апертурой 20–25 см. В процессе фазирования (синхронизация фазы луча на каждом отдельном лазере) предполагается сфокусировать излучение (длина волны 1,06 мкм), идущее со всей решетки, в пятно диаметром в несколько метров на расстояниях до 2 млн км (предельная точность фокусировки составляет  $10^{-9}$  рад). Это обеспечит ускорение зонда около 30 000 g, что позволит ему достигнуть целевой скорости – около 60 тыс. км/с (20% от



*Конструкция базового аппарата с установленными в нем многочисленными межзвездными зондами (с официального сайта проекта "Breakthrough Starshot": <https://breakthroughinitiatives.org/page/14>)*

скорости света). Предполагается применять компоненты "Breakthrough Starshot" в будущем для полетов зондов в Солнечной системе и за ее пределы.

Для успешного осуществления миссии необходимо решить ряд невероятно сложных технических задач: например, материал паруса должен выдерживать большие нагрузки при ускорении и столкновении с частицами космической пыли во время полета и иметь возможность отражать луч лазера практически зеркально (при доле поглощенного света не более  $10^{-5}$ ). При этом парус должен быть не только сверхпрочным, но и обладать сверхмалым удельным весом. Для того чтобы парус не расплавился в поле излучения лазера, он должен отражать 99,999% падающего света. Инициаторы проекта связывают надежды на возможность создания такого материала для паруса с развитием нанотехнологий конструирования метаматериалов.

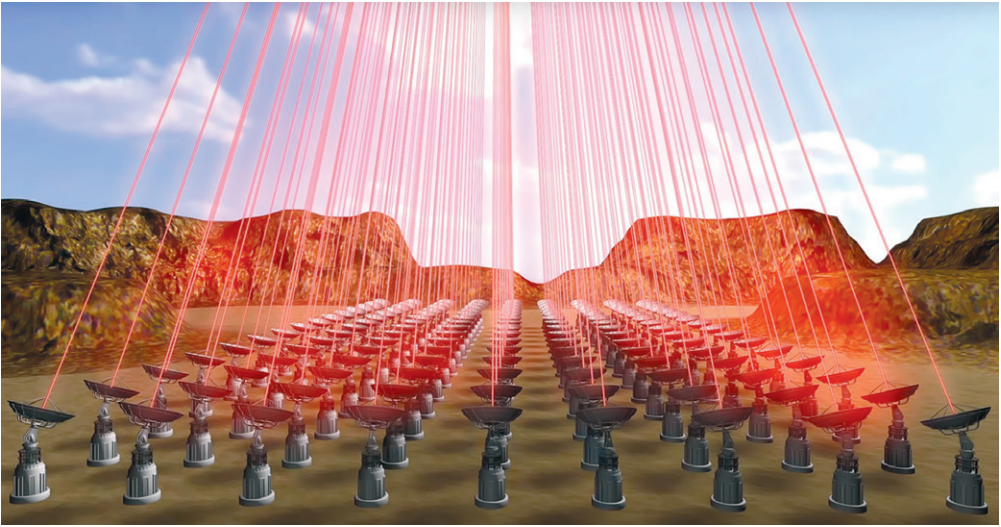


*Предполагаемый вид зонда с парусом (из статьи "NASA's First Solar Sail NanoSail-D Deploys in Low-Earth Orbit" / Wikimedia: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/smallsats/11-010.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/smallsats/11-010.html))*

Пленка паруса будет содержать структуры, напоминающие оптические кристаллы. Подбирая различные искусственные элементы в качестве имплантатов-вставок, размещенных в заданном периодическом порядке в оптической среде, можно получать материалы с разнообразными электромагнитными дисперсионными свойствами. Первые успехи в этом направлении были достигнуты еще на рубеже нашего тысячелетия. Особенно плодотворным оказалось использование нанорезонаторов типа емкостно-индуктивных элементов. Однако задача создания сверхтонких пленок с толщиной, удовлетворяющей требованиям межзвездного перелета и с подавленным (более чем на пять порядков) коэффициентом поглощения пока далека от решения.

Предполагается, что для достижения необходимой мощности излучения (100 ГВт) в течение 100 с лазер может работать в режиме накопления мощности и последующего излучения коротких импульсов (примерно по 20 ГВт). Кроме того, необходимо сконструировать

систему лазеров на базе задающих генераторов, большая часть элементов которой – усилители мощностью от 0,1 до 3 кВт. Но если даже суммарный луч от всех лазеров будет создан, то возникнет проблема его фокусировки на парусе размером в несколько метров с расстояния 2 млн км, что потребует решить задачу, знакомую всем астрономам: как избавиться от рассеяния и отклонения (или хотя бы уменьшить их) луча при прохождении через атмосферу. В последние десятилетия с этой целью пытаются использовать адаптивную оптику. Для решения такой проблемы источник лазерного света в проекте “Starshot” – фазированная решетка, составленная из 20 млн отдельных излучателей, – должна иметь систему обратной связи с адаптивной оптикой. Для этого потребуется использовать ряд опорных источников: на отдельных зондах, на базовом аппарате и в атмосфере – в дополнение к звездам, служащим источниками опорных сигналов для настройки фазирования решетки (в том числе сигнала от зонда, когда он достигнет цели полета).



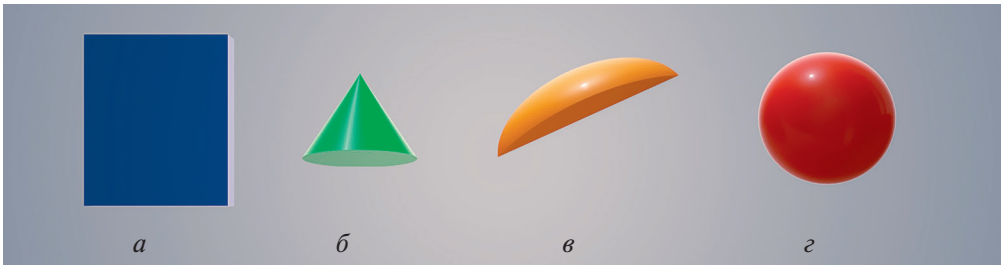
Лазерная силовая установка с фазированной решеткой для передачи лазерного луча на парус зонда (с официального сайта проекта "Breakthrough Starshot": <https://breakthroughinitiatives.org/page/14>)

По оценкам С. Перлмуттера (лауреата Нобелевской премии по физике 2011 г.), С. Чу (лауреата Нобелевской премии по физике 1997 г.), академика Р. Сагдеева и других ученых, на первый план вышла проблема устойчивости ориентации зонда в пространстве: нужно определить, какими должны быть форма самого паруса и тип луча лазера для того, чтобы зонд в процессе ускорения не вышел из зоны действия луча. Авторы предложенной статьи в рамках оптико-механической задачи исследовали устойчивость ориентации зонда, оснащенного парусом, при

малых возмущениях этой его способности во время действия интенсивного лазерного луча.

Как и в проекте "Breakthrough Starshot", в задаче рассматривался зонд, имеющий массу 1 г и парус радиусом 200 см, на поверхность которого действует луч лазера с силой света, равной  $5 \times 10^7 \text{ г} \times \text{см}/\text{с}^2$ ; при этом отражение света от поверхности паруса – зеркальное. В условиях такой постановки задачи зонд будет чувствителен к крутящим моментам и к действию поперечных сил, влияющих на ориентацию паруса и на его боковые смещения. Движение зонда

Формы паруса для межзвездного зонда: а – плоская, б – коническая, в – часть сферы, г – сферическая





*Так, в представлении художника, межзвездный зонд достигнет экзопланеты у какой-либо ближайшей звезды*

под действием лазерного луча описывается с помощью уравнений Эйлера и второго закона Ньютона. Полученная система уравнений исследована аналитически на устойчивость, построены траектории движения каждого из зондов.

Были рассмотрены разные формы конструкции паруса: плоская, коническая и сферическая (часть сферы с радиусом кривизны, много бóльшим, чем радиус паруса). Плоский парус быстро выходит из зоны действия луча, не успев получить необходимое ускорение. Ориентация паруса конической и сферической форм будет стабильной, если расстояние от центра паруса до центра масс больше, чем радиус кривизны паруса. Американские ученые из Гарвардского университета З. Манчестер и А. Леб нашли другую его устойчивую конфигурацию: парус должен иметь сферическую форму, а лазерный луч – состоять из четырех отдельных составляющих

гауссова профиля (профиль луча должен иметь форму в виде четырех холмиков). Эта форма паруса позволяет экранировать полезную нагрузку от действия лазерного луча. Зонд с таким парусом оказывается устойчивым: будучи “захваченным” в некую потенциальную яму, он попадает в некую силовую ловушку.

Однако даже при проявлении парусом критерия

устойчивости в поле электромагнитной волны возможны новые неприятности. В рассматриваемой системе, в которой парус и корпус зонда совершают колебания в вакууме, отсутствуют эквиваленты сил трения, приводящих к затуханию. Это значит, что колебания зонда с парусом, “захваченные” в эффективную потенциальную яму, не затухают. При случайных внешних толчках они могут возрастать. Так, если присутствует дрожание лазерного луча – может нарушиться условие адиабатичности и сила инерции будет подталкивать парус. Такое стохастическое ускорение может “выбросить” парус “из луча”. Во всяком случае, это может добавить требование к компенсации остаточного дрожания луча в атмосфере.

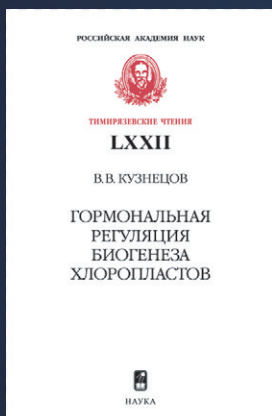
Новизна почти всех элементов проекта “Breakthrough Starshot” открывает новые возможности для стимулирования развития разных технологий и направлений исследований – как прикладных, так и фундаментальных\*.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физики Земли РАН.

\* Отметим, что на официальном сайте проекта “Breakthrough Starshot” (<https://breakthroughinitiatives.org/research/3>) для дальнейшего ознакомления с темой читатели могут найти обширный список литературы по научным проблемам проекта “Breakthrough Starshot”: технические книги и статьи по вопросам межзвездных полетов (в том числе по технике использования лазерных пучков), статьи по конструированию материала для паруса, чипов, по лазерной филаментации; научные обзоры, в которых обсуждается вопрос обитаемости планет в системе Альфа Центавра.



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



Кузнецов В.В.

## **Гормональная регуляция биогенеза хлоропластов.**

М.: Наука, 2018. – 112 с. - (Тимирязевские чтения; 72)

Наличие пластид является важнейшей особенностью растительной клетки. За последние 20 лет благодаря применению главным образом молекулярно-генетических подходов достигнуты крупные успехи в исследовании механизмов действия фитогормонов, а также в изучении структуры пластидного и ядерного геномов.

Значительный прогресс достигнут в изучении обмена генетической информацией между ядерным, пластидным и митохондриальными геномами. Совокупность полученных данных позволяет по-новому взглянуть на проблему биогенеза пластид. Становится все более понятной сложная регуляция биогенеза хлоропластов экзогенными (в первую очередь светом) и эндогенными (прежде всего фитогормонами) факторами.

Имеющиеся результаты позволяют говорить о ключевой роли гормональной регуляции в развитии хлоропластов. Сложный набор постоянно меняющихся и взаимодействующих между собой регуляторных сигналов, вероятно, и направляет пластиды по тому или иному пути развития в зависимости от органной и тканевой специфики и особенностей условий окружающей среды.

*Для физиологов растений, биохимиков, ботаников  
и работников смежных областей.*



Образцов П.А.

## **Высокие широты.**

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

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

*Для широкого круга читателей.*



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

## **Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.**

М.: Наука, 2018. – 471 с.

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

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

# naukabooks.ru

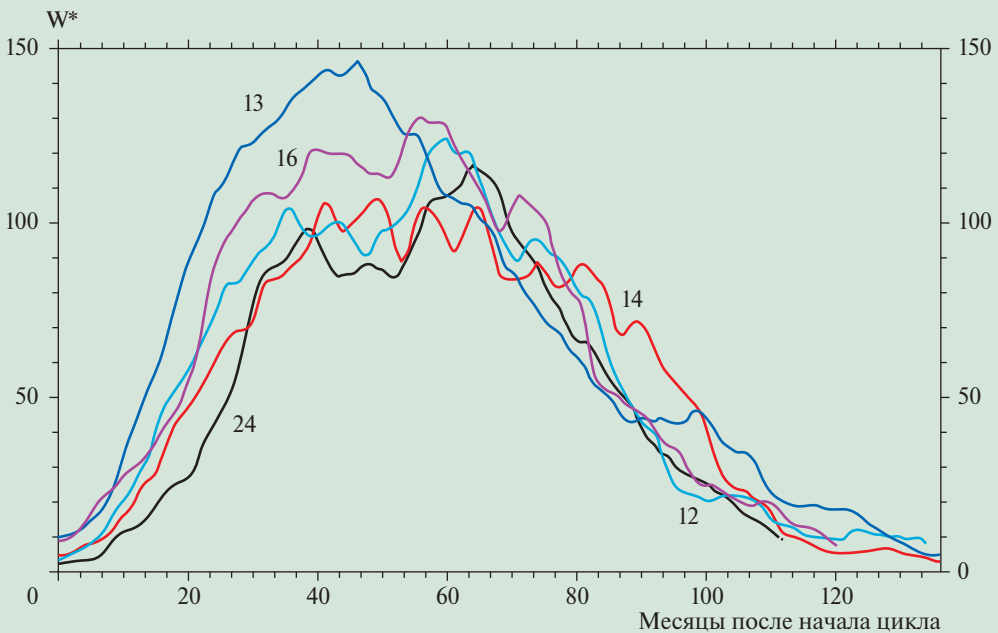
Реклама

## СОЛНЦЕ В ДЕКАБРЕ 2018 года – ЯНВАРЕ 2019 года

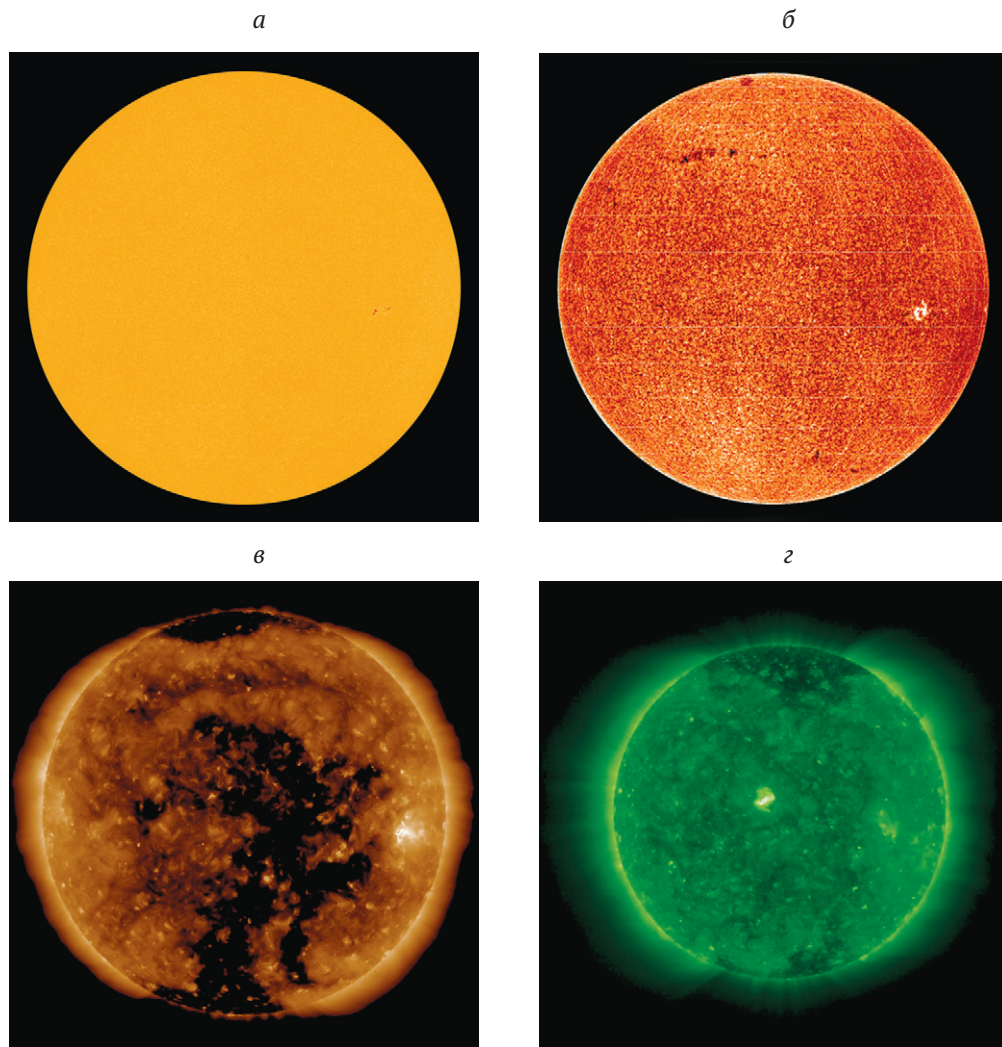
DOI: 10.7868/50044394819030058

**П**ятнообразовательная активность Солнца в рассматриваемые месяцы была на очень низком и низком уровнях, но в январе повысилась. В течение 39 дней видимый диск Солнца был беспятенным (221 сут – в 2018 г. и 15 сут – в текущем году). Наблюдались всего 5 небольших групп солнечных пятен, причем четыре из них появились в Северном полушарии: три группы пятен были вполне устойчи-

выми и, зародившись на видимом диске Солнца, уходили за западный лимб. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа солнечных пятен (числа Вольфа) продолжает очень медленно спадать, но немного быстрее, чем в 12-м и 16-м солнечных циклах, что дает возможность ожидать точку минимума 24-го цикла в первой половине 2020 г. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы, как



Ход развития (114 месяцев) текущего, 24-го цикла солнечной активности, среди достоверных (начиная с 1849 г.) низких и среднего (№ 13) солнечных циклов.  $W^*$  – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в новой системе (введена с 1 июля 2015 г.). Высота текущего солнечного цикла в новой системе  $W_n^* = 116$  против  $W^* = 82$  – в старой

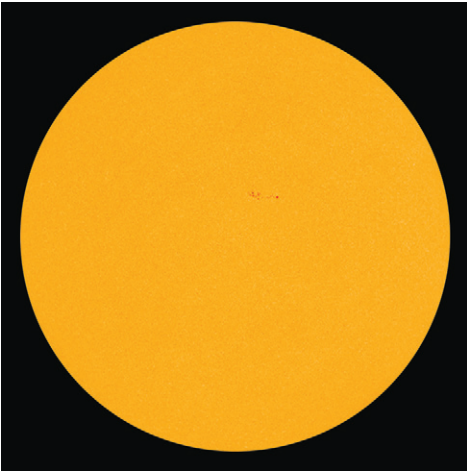
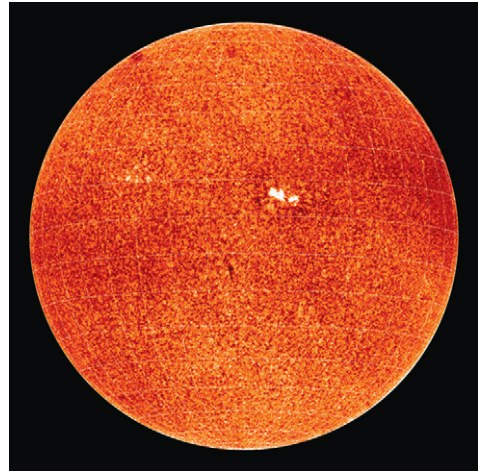
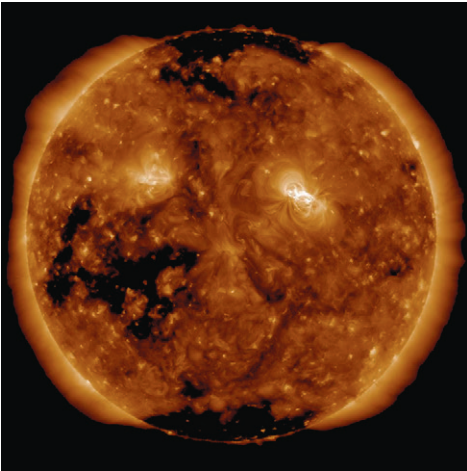
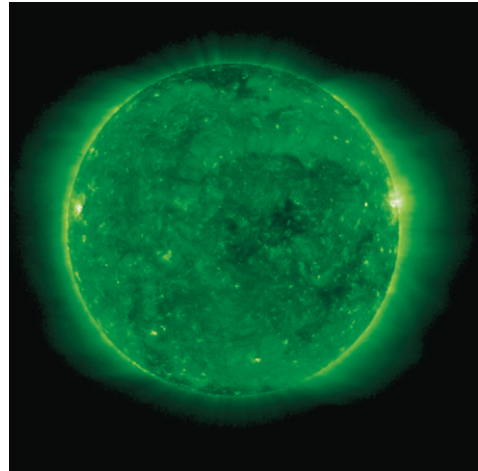


Солнце 6 декабря 2018 г.: а – фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ ); б – в самой сильной линии водорода  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ); в – в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ( $\lambda = 193 \text{ \AA}$ ); г – в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ( $\lambda = 195 \text{ \AA}$ ). Космические солнечные обсерватории "SDO" (а, в) – данные взяты с сайта: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>; "STEREO A" (г) – данные взяты с сайта: <https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/> и наземной обсерватории "Big Bear" ( $H_{\alpha}$ ) – <http://www.solarmonitor.org/>

и Служба состояния околоземного пространства – [www.swpc.noaa.gov](http://www.swpc.noaa.gov)) поддерживаемся старой, классической системы):  $W_{\text{дек.}} = 1,9$  и  $W_{\text{январ.}} = 4,7$ . Сглаженные за год значения этих индексов (минус 6 месяцев) в июне и в июле 2018 г. составили  $W^* = 4,4$  и  $W^* = 4,3$  соответственно.

**Декабрь** начался с беспятенных дней, и первая небольшая, но устойчивая группа пятен появилась 5 декабря в середине западной части южной полусферы видимого диска Солнца и 9 декабря ушла за западный лимб Солнца. В Северном полушарии 11 и 14 декабря последовательно появились небольшие



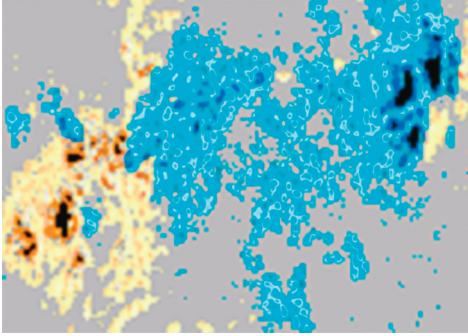
*a**б**в**г*

Солнце 25 января 2019 г.: *a* – фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ ); *б* – в самой сильной линии водорода  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ); *в* – в линии крайнего ультрафиолета  $Fe\ XII$  ( $\lambda = 193 \text{ \AA}$ ); *г* – в линии крайнего ультрафиолета  $Fe\ XII$  ( $\lambda = 195 \text{ \AA}$ ). По данным космических солнечных обсерваторий “SDO”, “STEREO A” и наземной обсерватории “Big Bear” ( $H_{\alpha}$ )

группы пятен, которые просуществовали примерно двое суток. Соответственно после этого, начиная с 16 декабря и до конца месяца, наступил очередной период беспятенного Солнца. Минимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен ( $W = 0$ ) отмечено 1–4, 10, 12, 13

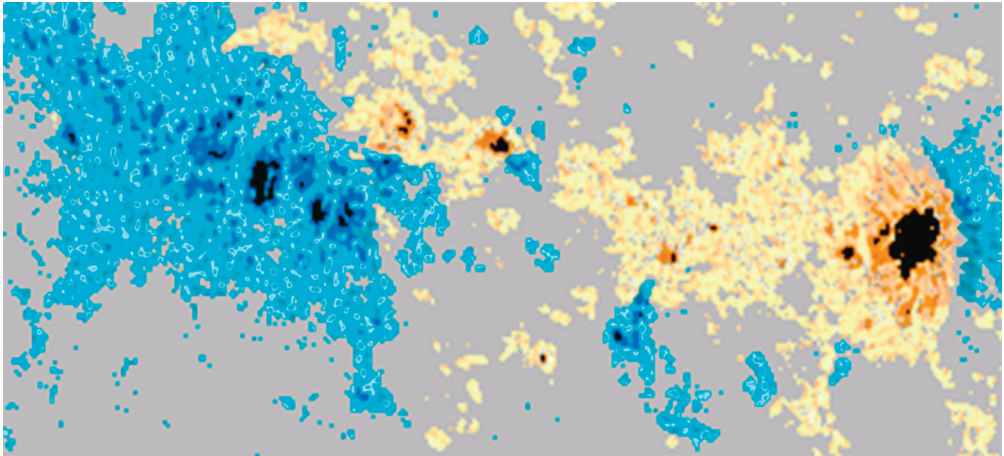
и 16–31 декабря, а максимальное – **6 декабря ( $W = 17$ )**. Вспышечная активность оставалась весь период на очень низком уровне. Выбросы солнечных волокон (два события) наблюдались 5 и 17 декабря. Коронграфы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 10 корональных выбросов

*a*



Группы солнечных пятен, проходившие видимый диск Солнца в максимуме развития:  
*a* – 6 декабря 2018 г. ( $S_p = 50$  мдп);  
*б* – 26 января 2019 г. ( $S_p = 90$  мдп)

*б*



вещества. Одна рекуррентная (повторяющаяся через оборот Солнца) и одна вновь образованная корональные дыры наблюдались на видимом диске Солнца. Высокоскоростной поток от первой дыры вызвал 28 декабря в околоземном космическом пространстве малую магнитную бурю. Этот день и стал единственным в декабре днем с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокие потоки ( $>10^7$  частиц/м<sup>2</sup>) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдались с 10 по 17 и с 29 по 31 декабря.

**Январь 2019 г.** также начался с появления в западной части (но уже Северного полушария) группы пятен, которая, пройдя 6 сут по видимому диску Солнца, “ушла” за западный лимб,

а с 7 по 21 января Солнце снова стало беспятенным. 22 января в центральной зоне Северного полушария образовалась устойчивая группа пятен с высокой (для фазы минимума) вспышечной активностью, 30 января она “ушла” за западный лимб. Максимальное наблюдаемое относительное число солнечных пятен отмечено **25 января ( $W = 27$ )**, минимальное ( $W = 0$ ) с 6 по 20 и 31 января. Вспышечная активность оставалась на низком уровне (вспышки рентгеновского класса C) 6, 26 и 29 января и на очень низком – в остальные дни. Выбросы солнечных волокон (6 событий) наблюдались 2, 3, 4, 6, 21 и 25 января. Коронаграфы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали более 13 корональных выбросов вещества.

На видимом диске Солнца наблюдались одна рекуррентная и одна вновь образовавшаяся корональные дыры. Высокоскоростной поток от первой из них вызвал в околоземном космическом пространстве малую магнитную бурю 24 января. Геомагнитное поле было возмущенным 5 и 24 января. На геостационарных орбитах очень высокий поток ( $>10^7$ ) релятивистских электронов,

с энергиями больше 2 МэВ, зарегистрирован 1 января и с 6 по 10 и с 25 по 31 января.

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

*В.Н. Ишков,  
ИЗМИРАН*

## Информация

### Очень большой телескоп (VLT) в авангарде исследования экзопланет

В конце марта участники коллаборации GRAVITY (ESO, VLTI) объявили о первых прямых наблюдениях внесолнечной планеты методом оптической интерферометрии. Объектом исследования стала экзопланета у молодой звезды HR8799, находящейся в Главной последовательности, в созвездии Пегаса, на расстоянии около 129 св. лет от Земли.

С помощью приемника GRAVITY, установленного на Очень большом телескопе с интерферометром (Very Large Telescope Interferometer), удалось получить детальные характеристики атмосферы планеты HR8799e. Они несколько озадачили ученых: в частности, оказалось, что в ней находится значительно большее двуокиси углерода, чем метана, а это непонятно с точки зрения одинаково протекающих процессов. Кроме того, в атмосфере планеты были обнаружены облака железа и силикатная пыль. Исследователи считают – этот результат свидетельствует о гигантской буре, бушующей в атмосфере планеты.

«Наши наблюдения свидетельствуют о существовании газового шара, освещенного изнутри, причем лучи света пробиваются сквозь охваченные бурей участки темной облачности», – сообщил С. Лакур, руководитель исследовательской группы, сотрудник CNRS, Парижской обсерватории (PSL) и Института внеземной физики Макса Планка. «Конвекция действует на облака, состоящие из железосиликатных частиц, эти облака разрушаются, и их содержимое проникает внутрь планеты. Все это создает картину процесса формирования динамической атмосферы гигантской экзопланеты, в которой происходят сложные физические и химические процессы».

*Пресс-релиз ESO,  
27 марта 2019 г.  
(<https://www.eso.org/public/new/eso/1905>)*

## В.В. БЕЛОУСОВ И ЕГО КНИГА “ОЧЕРКИ ИСТОРИИ ГЕОЛОГИИ”

DOI: 10.7868/S004439481903-0014

**В** 2017 г. исполнилось 110 лет со дня рождения Владимира Владимировича Белоусова (1907–1990) – выдающегося отечественного ученого в области наук о Земле и блестящего организатора международного научного сотрудничества, члена-корреспондента АН СССР, иностранного члена Индийской, Шведской, Нью-Йоркской и Итальянской академий наук, почетного члена Лондонского, Американского, Французского, Бельгийского и Индийского геологических обществ, почетного доктора Нью-Кастлского (Великобритания) и Лейпцигского (Германия) университетов. В.В. Белоусов внес существенный вклад в развитие теоретических основ геотектоники и в развитие планетарной геофизики.

В.В. Белоусов родился в Москве 30 октября 1907 г. в семье юриста; в условиях первых послереволюционных лет получил среднее, преимущественно музыкальное образование. Поступив в скаутский отряд, он пристрастился к жизни путешественника и довольно рано начал участвовать в дальних походах. Руководил скаутским отрядом Владимир Алексеевич Попов – журналист, талантливый организатор, просветитель, впоследствии возглавивший редакцию журнала “Всемирный следопыт”. В середине 1920-х годов В.В. Белоусов начинает заниматься литературным творчеством. В 1926 г. его рассказ “Ущелье Большого Дракона” удостоивается премии на литературном конкурсе, объявленном “Всемирным следопытом”, а в 1927 г. его публикуют в этом журнале. В конце 1920-х по



Владимир Владимирович Белоусов

заданиям редакции журнала он много путешествует (часто в одиночку) по малонаселенным местам Русского Севера (долина Северной Двины, Карелия, Лапландия). Путевые очерки об этих странствиях опубликованы в нескольких выпусках журнала “Всемирный следопыт” за 1928–1930 гг. Здесь же напечатаны его приключенческие рассказы.

Несмотря на музыкальные занятия и успехи на литературном поприще, в 1927 г. В.В. Белоусов поступает на геологическое отделение I Московского государственного университета. Однако в 1930 г. его исключают из университета по формальной причине. Белоусов оставляет Москву и уезжает



в Ленинград к профессору М.М. Тетяеву, одному из крупнейших тектонистов России, у которого он проходил геологическую практику в Забайкалье. В Ленинграде Белоусов окончательно определился с жизненными приоритетами. Экстерном окончил геологический факультет Ленинградского университета. Тогда же прекратилось его сотрудничество со “Всемирным следопытом” и то “вольное” распоряжение временем, которое позволяло ему путешествовать и заниматься литературой.

Он выбирает науку в качестве своего основного занятия, осознав при этом, прежде всего, необходимость самоограничения и сформулировав это так: “Науке надо посвящать целиком жизнь или вовсе ею не заниматься”.

Дебют Владимира Владимировича в геологии был стремительным и успешным. В 1932 г. он поступил в Геолого-разведочное бюро газовых месторождений (трест “Гелиеразведка”). В то время работы по гелию были приоритетной государственной задачей (тогда еще дискутировался вопрос: как будет развиваться воздухоплавание – в сторону разработки самолетов или дирижаблей, для которых и нужен был гелий в качестве наполнителя) и считались секретными. В 1932–1936 гг. Белоусов изучает общее состояние проблемы гелиеносности и конкретные условия ее проявления. Его монография “Вопросы геологии гелия” (1934) принесла известность автору и привлекла внимание В.И. Вернадского, который высоко оценил это исследование



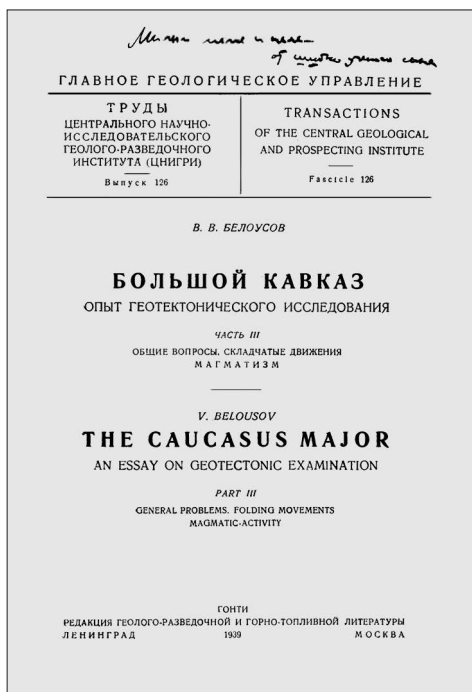
Обложка журнала  
“Всемирный следопыт”  
(1928–1930 гг.)

и рекомендовал его для перевода во французский журнал, где оно и было напечатано годом позже.

Одновременно возник интерес В.В. Белоусова к теоретическим вопросам геологии. С середины 1930-х годов он работает в специальном геотектоническом кабинете, организованном М.М. Тетяевым в 1934 г. в ЦНИГРИ (Центральном научно-исследовательском геолого-разведочном институте) – бывшем Геологическом комитете и будущем Всесоюзном геологическом институте (ВСЕГЕИ). Здесь намечалось разрабатывать теоретические вопросы геотектоники, используя в них результаты непосредственных геологических исследований. В.В. Белоусов занимался этой тематикой во время полевых экспедиционных работ на Кавказе. Результаты этих исследований



В.В. Белоусов. 1930-е годы



Обложка монографии "Большой Кавказ"

он обобщил в трехтомной монографии "Большой Кавказ. Опыт геотектонического исследования". В 1938 г. за этот труд Владимиру Владимировичу была присвоена степень кандидата геолого-минералогических наук без защиты диссертации. В этом же году он защищает докторскую диссертацию



Известный японский геофизик С. Уеда дома у В.В. Белоусова, 1983 г. Слева направо: переводчик Марина Кирилловна Волочкович, Наталья Александровна Белоусова, Сейя Уеда, Владимир Владимирович Белоусов

в Ленинградском университете, после чего по рекомендации В.И. Вернадского переходит в Государственный радиевый институт, возглавляемый академиком В.Г. Хлопиным. Направление работ этого института совпадало с научными интересами Белоусова, в радиоактивном распаде элементов он усматривал энергетический механизм, достаточный для формирования структур земной коры.

В Ленинграде В.В. Белоусов познакомился и подружился с семьей А.Г. Гурвича, известного ученого-биохимика, который открыл митогенетическое клеточное излучение, в 1940 г. был удостоен Сталинской премии, а позднее подвергся гонениям во время кампании по борьбе с космополитизмом. Старшая дочь А.Г. Гурвича, Наталья (1905–2006), искусствовед, специалист по итальянскому Возрождению в Эрмитаже, стала женой Владимира Владимировича. В 1935 г. у них родился сын – Лев (1935–2017), в будущем известный биохимик, продолживший тематику исследований своего деда А.Г. Гурвича в Московском государственном университете.

Во время Великой Отечественной войны Радиевый институт был эвакуирован в Казань. В.В. Белоусов вместе с семьей уехал туда осенью 1941 г. Здесь были написана статья "Миграция радиоэлементов и развитие структуры Земли", в которой была оформлена обобщающая идея развития Земли, названная

*Оргкомитет XII Генеральной  
Ассамблеи Международных  
геодезического и  
геофизического союзов,  
Беркли (США), 1963 г.  
В центре – В.В. Белоусов.  
Справа от него – С. Чепмен  
(Великобритания). Слева  
направо: М. Николе (Бельгия),  
Ж. Кулон (Франция), Л. Беркнер  
(США) и другие ведущие  
геофизики мира*

---



“радиомиграционной гипотезой геотектоники” и высказаны представления, которые сохранятся и в его окончательной концепции тектогенеза об ответственности глубинного тепла за периодичность и активность тектонических процессов. Именно в Казани, в университетской библиотеке, В.В. Белоусов работал над книгой об истории геологии, начиная с Античных времен и заканчивая XVIII в.

В конце 1942 г. В.В. Белоусов уезжает из Казани в Москву по вызову академика А.Е. Ферсмана. С 1943 г. он начал преподавательскую деятельность в Московском геологоразведочном институте и одновременно получил приглашение от академика О.Ю. Шмидта в его Институт теоретической геофизики с обещанием “иметь сотрудников и свободу действий”. В этом научном заведении, позднее преобразованном в Институт физики Земли, Владимир Владимирович проработал до конца своей жизни и создал свои основные научные концепции – эндогенных режимов, океанизации континентальной земной коры, направленности развития земной коры.

Наряду с разработками теоретических вопросов геологии В.В. Белоусов становится ключевой фигурой в организации международного сотрудничества в области наук о Земле. В 1948 г. он

возглавлял делегацию советских геологов на первом послевоенном Международном геологическом конгрессе в Лондоне. Велика роль ученого в организации и проведении в 1957–1958 гг. Международного геофизического года. В 1960 г. В.В. Белоусов был избран президентом Международного геодезического и геофизического союза. Он разрабатывал конкретные научные программы и проекты, изменившие наши знания о строении Земли. Белоусов выводил значение геофизики на государственный уровень, утверждая, что “развитое государство в настоящее время просто не может нормально работать и даже существовать без хорошо организованной геофизической науки”. В 1960 г. он предложил проект “Верхняя мантия и ее влияние на земную кору”. Выполнение этого и следующего за ним “Геодинамического проекта” в 1970–1980-х годах привело к прорыву в знаниях о глубинном строении Земли, в особенности о строении океанов. Именно результатами выполненных по этим проектам исследований обусловлена “революция в геологии” – из них родилась новая глобальная тектоника, или тектоника плит.

В 1970–1980-е годы В.В. Белоусов возглавлял в Институте физики Земли АН СССР отдел по сравнительному изучению континентов и океанов. В своих



Обложка книги В.В. Белоусова  
"Очерки истории геологии" (2018 г.)

исследованиях он стремился к комплексированию данных из различных дисциплин наук о Земле – геологии, геофизики и геохимии. Подобный подход он называл геонимическим. Следует отметить, что В.В. Белоусов не разделял позиций новой глобальной тектоники, но (параллельно с резкой критикой ее положений) активно разрабатывал альтернативные концепции развития тектоносферы. Так, его концепция эндогенных режимов представляет логически завершенное, непротиворечивое эмпирическое учение о взаимосвязи тектонической структуры, глубинных процессов и истории развития земной коры в зависимости от динамики теплового режима.

Концепция океанизации континентальной земной коры противопоставляет механизм образования океанов за счет погружения материков механизму спрединга (расширения океани-

ческого дна) в концепции тектоники плит и в последнее время находит все больше подтверждений. Оригинальные представления В.В. Белоусова о направленности развития земной коры вносят на рассмотрение ряд практически не затронутых современной геодинамикой проблем.

Заслуги В.В. Белоусова были высоко оценены – он неоднократно награждался высокими правительственными наградами, в том числе высшей наградой в эпоху существования СССР – орденом Ленина (1975 г.). Крупнейший ученый в области наук о Земле, пользовавшийся огромным международным авторитетом, В.В. Белоусов еще в 1953 г. был избран членом-корреспондентом АН СССР. Однако действительным членом АН СССР он так и не был избран – из-за своей принципиальной позиции по неприятию плитной тектоники.

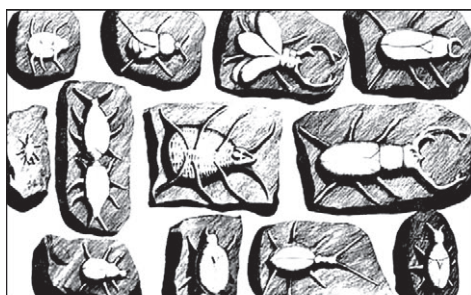
Таким образом, научное наследие В.В. Белоусова содержит богатейший синтез геологических, геофизических и геохимических данных, а его концепции представляют одну из конкурентоспособных альтернатив их истолкования в поисках адекватной теории тектогенеза. Особое место в наследии ученого занимает книга "Очерки истории геологии" (2018). Как уже упоминалось, этой темой В.В. Белоусов занимался во время эвакуации в Казани, в 1941–1942 гг. Для работы над такой тематикой необходимы многочисленные источники, включающие литературу предшествующих столетий, и именно их Белоусову удалось обнаружить в богатейшей библиотеке Казанского университета, в основу которой было положено собрание книг и рукописей князя Г.А. Потёмкина. В результате анализа этих источников и на основании своих более ранних статей об основоположниках геологических концепций Н. Стено, Дж. Геттоне, Б.Г. Соссюре, С.П. Палласе он подготовил книгу об истории геологии, в которой



рассматривается, как накапливались геологические знания с Античных времен до конца XVIII в., когда геология выделилась из общего естествознания в самостоятельную науку. В книге приводятся взгляды античных и средневековых мыслителей на геологические явления, научные прозрения ученых эпохи Возрождения, рассказывается о возникновении первых научных геологических гипотез в XVIII в.

Особое внимание уделено развитию геологических исследований в России, включая эпоху великих академических экспедиций XVIII в., заложивших основу представлений о геологическом строении страны и послуживших отправной базой для создания теоретических представлений в геологии. Этот период очень скудно освещен в литературе, хотя полученные тогда результаты не потеряли своего значения и сейчас. В работе Белоусова проанализирована деятельность многих отечественных ученых – участников экспедиций Императорской академии наук XVIII в. в разные, не исследованные в то время районы Восточной и Южной России, что фактически привело к “открытию России для русских”. Сейчас имена Д.Г. Мессершмидта, С.П. Крашенинникова, Г.В. Стеллера, П.С. Палласа, И.И. Лепехина, В.Ф. Зуева, С.Г. Гмелина, И.П. Фалька, И.А. Гильденштедта, Э. Лаксмана, Н.П. Рычкова, И.Г. Георги, Б.Ф. Германа и других первопроходцев в лучшем случае известны только узким специалистам. Между тем, своими героическими трудами они способствовали познанию территории нашей страны, на их исследованиях основано как ее промышленное освоение, так и рождение отечественной теоретической геологии. Их имена, наряду с именами других прославивших Россию замечательных людей, должны знать потомки.

Работа по истории науки В.В. Белоусова не была опубликована при его жизни, лишь отдельные ее части включались в различные издания монографий



*Иллюстрации из книги “Очерки истории геологии”. Примеры ложных ископаемых из коллекции Иоганна Варфоломея Адама Берлингера (1667–1738) – профессора медицины и личного врача епископа Вюрцбургца, который в 1726 г. опубликовал монографию “Lithographia Wurceburgensis” с описанием 204 видов из своей коллекции (до настоящего времени сохранились 434 камня из 494)*

ученого по общим вопросам геотектоники. Только в 1993 г., после кончины автора, книга была издана усилиями его ближайшего ученика, доктора геолого-минералогических наук В.Н. Шолпо (1931–2004), под названием “Очерки истории геологии. У истоков науки о Земле”. Это издание было, в соответствии с трудными временами, очень скромное и не получило должного резонанса. Тем не менее, заслуга В.Н. Шолпо очень велика – это непритязательное издание сохранило весьма ценный материал от забвения.

Монография В.В. Белоусова “Очерки истории геологии”, выпущенная в 2018 г. в Институте физики Земли РАН,

дополнена материалами по основным этапам становления теоретической геологии в XIX – первой трети XX в., которые содержатся в обобщающих работах ученого.

История нашей науки прослежена в монографии на протяжении 2 тыс. лет – от античных представлений о мифических “подземных ветрах”, дующих внутри только что сотворенной Богом Земли, и причудливых вымыслов Средневековья до вписывающихся в современную геологическую парадигму глубоких прозрений Дж. Геттона (1726–1797), шотландского естествоиспытателя, геолога, физика и химика. Его считают отцом современной геологии и геохронологии, который “вывел” развитие Земли далеко за рамки библейской истории. Книга завершается картиной состояния теоретической геологии, каковой она была перед потрясениями середины XX в., связанными с возникновением концепции тектоники плит. Показано, что за процессом становления геологии как науки скрываются тысячи человеческих судеб: от гигантов человеческой мысли – таких, как Аристотель, Платон, Леонардо да Винчи, Декарт – до безымянных ныне богемских рудокопов, практические познания которых служили проверкой для геологических теорий, “немалое количество которых легло костью у их (рудокопов) ног”.

Этот процесс был так растянут во времени, что сам термин “геология” в современном значении стал употребляться только в XVII в. До этого “геология” означала “земную науку”, в противоположность божественной науке – “теологии”. Если пополнение конкретных знаний о горных породах шло благодаря тем же, условно говоря, “богемским рудокопам”, другими словами – благодаря практическим работам

в рудниках при добыче полезных металлов, то первым теоретическим представлением геология обязана отнюдь не специалистам-геологам, поскольку их просто не было, а художнику Леонардо да Винчи, философу Р. Декарту, математику Г.В. Лейбницу, врачам Г. Агриколе и Н. Стено, физикам Р. Бойлю и Дж. Вудворту. Заслуга В.В. Белоусова при изложении истории становления геологии заключается прежде всего в том, что ему удалось наглядно показать, как из того состояния, когда все науки “на заре своего развития лежали еще в общей колыбели”, геология превращалась в самостоятельную научную дисциплину.

Подобное превращение имело, может быть, не только самую длительную, но и наиболее драматическую историю, поскольку первые же общие представления о развитии Земли должны были “столкнуться” с авторитетом церкви.

Белоусов отрицает как будто очевидный приоритет отдельных круп-

ных открытий и их последующего суммирования в оформлении научных представлений, что типично для других наук. По его мнению, для геологии характерен труднообъяснимый, часто даже таинственный процесс слияния накапливающихся практических (в разных местах, в разное время!) познаний и адекватных теоретических представлений: «Чрезвычайно трудно оценить сейчас геологические представления... отдаленной эпохи. Велико искушение вынести приговор идеям, имевшим обращение триста и четыреста лет тому назад с гордой высоты нашей современной науки. Тогда мы расценили бы, конечно, геологию интересовавшей нас до сих пор эпохи преимущественно как собрание всяких вздорных выдумок и нелепиц, в которых религиозные предрассудки сплелись в один

*В работе Белоусова проанализирована деятельность многих отечественных ученых – участников экспедиций Императорской академии наук XVIII в. в разные не исследованные в то время районы Восточной и Южной России*

Иллюстрации из книги  
“Очерки истории геологии”.  
Вещи Г.Б. Соссюра (1740–1799) –  
швейцарского геолога,  
первого исследователя Альп  
(фото из Музея истории науки  
в Женеве)



пестрый клубок с рассказами невежд. И на этом фоне, изображение которого приняло бы характер сборника анекдотов, мы отметили бы там и сям еле заметные блуждающие огоньки интересных идей, дельных рассуждений и глубоких сопоставлений. Мы стали бы бережно собирать эти огоньки, и они показались бы нам яркими маяками, отмечающими основное русло развития геологии. Леонардо да Винчи, Лейбниц, Стено – вот те люди, идеи которых ближе всего современной науке, и на эти имена нам бы хотелось опираться, пускаясь в плавание по прошлому геологии, полному тумана и смуты. И полусознательно, немного подправляя взгляды этих великих людей, очищая их от “увлечений” и “странностей” с тем, чтобы приблизить их еще больше к нашим представлениям, мы могли бы построить весьма складную схему развития науки. Ничто не было бы ошибочнее этого пути. Леонардо да Винчи, Лейбниц, Стено были великими людьми, и их идеи намного опередили свой век. Но именно последнее обстоятельство и обусловило то, что в свою эпоху они стояли далеко в стороне от извилистой дорожки, по которой пыталась двигаться наука о Земле. При внимательном рассмотрении мы почти не замечаем, чтобы выдающиеся идеи этих великих людей сколько-нибудь влияли на геологические представления их современников. Путь геологии был значительно более сложным. Он слагался не из отдельных гигантских прыжков от одного гениального мыслителя к другому, а из

статистического процесса суммирования множества мельчайших движений мысли, направленных в самые разные стороны и вступающих в причудливые столкновения и комбинации. Этот скрытый, как бы молекулярный процесс каким-то образом вел к постепенному отмиранию нежизнеспособных, порочных идей и медленному оседанию и сохранению здоровых и полезных представлений, которые, однако, сами не оставались в первоначальном виде, меняя с течением времени и свое содержание, и свой облик».

Книга В.В. Белоусова “Очерки истории геологии” вносит весомый вклад в историю науки в целом и заполняет лагуну в истории геологических знаний, существующую в отечественной литературе. Наряду с обширнейшим фактическим материалом по становлению фундаментальных представлений в науках о Земле в этой работе рассматриваются важнейшие специфические методологические проблемы, отличающие историю геологии от истории других научных дисциплин и относящиеся к формированию адекватного научного знания о нашей планете.

*Л.И. ИОГАНСОН,  
кандидат  
геолого-минералогических наук  
Институт физики Земли РАН*

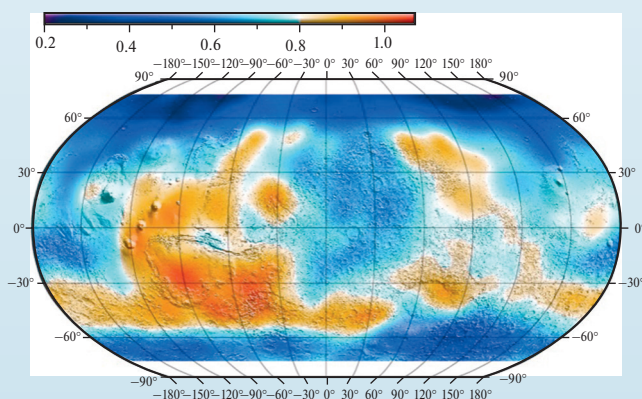
## Информация

### Первая карта распределения воды в подповерхностном слое грунта Марса получена с помощью прибора FREND

Задача российского нейтронного детектора FRENД на борту автоматической межпланетной станции TGO миссии “ЭкзоМарс-2016” (ЗиВ, 2016, №3) – исследование нейтронного потока от поверхности Марса, который свидетельствует о наличии водяного льда или гидратированных минералов в верхнем (примерно до 1 м) слое грунта планеты.

Результаты первого года работы были представлены на пресс-конференции 10 апреля 2019 г. в Вене на Генеральной ассамблее Европейского союза наук о Земле (Австрия).

Прибор FRENД – прямой “наследник” российского нейтронного детектора ХЕНД, который с 2001 г. работает на борту орбитального аппарата “Марс Одиссей” (NASA). Именно с помощью ХЕНДа впервые было показано, что водород и водяной лед распространены в грунте Красной планеты. Но пространственное разрешение данных прибора было низким – около 600 км с орбиты высотой 400 км. Эксперимент FRENД был подготовлен для того, чтобы составить карту с гораздо лучшим показателем: около 60 км с высоты 400 км (рабочая орбита TGO). Для того чтобы достичь такого разрешения, необходимо накопить данные примерно за один марсианский год (или за два земных).



Карта распределения водорода в верхнем слое грунта Марса, построенная по данным наблюдений, выполненных с помощью прибора FRENД на борту АМС TGO в течение 131 дня (с 3 мая по 10 сентября 2018 г.), которые покрывают территорию между 70° с.ш. и 70° ю.ш. Кроме хорошо заметных районов вечной мерзлоты на полюсах, на карте видны отдельные “сухие” и “влажные” районы, в том числе местности с большим содержанием водорода у экватора. (ESA; spacecraft: ATG/medialab; I. Mitrofanov et al.)

К настоящему времени карты, полученные с помощью FRENД, составлены с разрешением 300 км на пиксель. На них видны области вечной мерзлоты в полярных областях, а также экваториальные районы, где в верхнем слое грунта находится много водорода. Это может быть современная вечная мерзлота, или следы прошлого, свидетельствующие о том времени, когда экваториальные участки планеты были полюсами (существует много свидетельств того, что марсианская ось очень сильно “колебалась”).

«По мере поступления новых данных эта карта будет улучшаться, но уже сейчас данные ФRENД превосходят те, что накопил ХЕНД за 16 лет работы», – говорит Игорь Митрофанов, научный руководитель эксперимента ФRENД, руководитель отдела ядерной планетологии ИКИ РАН. – «Таким образом, мы узнаем нахождение наиболее “влажных” районов Марса сейчас и в прошлом. Это важно и для исследования истории планеты, и для планирования будущих экспедиций».

По материалам ESA, докладов в ходе Научной сессии общего собрания Отделения физических наук РАН, ИКИ РАН



# KPS-1b: ПЕРВАЯ ЭКЗОПЛАНЕТА, ОТКРЫТАЯ В РАМКАХ РОССИЙСКОГО ПРОЕКТА

К.И. ИВАНОВ,

научный сотрудник

Астрономической обсерватории Иркутского государственного университета

А.Ю. БУРДАНОВ,

аспирант Льежского университета (Бельгия)

DOI: 10.7868/50044394819030071

**Т**ермин “экзопланета”, плотно вошедший в обиход астрономов в середине 1990-х гг., давно утратил экзотический оттенок. Несмотря на то, что о возможности существования планет за пределами Солнечной системы говорил еще Джордано Бруно в далеком 1584 г. (ЗиВ, 1998, № 6), подлинное развитие астрономии в области открытия и исследований экзопланет обрело смысл лишь в XXI в. Это случилось во многом благодаря стремительному научно-техническому прогрессу последних лет. Всего пара десятилетий потребовалась ученым для того, чтобы осознать всю важность данной темы, разработать десятки новых методов получения и обработки данных, создать специализированные телескопы и модифицировать уже имеющиеся, запустить космические обсерватории “Кеплер” и TESS. Результатом проделанной работы стало открытие более чем 4000 экзопланет в почти 3000 систем, ни одна из которых, к немалому удивлению исследователей, не была в полной мере похожа на Солнечную (ЗиВ, 1995, № 6; 1998, № 3, с. 67; 1999, № 6; 2005, №№ 4–6; 2008, № 2; 2009, № 1; 2010, № 4; 2011, №№ 3, 6; 2012,

№ 6; 2013, № 2, с. 70; 2014, № 5; 2015, № 5; 2016, № 2; 2017, № 6, с. 106; 2018, № 3, с. 15–17). Последнее обстоятельство обусловило стремительный рост актуальности темы экзопланет, выводя ее на один уровень с исследованиями темной энергии, гравитационных волн и фундаментальных проблем рождения и эволюции Вселенной.

Исследованиями экзопланет сегодня занимаются ученые многих стран мира. Не осталась в стороне и Россия, представившая научному сообществу экзопланету KPS-1b около звезды UCAC4 775-030421 в созвездии Большой Медведицы, открытую в рамках проекта “Kourovka Planet Search” (KPS).

---

## ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

---

Российский проект “Kourovka Planet Search” берет свое начало с лета 2011 г. Именно в это время группа молодых ученых, в их числе: А.Ю. Бурданов, В.В. Крушинский, А.А. Попов, Е.Н. Соков, работающих в Коуровской и Пулковской астрономических обсерваториях, а также в Астрономической обсерватории Иркутского



400-мм телескоп MASTER-II Коуровской обсерватории

государственного университета, поставила перед собой задачу поиска и исследования систем экзопланет у ближайших звезд методом транзитов. На тот момент коллектив располагал всего несколькими инструментами, в числе которых были два 400-мм широкопольных роботизированных телескопа MASTER-II системы Гамильтона, разработанные в ГАИШ МГУ под руководством профессора В.М. Липунова в рамках проекта “МАСТЕР” и предназначенные для поиска оптических транзиентов (ЗиВ, 2011, № 3; 2014, № 3, с. 109–110). Телескоп MASTER-II, расположенный на территории Коуровской астрономической обсерватории им. К.А. Бархатовой Уральского Федерального университета (Свердловская обл.; ЗиВ, 1968, № 1; 2018, № 3), использовался в качестве обзорного инструмента для поиска кандидатов в транзитные экзопланеты – звезд, блеск которых периодически меняется на 1–2%.

Скоро выяснилось, что стандартных возможностей имеющихся инструментов недостаточно для плодотворной

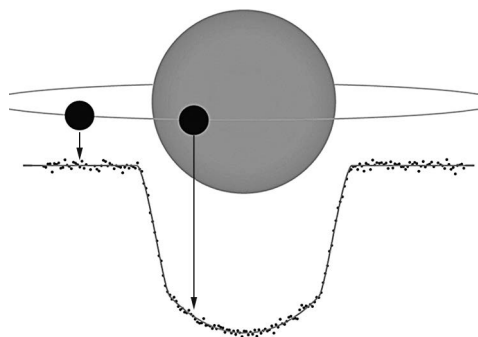
работы проекта. Сказывались, в частности, относительно низкая точность фотометрии, обусловленная значительным влиянием неоднородностей атмосферы при наблюдениях в широких полях, принципиальная невозможность проведения полного цикла исследований, необходимых для присвоения объекту статуса экзопланеты, а также не вполне благоприятный астроклимат, заметно снижающий число наблюдательных ночей. Первая проблема была успешно решена путем разработки и внедрения программного обеспечения, позволяющего минимизировать ошибки фотометрии и увеличить ее точность на порядок; вторая и третья – путем привлечения в проект заинтересованных лиц из других организаций со всего мира, что в конечном счете принесло проекту статус международного.

Несмотря на огромную проделанную работу, первые годы существования проекта не ознаменовались открытиями экзопланет. Удалось обнаружить несколько сотен новых переменных звезд, а также ложноположительных кандидатов – звезд, характер переменности

которых весьма схож с картиной транзита планеты, но в действительности вызван затмениями звездой. Успех пришел лишь в начале 2015 г., когда был найден первый уверенный кандидат в экзопланеты. Комплекс дополнительных исследований, выполненных учеными России, Англии, Бельгии, Италии, Канады, Литвы, США, Нидерландов, Португалии, Турции и Франции, доказал существование на орбите исследуемой звезды планеты, относящейся к классу “горячих юпитеров” и представляющей большой научный интерес. Согласно принятым в астрономическом сообществе правилам, обнаруженная планета получила имя KPS-1b (в честь открывшего ее проекта) и в настоящее время официально внесена в каталоги подтвержденных экзопланет.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Как уже упоминалось выше, в основе работы проекта “Kourovka Planet Search” лежит метод транзитов, суть которого заключается в регистрации незначительного (обычно в пределах 1–3%) уменьшения блеска родительской звезды в момент прохождения планеты на фоне ее диска. Большинство известных ныне экзопланет открыто именно этим методом в рамках исследований с помощью космической обсерватории “Кеплер” (“Kepler”; ЗиВ, 2009, № 4, с. 44–45; 2011, № 6), что подтверждает его высокую эффективность. Тем не менее, невзирая на кажущуюся простоту, имеется ряд ключевых моментов, несоблюдение которых сводит на нет любые попытки его применения.



*Метод транзитной фотометрии. Основан на регистрации изменения блеска родительской звезды в момент прохождения планеты на фоне ее диска*

Важнейшим требованием для реализации рассматриваемого метода является высокая точность фотометрии: для уверенного обнаружения экзопланеты типа “горячий юпитер” допустимая ошибка блеска звезды должна быть порядка нескольких тысячных долей звездной величины, а для обнаружения планет земной группы – на порядок меньше. Для достижения столь высокой точности на телескопе малого диаметра MASTER-II, использовавшемся в качестве обзорного, потребовалось применение уникального программного обеспечения “AstroKit” (создали А.Ю. Бурданов, В.В. Крушинский и А.А. Попов), специально разработанного участниками проекта для этой цели. Из тысяч звезд, расположенных в кадре вместе с объектом исследования, программа выбирает наиболее подходящие под заданные критерии и формирует из них искусственную звезду сравнения, с помощью которой получается высокоточная кривая блеска – график зависимости блеска звезды

*Для уверенного обнаружения экзопланеты типа “горячий юпитер” допустимая ошибка блеска звезды должна быть порядка нескольких тысячных долей звездной величины, а для обнаружения планет земной группы – на порядок меньше*

от времени. Подобный подход позволяет минимизировать влияние атмосферных помех, на порядок увеличивая точность фотометрии.

Вторым необходимым условием успешного применения метода транзитов является как можно большее число одновременно исследуемых звезд: шансы на обнаружение неизвестной экзопланетной системы возрастают пропорционально их числу. Здесь в полной мере проявляют себя именно обзорные телескопы с широким полем зрения, и MASTER-II, имеющий поле в 4 квадратных градуса, не стал исключением. Увеличить количество объектов можно и путем грамотного выбора областей небесной сферы; в нашем случае исследования проводились не только в приполярных областях, но и в плоскости Млечного Пути, в результате чего количество звезд в каждом кадре порой превышало 20 тысяч.

Поскольку транзит экзопланеты – явление периодическое – третьим условием применимости метода транзитов стала возможность неоднократного наблюдения одних и тех же звезд в разные моменты времени. Целенаправленно соблюсти его для десятков тысяч объектов не представляется возможным, поэтому была избрана иная тактика: автоматические наблюдения велись в строго определенных областях небесной сферы (площадках) в течение нескольких месяцев подряд, при этом каждая площадка снималась при любой возможности. Полученные кадры обрабатывались автоматически, после чего строились кривые блеска для всех обнаруженных в кадре звезд. Роль наблюдателя сводилась к грамотной настройке

инструментов и обрабатывающих программ, а также поиску характерных периодических изменений блеска звезд, попавших в конкретную площадку.

Повторные наблюдения обнаруженных при этих условиях кандидатов в экзопланетные системы были направлены в основном на уточнение орбитального периода затмевающего тела, после чего объект передавался для исследования на более крупные телескопы с диаметром объектива от метра и более. Здесь производилась еще более точная фотометрия транзита в разных оптических фильтрах, подтверждалось отсутствие звезды-компаньона посредством спекл-интерферометрических наблюдений, выполняемых с помощью 6-метрового телескопа БТА СО РАН (1975 г.; ЗиВ, 1977, № 6), а также определялись

массы всех компонентов системы методом спектроскопии. На основании полученных данных выносился окончательный вердикт о принадлежности исследуемого объекта к классу экзопланетных систем.

*Необходимым условием успешного применения метода транзитов является как можно большее число одновременно исследуемых звезд: шансы обнаружения неизвестной экзопланетной системы возрастают пропорционально их числу*

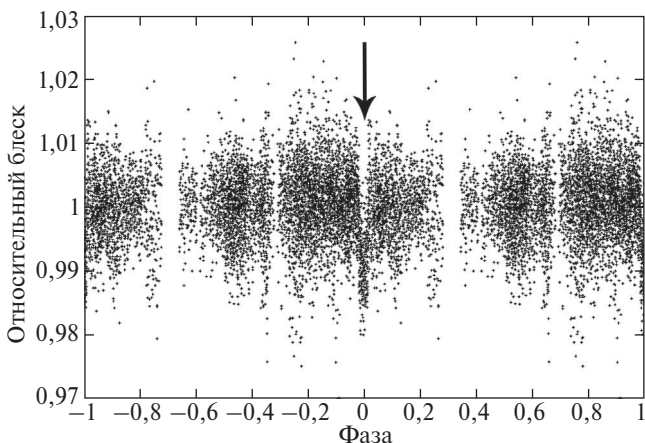
---

## ОТКРЫТИЕ ЭКЗОПЛАНЕТЫ KPS-1b

---

С января по апрель 2015 г. американский астроном-любитель Пол Бенни (штат Массачусетс), присоединившийся к проекту “Kourovka Planet Search” в конце 2014 г., проводил тестовые наблюдения в области созвездия Большой Медведицы с помощью 279-мм телескопа RASA – основного инструмента своей, частной обсерватории. По результатам анализа полученных кадров была обнаружена ранее не отмеченная





На диаграмме обнаружен "провал" в блеске звезды UCAC4 775-030421, расположенной в Большой Медведице. Диаграмма получена по данным анализа результатов наблюдений, полученных с помощью 279-мм телескопа RASA. Характерный "провал", обусловленный наличием периодических колебаний блеска, обозначен стрелкой. Крестиками показан блеск (в относительных единицах) звезды UCAC4 775-03041 при разном орбитальном положении затмевающего тела. Каждый крестик соответствует одному измерению

переменность звезды UCAC4 775-030421 с характерной амплитудой около  $0,01^m$  при общем блеске звезды около  $13^m$ . Дополнительные фотометрические исследования, выполненные с помощью 50-сантиметрового телескопа МТМ-500 Кисловодской горной астрономической станции, подтвердили факт переменности и позволили определить период изменения блеска, оказавшийся равным 1,706 земных суток.

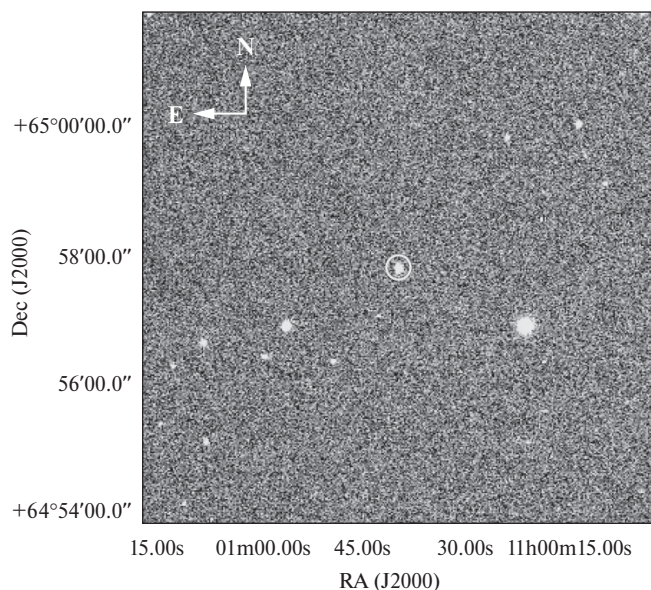
В процессе идентификации системы экзопланет крайне важно определить подлинную природу затмевающего тела. Нередко таковым становится маломассивная звезда, имеющая низкую светимость и обращающаяся вокруг более яркого компаньона на близкой орбите, в результате чего

фотометрическая картина становится весьма похожей на транзит экзопланеты. Дополнительные фотометрические исследования, проведенные с помощью ряда телескопов по всему миру, в том числе с помощью 1-метрового телескопа Т-100 Национальной обсерватории "Тюбитак" (Турция) и 1,65-метрового телескопа Молетайской обсерватории (Литва), по-

зволили с высокой долей вероятности исключить сценарий системы затменных звезд.

Последним и решающим фактором, формирующим окончательное представление о природе затмевающего тела, служат результаты доплеровской спектроскопии, позволяющие оценить взаимное гравитационное влияние компонент системы и, как следствие, определить их массы. Темный объект с массой более  $10 M_{Ю}$  уже не может считаться планетой и относится к классу коричневых карликов. В нашем случае прецизионный анализ, выполненный с помощью спектрографа SOPHIE на базе 1,93-метрового телескопа (Прованс, Франция), позволил определить верхний предел массы для затмевающего тела; она равна  $1,09 M_{Ю}$ . Первая экзопланета, обнаруженная на основе любительских данных при определяющем "участии" российского проекта, была официально открыта и заняла свое место в каталоге экзопланетных систем под именем KPS-1b.

Безусловно, изучение планеты на этом не окончилось. В течение полутора лет после ее обнаружения удалось получить достаточно данных для формирования полного представления как о системе в целом, так и об отдельных ее компонентах. В частности, родительская



В центре кадра родительская звезда UCAC4 775-03042 (отмечена кружком) экзопланеты KPS-1b в Большой Медведице. Изображение получено с помощью 500-мм телескопа МТМ-500, расположенного на территории Кисловодской горной астрономической станции

звезда, удаленная от нас на расстояние 270 пк (55 691 496 а.е., 880 св. лет), по массе и размеру очень похожа на Солнце, но, по-видимому, несколько старше. Экзопланета принадлежит к классу газовых гигантов и обращается вокруг звезды UCAC4 775-030421 по очень низкой орбите (на расстоянии около 4 млн км), в результате чего средняя температура ее атмосферы достигает  $1500^{\circ}\text{C}$ , что, по всей видимости, должно приводить к постоянной потере массы посредством испарения. Вопрос о том, каким образом планета оказалась так близко к родной звезде, остается открытым и требует дальнейшего изучения.

среди всего многообразия уже открытых внесолнечных планет “горячие юпитеры” являются одними из самых экзотических. Обладая уникальным сочетанием физико-химических характеристик, по сей день ставящим многих ученых в тупик, объекты данного класса к тому же достаточно редки: их количество не превышает 10% от общего числа известных экзопланет. Данное обстоятельство придает KPS-1b особую научную ценность.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта (№ 3.9620.2017/БЧ) базовой части государственного задания.

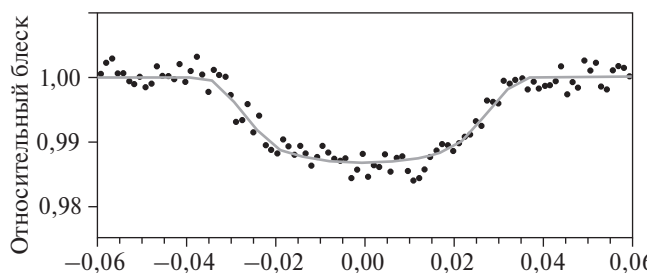


График кривой блеска транзита экзопланеты KPS-1b по диску родительской звезды UCAC4 775-030421, полученный на основе данных телескопа T-100 Национальной обсерватории “Тюбитак” (Турция). Имеет характерную U-образную форму с продолжительным минимумом

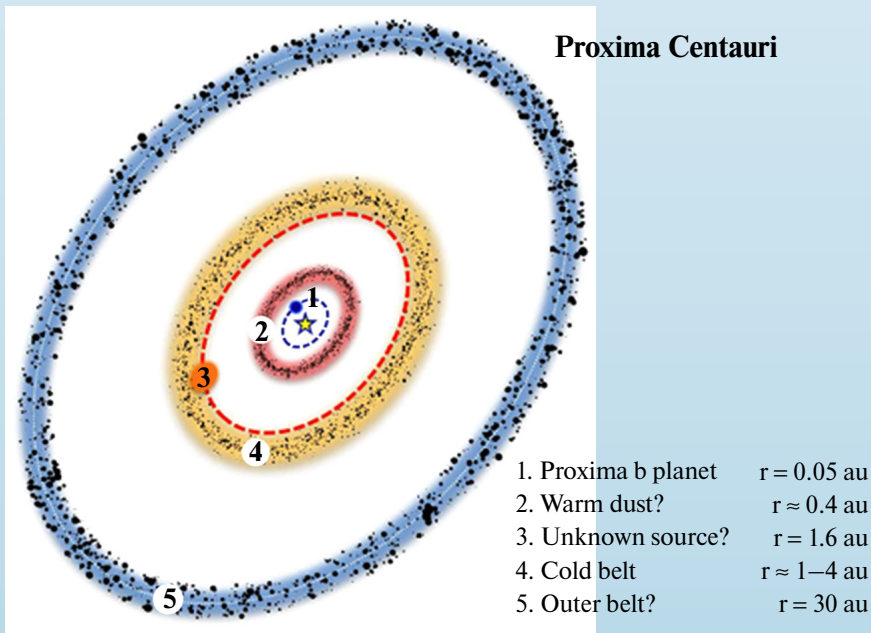
## Информация

### У Проксима Центавра, возможно, обнаружена вторая планета

У ближайшей к Солнцу звезды Проксима Центавра методом лучевых скоростей обнаружена вторая планета – суперземля (или мини-нептун) с минимальной массой в 6 масс Земли и орбитальным периодом 1936 земных суток. Об этом 12 апреля было объявлено на конференции “Breakthrough Discuss-2019”, проходившей 11–12 апреля в Беркли (Великобритания).

Проксима Центавра – тусклый красный карлик, удаленный от нас на  $1,302 \pm 0,002$  пк, или 4,25 световых года. Несмотря на близость, звезда не видна невооруженным глазом, ее светимость составляет всего 1/645 часть солнечной; диаметр – меньше, чем у нашего светила, в семь раз, а масса – в восемь раз. В августе 2016 г. было объявлено об открытии у Проксима Центавра потенциально обитаемой планеты **Проксима b**, имеющей проективную массу 1,3 массы Земли и орбитальный период 11,186 земных суток. Планета вращается вокруг своей звезды на среднем расстоянии 0,0485 а.е. (то есть она к ней в 20,6 раза ближе, чем Земля к Солнцу), но из-за низкой светимости Проксима Центавра получает от нее только 65% той энергии, что получает Земля от Солнца. Иначе говоря, ее температурный режим оказывается промежуточным между температурными режимами Земли и Марса.

И вот – новое открытие! 12 апреля 2019 г. Марио Дамассо из Туринской обсерватории (Италия) объявил об обнаружении в этой системе второй планеты – **Проксима c**, с проективной массой около 6 масс Земли и орбитальным периодом примерно 1936 земных суток.



Сложная структура пылевого диска вокруг звезды Проксима Центавра. На рисунке показаны (без соблюдения пропорций): 1 – орбита планеты Проксима b; 2 – кольцо теплой пыли на расстоянии 0,4 а.е. от звезды; 3 – неизвестный источник, расположенный в 1,6 а.е. от звезды, – предполагаемая планета Проксима c; 4 – кольцо пыли и ледяных обломков – аналог пояса Койпера в Солнечной системе; 5 – возможный внешний пояс очень холодной пыли с температурой 10 К

Тут нужно сделать важное отступление. Обе планеты были открыты не непосредственно на снимках, а с помощью одного из косвенных методов, называемого методом измерения лучевых скоростей. Он основан на том, что, строго говоря, не планета вращается вокруг звезды, а и планета, и звезда вращаются вокруг общего центра масс. Вращение звезды вокруг центра масс системы приводит к периодическому смещению спектральных линий в ее спектре (как говорят ученые – к периодическим колебаниям ее лучевой скорости). Как правило, эти скорости очень малы. У Проксимы Центавра полуамплитуда колебаний лучевой скорости, вызванных планетой Проксима b, составила всего 1,38 м/с! Потребовалось выполнить 216 замеров на протяжении 15 лет, чтобы надежно выделить сигнал из шумов.

После открытия Проксимы b наблюдения за звездой продолжились. За 549 сут был получен дополнительно 61 замер лучевой скорости с помощью высокоточного спектрографа HARPS. Анализируя расширенные данные, исследователи учли колебания, обусловленные собственной активностью звезды, и колебания, вызванные планетой Проксима b. И оказалось, что Проксима Центавра совершает также колебания с периодом в 1936 земных суток, которые нельзя объяснить ни пятнами на ее поверхности, ни вспышками, ни прочими проявлениями внутренней активности. С большой долей вероятности это свидетельствует о том, что у нее есть вторая планета.

М. Дамассо подчеркивает, что пока это всего лишь гипотеза. Реальность планеты Проксима с еще предстоит подтвердить.

Если Проксима существует, то ее масса, как минимум, в шесть раз превышает земную. Точнее сказать нельзя, потому что метод лучевых скоростей позволяет измерить не истинную (физическую) массу планеты, а только проективную, т.е. произведение массы планеты на синус угла наклона ее орбиты к лучу зрения. Фактически значение проективной массы оказывается нижним пределом истинной массы планеты. Проксима с вращается вокруг своей звезды на среднем расстоянии ~1,5 а.е., то есть примерно на расстоянии Марса, но из-за низкой светимости Проксимы Центавра температурный режим планеты должен быть близок к таковому у Плутона. Скорее всего, планета представляет собой “легкий” аналог Нептуна.

Наблюдения Проксимы Центавра с помощью миллиметрового радиотелескопа ALMA привело к открытию пылевого кольца вокруг этой звезды. Оно располагается на расстояниях 1,3–4,0 а.е. от Проксимы, средняя температура пыли (точнее, мелких ледяных обломков миллиметрового и сантиметрового размера) составляет 40 К, что близко к температуре пыли в поясе Койпера в Солнечной системе. Это говорит о том, что Проксиму Центавра окружает собственный компактный аналог пояса Койпера, чья масса оценивается в 0,01 массы Земли.

Интересно, что на расстоянии 1,6 а.е. от звезды с помощью ALMA обнаружен довольно яркий источник миллиметрового излучения, который как раз и может оказаться планетой Проксима с! В полученных данных есть также “указание” на кольцо более теплой (температурой примерно 90К) пыли, находящееся на расстоянии 0,4 а.е. от звезды, однако для подтверждения его существования необходимы новые наблюдения. Также есть “знак” на наличие удаленного (примерно 30 а.е.) и очень холодного (~10 К) кольца пыли, которое тоже пока остается под вопросом.

Новые данные свидетельствуют, что у ближайшей к Солнцу звезды есть полноценная планетная система, включающая в себя как планеты, так и астероидные пояса. Изучение этой планетной системы только начинается, и нас наверняка ждет еще немало сюрпризов.

*Использованы новости конференции  
“Breakthrough Discuss-2019” и др. материалы  
(сайт электронных препринтов: [arxiv.org](http://arxiv.org))*



## ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ “КОСМИЧЕСКАЯ НАУКА”

DOI: 10.7868/50044394819030083

26–29 ноября 2018 г. в Казанском федеральном университете (КФУ) состоялась Пятая Международная молодежная школа-конференция “Космическая наука”. Она была приурочена к юбилейным датам – выдающимся событиям в истории космических исследований в нашей стране: 55-летию полета на КК “Восток-6” 16 июня 1963 г. первой женщины-космонавта Валентины Владимировны Терешковой, 30-летию запуска российского многоцелевого КК “Буран” и 20-летию работы МКС.

Возглавил научный оргкомитет конференции доктор физико-математических наук К.В. Холшевников (СПбГУ). Школа-конференция проходила в зале культурно-спортивного комплекса “УНИКС” (Университет, Культура, Спорт) КФУ.

26 ноября состоялось официальное открытие Молодежной школы-конференции. Последовали приветственные слова директора Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта (АОЭ) Ю.А. Нефедьева, выступили сотрудник Института физики КФУ С.И. Никитин, заведующий отделом исследования Луны и планет ГАИШ МГУ В.В. Шевченко, заведующий кафедрой радиофизики Института физики КФУ О.Н. Шерстюков, генерал-майор В.Р. Шарипов (заместитель председателя Центрального совета Союза ветеранов космических войск, Москва) и другие докладчики из России и стран СНГ. С началом плодотворной работы форума поздравили также академик Российской академии космонавтики

Эмблема Молодежной школы-конференции “Космическая наука”



им. К.Э. Циолковского генерал-лейтенант, заслуженный испытатель космической техники В.М. Власюк и космонавт-испытатель НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина Д.В. Матвеев. Они пожелали школьникам, студентам и аспирантам преумножать свои знания и открывать для себя новые горизонты познания.

«Этот год ознаменован тем, что мы можем отметить ряд вех, символизирующих достижения отечественной космонавтики», – подчеркнул Денис Владимирович Матвеев, останавливаясь на событиях, к которым была приурочена в этом году школа-конференция. «Все наши достижения были бы невозможны без самоотверженного труда огромного количества людей – инженеров, конструкторов, ученых, врачей... Что касается сегмента пилотируемой космонавтики, то можно сказать, что перед нами сегодня стоят еще более интересные и амбициозные задачи: обеспечить долговременное пребывание человека на окололунной орбите и строительство на поверхности Луны обитаемой базы. Есть и еще более важная задача – высадка человека на Марс. Я верю, что эти проекты будут рано или поздно реализованы в том числе и с вашей помощью!».

Хороший подарок КФУ преподнес В.В. Шевченко: «За день до моего отъезда к вам мы получили тираж новой карты Луны – первой, на которой обозначен новый кратер. Он носит имя Анатолия Алексеевича Нефедьева, в 1958–1976 годы директора Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта Казанского университета, доктора физико-математических наук, профессора (ЗиВ, 2011, № 1). Название кратера было утверждено на Генеральной ассамблее Международного астрономического союза», – сказал Владислав Владимирович, вручая карту нынешнему директору АОЭ КФУ – Юрию Анатольевичу Нефедьеву. В конце торжественной церемонии. В.М. Власюк

и В.Р. Шарипов вручили памятные медали от Федерации космонавтики России организаторам школы-конференции “Космическая наука”.

Далее по традиции перед участниками школы-конференции выступили с докладами и лекциями известные ученые, популяризаторы науки и специалисты в области астрономии и космических исследований из СПбГУ, ГАИШ МГУ, Института астрономии РАН и госкорпорации “Роскосмос”.

Наибольший интерес вызвали доклады: доктора физико-математических наук **В.В. Шевченко** (ГАИШ МГУ) “Внеземные ресурсы в околоземном пространстве: Луна и астероиды”; **К.В. Холшевникова** (СПбГУ) о методике изменения у астероидов опасной для Земли орбиты; доклад “Изучение средней и верхней атмосферы Земли и объяснение причины большого числа серебристых облаков на небе летом 2018 г.” [**О.С. Угольникова** (ИКИ РАН)] и “О вкладе военных структур в освоение космоса и возможности поступления в Военно-космическую академию” [полковника **В.М. Латанова** (Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского)]. Также школьники узнали много нового о способах космической защиты, о низкочастотных радиошумах и о работе космонавтов на МКС. В итоге было прослушано более 20 лекций.

Профессор **К.В. Холшевников** (СПбГУ) выступил с докладом “Увод астероида с опасной орбиты”. В нем он сообщил о том, что к настоящему времени открыто около 800 тыс. астероидов (из них 1400 – потенциально опасные), они могут приблизиться к Земле на расстояние 1/20 а.е. (7,5 млн км). Взрыв даже крошечного метеорита в густонаселенном районе Земли может быть катастрофичным для региона падения. Докладчик говорил о том, что большие астероиды (диаметром более около километра) ученые не рассматривают:



Президиум Школы-конференции "Космическая наука"

в ближайшие сто лет ни один из них не упадет на Землю.

Люди осознали, какую опасность представляет падение астероидов и уже придумали способы от них уберечься: уничтожить астероид или "увести" его с опасной орбиты. Способов "увода" может быть несколько: ударить по нему ступенью тяжелой ракеты или астероидом массой порядка 1000 т ("космический бильярд"), изменить орбиту с помощью включения двигателей малой тяги.

Остановимся на последнем способе. Перевод на новую орбиту астероида – трудная и технически сложная задача. Оказалось, что астероиды диаметром до 55 м можно "увести" с опасной орбиты за год с помощью непрерывно работающего двигателя тягой всего в 1 Н; для 150-метрового астероида нужна тяга в 20 Н, с такой же тягой для 300-метрового астероида (как знаменитый Апофис) понадобится 20 лет. Эти возможности вполне реальны с использованием технических возможностей в ближайшем будущем.

В докладе доктора физико-математических наук **Л.В. Рыхловой** (ИНАСАН) была кратко изложена история развития и становления новых направлений науки – космической геодезии

и геодинамики: от первых наблюдений ИСЗ в качестве визирной цели и разработки программ космической (спутниковой) триангуляции до построения первых глобальных геодезических сетей. Большое внимание уделено разработке новых принципов измерения поверхности Земли – когда для этих измерений стали пользоваться лампами-вспышками и отражателями для лазерных наблюдений на спутниках и геодезических спутниках (с доплеровскими системами и радиовысотомерами). В программы наблюдений вошли принципиально новые задачи: уточнение параметров гравитационного поля Земли, фигуры геоида, океанических приливов, строения земной коры и динамики твердой Земли.

Начиная с 1988 г. Международная служба вращения Земли перешла от наземных оптических наблюдений звезд к принципиально новым методам определения параметров вращения нашей планеты – с использованием лазерных, доплеровских и радиоинтерферометрических наблюдений. Специалисты по космической геодезии и геодинاميке зачастую наблюдают за одними и теми же объектами. Отмечалось, что целью космической геодезии можно считать определение фигуры

Земли и параметров ее гравитационного поля, тогда как цель геодинамики – исследование динамических процессов, происходящих в системе “планета Земля”, и изучение силовых полей, обуславливающих эти процессы. В 1973 г. на лекции в Потсдаме бельгийский астроном, геофизик и геодезист П. Мелькиор сказал: “Геодинамика – точка встречи астрономии, геодезии и геофизики”.

Доктор физико-математических наук **В.В. Шевченко** (ГАИШ МГУ) в докладе “Внеземные ресурсы в околоземном пространстве: Луна и астероиды” напомнил о том, что в последние годы в аналитических обзорах эксперты все чаще обращают внимание на рост дефицита редких и редкоземельных элементов, необходимых для развития передовых технологий в современной промышленности. Опираясь на известные астрономические данные, ряд ведущих космических организаций для решения этой проблемы в будущем предложили проекты утилизации вещества астероидов, сближающихся с Землей. Несмотря на сложности “захвата”, транспортировки и последующей “разработки” в космосе подобных объектов, такой путь решения задачи кажется технологически возможным и экономически оправданным.

В самом деле, относительно небольшой металлический астероид размером 1,5 км содержит различные редкие металлы общей стоимостью 20 трлн долл. Однако утилизация астероидного вещества, которое будет “поступать” на лунную поверхность, может оказаться технологически более простой и более рентабельной. До настоящего времени считалось, что лунные ударные кратеры не содержат пород образовавшихся их астероидов, так как при высоких скоростях падения в процессе столкновения с поверхностью нашего спутника вещество астероидов испаряется. «Согласно последним исследованиям», – уточнил докладчик, – «выяснилось, что

при скорости падения меньше 12 км/с вещество “ударника” (то есть упавшего малого небесного тела) может частично сохраниться в раздробленном состоянии. Следовательно, к числу возможных ресурсов, присутствующих на лунной поверхности, можно отнести никель, кобальт, платину и редкие металлы астероидного происхождения. Расчеты показывают, что общая масса (например, платины и платиноидов, сохраняющихся на поверхности Луны в результате падения медленных астероидов поперечником около 1 км) может составлять до 14,1 млн т».

Темой лекции доктора физико-математических наук **Д.З. Вибе** (ИНАСАН) “Межзвездное вещество” стали современные представления о веществе, заполняющем пространство между звездами. Докладчик упомянул о том, что существуют две возможности исследовать это вещество: во-первых, оно поглощает и рассеивает свет от других источников, во-вторых, оно светится само. Поскольку очевидными источниками света во Вселенной являются звезды, первые свидетельства существования вещества незвездной природы были получены в результате астрономических наблюдений.

Важнейший вклад в формулирование проблемы межзвездного вещества внес великий наблюдатель Вильям Гершель. Следующий важный шаг к раскрытию природы межзвездного вещества был сделан в 1904 году при помощи спектрального анализа. Немецкий астроном – директор обсерватории Ла-Плата Йоханнес Хартманн обнаружил, что некоторые линии в спектре звезды Минтака рождаются не в атмосфере звезды, а гораздо ближе к нам, на пути от звезды к наблюдателю. Благодаря этому открытию стало ясно, что туманности представляют собой лишь верхушку айсберга, а на самом деле вещество присутствует в пространстве между звездами повсеместно.





*Участники Молодежной школы-конференции "Космическая наука" перед главным зданием Казанского федерального университета*

В 1938 году был выяснен и основной компонент этого вещества: обнаружение межзвездных линий излучения продемонстрировало, что газ, заполняющий пространство галактического диска, представляет собой, главным образом, водород. Несколько раньше, в 1930 г., американский астроном швейцарского происхождения Роберт Трамплер продемонстрировал, что, помимо межзвездного газа, существует также и межзвездная пыль. Однако полномасштабные исследования межзвездного вещества начались только в конце 1940-х гг., когда у астрономов появилась возможность проводить наблюдения в радиодиапазоне. По современным представлениям, межзвездное вещество состоит из смеси газа и пыли, причем масса пыли уступает массе газа в 100 раз. Примерно половина объема галактического диска заполнена очень горячим корональным газом с температурой около миллиона градусов и концентрацией около  $0,005 \text{ см}^{-3}$ . Другая половина объема диска занята "теплой фазой": частично ионизованным газом с температурой около 10 000 К и концентрацией  $0,5 \text{ см}^{-3}$ .

"Холодная фаза", состоящая из нейтрального атомарного и молекулярного газа, заполняет всего около 1% объема галактического диска, но содержит в себе примерно половину массы межзвездного вещества. На возможность регистрации излучения других молекул в радиодиапазоне первым в 1949 г. указал И.С. Шкловский.

Впервые межзвездные молекулы в радиодиапазоне были зафиксированы в 1963 г., а сейчас их разновидностей известно более 200. Химический синтез в молекулярных облаках приводит к появлению в них простейших аминокислот, в частности глицина. Солнечная система окружена межзвездным веществом, относящимся к "теплой фазе". Ближайшие к нам молекулярные облака находятся на расстоянии примерно 130–140 пк в направлении созвездия Тельца. Именно там у нас на глазах в холодном молекулярном газе рождаются новые звезды.

Доктор физико-математических наук **А.В. Багров** (ИНАСАН) прочитал участникам молодежного форума два доклада. Первый – "История Солнечной системы – почему она не похожа



Школьники на конференции

на другие планетные системы?” – был посвящен новейшим открытиям экзопланет и связанных с ними вопросам к общепринятой теории их образования. Открытые у других звезд планетные системы оказались совершенно непохожими на нашу, и теперь необходим пересмотр общепринятой теории планетной космогонии. Докладчик рассказал о своей гипотезе, согласно которой быстрое вращение протопланетного облака могло привести к долгому накоплению вещества в формирующейся звезде, а за это время в газопылевом диске успели сформироваться все планеты. Во время своего роста эти планеты могли захватывать вещество от растущей протозвезды и превращаться в планеты-гиганты рядом с родительской звездой. Во втором докладе – “Планы России в изучении Солнечной системы космическими средствами и упущенные возможности” – А.В. Багров проанализировал положение в этой области отечественной космонавтики. Россия достигла огромных успехов в пилотируемой космонавтике и разработке систем для длительного пребывания людей на орбитальных

станциях. Но программа исследований дальнего космоса застыла. США, ESA (European Space Agency – Европейское космическое агентство) и даже Япония сейчас настолько опережают Россию в изучении Меркурия, Марса, астероидов, комет и планет, что уже нет смысла тратить силы и скудное финансирование нашей космонавтики на гонку за лидерами. Россия с большей эффективностью может использовать свои достижения для подготовки к активному освоению ресурсов Луны с помощью пилотируемой техники. Луна для нашей цивилизации представляет собой самое перспективное место для колонизации космоса, и чем быстрее мы займемся освоением нашего спутника, тем больше у нас будет возможностей поставить космос на службу соотечественникам.

Доктор физико-математических наук **Б.П. Кондратьев** (МГУ) затронул проблему образования Луны и ее влияния на Землю за миллиарды лет. В докладе “Смещение центра инерции Луны к востоку: на пути к пониманию ее образования и эволюции” ученый обратил внимание на некоторые особенности

в смещении центра масс у Луны относительно центра фигуры. Рассматриваются два механизма, объясняющие причину появления смещения центра масс Луны к востоку в лунной системе координат от среднего направления на Землю. Первый механизм учитывает то, что главная ось инерции Луны направлена не точно на Землю, а на второй – свободный – фокус. Сценарий показывает, что в раннюю историческую эпоху (порядка 4,5 млрд лет назад) орбита Луны имела меньший эксцентриситет, чем сейчас. Второй механизм учитывает эффект округления фигуры Луны при ее постепенном удалении от Земли за счет приливных эффектов. Здесь важную роль играют два фактора – резкое возрастание приливных сил 4,5 млрд лет назад, когда Луна была в 10 раз ближе к Земле, чем сегодня, и то, что земные приливные силы оказали влияние на формирование облика полушарий Луны (они имеют различие).

В июне–июле 2018 г. в Европейской России наблюдалось аномально много серебристых облаков. **О.С. Угольников** в своем первом докладе рассказал о причинах их появления, отметил зависимость числа этих событий от извержений вулканов, выделяющих пыль в атмосферу, падений метеоритов и температуры мезосферы. Второй доклад ученого был посвящен космическим гамма-всплескам, природе и энергетике этих процессов, а также воздействию гамма-вспышки на атмосферу Земли, случись она поблизости.

В заключение участники конференции с интересом выслушали выступление мэтра казанской астрономии – академика АН Республики Татарстан Н.А. Сахибуллина, его доклад был посвящен Н.И. Лобачевскому (ЗиВ, 2017, № 6).

Проводя в лекционном зале “УНИКСа” до девяти часов в день, школьники посмотрели фильмы “Спутник: ступень во Вселенную” и видеоматериал



*Награждение победителя  
астрономического конкурса А. Рюмочкиной*

о работе Международной космической станции. Юные участники Школы стремились сфотографироваться рядом с космонавтом-испытателем Д.В. Матвеевым.

Как и в 2017 г., все участники школы-конференции могли поучаствовать в творческом конкурсе, в котором, в свою очередь, было три номинации: интеллектуальная, литературная и художественная. На интеллектуальной номинации принимались словесные головоломки (кроссворд, сканворд и др.), посвященные советской и российской космонавтике. Головоломку необходимо было составить из космических понятий и терминов, названий космических аппаратов, фамилий космонавтов, которые имеют прямое отношение (это должно быть указано) к полету или биографии В.В. Терешковой, созданию и полету КК “Буран” и эксплуатации МКС. На литературном конкурсе рассматривались поэтические произведения и самостоятельно подготовленные





Конкурсная работа "УНИКУБ",  
подготовленная Г. Поморцевым

эссе размером не более двух страниц по указанным выше темам (к примеру, каких достижений могла бы достичь наша космонавтика с помощью корабля "Буран"). На художественной номинации предлагалось подготовить плакат по одной из предложенных тем. Жюри творческой номинации составляли астрономы – лекторы школы (К.В. Холшевников, Д.З. Вибе, В.В. Шевченко), представители Федерации космонавтики России (Б.М. Лейферов, В.Р. Шарипов) и учителя-предметники лицеев при КФУ и гимназии № 75 г. Казани. Всего было прислано более 75 работ: 19 эссе и стихотворений, 33 плаката и 24 работы на интеллектуальную номинацию. Все работы были очень интересными и разнообразными, поэтому сложно было выделить только 12 призеров.

26 ноября 2018 г. на молодежной школе-конференции прошло награждение победителей и призеров конкурса дипломами Федерации космонавтики РФ, ценными призами и научно-популярными книгами, предоставленными просветительским фондом "Эволюция". Дипломом им. Ю.А. Гагарина за первое место в художественном конкурсе была награждена ученица 7-го класса Центра воспитательной

работы Зеленодольского района РТ Анастасия Моисеева, которая сделала плакат, посвященный полету В.В. Терешковой. Она также удостоилась диплома им. К.Э. Циолковского от Федерации космонавтики России. В номинации "Плакат в компьютерной графике" диплом им. С.П. Королёва получила команда учащихся 7"А" класса лицея им. Н.И. Лобачевского КФУ под руководством Г.Ю. Сибгатуллиной. Виолетта Квалова (9-й класс, школа № 84, г. Ижевск, педагог Р.Р. Шагиев) также получила диплом им. С.П. Королёва – за эссе под названием "О чем вы думаете, когда слышите о Международной космической станции?". За лучшее стихотворение диплом им. Г.С. Титова был присужден Аделине Рюмочкиной (9-й класс, школа № 144 г. Казани, педагог А.С. Сулейманова). Приводим выдержку из ее замечательного произведения, посвященного 55-летию полета В.В. Терешковой:

*«...Ее полет объединил,  
Тогда страну в одном порыве.  
И нам, потомкам, подарил  
Воспоминанья о прорыве.*

*И я горжусь моей страной,  
Своих героев не забывшей.  
И Чайкой – в космосе одной,  
Других на подвиг вдохновившей!»*

В интеллектуальной номинации, бесспорно, самой лучшей работой стал "УНИКУБ", придуманный Георгием Поморцевым (9-й класс, школа № 100 г. Ижевска). Он состоит из отдельных кубиков, которые можно сложить, при этом на одной стороне можно будет получить портреты Ю.А. Гагарина, К.Э. Циолковского, МКС или корабля "Буран", а на других гранях большого куба складываются слова, связанные с жизнью В.В. Терешковой и космическими исследованиями. Эта работа была награждена Федерацией космонавтики России дипломом им. К.Э. Циолковского.



Вечером 27 ноября команда лицея им. Н.И. Лобачевского вместе с еще 10 командами из других школ Казани, Ижевска, Лыткарина участвовала в интеллектуальной игре “Знатоки космоса”. На этой игре школьники проверили свои знания по астрономии и истории космонавтики. Во время закрытия школы-конференции “Космическая наука” были объявлены победители интеллектуальной игры, в которой первое место в честном бою разделили команды астрономического кружка “Ижастро” из г. Ижевска и лицея им. Н.И. Лобачевского КФУ. Все команды-участники получили памятные призы.

По завершении работы Международной школы-конференции дети и педагоги получили сертификаты участников.

*Ю.А. НЕФЕДЬЕВ,  
доктор физико-математических наук  
директор Астрономической  
обсерватории  
им. В.П. Энгельгардта  
А.И. ГАЛЕЕВ,  
доцент Астрономической обсерватории  
им. В.П. Энгельгардта  
А.О. АНДРЕЕВ,  
младший научный сотрудник  
Института физики КФУ  
Фото Е.Н. МИНЕЕВА,  
Ю.А. НЕФЕДЬЕВА И А.И. ГАЛЕЕВА*

## Информация

### “ЭкзоМарс – 2016” не нашел метан на Марсе

10 апреля 2019 г. на Генеральной ассамблее Европейского союза наук о Земле в Вене (Австрия) состоялась пресс-конференция, где журналистам были представлены первые результаты исследования атмосферы Марса, выполненные с помощью спектрометрических комплексов ACS и NOMAD, а также карты распределения подповерхностного льда, построенные с помощью нейтронного спектрометра FRENД. Все три прибора работают на борту автоматической межпланетной станции “Trace Gas Orbiter” (TGO) российско-европейской миссии “ЭкзоМарс-2016”.

Впрочем, назвать оглашение результатов публичным будет не совсем точно: научные статьи с теми же данными были опубликованы в журнале “Nature” в тот же день, но, по правилам публикации, говорить о них разрешалось только, начиная с 20:00 по московскому времени. Поэтому журналисты, узнавшие о результатах TGO уже в 11 часов утра, вынуждены были молчать несколько часов, так что результаты марсианской экспедиции несколько “потерялись” на фоне громкой пресс-конференции о первом “прямом” изображении черной дыры.

А они оказались, без большого преувеличения, сенсационными и, видимо, приведут к пересмотру многих представлений о химических циклах в атмосфере Марса.

С помощью российского спектрометрического комплекса ACS и бельгийского научного прибора NOMAD не удалось зарегистрировать в атмосфере Марса метан. Это означает, что его концентрация вряд ли превышает уровень в 50 частиц на триллион, а это в 10–100 раз меньше, чем “показывали” предыдущие наземные и космические эксперименты.

Отрицательный результат на самом деле удивителен, если учесть всю историю поиска метана на Марсе.

Впервые линии поглощения метана на Марсе обнаружили в 1999 г. с помощью инфракрасного спектрометра на канадско-французско-гавайском телескопе.

## ЗАГАДКА МЕТАНА НА МАРСЕ

### Основные измерения содержания метана на Марсе



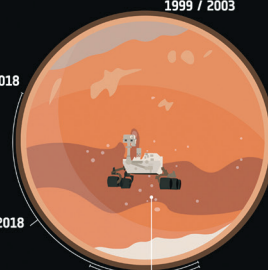
**Trace Gas Orbiter**  
проекта **ЭкзоМарс**  
не регистрирует метан,  
верхний предел концентрации  
определен в **0,05 ppbv**



2018

По данным **Кьюриосити**  
за четыре года измерений  
колебания фонового  
содержания метана  
составляют **0,2–0,7 ppbv**

2012–2018



1999 / 2003

По данным **первых** наблюдений  
с помощью наземных обсерваторий  
уровень метана оценивается в **10 ppbv**;  
позже — до **50 ppbv** в протяженных выбросах  
над определенными районами

2004

2004

По первым измерениям  
**Марса-Экспресса**  
вариации  
содержания метана  
составляют **0–30 ppbv**

2012–2014

2013

**Кьюриосити**  
регистрирует выброс метана  
с концентрацией **6 ppbv**

2012–2014

**Марс-Экспресс** не регистрирует метан,  
кроме одного выброса **15 ppbv**  
на следующий день  
после регистрации **Кьюриосити**

ppbv — частиц на миллиард в единице объема (parts per billion by volume)

#Exomars

“Кьюриосити”. “Марс-Экспресс”

Его концентрацию оценили в  $10 \pm 3$  части на миллиард в единице объема (ppbv). Затем в 2003 г., тоже с Земли, был зарегистрирован значительный выброс этого газа с концентрацией 45 ppbv. В 2004 г. с помощью прибора PFS на АМС “Марс-Экспресс” (ЕКА), как предполагается, также был зарегистрирован метан в количестве около 10 ppbv.

Однако с помощью марсохода “Кьюриосити”, работающего в кратере Гейла с конца 2011 г., метан вначале не был зарегистрирован вообще, его концентрация ограничена значением в 0,2 ppbv (или 200 частицами на триллион, pptv, – предел чувствительности прибора), а потом аппарат несколько раз “наблюдал” значительное кратковременное повышение, вплоть до 9 ppbv.

В 2013 г. с помощью лазерного спектрометра TLS на борту “Кьюриосити” зарегистрировано повышение концентрации метана до 5,8 ppbv, и, что особенно интересно, с помощью спектрометра на борту аппарата “Марс-Экспресс” был подтвержден этот “выброс” в районе кратера Гейла, причем с еще большей концентрацией – 15,5 ppbv. Но в более чувствительном режиме тот же TLS фиксирует лишь “фоновые” значения на уровне 0,24–0,65 ppbv.

Три инфракрасных спектрометра в составе комплекса ACS на борту TGO были созданы именно для того, чтобы зарегистрировать метан, даже если его концентрация на два порядка меньше, чем “указывает” “Кьюриосити”, – не более нескольких частиц на триллион. Второй прибор на борту, также нацеленный на поиск малых составляющих атмосферы, – бельгийский спектрометрический комплекс NOMAD, тоже работающий в ИК-диапазоне

электромагнитного спектра. Оба комплекса могут “наблюдать” атмосферу как в надир, так и “на просвет” – в режиме солнечных затмений – когда регистрируется излучение Солнца, “прошедшее” через слой атмосферы Марса на лимбе планеты.

Научные наблюдения начались в апреле 2018 г., после почти годового периода “аэробрейкинга”, – “торможения с помощью атмосферы”. Результаты тестирований и калибровок показали, что приборы успешно “пережили” перелет и выход на рабочую орбиту высотой около 400 км. Исследователи приготовились изучать распределение малых концентраций метана в атмосфере, но... метан обнаружить не удалось.

«Спектрометры ACS, как и спектрометры комплекса NOMAD не зарегистрировали метан на Марсе во время измерений с апреля по август 2018 г. Наблюдения проводились в режиме солнечных затмений на всех широтах», – говорит **Олег Кораблёв**, научный руководитель спектрометрического комплекса ACS, руководитель отдела физики планет ИКИ РАН и соавтор двух статей, опубликованных в “Nature” 10 апреля 2019 г.

Означает ли это, что “история метана” на Марсе закрыта?

В принципе результаты ACS и NOMAD “не исключают” присутствия метана в атмосфере полностью, но устанавливают верхний (и довольно жесткий) определенный предел его концентрации. Вывод статьи в “Nature” таков: метана в атмосфере Марса не может быть больше, чем 0,05 ppbv (или 50 частиц на триллион). Наиболее точные данные были получены для высот в 3 км в северном полушарии, и здесь этот предел еще ниже – 0,012 ppbv (12 частиц на триллион).

Установленный очень низкий верхний предел допускает, что на Марсе все же имеется до 500 т метана – он мог выделяться в течение 300 лет и разноситься по планете благодаря циркуляции атмосферы. Это в 10–100 раз меньше, чем показывали предшествующие эксперименты. Правда, новые данные правильнее сравнивать лишь с результатами TLS (“Кьюриосити”), так как другие приборы не были предназначены специально для регистрации метана.

«Переменность метана, его эпизодическое появление, сменяемое отсутствием, на самом деле представляет серьезную загадку для атмосферных физиков», – рассказывает научный руководитель программы “ЭкзоМарс–2016” от России член-корреспондент РАН Олег Кораблёв. – «В рамках нашего понимания процессов в атмосфере Марса не представляется возможным совместить вновь определенный верхний предел даже с низким “метановым фоном”, установленным “Кьюриосити”. А если посчитать единичные выбросы в кратере Гейл или в других местах – еще труднее объяснить, почему так мало среднее содержание во всей атмосфере. Для этого надо найти какой-то новый механизм быстрого разрушения метана вблизи от поверхности, который должен действовать очень избирательно (только на метан), не затрагивая другие химически активные составляющие атмосферы, измеренные концентрации которых очень хорошо воспроизводятся моделями».

*По материалам ESA, “Nature”, ИКИ РАН  
Рисунок ESA*

## МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ

DOI: 10.7868/50044394819030095

**Н**епредсказуемость и кратковременность метеорных явлений делают метеорную астрономию одним из немногих разделов науки, существенный вклад в развитие которого могут внести любители. Дальность видимости отдельного метеора даже при идеальных условиях не превышает 1200 км; следовательно, метеоры, пролетающие – скажем, над Уралом – не видны из Москвы, а метеоры – пролетающие над Москвой – не видны на Кавказе. Наблюдаемость кратковременных метеорных потоков часто ограничивается лишь небольшой территорией, так как на остальной части земного шара либо радиант находится под горизонтом, либо – светлое время суток, либо – облачная погода. Профессиональные астрономы пока не имеют достаточных ресурсов для создания из наблюдательных инструментов сети необходимой плотности и равномерности, и поэтому иногда им нужны данные, полученные наблюдателями-любителями.

### МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ В МИРЕ

Международная метеорная организация (The International Meteor Organization, **ИМО**) была основана в 1988 г. – в ответ на всевозрастающую необходимость создания международной кооперации любителей наблюдений за

метеорными явлениями. В современных условиях такая организация не может обойтись без интернет-сайта, представляющего самую разнообразную актуальную информацию. Он есть – <https://www.imo.net>.

Каждые два месяца под эгидой ИМО выходит в свет очередной номер журнала “WGN, the Journal of the International Meteor Organization” (аббревиатура сохранилась от его фламандского предшественника – “Werkgoerpienews”, что означает “Новости рабочей группы”). В журнале публикуются теоретические статьи, приводятся анализ метеорных потоков, сообщения о наблюдениях, а также представлена административная информация ИМО. На обложке – цветные и черно-белые фотографии, имеющие отношение к метеорам. Авторы статей – как профессионалы, так и любители. В настоящее время в каждый номер журнала включены ежемесячные результаты, полученные с помощью метеорной видеосети ИМО. Новые номера распространяются по подписке. С выходом первого номера весь архив за позапрошлый год выкладывается в открытый доступ на странице: <https://www.imo.net/publications/wgn>. Статьи удобно искать, поскольку журнал индексируется в Системе астрофизических данных Смитсоновской астрофизической обсерватории и NASA (SAO/NASA ADS, [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)). Библиографический код журнала

*Международная метеорная организация (The International Meteor Organization, ИМО) была основана в 1988 г. – в ответ на всевозрастающую необходимость создания международной кооперации любителей наблюдений за метеорными явлениями*



“WGN” в этой системе – JIMO. Отметим, что информированные пользователи не ограничиваются чтением только одного журнала, и потому SAO/NASA ADS в настоящее время – большое подспорье для астрономов-профессионалов во всем мире.

Кроме журнала на сайте IMO можно найти справочные руководства по проведению различных видов метеорных наблюдений, предлагается программное обеспечение для обработки результатов наблюдений, разнообразные базы данных, содержащие результаты наблюдений метеоров, а также ежегодный “Календарь метеорных потоков” (<https://www.imo.net/resources/calendar>). Помимо основного, англоязычного, варианта календаря, публикуются (но не регулярно) и его переводы на другие языки, выполненные добровольцами (выпуски за 2010 и 2011 гг. доступны на русском языке).

Визуальная метеорная база данных IMO пополняется отчетами наблюдателей, заполненными по специальной форме ([https://www.imo.net/members/imo\\_observation/add\\_observation](https://www.imo.net/members/imo_observation/add_observation)). “Случайных” очевидцев особо ярких метеоров (болидов) IMO призывает заполнять другую, интерактивную форму ([http://fireballs.imo.net/members/imo/report\\_intro](http://fireballs.imo.net/members/imo/report_intro)). Она переведена добровольцами на разные языки (в создании русского варианта принял участие, в частности, автор предлагаемой статьи).

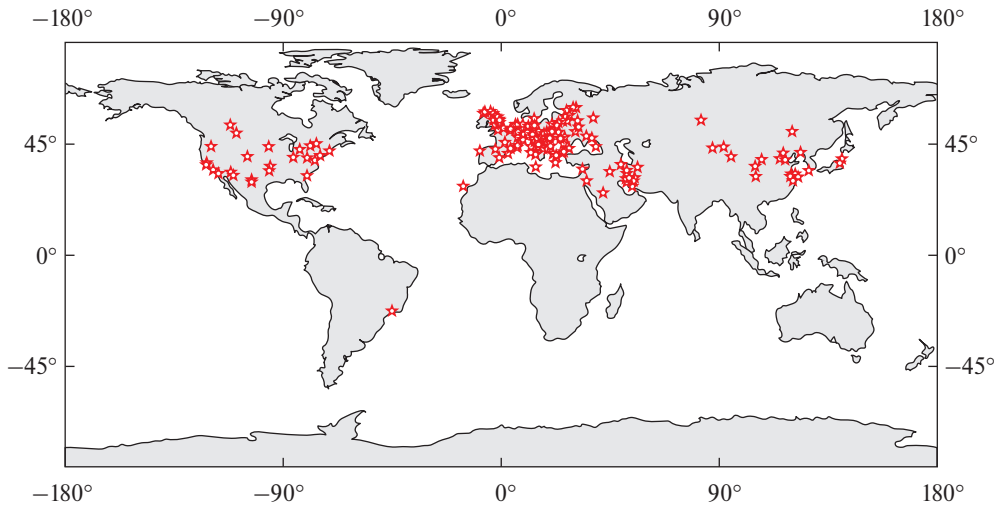
Для установления личных контактов между своими членами IMO ежегодно проводит Международные метеорные конференции (IMC) в каком-либо европейском городе. Доклады представляют

как профессионалы, так и любители. Сборники трудов индексируются в Системе астрофизических данных (библиографический код – `rimo.conf`), они позволяют желающим ознакомиться с самыми современными практическими и теоретическими методами метеорной астрономии. На сайте IMO есть возможность увидеть фотогалерею-отчет о прошедших конференциях. Отмечается, что многие участники этих научных мероприятий считают ненормальной ситуацию, когда любители делятся данными, полученными с использованием личных денежных средств, тогда как большинство профессионалов пользуются так называемым общественным финансированием, но при этом оставляют данные закрытыми.

Некоторые новации IMO заимствует у Американского метеорного общества (The American Meteor Society, AMS). Так, на сайте AMS (<https://www.amsmeteors.org>) раньше, чем на сайте IMO, была представлена возможность размещения фотографий и видеозаписей метеорных явлений. Мобильное приложение AMS было одним из предшественников болидной интерактивной формы IMO.

Результаты исследований, впервые опубликованные в научных журналах, позже обобщаются в книгах. На английском языке регулярно издаются книги о метеорах, ориентированные как на профессионалов, так и на любителей. Так, в издательстве “Cambridge University Press” вышла книга P. Jenniskens “Meteor Showers and their Parent Comets” (“Метеорные потоки и их родительские кометы”, 2006). Издательство “Springer” предлагает книги N. Bone “Observing Meteors, Comets, Supernovae

*Результаты исследований, впервые опубликованные в научных журналах, позже обобщаются в книгах. На английском языке регулярно издаются книги о метеорах, ориентированные как на профессионалов, так и на любителей*



*Распределение наблюдателей Персеид 2015 г., приславших свои отчеты в визуальную базу данных IMO*

and other Transient Phenomena” (“Наблюдение метеоров, комет, сверхновых звезд и других кратковременных явлений”, 1999), O.R. Norton and L.A. Chitwood “Field Guide to Meteors and Meteorites” (“Походный справочник по метеорам и метеоритам”, 2008), R. Lunsford “Meteors and How to Observe Them” (“Метеоры и как их наблюдать”, 2009), G.W. Kronk “Meteor Showers” (“Метеорные потоки”, 2014).

В современную эпоху развития цифровых технологий не секрет, что существуют очень быстрые и “легкие” способы получения электронных копий книг и журналов в обход подписки (абсолютно бесплатно), однако эти действия являются грубейшим нарушением авторского права и могут повлечь за собой правовую ответственность.

Большую пользу для метеорной астрономии могло бы принести создание плотной и равномерной сети наблюдателей по всему миру. Казалось бы, Россия, располагающаяся на огромной территории, должна сыграть в этом главную роль, однако около двух третей членов IMO в настоящее

время – представители европейских стран. На карте, демонстрирующей, как “распределились” наблюдатели Персеид в 2015 г. (приславшие свои отчеты в визуальную базу данных IMO), видно, что большая часть территории нашей страны, увы, представляет собой белое пятно.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ В РОССИИ И В БЛИЖНЕМ ЗАРУБЕЖЬЕ

В СССР метеорная астрономия была весьма развита. Выходили научные журналы – “Кометы и метеоры”, “Метеорные исследования”, “Метеорное распространение радиоволн”; публиковались оригинальные и переводные книги для профессионалов и любителей. Для определения условий функционирования технических устройств в космическом пространстве были утверждены ГОСТ 25645.112-84 (“Вещество метеорное. Термины, определения и буквенные обозначения”)

и ГОСТ 25645.128-85 ( “Вещество метеорное. Модель пространственного распределения” ). В настоящее время в интернете можно найти все книги, перечисленные в списке литературы, прилагаемом к настоящей статье (благодаря наличию незаконных электронных копий).

Первые в Российской империи фотографические наблюдения метеоров были

организованы в 1901 г. в Ташкенте. И в дальнейшем – уже советские – фотографические метеорные “патрули” располагались преимущественно на территории южных республик – Узбекистана, Туркменистана, Таджикистана, Украины. После распада СССР все они оказались за пределами России.

В Институте астрофизики Академии наук Республики Таджикистан под руководством П.Б. Бабаджанова проводятся базисные фотографические наблюдения болидов. До 2008 г. изображения фиксировались на фотопленку с помощью объективов “Zeiss Distagon 3.5/30”, а позднее – с помощью цифровых камер “Nikon D2X” и “Nikon D300” с объективами “Nikkor 10.5 mm f/2.8”.

В 2001–2003 гг. астроном П.М. Козак и др. проводили базисные телевизионные наблюдения метеоров на наблюдательных станциях Астрономической обсерватории Киевского национального университета. Установки оснащены объективами “Гелиос-40” (фокусное расстояние 85 мм, f/1.5) и “Юпитер-3” (фокусное расстояние 50 мм, f/1.5).

В 2011 г. в Николаевской астрономической обсерватории Н.А. Куличенко и др. начали односторонние (а в 2013 г. – базисные) наблюдения метеоров с использованием телевизионных ПЗС-камер “Watec LCL-902” и объективов “Canon 85

mm f/1.8” и “ЛОМО” (фокусное расстояние 100 мм, f/2).

В Астрономической обсерватории Одесского национального университета систематические исследования метеорных явлений выполняются, начиная с 1953 г. В 2003 г. под руководством Ю.М. Горбанева была предпринята попытка полной модернизации наблюдательной техники для базисных и односторонних наблюдений. Создан “телевизионный патруль” на основе камер “Watec LCL-902” и широкого ряда оптических приборов, включающего как объективы типа “рыбий глаз” (фокусное расстояние 8 мм, f/3.5), так и серийный телескоп “Sky-Watcher Equinox 80” (фокусное расстояние 500 мм, f/6.25).

В России оптические наблюдения метеоров были восстановлены лишь в 2002 г. (руководитель – А.В. Багров, сотрудник Института астрономии РАН). На станции оптических наблюдений “Архыз” С.Ф. Бондарь с коллегами проводил наблюдения, используя телевизионную систему, включающую камеру “Watec LCL-902”, электронно-оптический усилитель яркости и объектив “Мир-2” (фокусное расстояние 28 мм, f/2). В Подмосковье наблюдатели используют телевизионные системы PatrolCa, состоящие также из камер “Watec LCL-902” и сверхсветосильных объективов “Computar HG0608AFCS-HSP”. В 2003 г. на станции “Архыз” был установлен широкоугольный высокоскоростной комплекс “FAVOR”, созданный в сотрудничестве с группой релятивистской астрофизики Специальной астрофизической обсерватории РАН (Г.М. Бескин, С.В. Карпов, А.В. Бирюков). Использовались: объектив с фокусным

*Первые в Российской империи фотографические наблюдения метеоров были организованы в 1901 г. в Ташкенте. И в дальнейшем – уже советские – фотографические метеорные “патрули” располагались преимущественно на территории южных республик*



*Поток Персеид 13–14 августа 2015 г.  
На переднем плане расположен инструмент  
“Mini-MegaTORTORA”, на котором в это же  
время проводятся научные наблюдения  
метеоров. Фото Е.В. Катковой  
(публикуется с ее разрешения)*

расстоянием 180 мм и светосилой  $f/1.2$ , электронно-оптический преобразователь, матрица “Sony ICX285AL”. Также при поддержке ИНАСАН выполняются телевизионные наблюдения в Иркутске и в Рязани.

Начиная с 2014 г. на станции “Архыз” прибор “FAVOR” заменили на многоканальный мониторинговый телескоп “Mini-MegaTORTORA”, созданный специалистами Казанского федерального университета в сотрудничестве с компанией “Параллакс” (В.В. Сасюк). Система “Mini-MegaTORTORA” состоит из девяти камер, основные элементы каждой из них – объектив “Canon 85 mm  $f/1.2$ ” и матрица “Andor Neo sCMOS”. Первичные результаты наблюдений метеоров автоматически размещаются по ссылке: <http://www.astroguard.ru/meteors>. “FAVOR” используется в качестве удаленного канала для базисных наблюдений.

В 1956 г. (в преддверии Международного геофизического года) в Харькове, Казани и Томске были организованы радиолокационные наблюдения метеоров. В Астрономической обсерватории имени В.П. Энгельгардта (Казань) наблюдения были выполнены с использованием армейского радиолокатора.

В настоящее время работы продолжают в Харьковском национальном университете радиоэлектроники (руководитель С.В. Коломиец) и на кафедре радиофизики Казанского федерального университета (А.В. Карпов, С.А. Калабанов и др.).

Сотрудник Московского государственного университета геодезии и картографии В.М. Дмитриев разрабатывает новый подход к определению орбит метеоров, основываясь на результатах наблюдений с использованием численного интегрирования уравнений движения.

Исследования физических эффектов, возникающих при полете метеора в атмосфере Земли, проводятся в Институте динамики геосфер РАН (В.В. Светцов, В.В. Шувалов, О.П. Попова, Н.А. Артемьева и др.) и в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН (М.И. Грицевич).

Обобщение результатов наблюдений делает возможным математическое моделирование пространственного распределения метеорного вещества (структуры метеорных потоков, их связи с кометами и астероидами) как в окрестностях Земли, так и в межпланетном пространстве. Такого рода работы проводятся в Томском государственном университете (Г.О. Рябова), в Институте астрономии РАН (А.К. Терентьева), в Институте астрофизики Академии наук Республики Таджикистан (П.Б. Бабаджанов, Г.И. Кохирова, Ю.В. Обрубов), на кафедре астрономии и космической геодезии Казанского федерального университета (М.Г. Соколова и др.), в Казанском государственном энергетическом университете (В.В. Андреев), в Обнинском институте атомной энергетики (Н.В. Куликова и др.).

В Казани моделирование динамики метеорных тел имеет долгую историю. Еще в 1955 г. Ю.В. Евдокимов (под руководством А.Д. Дубяго) при



исследовании связи кометы Джакобини–Циннера с метеорным потоком Драконид показал необходимость учета возмущений орбиты кометы от планет. Исследование в 1984–1986 гг. О.И. Бельковичем (совместно с Г.О. Рябовой) структуры метеорного потока Геминид позволило последней в 1987 г. учесть при моделировании эволюции потока влияние эффекта Пойнтинга–Робертсона. После 1987 г. под руководством О.И. Бельковича В.В. Андреев рассчитал метеорную опасность на трассе Земля–Марс, а М.Г. Соколова разработала новый метод обработки визуальных наблюдений метеорных потоков.

---

## ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ В РОССИИ И В БЛИЖНЕМ ЗАРУБЕЖЬЕ

---

Деятельность русскоязычных любителей метеорной астрономии отражена на “Астрофоруме” в подразделе “Метеориты, болиды, метеоры” (<https://astronomy.ru/forum/index.php/board,43.0.html>) и в теме “Фотографирование метеоров” (<https://astronomy.ru/forum/index.php/topic,523.0.html>). Некоторые из них также публикуют статьи в журнале “WGN”, в сборниках трудов ИМС и в других изданиях.

Экономист из Новосибирска М.П. Маслов перевел на русский язык выпуски “Календаря метеорных потоков ИМО” за 2010 и 2011 гг.; в 2014–2015 гг. он – один из администраторов Метеорной видеосети ИМО, проводит собственные фото- и видеонаблюдения метеоров, публикует прогнозы активности их потоков.

Программист из г. Молодечно (Республика Беларусь) И.М. Сергей (состоит в ИМО) координирует и самостоятельно

осуществляет визуальные, видео- и радионаблюдения метеоров. Помимо научных публикаций, результаты некоторых своих работ он оперативно размещает на “Астрофоруме”.

Педагог дополнительного образования из Минска И.С. Брюханов (руководитель астрономического кружка и клуба) координирует и осуществляет визуальные, фотографические и радионаблюдения метеоров.

Популяризатор астрономии из Москвы С.А. Короткий организует экспедиции (в том числе зарубежные) для наблюдений метеорных потоков и сам в них участвует; опрашивает очевидцев падений метеоритов.

Геолог из Воронежа Т.В. Крячко участвует в экспедициях по поиску метеоритов – как не оставивших “памяти” о падении по причине давности лет или удаленности от населенных районов, так и наблюдавшихся очевидцами в виде болидов.

---

## КАК СФОТОГРАФИРОВАТЬ МЕТЕОР

---

Даже профессиональные астрономы зачастую используют для наблюдений метеоров широкодоступное серийное оборудование. Поэтому у любителей астрономии возникает естественное желание – если не получить имеющие научную ценность численные данные, то хотя бы просто сфотографировать метеор. Повсеместное применение цифровых фотоаппаратов исключило необходимость покупки и проявки многих метров фотопленки. Для метеорной фотографии обычно применяются короткофокусные объективы, они намного легче телескопов. Метеорное явление про-

*Популяризатор астрономии из Москвы С.А. Короткий организует экспедиции для наблюдений метеорных потоков и сам в них участвует; опрашивает очевидцев падений метеоритов*

должается около 1 с – следовательно, длительные выдержки не имеют смысла, а в некоторых случаях подходит видеосъемка (не требует тяжелой монтировки, существенно снижает значимость городской засветки). Однако поглощение света в атмосфере влияет на видимую яркость метеоров так же, как и других астрономических объектов, поэтому бóльшая высота наблюдателя над уровнем моря предпочтительна. Иллюстрирующие этот раздел изображения получены автором в Казани, в черте города.

Если не принимать в расчет оптические аберрации, поглощение света в стекле линз и отражение на его границах, то основными характеристиками объектива нужно считать диаметр входного зрачка и фокусное расстояние (обозначим их соответственно  $D$  и  $f$ ).

Масштаб изображения прямо пропорционален  $f$ . Увеличение масштаба улучшает различимость мелких деталей лишь до того, как аберрации объектива превратят изображение точки в пятно размером более нескольких пикселей матрицы фотоаппарата. Очевидно, что при фиксированном размере матрицы фотоаппарата площадь поля зрения убывает обратно пропорционально возрастанию величины  $f^2$ .

Если размер изображения объекта не превышает размера абберационного пятна или пикселя матрицы, то такой объект можно считать точечным. Если смещение изображения за время выдержки также меньше какой-либо из указанных двух величин, то объект можно считать неподвижным. Оптическая мощность объектива для точечных неподвижных объектов прямо пропорциональна  $D^2$ . Как видим, возможность считать объект неподвижным зависит от времени выдержки, размеров абберационного пятна объектива или пикселя матрицы. Тем не менее, в большинстве случаев угловая

скорость метеора бывает так велика, что его нельзя считать неподвижным даже при видеосъемке. Оптическая мощность объектива для точечных движущихся объектов прямо пропорциональна отношению  $D^2/f$ . Нельзя забывать, что при съемке метеоров в поле зрения наблюдателя всегда присутствует ночное небо – протяженный неподвижный объект. Оптическая мощность объектива для него прямо пропорциональна  $D^2/f^2$ . Поскольку при обычной дневной съемке большинство объектов также являются протяженными и неподвижными – последнему соотношению придается большое значение. Отношение  $D/f$  называется относительным отверстием, а обратное,  $f/D$ , – диафрагменным числом. Например, маркировка объектива  $f/2$  означает, что его наименьшее диафрагменное число равно 2. Если в величину эффективного диаметра входного зрачка внесены поправки на отражение и поглощение света в стекле, то буква  $f$  в маркировке заменяется на  $T$ .

Таким образом, уменьшение  $f$  дает метеору преимущество по сравнению со звездами, а увеличение – по сравнению с фоном неба. Но при чрезмерном уменьшении  $f$  страдает детальность изображения.

Недостаток оптической мощи для неподвижных объектов может быть компенсирован пропорциональным увеличением времени выдержки. Для движущихся объектов такая возможность отсутствует. Следовательно, если выдержка близка к длительности метеорного явления, то мы обычно видим на фотографии небольшое количество звезд и слабый фон неба. По мере увеличения выдержки изображение метеора останется прежним, а количество звезд (и фон) будет возрастать, и метеор может затеряться между ними. Слишком короткая выдержка увеличивает вероятность того, что на фотографии будет видна лишь часть трека

метеора. При видеосъемке один метеор регистрируется на нескольких последовательных кадрах.

В отличие от выдержки, изменение чувствительности матрицы (обычно выражаемой в единицах ISO) одинаково влияет на регистрируемые изображения как неподвижных, так и движущихся объектов. Однако увеличение ISO до величин, близких к предельной

для данного фотоаппарата, чрезмерно повышает интенсивность шумов в изображении.

Поскольку направление, в котором появится метеор, заранее неизвестно, количество сфотографированных метеоров зависит не только от оптической мощности объектива и времени, затраченного на съемку, но и от площади поля зрения. При фиксированных

#### Таблица

Примерная стоимость объективов (новых и подержанных) в России и в США (по состоянию на июль 2018 г.)

Объектив	в России (руб.)		в США (долл.)	
	новый	подержанный	новый	подержанный
Гелиос-44	–	700	–	–
Зенитар 1,2/50S	14500	10000	–	–
Гелиос-40–2	18500	11000	–	–
Зенитар 1,4/85	16000	12000	–	–
Samyang 21 mm f/1.4	24500	19000	340	260
Samyang 24 mm f/1.4	30000	14000	400	330
Samyang 35 mm f/1.4	28000	12000	400	–
Samyang 50 mm f/1.4	31000	14000	300	240
Samyang 50 mm f/1.2	63000	–	700	680
Samyang 85 mm f/1.4	21000	8000	200	–
Samyang 85 mm f/1.2	60500	–	700	–
Mitakon 25 mm f/0.95	32200	–	320	310
Mitakon 35 mm f/0.95	48300	27000	480	450
Mitakon 50 mm f/0.95	72500	47000	800	–
SLR Magic 25 mm T0.95	–	40000	500	–
SLR Magic 35 mm T0.95	–	–	750	670
SLR Magic 50 mm F0.95	–	55000	900	–
SLR Magic 50 mm T0.95	–	–	3000	–
Voigtlander 10.5 mm f/0.95	85000	–	1100	900
Voigtlander 17.5 mm f/0.95	65000	45000	900	–
Voigtlander 25 mm f/0.95	58000	33000	800	550
Voigtlander 42.5 mm f/0.95	65000	60000	800	710
Canon 85 mm f/1.2	130000	60000	1850	1310
Leica 50 mm f/0.95	600000	550000	11300	–



*Яркий метеор потока Персеид 13 августа 2011 г., 0 ч 40 мин по московскому времени. Использовался фотоаппарат "Canon EOS400D" – объектив "Canon EF518-55 mm" (kit), фокусное расстояние 18 мм, диафрагма  $f/3.5$ , выдержка 15 с, ISO 1600. Фото В.С. Усанина*

размере матрицы фотоаппарата и времени съемки это количество можно примерно оценить как пропорциональное  $D^2/f^3$ . Таким же образом можно ожидать, что при фиксированной выдержке количество звезд в кадре будет коррелировать с величиной  $D^2/f^2$ , которая также определяет фон неба.

Из этого можно сделать вывод, что в выборе объектива для метеорной астрономии много несовместимого, он зависит от поставленной цели: хотим ли мы сфотографировать большое количество метеоров в мелком масштабе или один (но детально), нужно ли нам много звезд в кадре, или требуется "выделить" только метеор? Изготовление светосильных и высококачественных объективов трудоемко, поэтому приходится искать наиболее подходящий, исходя из соотношения "цена-качество". Естественно, и фотоаппараты с большими и чувствительными матрицами стоят дороже более простых моделей.

Еще одно затруднение состоит в том, что разные производители фотоаппаратов используют разные стандарты крепления объективов: в некоторых случаях возможно соединение объектива и фотоаппарата с несоответствующими стандартами крепления через переходник (адаптер). Для наличия такой возможности "рабочий" отрезок объектива должен быть не

меньше, чем у фотоаппарата. Так, объективы от советских зеркальных фотоаппаратов "Зенит" могут быть присоединены к зеркальным фотоаппаратам "Canon" (но не к "Nikon"). Кроме того, исходя из соображений геометрии, очевидно, что относительное отверстие объектива (которое может быть использовано с определенным фотоаппаратом) ограничивается отношением диаметра отверстия фланца к "рабочему" отрезку фотоаппарата. По этой причине беззеркальные фотоаппараты со сменным объективом имеют неоспоримое преимущество перед зеркальными: создавать для них короткофокусные и сверхсветосильные объективы гораздо проще.

Обычно в комплект поставки (kit) современного фотоаппарата входит объектив, не отличающийся исключительными характеристиками. Тем не менее, даже с таким объективом, настроив фотоаппарат на режим непрерывной (серийной) съемки, во время прохождения большого метеорного потока (например, Персеид), за одну ночь можно получить фотографии нескольких метеоров. Опыт показывает, что невооруженному глазу "доступны" более слабые метеоры, чем их может запечатлеть фотоаппарат с kit-объективом.

Объектив "Гелиос-44" ( $f = 58$  мм,  $f/2$ ) обеспечивает примерно такую же предельную звездную величину для



метеоров, как и невооруженный глаз. Он получил широкое распространение благодаря тому, что входил в комплект фотоаппаратов “Зенит”. Однако при одинаковых размерах матрицы фотоаппарата и времени съемки с помощью “Гелиос-44” и современного kit-объектива общее количество зафиксированных метеоров будет примерно равным, так как



большее фокусное расстояние существенно сокращает поле зрения. Хотя размер кадра в фотоаппарате “Зенит” был 24×36 мм, но уже на краях классического цифрового формата APS-C (линейные размеры которого в полтора раза меньше) у “Гелиос-44” появляются характерные аберрации. В художественной фотографии они создают эффект, известный как “закрученное боке”, но в “астрономической” фотографии они нежелательны. Несколько лет назад Красногорский механический завод возобновил массовое производство относительно недорогих объективов с ручной системой фокусировки, среди них отметим “Гелиос-40-2”, “Зенитар 1,4/85”, “Зенитар 1,2/50S”.

Один из способов удешевления производства светосильных объективов (при сохранении приемлемого уровня аберрации) – использование штампованных асферических линз из органического стекла (правда, существует опасность их растрескивания при очень низких температурах). По такому пути пошла южнокорейская компания “Samyang” (выпускает объективы также под марками “Rokinon” и “Bower”). К ее наиболее “светосильным” моделям относятся объективы: 21 mm f/1.4 – только для беззеркальных фотоаппаратов; 24 mm f/1.4; 35 mm f/1.4; 50 mm f/1.2; 50 mm f/1.4; 85 mm f/1.2; 85 mm f/1.4.

*Метеор потока Персеид 11 августа 2012 г., 22 ч 55 мин по московскому времени. Использовался фотоаппарат “Canon EOS400D” (объектив “Гелиос-44”, выдержка 8 с, ISO 800). Фото В.С. Усанина*

Если широкое поле зрения первых увеличивает вероятность сфотографировать редкие метеоры в малых потоках, то применение последних из перечисленных моделей позволяет получить детальные изображения даже невидимых невооруженным глазом метеоров во время действия больших потоков – когда они становятся достаточно “многочисленными” для того, чтобы часто попадать в узкое поле зрения. Аберрации на краях кадра формата APS-C у “Samyang 85 mm f/1.4” немного меньше, чем у советского “Гелиос-44”, а у объектива “Samyang 21 mm f/1.4” – значительно меньше. В последнее время началось производство в несколько раз более дорогих автофокусных объективов “Samyang”, однако для астрономической фотографии автофокус неприемлем.

Современные форматы видеосъемки имеют намного меньшее разрешение, чем фотографии. Поэтому, предназначив объектив исключительно для видеосъемки (обычно маркируется “*cine*” – от “*cinema*”), можно существенно снизить



Стойкий след метеора потока Персеид 12 августа 2013 г., 0 ч 45 мин по московскому времени; показана часть кадра. Использовался фотоаппарат "Canon EOS400D" (объектив "Samyang 85 mm F1.4 Aspherical IF", выдержка 4 с, ISO 800). Это фото автора статьи было опубликовано на обложке журнала "WGN" (2015, № 6); обработка raw-файла выполнена в редакции журнала "WGN". Анимация всего явления доступна по ссылке: [https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F\\_695380361/IMG\\_8095.gif](https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F_695380361/IMG_8095.gif)

требования к уменьшению аберраций, и в таком случае появляется возможность без дополнительных затрат создать сверхсветосильный объектив. Следует понимать, что если с увеличением аберрационного пятна не будет пропорционально увеличен размер пикселя изображения, в который суммируется сигнал, то фактическая оптическая мощь окажется меньше, чем можно было бы ожидать формально от объектива с соответствующими  $D$  и  $f$ . Кроме того, преимущества сверхсветосильного объектива могут быть сведены "на нет" из-за затенения матриц с фронтальной засветкой сеткой проводников, расположенной на их поверхности (матрицы с обратной засветкой лишены этого недостатка, но на данный момент их цена слишком значительно возрастает с размером, для того чтобы позволить массовое производство

хотя бы формата APS-C). Гонконгская компания "SLR Magic" выпускает сверхсветосильные *cine*-объективы с ручной системой фокусировки для беззеркальных фотоаппаратов. Среди ее продукции можно отметить 25 mm T0.95 (только для формата Micro 4/3), 35 mm T0.95, 50 mm F0.95, 50 mm T0.95. Видеосъемка с последними двумя объективами превосходит не-

вооруженный глаз одновременно по предельной звездной величине, угловому и временному разрешению, однако уступает по полю зрения. Опыт показал, что аберрации объективов "SLR Magic" (35 mm T0.95 и 50 mm F0.95) заметны уже при видеосъемке с матрицей формата APS-C, и для фотографии они практически непригодны. Недавно в продаже появились также подобные китайские объективы "Mitakon".

Матрицы современных цифровых фотоаппаратов позволяют зафиксировать значительно больший объем информации, чем тот, который помещается в форматах, предназначенных для отображения на мониторе или для печати на принтере. Поэтому, наряду с форматом JPEG, с помощью фотоаппаратов можно записывать изображения в так называемых сырых (raw) форматах. Расширение raw-файла может различаться у разных типов фотоаппаратов. При преобразовании raw-файла в JPEG можно сохранить нужную часть информации и отбросить бесполезную (например, в некоторых случаях можно без потери качества изображения удалить фон городского засветки неба).

Как правило, в комплект поставки фотоаппарата входит программное обеспечение для обработки raw-файлов, полученных с помощью фотоаппаратов

данного типа. Существуют также многочисленные программы, “поддерживающие” форматы всех производителей и имеющие ряд дополнительных функций. Пожалуй, наиболее широкую известность получила платная “Adobe Photoshop”. К программам, созданным специально для работы с “астрономическими” изображениями, можно отнести “MaxIm DL” и “IRIS”<sup>1</sup>.

Конечно, видеосъемка в полной мере отражает высокую динамичность метеорного явления, однако краткость событий (по сравнению с промежутками между ними) делает более удобным представление этих явлений в форме GIF-анимации. Исходными изображениями могут служить не только кадры видеозаписи собственно пролета метеора, но и последовательно выполненные фотографии “стойкого” следа. “Сборку” анимации можно осуществлять с помощью



*Спорадический метеор 13 августа 2014 г., 0 ч 49 мин (слева) и метеор потока Персеид 12 августа 2015 г., 23 ч 34 мин по московскому времени (справа). В обоих случаях показана часть кадра из видеозаписи (использовался фотоаппарат “Sony α NEX-5T”, объектив “SLR Magic Hyperprime CINE II 35 mm T0.95”, выдержка 1/25 с, ISO 6400). Фото В.С. Усанина*

некоторых графических редакторов (например, “GIMP”) или специальных онлайн-конвертеров.

Современные программы для обработки астрономических изображений позволяют не только преобразовывать форматы файлов, полученные с помощью цифрового фотоаппарата, они (в большей или меньшей степени) автоматически “распознают” сфотографированный участок неба, измеряют различные астрометрические и астрофизические величины. Сервис “Astrometry.net” удобен тем, что работает в режиме “онлайн” (не требует установки программы на компьютер пользователя). Уже

<sup>1</sup> Последняя доступна для скачивания по ссылке: <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/zip/iris.zip>, подробное руководство для пользователя на английском языке на странице: <http://www.astrosurf.com/buil/iris-software.html>, некоторые вопросы использования программы обсуждаются на русском языке в разных разделах на сайте “Астрофорума”.



*Метеор потока Персеид 13 августа 2016 г., 1 ч 58 мин по московскому времени (кадр из видеозаписи). Использовался фотоаппарат “Sony α NEX-5T”, объектив “SLR Magic HyperPrime 50 mm F0.95”, выдержка 1/25 с, ISO 6400. Анимация всего явления доступна по ссылке: <https://yadi.sk/i/xiW02nm03ZXbGK>. Фото В.С. Усанина*

через несколько секунд после загрузки своего файла (на: <http://nova.astrometry.net/upload>) можно увидеть изображение с контурами созвездий, названиями звезд, с положениями звездных скоплений, туманностей и галактик. В результате калибровки кадра создается и файл с метаданными, который можно сохранить и использовать в дальнейшем для астрометрических измерений (например, для определения координат метеора).

#### *Список рекомендуемой литературы*

1. *Фесенков В.Г.* Метеоры и метеориты. Алма-Ата: изд-во Академии наук Казахской ССР, 1949.
2. *Сытинская Н.Н.* Мир падающих звезд. Л.: Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний, 1951.
3. *Бредихин Ф.А.* Этюды о метеорах. М.: изд-во Академии наук СССР, 1954.
4. *Астапович И.С.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Государственное изд-во физ.-мат. литературы, 1958.

Автор надеется, что публикация этой статьи будет способствовать более активному участию российских любителей астрономии в научных исследованиях по линии Международной метеорной организации.

*В.С. УСАНИН,  
кандидат физико-математических наук  
Казанский (Приволжский)  
федеральный университет*

## **Информация**

### **Первые изображения черной дыры в высоком угловом разрешении**

Одной из главных астрономических новостей апреля можно с уверенностью назвать сообщение о том, что научная команда проекта ЕНТ (Event Horizon Telescope – Телескоп горизонта событий) получила первое изображение непосредственных окрестностей сверхмассивной черной дыры в центре галактики М87, в том числе и ее тени – такой, какой ее предсказывает общая теория относительности. Черная дыра находится на расстоянии 55 млн св. лет от нашего светила и имеет массу в 6,5 млрд солнечных масс.

В пресс-релизе проекта ЕНТ, посвященного этому результату, отмечается, что полученное изображение поразительно сходится с представлениями общей теории относительности о том, как должна выглядеть тень черной дыры. Участникам проекта удалось также определить массу объекта и направление вращения черной дыры на основании сравнения ее фотографии с “предсказаниями” компьютерных моделей.

Снимок сделан с помощью методики, называемой интерферометрией с сверхдлинной базой (РСДБ). Телескоп горизонта событий, по сути, представляет собой виртуальный инструмент, состоящий из нескольких телескопов, “разнесенных” по разным континентам. В данный момент при наблюдениях на длине волны 1,3 мм ученым удалось добиться углового разрешения в 20 мкс дуги, которое, по меткому замечанию, содержащемуся в пресс-релизе проекта, позволило бы читать газету, находящуюся в Нью-Йорке, сидя в уличном кафе Парижа.

*Пресс-релиз ESO,  
10 апреля 2019 г.  
(<https://www.eso.org/public/nenw/eso/1907/>)*



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



Бугай Н.Ф.

**Проблема территорий в условиях принудительных переселений XX века: Теория, практика.**

М.: Наука, 2018. — 471 с.

Решение земельной проблемы применительно к этническим общностям, претерпевшим в 1920-1950-е годы деструктивное воздействие со стороны государства, способствовало повсеместно достижению мира, стабильности межэтнических отношений. Исследование проблемы территорий в условиях принудительного переселения народов ставит цель выявить состояние государственной земельной политики в изучаемый период, формы наделения землей граждан, пребывавших на спецпоселении. Автор рассматривает этапы территориальных преобразований, их причины, особенности и специфику, нормативно-правовую базу, показывает механизмы осуществления подобной практики в сложных условиях военного времени. Вопрос о территориях - одна из важных сторон проблемы территориального обустройства народов страны. Территориальное обустройство зачастую было прочной основой для выживания граждан, обеспечивало мирное сосуществование, стабильность в сфере межэтнических отношений, влияло на процесс формирования самосознания и национального сознания граждан.

*Для историков, этнологов, практиков в сфере межэтнических отношений и широкого круга читателей.*



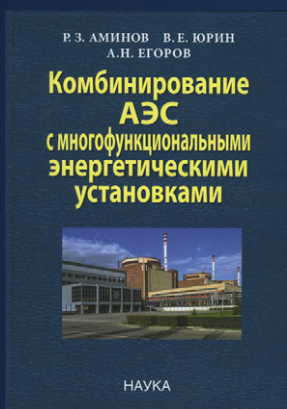
Франк И.М.

### **Научные труды: в 2 кн.**

М.: Наука, 2018. — 478 с.

В первой книге собрания трудов выдающегося физика, лауреата Нобелевской премии академика И.М. Франка помещены работы разных лет, отобранные по тематическому признаку. Среди них статьи 1931–1935 гг. по флуоресценции и фотохимическим реакциям, а также статьи по оптике источников света, движущихся в преломляющих средах, в том числе работы, посвященные теории излучения Вавилова—Черенкова и эффекта Доплера в преломляющей среде. Значительное место занимают статьи по предсказанию и исследованию переходного излучения. Последний раздел книги полностью воспроизводит монографию И.М. Франка «Излучение Вавилова—Черенкова. Вопросы теории».

*Для физиков, студентов и аспирантов физических специальностей, историков науки.*



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

### **Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.**

М.: Наука, 2018. — 238 с.

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

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

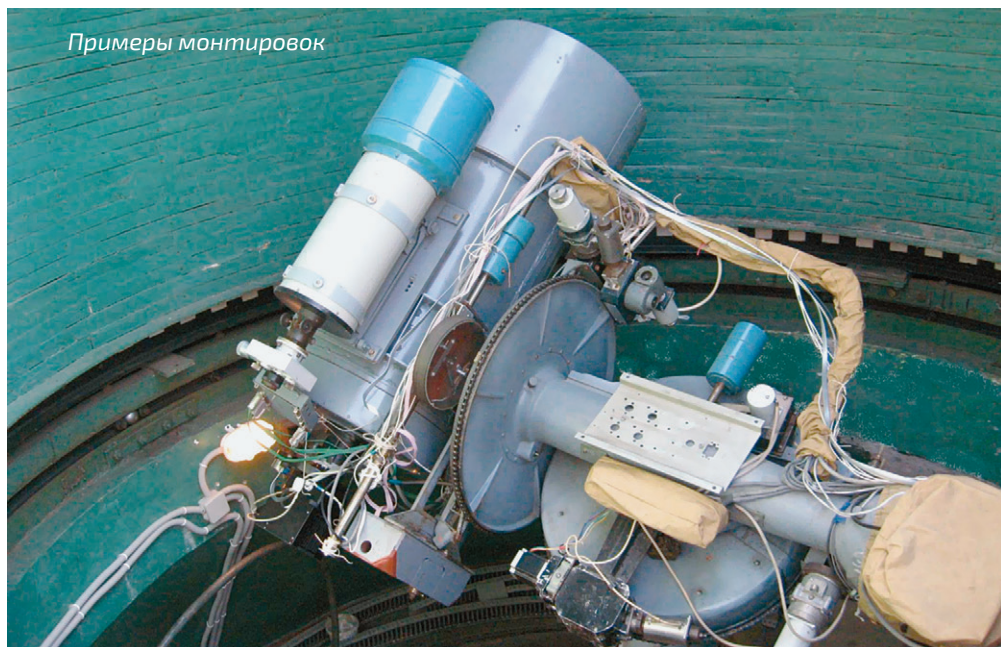
## ВЫБОР МОНТИРОВКИ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО ТЕЛЕСКОПА

DOI: 10.7868/S0044394819030101

**А**втора предлагаемой заметки без преувеличения можно причислить к ветеранам любительской астрономии – в частности, в области любительского телескопостроения. Действительно, занимается он этим более 40 лет (начиная с 1975 г.), а сейчас Ризвану Хусяиновичу уже 77 лет. За прошедшее время им было изготовлено несколько телескопов, о которых в свое время рассказывалось на страницах журнала “Земля и Вселенная”. В этой короткой статье приведены соображения автора по поводу целесообразности изготовления любительского телескопа в домашних условиях, поскольку в области занятий астрономией и связанным с ней телескопостроением за указанный период произошли существенные изменения.

В настоящее время в продаже появилось множество фирменных телескопов, которые обладают прекрасными техническими характеристиками: компьютеризованной системой управления, позволяющей быстро навести телескоп на желаемый объект наблюдения, осуществлять гидирование и т.д.

Можно выбрать: изготавливать телескоп своими руками в домашних условиях или же накопить требуемую сумму и приобрести замечательный прибор какой-либо зарекомендовавшей себя фирмы (например, “Meade”). Автор склонен считать наиболее целесообразным второй вариант. Однако это лишь моя точка зрения, основанная на знании состояния дел в области любительского телескопостроения. Конечно, если обстоятельства







Автор статьи с телескопом "ETX-125"

и финансовые возможности не позволяют сделать такую покупку или есть желание изготовить телескоп самостоятельно – почему бы и нет?

Если сравнивать достоинства и недостатки фирменного и самодельного

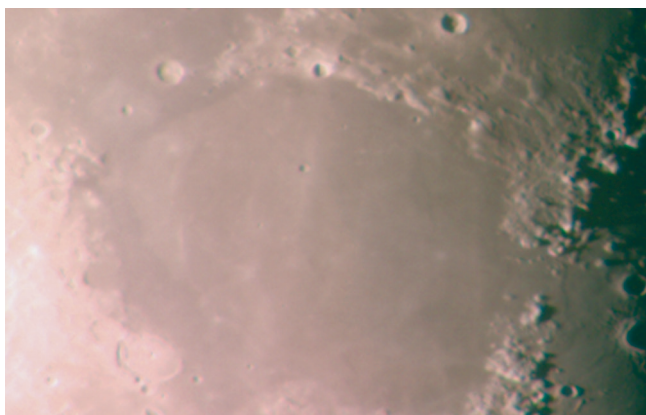


Фото Луны. Выполнено с помощью телескопа "ETX-125"

телескопов, ожидаемо выигрывает первый. В этом автор еще раз убедился на примере телескопа на монтировке Добсона и на обычной, альт-азимутальной. В одном из номеров журнала (ЗиВ, 2003, № 3) была опубликована заметка с авторским описанием менискового 150-миллиметрового рефлектора на монтировке Добсона. Практическое применение такой монтировки выявило существенные ее недостатки – начиная с трудности наведения телескопа на объект, гидирования и удержания объекта в поле зрения (а отсюда – и невозможности рассматривания подробностей) – до неудобства расположения искателя и наблюдателя относительно главного зеркала. Решить эту проблему автору удалось просто: заменив прибор на добсоновской монтировке на телескоп с альт-азимутальной. Такая монтировка применена на приобретенном мной телескопе "ETX-125 мм" фирмы "Meade". Имеющиеся в продаже любительские телескопы комплектуются одной из двух монтировок, их можно купить по достойным ценам в специализированных магазинах. Эти приборы позволяют наблюдать мелкие земные объекты и звездное небо, а также фотографировать наиболее интересные из них.

В качестве примера возможностей телескопа "ETX-125 мм" приведена фотография астрономического объекта звездного неба, полученная автором с его помощью, а также с помощью Пулковского рефлектора "ЗА-320М", который был изготовлен по инициативе и при непосредственном участии автора.

*Р.Х. БЕКЯШЕВ,  
кандидат  
технических наук*



# НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: июль–август 2019 г.

DOI: 10.7868/50044394819030113

Таблица I

## ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
<b>ИЮЛЬ</b>		
2	19	Новолуние
5	0	Земля в афелии
5	5	Луна в перигее
<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Луна в фазе первой четверти</b>
9	17	Сатурн в противостоянии
14	14	Плутон в противостоянии
<b>16</b>	<b>21</b>	<b>Полнолуние и лунное затмение</b>
20	23	Луна в апогее
21	12	Меркурий в нижнем соединении
<b>25</b>	<b>1</b>	<b>Луна в фазе последней четверти</b>
<b>АВГУСТ</b>		
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>Новолуние</b>
2	7	Луна в перигее
7	<b>17</b>	<b>Луна в фазе первой четверти</b>
10	0	Меркурий в максимальной западной элонгации (19°)
<b>15</b>	<b>12</b>	<b>Полнолуние</b>
17	10	Луна в апогее
<b>23</b>	<b>14</b>	<b>Луна в фазе последней четверти</b>
<b>30</b>	<b>10</b>	<b>Новолуние</b>
30	16	Луна в перигее

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

Таблица II

**ЭФЕМЕРИДА СОЛНЦА**

Дата	$\alpha$		$\delta$		45°		55°		65°	
					восход	заход	восход	заход	восход	заход
	ч	м	°	'	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м
Июль 01	06	37,5	23	09	06:17	21:50	03:25	20:42	01:14	22:52
11	07	18,8	22	12	06:24	21:47	03:35	20:35	01:43	22:25
21	07	59,2	20	37	06:33	21:39	03:50	20:22	02:18	21:52
31	08	38,7	18	27	06:44	21:28	04:06	20:05	02:53	21:17
Август 10	09	19,0	15	38	06:55	21:15	04:24	19:45	03:27	20:52
20	09	56,5	12	32	07:07	20:59	04:43	19:23	04:00	20:04
30	10	33,3	09	05	07:19	20:42	05:02	18:58	04:32	19:28

Примечание. В таблице дано среднее Солнечное время

Таблица III

**ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ**

Дата	$\alpha$		$\delta$		m	d	f	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Часть суток	
								45°	55°	65°		
	ч	м	°	'	"							
<b>Меркурий</b>												
Июль 01	08	18,7	18	32	1,2	9,4	0,27	-	-	-	-	
11	08	20,5	15	53	2,6	11,2	0,1	-	-	-	-	
21	07	56,9	15	40	5,5	11,54	0,01	-	-	-	-	
31	07	39,5	17	35	2,0	9,77	0,11	-	-	-	-	
Август 10	08	01	19	15	0,0	7,40	0,44	0,9	-	-	Утро	
20	09	2,5	17	52	-1,1	5,78	0,81	0,6	0,1	-	Утро	
30	10	19,5	19	20	-1,7	5,04	0,99	-	-	-	-	

Таблица III (окончание)

Дата	$\alpha$		$\delta$		m	d	f	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Часть суток	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
<b>Юпитер</b>												
Июль	01	17	02,4	-22	14	-2,6	45,4	0,99	7,1	5,3	–	Вечер
	11	16	58,0	-22	10	-2,5	44,7	0,99	6,5	4,8	–	Вечер
	21	16	54,7	-22	07	-2,5	43,8	0,99	5,9	4,4	–	Вечер
	31	16	52,5	-22	05	-2,4	42,7	0,99	5,4	3,9	–	Вечер
Август	10	16	51,8	-22	06	-2,3	41,5	0,99	4,9	3,5	–	Вечер
	20	16	52,3	-22	08	-2,3	40,3	0,99	4,5	3,3	–	Вечер
	30	16	54,0	-22	13	-2,2	39,1	0,99	4,1	3,0	–	Вечер
<b>Сатурн</b>												
Июль	01	19	16,0	-21	58	0,1	18,3	1,00	6,9	4,5	–	Ночь
	11	19	12,7	-22	04	0,0	18,3	1,00	7,2	4,9	–	Ночь
	21	19	9,7	-22	10	0,1	18,3	1,00	7,3	5,2	–	Ночь
	31	19	6,7	-22	16	0,2	18,2	1,00	6,9	5,2	–	Вечер
Август	10	19	4,0	-22	21	0,2	18,0	1,00	6,4	4,9	–	Вечер
	20	19	2,0	-22	25	0,3	17,8	1,00	6,0	4,6	–	Вечер
	30	19	0,3	-22	29	0,3	17,6	1,00	5,6	4,4	–	Вечер

Примечание. Координаты даны на момент 0<sup>ч</sup> по Всемирному времени, f – фаза планеты.

## ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

**Меркурий** – виден в утренние часы после 21 июля.

**Венера и Марс** – практически не видны.

**Юпитер** – в южных и средних регионах России виден вечером и ночью.

**Сатурн** – в южных и средних регионах России виден вечером и ночью.

Д.А. КОНОНОВ,  
кандидат физико-математических наук  
ИНАСАН

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗЕМЛИ ВО ВТОРОМ ПОЛУГОДИИ 2018 года

DOI: 10.7868/S0044394819030125

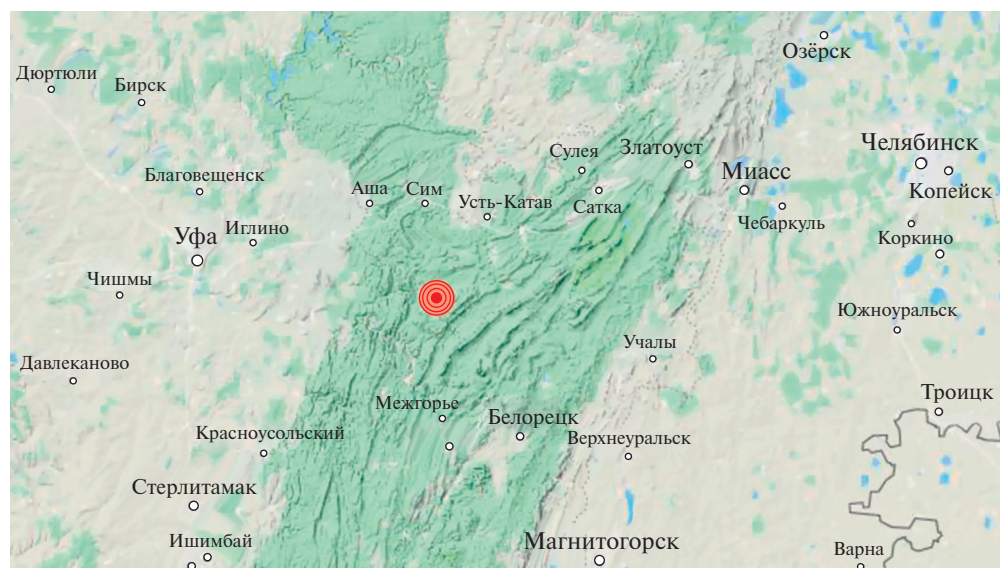
**В** июле–декабре 2018 г. в Службе срочных донесений Геофизической службы РАН зарегистрировано и обработано более 2500 землетрясений, произошедших на земном шаре. Среди них около 35 имели магнитуду  $M \geq 6,5$ .

На территории России в этот период наблюдалась сравнительно невысокая сейсмическая активность – сильных разрушительных землетрясений не отмечено, более 50 вызвали сотрясения земной поверхности с интенсивностью не более 4–5 баллов.

Наиболее значимым было землетрясение в районе Уральских гор. 5 сентября в 01 ч 58 мин (по московскому времени) на границе Челябинской области и Республики Башкортостан произошло землетрясение с  $M = 5,4$ .

Это – зона слабой сейсмичности, где очень редко происходят землетрясения подобной силы. Очаг находился на глубине 10 км, в 35 км к юго-западу от Катав-Ивановска, в 47 км к юго-западу от Усть-Катава, в 60 км к юго-востоку от Аши, в 116 км к востоку от Уфы и в 241 км к юго-западу от Челябинска. Землетрясение ощущалось в Усть-Катаве, Катав-Ивановске и Кропачеве (силой 4–5 баллов), в Аше и Уфе (силой 3 балла), в Челябинске (силой 2–3 балла). По сообщениям уральских сейсмологов, наблюдалось более 20 афтершоков, что не характерно для активности уральских землетрясений.

По данным РИА “Новости”, в Катав-Ивановском районе повреждения получили 16 зданий (появились трещины



Эпицентр землетрясения на Урале 5 сентября 2018 г.

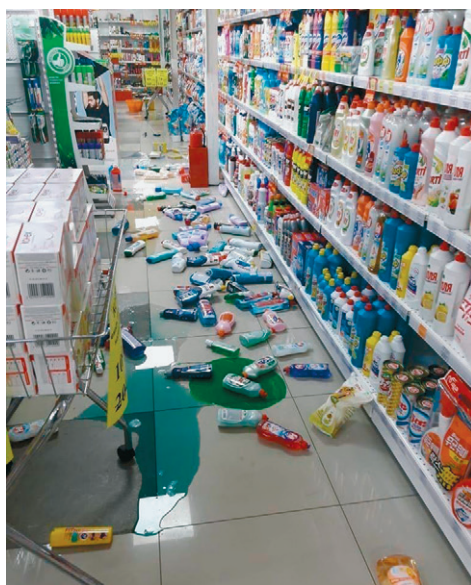


в домах, отслаивалась облицовочная плитка и штукатурка), в Ашинском районе незначительные повреждения получили шесть зданий. В ряде школ и детских садов Катав-Ивановского района отменили занятия. очевидцы происшествия также сообщали в соцсетях: «... проснулись от того, что весь дом трясло, гремела посуда, пол “уходил” из-под ног, выплескивалась вода из аквариумов». На работу предприятий землетрясение не повлияло. Подземные толчки ощутили также жители Башкирии и Свердловской области. Сотрудники Горного института УрО РАН провели макросейсмическое обследование эпицентральной зоны.

Ощутимые землетрясения были в районе Камчатки, Курильских островов и на Сахалине.

Так, на восточном побережье Камчатки 6 июля в 01 ч 40 мин (здесь и далее время – по Гринвичу) зарегистрировано землетрясение с  $M = 6,1$ . Оно ощущалось в Северо-Курильске и Петропавловске-Камчатском силой 4–5 баллов. Этому событию предшествовало (за 1 ч 20 мин) землетрясение магнитудой около 4,0, которое может быть отнесено к категории форшоков. 14 ноября в 21 ч 21 мин на восточном побережье Камчатки произошло еще одно ощутимое землетрясение ( $M = 6,0$ ). При сравнительно больших магнитудах, по ощущениям от обоих землетрясений, они не превышали 4–5 баллов, что связано с заглубленным положением очагов (70–90 км) и с удаленностью от берега.

20 декабря в 17 ч 01 мин на Командорских островах произошло сильное землетрясение с  $M = 7,5$ . Кстати, здесь же в октябре 2018 г. возникло землетрясение с  $M = 5,7$ . Очаг залегал на глубине 40 км. Эпицентр находился в океане, в 80 км от поселка Никольское. Подземные толчки ощущались в ряде районов Камчатки, в том числе



Последствия землетрясения на Камчатке 6 июля 2018 г.

и в Петропавловске-Камчатском. Кстати, здесь же в январе 2018 г. произошло землетрясение магнитудой 5,7.

10 октября в 23 ч 16 мин у тихоокеанского побережья Курильских островов произошло землетрясение магнитудой 7,0. Его очаг находился на глубине 60 км в 150 км восточнее острова Онекотан. В городе Северо-Курильске (остров Парамушир, Северные Курилы) это землетрясение ощутили как событие силой до 4 баллов. Жертв и разрушений нет, тревога цунами не объявлялась. Жители расположенного в 470 км от эпицентра Петропавловска-Камчатского ощутили подземные толчки силой до 2 баллов. В течение 6 ч после основного толчка было зарегистрировано около 10 афтершоков с магнитудами от 4,0 до 5,5. Примечательно, что за 3 ч 38 мин и 6 ч 14 мин в том же районе были зафиксированы два толчка магнитудами свыше 4,0, которые могут рассматриваться как форшоки.

В конце августа, как сообщается на сайте Байкальского филиала ФИЦ

Единой геофизической службы РАН, в Бурятии с разницей в 40 мин были зарегистрированы два землетрясения. Хотя магнитуда обоих толчков была порядка 3,0 и вызванные ими колебания не превышали 3–4 баллов, они примечательны тем, что их эпицентры находились в районе Северомуйского тоннеля на Байкало-Амурской магистрали – самого длинного (его протяженность свыше 15 км) железнодорожного тоннеля в России. Мониторингом сейсмичности этого региона и сейсмическим режимом района тоннеля многие годы занимаются сейсмологи Байкальского филиала ЕГС РАН.

Ряд землетрясений был зафиксирован и в странах СНГ: сильные толчки отмечены в районе Алма-Аты и рядом, в Кыргызстане.

По-прежнему в мире наиболее активным был Тихоокеанский сейсмический пояс. 5 сентября в 18 ч 07 мин на острове Хоккайдо (Япония) произошло сильное землетрясение магнитудой около 7 баллов, повлекшее за собой человеческие жертвы и разрушения. По сообщениям властей острова, землетрясение вызвало оползни в горных районах, где расположено множество небольших поселков. Возникли перебои в работе основного источника энергии, который питает систему

охлаждения бассейнов с использованным ядерным топливом на остановленной АЭС “Томари”. Утечек радиации не зафиксировано. На острове произошло крупномасштабное отключение электроэнергии: без света остались почти 3 млн домов. Землетрясение вызвало перебои в железнодорожном и авиационном сообщении – движение было приостановлено на многих линиях метро и железных дорог, а главный аэропорт региона – Син-Титосэ – продолжительное время был закрыт. Как сообщил премьер-министр Японии Синдзо Абэ, погибли 42 человека. Землетрясение нанесло большой материальный ущерб: по предварительным данным местных властей острова, сельская, рыболовная и лесная отрасли “потеряли” более 350 млн долл., свыше 40 млн долл. потребуется на ремонт дорог в горной местности.

В Индонезии произошло три сильнейших землетрясения.

28 июля в 22 ч 47 мин на острове Ломбок зафиксировано землетрясение с  $M = 6,3$ , его эпицентр находился в непосредственной близости от вулкана Ринджани и недалеко от популярного у туристов острова Бали. Очаг сейсмического события залегал на глубине до 10 км. Впоследствии в течение 3,5 ч было отмечено пять афтершоков

---

*Последствия землетрясения в Японии 5 сентября 2018 г.*





Разрушения от землетрясений в Индонезии на острове Ломбок в июле–августе 2018 г.

с магнитудами 4,5–5,5 баллов. По данным ТАСС, в результате землетрясения 16 человек погибли и 162 получили ранения, более тысячи построек на острове превратились в развалины. Больше 800 туристов оказались заблокированы на горе возле вулкана Ринджани. Из-за землетрясения возникли оползни, сделавшие непроходимыми часть горных троп.

5 августа в 11 ч 46 мин там же зарегистрировано еще одно сильное землетрясение с  $M = 6,8$ . Более 10 афтершоков были отмечены в первые 5 ч после землетрясения. Такая “атака” стихии привела к большим жертвам и разрушениям. По сообщениям ТАСС, 555 человек погибли, более 1 тысячи получили ранения (из них около 670 человек – очень тяжелые). В результате удара стихии стали непригодными для жизни тысячи домов. В безопасные места были эвакуированы 270 тыс. человек. Наиболее пострадав-

шей считается северная часть острова. Толчки ощущались и на острове Бали, правда, там разрушений зафиксировано не было.

28 сентября в 10 ч 02 мин произошло землетрясение в Индонезии, на острове Сулавеси ( $M = 7,3$ ). Глубина очага – 10 км, эпицентр находился на северной части острова, в 78 км от г. Палу. В течение первых суток после основного толчка было зарегистрировано около 15 афтершоков магнитудами от 4,5 до 6,0. За три часа до основного толчка произошло землетрясение с  $M = 5,1$ , а затем последовательно – еще три землетрясения с нарастающими магнитудами: 5,2, 5,4 и 5,9 баллов. Землетрясение и последовавшее за ним цунами привели к большим человеческим жертвам и разрушениям. В первых сообщениях СМИ высота волн оценивалась от 2 до 3 м, впоследствии приводились сведения о 6–7-метровых волнах. Как сообщается на сайте: “Земля.



Хроника жизни” (“ЗХЖ”, <http://earth-chronicles.ru>), на острове Сулавеси после мощного землетрясения и последовавшего за ним цунами появилась новая беда – разжижение грунта. Потоки жидкой грязи обрушились на населенные районы, сметая все на своем пути: здания, машины, деревья буквально исчезали в одно мгновение. По состоянию на 11 октября официальный представитель провинции Центральный Сулавеси заявил, что в результате землетрясения и цунами на индонезийском острове погиб 2091 человек. По словам представителя Национального агентства по ликвидации последствий стихийных бедствий Индонезии Сутопо Пурво Нугрохо, во временных убежищах живут более 80 тыс. человек. В наиболее пострадавших районах города Палу и в его окрестностях – где подземные толчки вызвали разжижение почвы и волны грязи поглотили многочисленные дома – могут быть погребены еще около 5 тыс. человек. По данным Агентства по предотвращению стихийных бедствий, свыше 10,6 тыс. человек ранено, более 680 – числятся пропавшими без вести.

Сильное землетрясение с  $M = 7,2$  произошло на побережье Венесуэлы

21 августа в 21 ч 31 мин. По данным ТАСС, пять верхних этажей недостроенного небоскреба в Каракасе заметно накренились после сильного землетрясения. Ведется оценка ущерба, в районе принимаются необходимые меры.

25 августа в 22 ч 13 мин в Иране имело место сильное землетрясение с  $M = 6,1$ . По данным РИА “Новости”, погибли три человека, 310 получили ранения. Во многих частях провинции Керманшах возникли перебои с работой водопровода, восемь деревень остались без электричества.

7 октября в 00 ч 11 мин на Гаити отмечено землетрясение с  $M = 5,8$ , повлекшее за собой человеческие жертвы (по данным ТАСС, погибли 17 человек, более 100 пострадали).

30 ноября в 17 ч 29 мин землетрясение силой 7,0 баллов потрясло Аляску. Геологическая служба США сообщила, что оно было сосредоточено примерно в 9 км к северу от Анкориджа, самого большого города Аляски. По данным ТАСС, жертв и серьезно пострадавших нет. В Анкоридже, население которого составляет почти 300 тыс. человек, наблюдаются масштабные повреждения инфраструктуры, многим домам и зданиям нанесен ущерб. По данным

*Последствия землетрясения и цунами на острове Сулавеси 28 сентября 2018 г.*





17 августа 2018 г.



1 октября 2018 г.



Поглощение домов в результате грязевого потока на острове Сулавеси

местных энергокомпаний, без света в городе и его окрестностях остались более 20 тыс. человек. Южная Аляска подвержена высокому риску землетрясений из-за тектонических плит, пролегающих под регионом на расстоянии друг от друга. Согласно данным Геологической службы США, Тихоокеанская плита скользит в направлении на северо-запад и опускается ниже Североамериканской плиты на юге Аляски, полуострова Аляска и Алеутских островов. Напомним, что 27 марта 1964 г. на Аляске произошло одно из самых сильных землетрясений в истории (магнитуда 9,2). Эпицентр находился

в 75 милях (138,9 км) к востоку от Анкориджа. Событие продолжалось около 4,5 мин и вызвало цунами, в результате погибло около 130 человек.

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

*О.Е. СТАРОВОЙТ,*  
кандидат физико-математических наук

*Л.С. ЧЕПКУНАС,*  
кандидат физико-математических наук

*М.В. КОЛОМИЕЦ*  
Единая геофизическая служба РАН  
(ФИЦ ЕГС РАН)

## От редакции

Академик Лев Матвеевич Зеленый – научный руководитель Института космических исследований РАН и главный редактор журнала “Земля и Вселенная” стал лауреатом Золотой медали им. Льва Николаева 2018 года.

Эта награда вручается за существенный вклад в просвещение, популяризацию достижений науки и культуры в память о российском ученом-физике, культурологе, публицисте, журналисте, популяризаторе науки, телеведущем и кинорежиссере Лье Николаевиче Николаеве.

Поздравляем Льва Матвеевича с замечательной наградой и признанием его заслуг в деле просвещения!

Ниже публикуем выступление Л.М. Зелёного на торжественной церемонии вручения, которая состоялась 18 февраля 2019 г. в Государственном музее изобразительных искусств им. А.С. Пушкина в Москве

Уважаемые друзья!  
(Я так и не научился произносить “дамы и господа”).

Для меня огромная честь быть награжденным медалью, названной в честь Льва Николаева. Я не был знаком с Львом Николаевичем, но, как многие присутствующие, бросался к телевизору, когда шли его передачи “Империя Королёва”, “Русский космизм”, “Живая Вселенная”, “Генералы в штатском” (и это далеко не полный список того, что запомнилось). Часто я не успевал к эфиру и как-то научился записывать эти передачи на DVD – у меня до сих пор стоит большая коробка с этими дисками. Недавно я пересмотрел несколько передач и снова удивился, как по-прежнему завораживающе действует голос Льва Николаевича. Может быть, стоит издать коллекцию избранных фильмов или сделать интернет-сайт, который станет бесценным образовательным ресурсом?

О серьезных вещах надо говорить с юмором, и в программах Николаева его много. Все ли знают историю названия передачи “Под знаком  $\pi$ ”? Программа Николаева длилась – это трудно себе представить сегодня – почти четыре часа, с сорокапятиминутным перерывом на программу “Время”. Получается 3 часа 15 минут, почти 3,14 – вот вам и знаменитое число  $\pi$ .

На церемонии награждения принято коротко рассказывать о себе, к чему я сейчас перехожу. Моя научная работа

началась в радиокружке в пионерском лагере – кажется, в шестом классе. Мы собирали то, что тогда называлось “электронная цифровая вычислительная машина” (ЭЦВМ), и мне было поручено впаять 53 диода. Когда машину наконец включили, она, конечно, не работала, и при проверке оказалось, что 45 моих диодов пережжены: скорее всего, я их плохо охлаждал при пайке. Завхоз лагеря, которому пришлось списывать диоды с баланса, мрачно сказал: «А иди-ка ты, парень, ... в теоретики».

И я пошел... Сначала поступил в замечательную физико-математическую школу № 444 (среди ее знаменитых выпускников – Аркадий Дворкович и Александр Жуков), потом в Физико-технический институт, стал работать младшим научным сотрудником в Институте космических исследований Академии наук, начал писать теоретические статьи... Жизнь, казалось бы, стала налаживаться.

Столкновение с реальностью произошло позже, после одного моего теоретического доклада в ИКИ. Приехавший в наш институт знаменитый американский ученый Фред Скарф, выслушав его, сказал своим скрипучим голосом: «You have shown us very beautiful theory – but now I will show you very ugly experimental data which completely destroy it», что в переводе означает: «Твоя теория прекрасна, но мои очень уродливые экспериментальные данные ее опровергают». Так начался новый этап жизни.



*Л.М. Зелёный – лауреат Золотой медали им. Льва Николаева 2018 года*

Если кто-то думает, что главная проблема в физике и науке вообще – это противостояние ученых и чиновников, о котором сейчас много пишут, то он ошибается. Главная сложность – отношения теоретиков и экспериментаторов. Подумайте, какая асимметрия: никаким количеством экспериментов нельзя доказать теорию так, чтобы все оппоненты были посрамлены. Но достаточно всего одного эксперимента, чтобы ее опровергнуть.

Все знают знаменитую фразу Эйнштейна «Если теория некрасива – она неверна», но тут же находится ехидный экспериментатор, который заявляет: «Красивые теории, как и красивые женщины, часто бывают неверны». Теоретики пытаются отбиваться: «В эксперименте главное – воспроизводимость», но тоже отпускают злую шутку: «Всякий эксперимент воспроизводим до тех пор, пока его не пытаются воспроизвести в другой лаборатории». Апофеозом этого противостояния является лозунг, который я видел в нескольких лабораториях на стене: «Чем дальше эксперимент от теории, тем ближе он к Нобелевской премии».

Я привык к этому противостоянию и стал сам аккуратнейшим образом строить графики спутниковых измерений, учитывая ошибки, статистический разброс и прочее. Что же я получил?

Несколько лет назад рецензент одной из моих статей написал: «Данные результатов эксперимента неприлично хорошо согласуются с теоретической моделью, статью надо серьезно переработать». Вот в таком диалектическом единстве и живут теоретики и экспериментаторы. Строго по Гегелю этот конфликт и двигает науку.

Но сейчас меня награждают за вклад не в науку, а в просвещение, и именно о нем я хочу сказать в завершении. Начну снова с шутки, которая была популярна после перестройки: в 1917 г. от государства отделили церковь, а в 1991 г. – науку. Результаты, впрочем, оказались не такими веселыми. Многие мои студенты и аспиранты тех лет работают в лабораториях США, Франции, Германии и достигли уже очень высоких научных позиций. Сейчас ситуация в нашей стране постепенно становится лучше: есть много программ поддержки молодежи и в Академии наук, и в научных фондах, и в Министерстве науки и высшего образования. РАН недавно выступила с замечательной инициативой создания академических классов в школах России. Я, как, наверное, почти все мои коллеги в Отделении физических наук РАН, – выпускники таких школ, и их “размешивание” обычными предыдущими руководителями министерства было большой ошибкой.



Но кроме таких “выделенных” школ очень важен и общий настрой в обществе. Хлебников говорил: “Человечество делится на изобретателей и приобретаемых – творян и дворян”. И, что ни говори, в советское время физики и изобретатели были в почете, а приобретаемые, по крайней мере, официально – в загоне.

В нашей теперешней капиталистической жизни изобретатели тем более нуждаются в “теплой руке” общества и государства, даже если их труды завтра и даже послезавтра не удастся коммерциализировать.

Мы занимаемся космосом, планируем полеты не только в ближайшем космосе, но и на Луну, а когда-то – и к Марсу. И сейчас уже ясно, что человек выдержит почти все тяготы космических путешествий... кроме их стоимости. Относительно последнего существуют серьезные сомнения. Хорошо об этом сказал Станислав Лем в “Сумме технологии”: «Без сомнения, ученым потребуется сначала воспитать целое поколение руководителей, которые согласятся достаточно глубоко залезть в государственный карман, и притом для выполнения целей, столь подозрительно напоминающих традиционную научно-фантастическую тематику».

Да, это дорого – но это нужно человечеству.

Мы верим, что исследования Луны, планет, экзопланет, звезд, Вселенной принесут яркие открытия, с результатов которых скарденное Министерство финансов где-то к концу века, думаю, уже начнет брать налоги. И конечно, в нашей отрасли нужны те, кто эти открытия совершит, – новые талантливые исследователи. Конкуренция здесь высока, и не только с банковским сектором, но и с другими областями физики, химии, биологии, в которых тоже сейчас происходит много интересного. И я, и многие мои “космические” коллеги по мере сил занимаемся просветительской деятельностью – в надежде не только заинтересовать налогоплательщиков, но и убедить молодежь попытаться свои силы в нашей отрасли.

В октябре этого года мы планируем провести большую конференцию в ИКИ РАН, посвященную космическому обра-



Вид Золотой медали им. Льва Николаева

зованию. Она получила название “Дорога в космос”, это дань памяти первому космонавту планеты Юрию Алексеевичу Гагарину, которому в этом году исполнилось бы 85 лет.

Мы будем говорить о целях и проблемах “космического” образования – начиная со школ и заканчивая вопросами обучения в аспирантуре – и, конечно, будем обсуждать задачи популяризации исследований космоса в обществе.

Так получилось, что значительная часть моей жизни отдана делу популяризации космоса и космической науки. Поэтому мне особенно дорога медаль Льва Николаева. О том, что делал он и что по мере сил стремимся делать мы, тысячи лет назад точно и кратко сказал Конфуций: «Обучение – это не заполнение пустого сосуда, а разжигание огня».

#### СПРАВКА

Золотая медаль им. Льва Николаева учреждена в 2011 г. “Трансконтинентальной медиакомпанией” и входящей в ее состав телекомпанией “Цивилизация” при поддержке Министерства образования и науки РФ. Медали и почетные дипломы вручаются ежегодно пятерым выдающимся деятелям мировой науки и культуры



Ф.СП-1	<b>АБОНЕМЕНТ</b>		<b>70336</b> (индекс издания)	
	на <u>газету</u> на <u>журнал</u>			
<b>Земля и Вселенная</b> (наименование издания)		Количество комплектов		
на ___ год по месяцам:				
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12			
<b>Куда</b>				
(почтовый индекс)		(адрес)		
<b>Кому</b>				
		(фамилия, инициалы)		
-----				
		<b>ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА</b>		
			<b>70336</b> (индекс издания)	
ПВ	место	литер	на <u>газету</u> на <u>журнал</u>	
<b>Земля и Вселенная</b> (наименование издания)				
Стоимость	подписки пере-адресовки	___руб. ___коп.	Количество комплектов	
		___руб. ___коп.		
на ___ год по месяцам:				
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12			
<b>Куда</b>				
(почтовый индекс)		(адрес)		
<b>Кому</b>				
		(фамилия, инициалы)		

Дорогие читатели!  
 Напоминаем, что подписаться на журнал “Земля и Вселенная”  
 на II полугодие 2019 г.  
 вы можете с любого номера по Объединенному каталогу “Пресса России”  
 во всех отделениях связи.  
 Подписаться можно и по интернету, воспользовавшись каталогом журналов  
 на сайте “Почта России”  
 Подписной индекс – 70336

Индекс 70336

## Земля и Вселенная, 3/2019

Заведующая редакцией *Л.В. Рябцева*

Зав. отделом космонавтики и геофизики *С.А. Герасютин*

Номер подготовили: *В.И. Ананьева, О.В. Закутняя*

Оператор ПК *Н.Н. Токарева*

Корректоры *А.Ю. Обод, В.П. Терехов*

Верстка макета *Н.В. Мелкова*

### Просим обращаться

#### по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-28 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

#### по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 42-91),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

[www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/](http://www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/)

### *Все права защищены*

*Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.*

*Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.*

*Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.*

*Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели*

12+

---

Сдано в набор 25.04.2019 г. Подписано к печати 20.06.2019 г.

Дата выхода в свет 29.06.2019 г. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 7.5

Тираж 1000 экз. Зак. 11 Цена свободная

---

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

---

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6



# АкадемКнига

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

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

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

E-mail: [spasogtin@mail.ru](mailto:spasogtin@mail.ru)

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219





ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**НАУКА**

**NAUKA**  
PUBLISHERS

**НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**



[instagram.com/naukapublishers](https://www.instagram.com/naukapublishers)



[facebook.com/naukapublishers](https://www.facebook.com/naukapublishers)



[vk.com/naukapublishers](https://vk.com/naukapublishers)



ИЗДАТЕЛЬСТВО

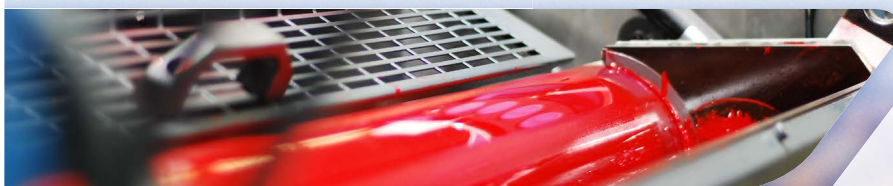
НАУКА

НАУКА  
PUBLISHERS

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

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"  
[www.tnauka.ru](http://www.tnauka.ru)

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




- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

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

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск



# 40% НА КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

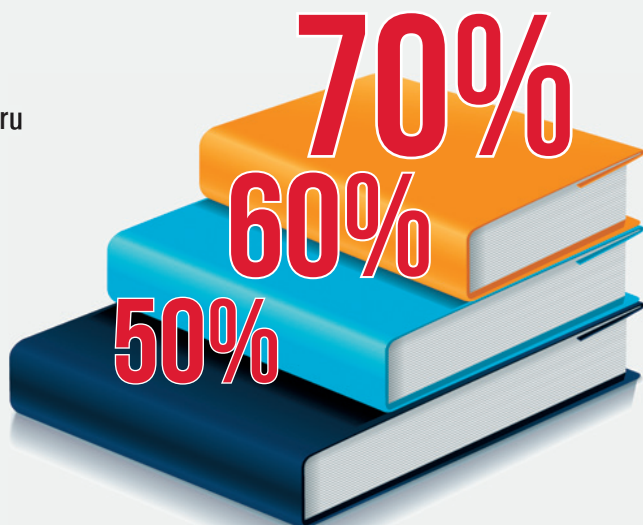
акция распространяется  
в сети магазинов «Академкнига»  
и в интернет-магазине [naukabooks.ru](http://naukabooks.ru)

## BOOK SALE

# ЕЩЁ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

Реклама

акция распространяется  
в интернет-магазине [naukabooks.ru](http://naukabooks.ru)



ИЗДАТЕЛЬСТВО **НАУКА**  
**NAUKA**  
PUBLISHERS