

Современное состояние метеорной астрономии

М.Е. САЧКОВ,
доктор физико-математических наук
ИНАСАН

Исследованием свойств метеорных тел, их взаимодействием с земной атмосферой занимается метеорная астрономия. Важнейший вклад в метеорные исследования внес выдающийся русский астроном Ф.А. Бредихин



(1831–1904), развивший идеи о происхождении метеорных потоков из ядер комет. Применение новых современных методов регистрации метеорных тел значительно обогатили наши знания о загадочных “падающих звездах”.

МЕТЕОРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Светящийся след на ночном небе, похожий на “падающие звезды”, принято называть термином “метеор”. Метеоры (с древнегреческого – “небесный”) возникают при попадании в земную атмосферу из космоса мелких твердых частичек (например, осколков комет или астероидов), которые нагреваются и сгорают. По сути, мы наблюдаем светящуюся полосу разогретого возду-

ха вдоль пути движения такой частички. Часто этим же словом, что не вполне корректно, именуют и саму частичку. Ее правильнее называть “метеороидом”. Таким образом, метеороид – это твердое небесное тело, которое при взаимодействии с атмосферой планет (не обязательно Земли) вызывает явление метеора. Метеороиды обращаются по орбитам вокруг Солнца и занимают промежуточное положение

между астероидами и межпланетной пылью. Хотя орбиты метеороидов занимают весь объем межпланетного пространства, мы видим только те из них, чья траектория движения пересекает орбиту Земли.

При входе в атмосферу планеты метеороид тормозится и разогревается от трения до высоких температур. Под действием налетающих частиц воздуха он теряет атомы со своей по-



верхности и, в конце концов, полностью разрушается. Этот процесс получил название “абляция”. Энергия движения метеороида преобразуется в световое излучение, кроме того, происходит свечение паров и газов метеорного тела. Яркость метеора зависит от его массы и плотности, скорости и угла влета в атмосферу и других факторов. Метеоры с очень высокими световыми эффектами называют “болидами”.

Движущиеся по общей орбите большое число метеороидов образуют метеорный поток (метеорный рой). Рои летят в пространстве по стабильным орбитам, Земля пересекает их каждый

год примерно в одно и то же время. Некоторые метеорные потоки довольно широкие и занимают большое пространство в космосе, их прохождение в районе нашей планеты длится несколько дней или даже недель. Другие метеорные рои появляются не при каждом пересечении Земли их орбиты. Это объясняется их структурой: частицы в недавно образовавшихся (молодых) роях сосредоточены в ограниченном объеме пространства и создают сгущение на определенных участках орбит. При встрече нашей планеты с такими компактными роями образуются “метеорные дожди”, когда можно видеть до нескольких сотен

Метеорный рой на фоне Млечного Пути.

метеоров в час. Различная активность метеорных потоков объясняется неравномерностью распределения метеороидов на орбите. Конечно, возможность наблюдения того или иного потока зависит от направления прихода частиц к Земле. Например, если центр потока встретился с атмосферой высоко в Северном полушарии небесной сферы, то в Южном полушарии Земли невозможно увидеть такой поток.

МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ

В настоящее время известно несколько сценариев исчезновения метеорных потоков, наблюдаемых с Земли. Один из них состоит в том, что рой метеоров, регулярно пересекающий орбиту Земли, с течением времени “иссыкает”. Поток теряет метеорное вещество, сгорающее в земной атмосфере, становится слабее раз за разом и, наконец, пропадает совсем. По всей видимости, не принадлежащие ни к каким потокам одиночные метеоры – остатки ранее существовавших потоков. Другой причиной истощения метеорных потоков считается солнечное излучение. С течением времени метеорные рои растягиваются вдоль своих орбит, расширяются и, в конечном счете, распадаются под воздействием эффектов Пойнтинга – Робертсона – Радзиевского. Эффект медленного падения частичек по спирали к Солнцу был описан в 1903 г. английским физиком Дж.Г. Пойнтингом и объяснен с точки зрения общей теории относительности его соотечественником Г. Робертсоном в 1937 г. Суть этого эффекта, заставляющего пылевую частицу терять скорость, состоит в следующем. Движущаяся по орбите пылинка непрерывно поглощает фото-

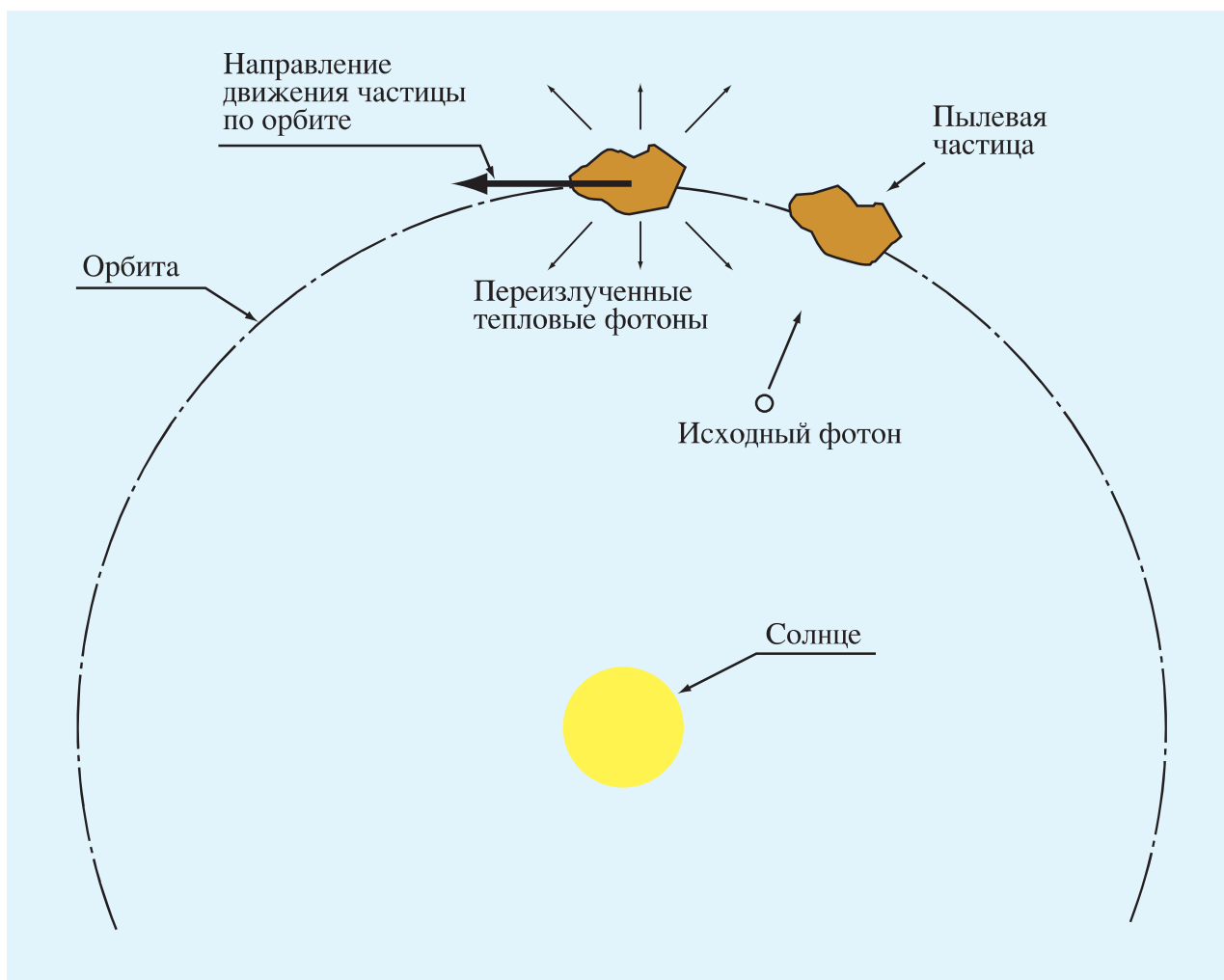
ны, идущие от Солнца в направлении, перпендикулярном орбите, а переизлучает их в виде тепловых квантов в разные стороны симметрично, но в своей системе отсчета. В неподвижной относительно Солнца системе отсчета эти кванты будут излучаться преимущественно в направлении движения частицы. По закону сохранения импульса частица будет тормозиться и сближаться с Солнцем. При этом на частицу одновременно действует световое давление, которое отталкивает ее от Солнца. В результате взаимодействия этих сил самые малые каменные частицы, размером менее половины микрона, выносятся из Солнечной системы, а частицы размерами несколько микрон приближаются от Земли к Солнцу в течение нескольких тысяч лет, после чего, не долетев до Солнца, испаряются. В 1950 г. советский астроном В.В. Радзиевский выявил существование такого же эффекта (планетоцентрический эффект Пойнтинга – Робертсона) для частиц, движущихся вокруг планет. У таких частиц сокращается орбита вследствие переизлучения солнечной радиации.

Узкие метеорные потоки могут изменять свои орбиты под влиянием других планет, особенно Юпитера. Вследствие

таких изменений потоки с Земли уже не видимы. Такой процесс занимает тысячи и даже сотни тысяч лет, но он работает постоянно и неумолимо.

Исследование метеорных потоков – весьма сложная и трудоемкая задача. Любое метеорное явление уникально и никогда не повторяется. Для точного и детального изучения пространственной структуры метеорных потоков, уточнения параметров старых и поиска новых необходим постоянный мониторинг неба. Он крайне важен для изучения свойств их родительских тел, комет и астероидов. Необходимо определять их характеристики: яркость, скорость движения, параметры орбиты, высоту загорания в земной атмосфере. Эта высота зависит от массы метеороида и скорости его входа в атмосферу. Масса метеороида определяется по интегральной яркости метеора в результате наблюдений болидов.

Быстрые метеоры начинают свечение в разреженной атмосфере на высоте около 120 км, а полное их затухание происходит приблизительно на высоте 80 км. Медленные метеоры сгорают в более плотных слоях атмосферы – примерно на высоте 60 км. Глубже всего в атмосферу проникают массивные метеороиды с малыми скоростями, они полностью



сгорают на высоте 40 км и ниже. Достигшее высоты 20 км небесное тело тормозится до менее 5 км/с и может упасть на поверхность Земли в виде метеорита. Масса такого тела до его входа в атмосферу должна быть более 10 кг.

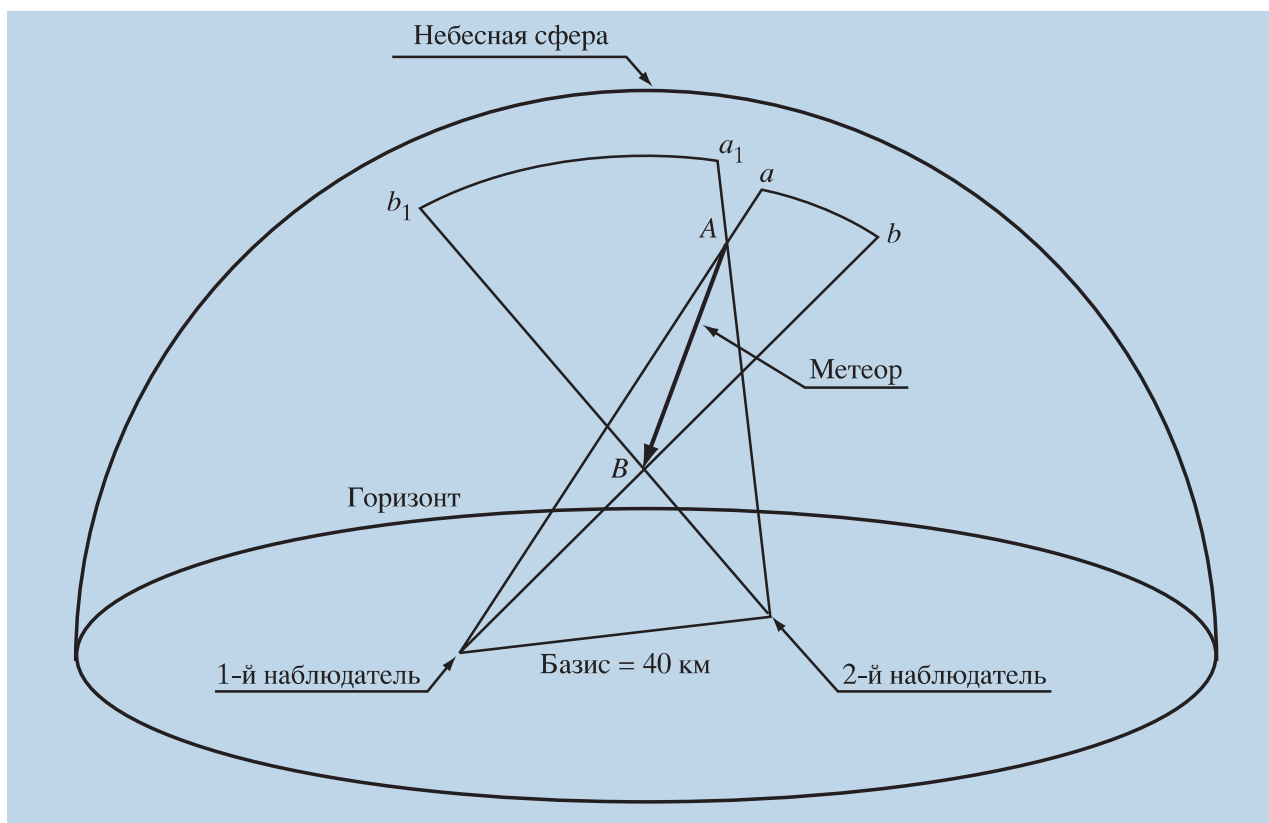
Принадлежащие Солнечной системе малые тела в районе орбиты Земли движутся со скоростями, не превышающими 42 км/с (третья космическая скорость). Тело, движущееся быстрее, обладает кинетической энергией, превышающей энергию притяжения на-

шего светила, и покидает Солнечную систему. Учитывая, что скорость движения Земли по орбите вокруг Солнца 30 км/с, максимальная скорость входа метеороида – члена Солнечной системы – в земную атмосферу достигается при его “лобовом” столкновении с нашей планетой и не превышает 72 км/с. Большую величину имеют тела, прилетевшие из межзвездного пространства. Наблюдения показали, что у всех метеороидов это значение заключается в пределах 11,2–72 км/с. Были сде-

Эффект Пойнтинга – Робертсона. Идущие от Солнца фотоны поглощаются частичками. При переизлучении фотоны сохраняют в среднем направление движения частицы и уносят с собой часть ее углового момента.

ланы выводы, что они – члены Солнечной системы. Скорость 11,2 км/с имеют тела, движение которых вызвано только притяжением Земли.

Следует отметить, что часть метеорных тел влетает в атмосферу со скоростью меньше 11,2 км/с.



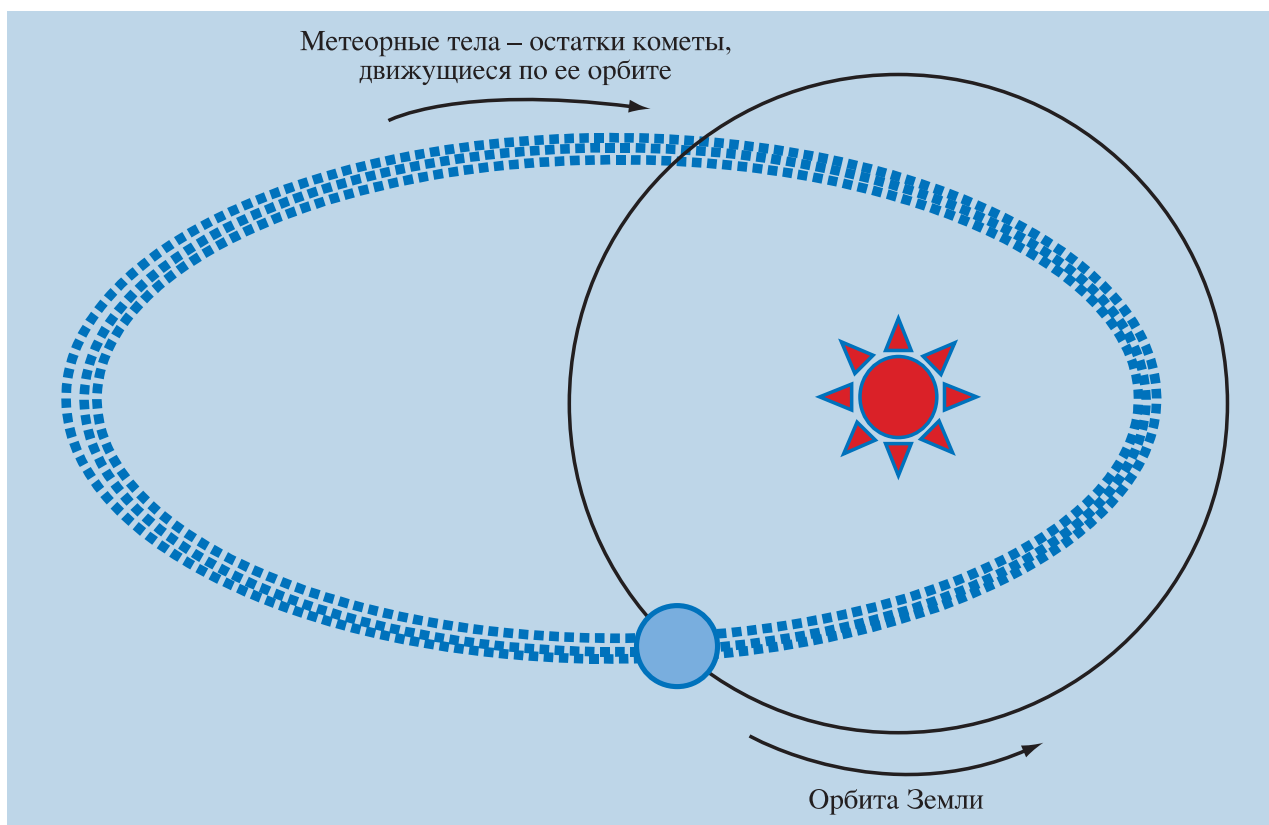
Базисные наблюдения метеоров. Два исследователя, находящиеся на расстоянии 40 км друг от друга, видят явление метеора (линия АВ) в проекции на небесную сферу в различных местах (ab и a_1b_1). Сравнение этих двух положений метеора позволяет определить любую точку метеорного пути.

Это “космический мусор” – не функционирующие искусственные спутники Земли, отработанные последние ступени ракет, разгонные блоки и их фрагменты. Космический мусор при взаимодействии с верхними слоями атмосферы Земли тормозится, переходит на более

низкие орбиты и сгорает при входе в плотные слои атмосферы. Такие тела сгорают в земной атмосфере так же как метеороиды, вызывая сходное явление. Селекция метеоров по скоростям – надежный критерий отличия метеорных событий от космического мусора. Отслеживание, как сгорает космический мусор, важен для прогнозирования опасности столкновения космических аппаратов, особенно пилотируемых, при запуске и их полете на орбитах, а в условиях техногенного загрязнения околоземного космического пространства актуальность таких исследований постоянно растет.

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРОВ

На протяжении многих десятилетий основным способом получения информации о метеорах были визуальные наблюдения. Невооруженный глаз человека способен видеть звезды ярче 6^m , а метеоры ярче 4^m . Напомним, что разделение звезд по звездным величинам было предложено во II в. до н.э. Гиппархом. Самые яркие звезды причислены к звездам первой величины, а самые слабые – шестой. Остальные звезды Гиппарх равномерно распределил по промежуточным величинам. Яркость звезд первой и шестой величин отличается в 100 раз. Применение не-



больших оптических инструментов (биноклей, бинокляров, подзорных труб, кометоискателей), позволяющих собрать больше света от исследуемого объекта, чем человеческий глаз, и соответственно зарегистрировать более слабые объекты, поднимает предел метеорного обнаружения до 9^m. Применение “классических” телескопов для метеорной астрономии практически невозможно: такие телескопы имеют очень маленькое поле зрения, и вероятность фиксации метеоров ничтожна. Ограниченное использование широкоугольных телескопов с гораздо большим полем зрения позволило увеличить предел метеорных пото-

ков средней и высокой активности при визуальных наблюдениях до 12^m. С помощью данных методов решаются задачи по регистрации видимых характеристик метеоров, таких как яркость, видимая угловая скорость и цвет, определяются функции распределения метеоров по светимости и массам.

Астрономы изучили суточную и сезонную переменность численности метеоров и определили пространственную плотность полета метеорных тел. Сделана оценка поступления внеземного вещества на Землю: оказалось, что ежедневно на Землю его выпадает до 150 т. Много это или мало? В год наша планета “тяжелеет” приблизи-

Метеорный поток образуется, когда Земля встречается с орбитами комет.

тельно на 55 тыс. т, за 4,5 млрд лет приток вещества составил $2,5 \times 10^{14}$ т. Конечно, мы упростили задачу, посчитав, что за все время существования Земли она “прибавляла в весе” с постоянной скоростью. От общей массы Земли (6×10^{21} т) такой приток составляет менее одной двадцатимиллионной части и не играет никакого значения в эволюции Земли в современный период. На ранних этапах эволюции Солнечной системы выпадение на Землю остатков протопланетного пы-

левого облака и более крупных фрагментов, несомненно, играло значительную роль не только в увеличении массы, но и в ее разогреве. Оценки метеорного вещества, выпадающего на Землю, полученные различными учеными, отличаются на порядок. Их уточнение – задача ближайшего будущего.

В последние годы определено положение радиантов слабых потоков и выявлены новые потоки: на звездные карты наносятся пути прохождения метеоров с последующим определением их координат радиантов.

Визуальные наблюдения – пожалуй, самые трудоемкие в астрономии, требующие длительного и постоянного внимания. В значительной степени они накоплены благодаря усилиям астрономов-любителей. Следует отметить, однако, что в силу физиологических особенностей человеческого глаза как инструмента регистрации метеорных явлений, результаты таких наблюдений в определенной степени субъективны. Например, слабые метеоры кажутся глазу заметно менее яркими, чем на самом деле, поэтому профессиональные астрономы прекратили визуальные наблюдения метеоров еще в середине прошлого века. Для точного определения ярко-



Академик Ф.А. Бредихин – основатель русской школы метеорной астрономии.

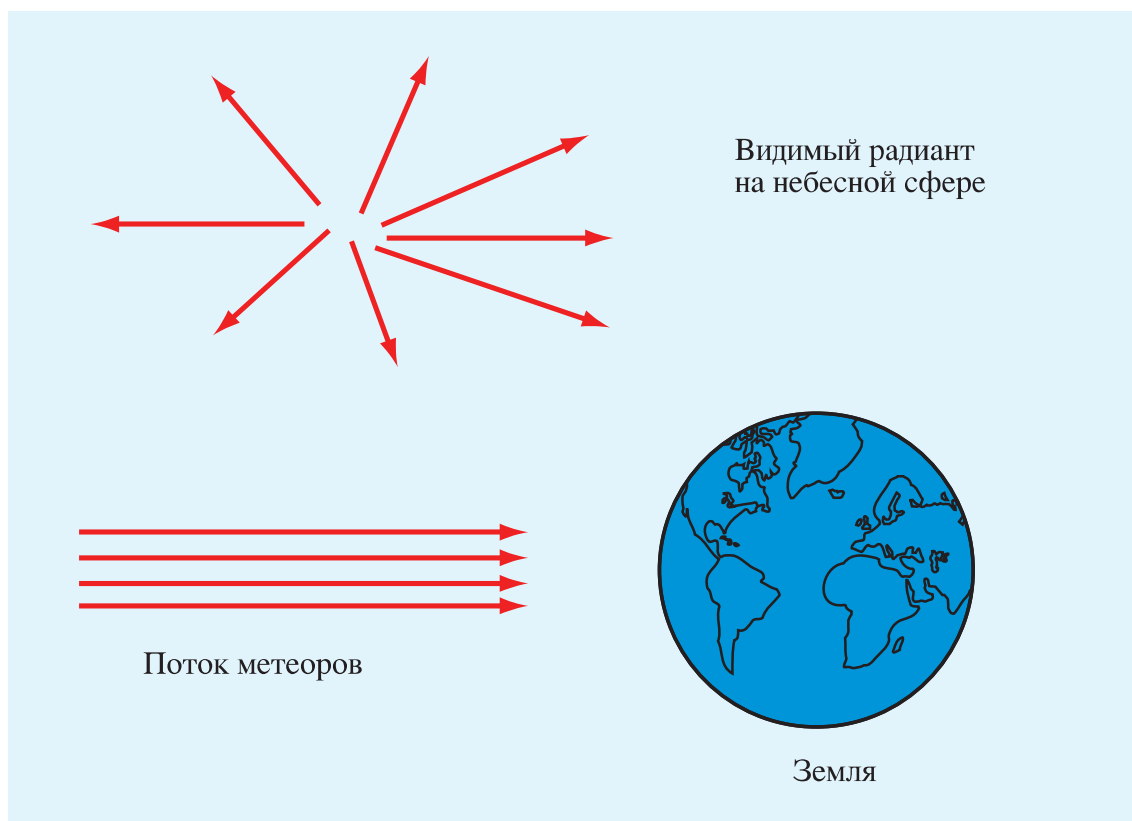
сти метеоров, высоты и скорости их полета необходима специальная техника.

Методы фотографической регистрации метеоров стали применяться вскоре после изобретения фотографии. В 1885 г. в Праге была получена первая фотография метеорного дождя Андромедид. В последующие десятилетия фототехника постоянно совершенствовалась. Для точного определения небесных координат метеора перед объективом фотокамеры устанавливалась специальная вращающаяся заслонка – обтюратор, дающая возможность регистрировать след метеора в виде пунктира с привязкой каждого штриха ко времени и позволяющая определять параметры его движения. Для увеличения поля зрения

использовались системы из нескольких фотокамер, ориентированных в разные участки неба. Для получения точной информации о траектории метеора в атмосфере, высотах, скорости, радианте, орбите, массе метеороида наиболее ценными считаются базисные наблюдения, проводимые одновременно из двух удаленных друг от друга пунктов. Оптимальное расстояние между пунктами около 40 км. Это расстояние не должно быть слишком малым, так как в этом случае снижается точность определения параметров. Но оно не должно быть и слишком большим, чтобы метеор, находящийся в поле зрения камеры одного исследователя, не оказался вне поля зрения другого. Необходимо обеспечить одновременность начала и конца экспозиций на обоих пунктах. Базисные наблюдения – одни из основных и при использовании современных телевизионных камер.

Точность фотографических методов была гораздо выше визуальных, что позволило получить новые результаты.

Фотографическими методами были зарегистрированы спектры метеоров, позволившие получить представление о химическом составе метеороидов. Самый первый спектр был получен в 1897 г. на обсерватории



в Ареквипе (Перу) случайно. Три следующих спектра получил астроном Московской обсерватории С.Н. Блажко (позднее член-корреспондент АН СССР) в 1904–1907 гг. Начиная с 1930-х гг. спектральные исследования метеоров проводятся систематически. Их химический состав был сравнен с данными о химическом составе метеоритов, комет и астероидов. В большинстве случаев спектральный метод дает удовлетворительное согласие с лабораторными определениями химического состава каменных метеоритов – хондритов.

Предел разрешения снимков определяется низкой чувствительностью фотоматериалов:

проникающая способность такого вида наблюдений практически соответствовала визуальным и ограничивалась 5^м. Кроме того, даже использование высокочувствительных фотоматериалов требовало затрачивать несколько десятков часов экспозиции на одной камере для получения изображения одного метеора.

Способность ионизованных метеорных следов к отражению радиоволн и доступность военных радиолокаторов после Второй мировой войны дали возможность изучать метеоры с помощью радиолокационной аппаратуры. Главное преимущество радиолокации – возможность регистрации метеорных

Вследствие эффекта перспективы метеоры кажутся появляющимися из точки на небесной сфере – радианта метеорного потока.

явлений в любое время суток и при всяких погодных условиях. Наиболее четкое радиоэхо, отраженное перпендикулярно к траектории метеора, можно получить при длине радиоволн около 5 м. Сантиметровые и дециметровые волны насквозь “пронизывают” метеорные следы, на этих длинах волн исследуют сами метеороиды.

Применение радиолокации позволило расширить наши представления о структуре комплекса метеорных тел в окрест-

ности орбиты Земли и о физических процессах, происходящих в ионизованных метеорных следах, исследовать суточную и годовую вариации численности метеоров. Регистрация метеоров радиолокационными методами позволила получать данные о слабых метеорах вплоть до 16^m . Кроме того, была получена информация о строении верхних слоев атмосферы. Вследствие низкой разрешающей способности локаторов и невысокой точности угломерных измерений радиолокационные методы не нашли широкого применения в метеорной астрономии. Следует отметить, что визуальные, фотографические и радиолокационные методы исследования метеоров не конкурируют между собой, а служат взаимным дополнением. Например, отмечен важный факт, что распределения метеорных орбит по значениям их элементов различны для метеоров, регистрируемых фотографическими методами и радиолокацией. Причина такого различия заключается в том, что радиолокационным методом регистрируются более слабые метеоры, чем фотографическим, а, следовательно, данные этого метода относятся к гораздо более мелким телам, чем данные фотографического метода.

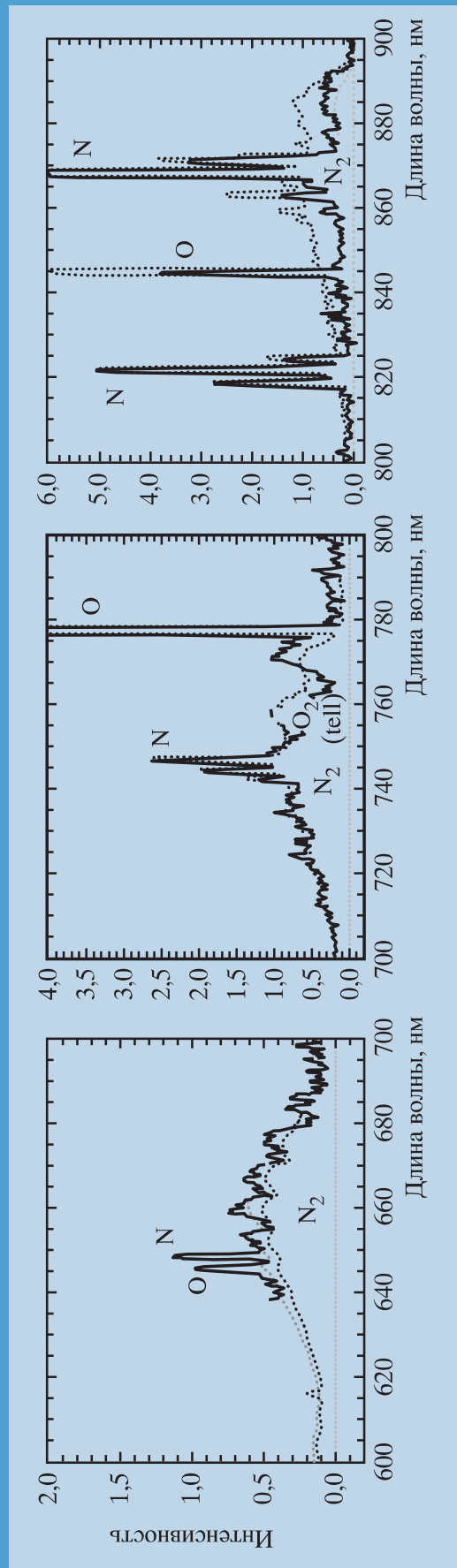
Наиболее эффективными инструментами для метеорных наблюдений в настоящее время считается аппаратура, использующая оптоэлектронные приемники излучения, включая приборы с зарядовой связью. Важнейшее преимущество таких методов – их высокие чувствительность и временное разрешение. Квантовый выход современных ПЗС-приемников в оптическом диапазоне длин волн достигает 98% (!), а компьютерная обработка позволяет проводить наблюдения в реальном времени и с использованием коротких экспозиций. Благодаря этим особенностям в настоящее время возможно точно определять почти все параметры метеоров: яркость, время и скорость пролета, положение и метеорные спектры. Удалось существенно повысить проникающую способность метеорных наблюдений, в частности объектов, движущихся с большими видимыми скоростями. Кроме того, появилась возможность выявления быстрых изменений блеска метеоров и их следов. Использование широкоугольных телескопов позволяет регистрировать очень слабые метеоры.

С развитием космической техники для изучения метеоров стали применяться внеатмо-

сферные методы: с помощью датчиков, фиксирующих удары метеорных тел или ведущих сбор пылинок в верхней атмосфере Земли. Следует отметить, что эти методы очень затратны для массового использования, поэтому результаты космических исследований метеоров весьма ограничены.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТЕОРНОЙ АСТРОНОМИИ

Со времен возникновения метеорной астрономии и до настоящего времени получено множество результатов, расширивших наше представление о метеорных явлениях и составе метеоров. Изучены динамические характеристики метеоров, исследован их элементный состав, размеры, плотность и масса, а также физические процессы, связанные с разрушением метеоров в атмосфере Земли. Наши представления основаны на изучении физических свойств атмосферы Земли на высотах их загорания (80–120 км). Частично решен вопрос о механизмах возникновения метеороидных тел – доказана их генетическая связь с кометами, но не с астероидами: метеорные тела потоков – не что иное, как продукты разрушения комет.



Спектры метеоров, зарегистрированные в Европейской Южной Обсерватории. Согласно модели, температура атмосферы 4600 °С и высота метеорного явления 95 км. Спектры получены 30 июля 2004 г. ЕЮО.

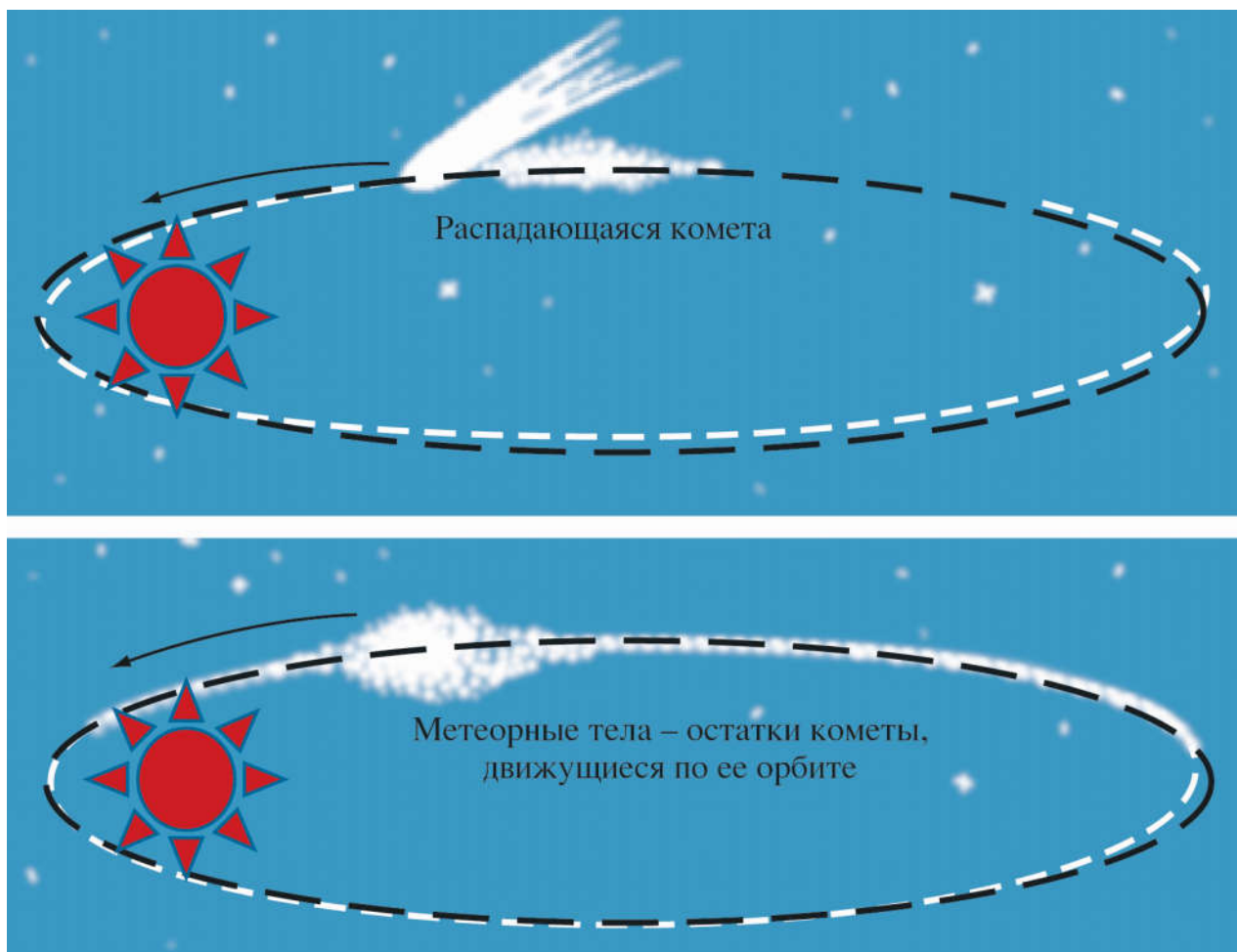


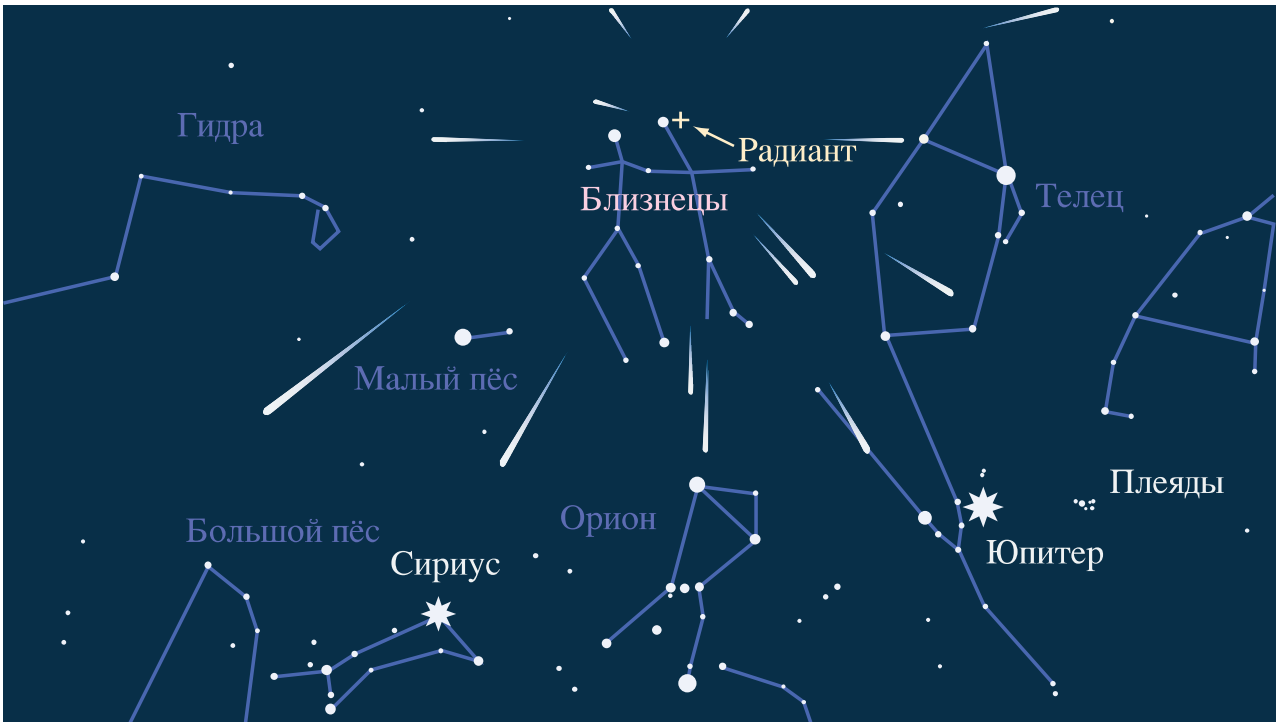
Схема превращения распадающегося ядра кометы в поток метеорных частиц.

Приведу один показательный пример. В 1846 г. астрономы наблюдали распад на две части кометы Биэлы (3D/Biela, период обращения – 6,5 лет), открытой в 1826 г. австрийским астрономом-любителем Вильгельмом фон Биелой. Очередное появление этой кометы в 1872 г. не состоялось, зато астрономы стали свидетелями мощного метеорного дождя, который повто-

рился через тринадцать лет в 1885 г. Этот поток получил название Андромедиды, а комета Биэлы относится к числу утерянных – она с тех пор более не наблюдалась. Скорее всего, она распалась на части, дав начало метеорному потоку Андромедид. Со знаменитой кометой Галлея связаны два метеорных потока: гамма-Аквариды (май) и Ориониды (октябрь). Это объясняется тем, что орбита Земли пересекается с орбитой кометы не в одной точке, как у большинства комет, а в двух.

Что касается спорадических метеоров, то они,

скорее всего, – остатки распавшихся метеорных потоков. На основе базисных наблюдений найдено большое количество орбит индивидуальных метеоров и изучено их движение, также получено представление о распределении метеорного вещества в межпланетном пространстве. Было составлено множество каталогов метеорных потоков. Однако, несмотря на достаточно большой объем знаний о метеорах, многие вопросы метеорной астрономии не до конца решены и остаются актуальными. Более половины всех регистрируемых метеоров



Метеорный поток Геминиды. Его можно наблюдать с 7 декабря, максимальная его активность (от 30 до 100 метеоров в час) приходится на ночь с 13 на 14 декабря. Внизу – место радианта потока на небесной сфере.

нельзя соотнести с каким-либо известным существующим потоком. В то же время большая часть таких неотожествленных метеоров потенциально принадлежат к определенным потокам, о которых современная астрономия не имеет практически никаких представлений, что относится к важным проблемам.

Следует отметить, что, несмотря на многолетние исследования, объем полученных данных считается весьма ограниченным. Основная их масса относится к сильным метеорным потокам, более удобным для проведения визуальных и фотографических наблюдений. Малоактивные слабые потоки в большинстве своем остаются “белым пятном”, а без их изучения невозможно исследовать эволюцию метеорного вещества детально. В связи с этим многие задачи метеорной астрономии, сформулированные еще более полувека назад, остаются актуальными и по сей день. К ним следует отнести изучение процессов эволюции метеорных потоков, движения и распределения метеорного вещества в Солнечной системе, а также исследование взаимоотношения метеороидов и их “родительских тел” – комет и астероидов.

РОЛЬ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ АСТРОНОМИИ В МЕТЕОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Метеорные исследования – это та область современной астрономии, серьезный вклад в которую могут сделать не только профессиональные астрономы, но и астрономы-любители. Для увеличения эффективности исследований, проводимых любителями астрономии, необходима координация их деятельности. С этой целью образованы и успешно работают общества: Голландское метеорное общество (Dutch Meteor Society), Международная метеорная организация (International Meteor Organization, Германия), Японское метеорное общество (Nippon Meteor Society) и ряд других. Среди них наиболее весомым и авторитетным является Международная метеорная организация (ММО).

С самого начала своей деятельности ММО уделяет особое внимание созданию баз данных зарегистрированных метеорных событий. Результаты измерений включают в себя совокупность данных, полученных с помощью визуальных, телескопических, фото-, видео- и радионаблюдений, а также болидных сетей со всего мира. Это позволяет разносторонне изучать метеорные явления и их связь с ко-

метами и межпланетным веществом. База данных визуальных метеоров (VMDB) содержит в настоящее время почти 3 млн наблюдений метеоров, полученных в течение последних 15 лет.

Нужно особо отметить, что современная аппаратура, которую используют любители, практически не уступает (а иногда и превосходит) аппаратуре, используемой профессиональными астрономами. Получаемые данные зависят больше от точности производимых наблюдений. Все базы данных ММО – База данных Международного проекта по исследованию метеоров видеометодами, База данных базисных метеорных регистраций, База данных визуальных метеорных регистраций, Архив характеристик индивидуальных метеоров – открыты для всеобщего доступа.

К наиболее важным и принципиальным задачам современной метеорной астрономии относятся исследование происхождения метеорной материи и метеоритов, распределение метеорного вещества в Солнечной системе, изучение процессов эволюции метеорных потоков. Актуальными остаются задачи поиска галактических метеоров и регистрация притока метеорного вещества на Землю.

Новые данные о Плуtone и Хароне

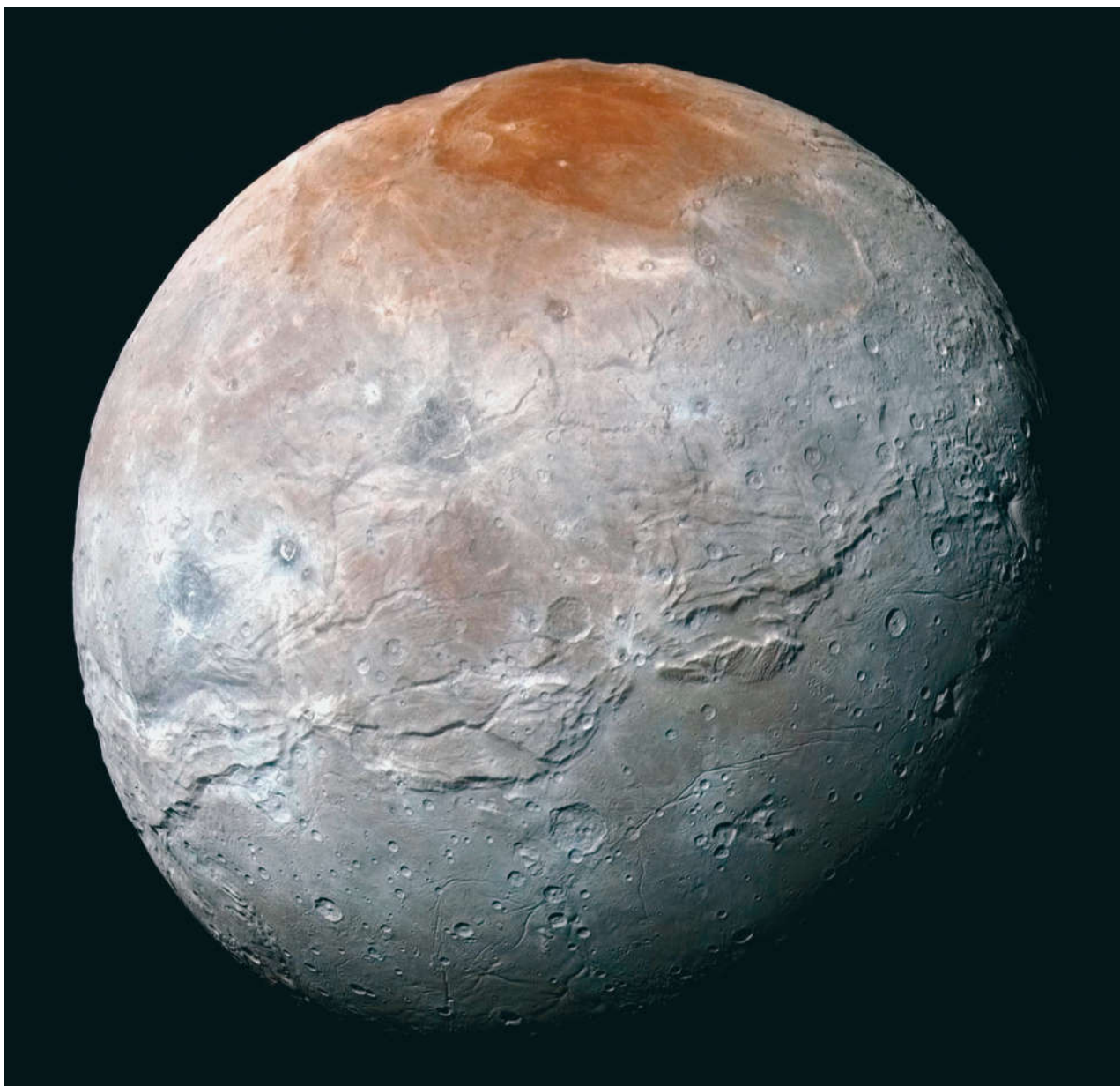
В сентябре – октябре 2015 г. АМС “Новые горизонты” передала на Землю цветные снимки высокого разрешения карликовой планеты Плутон и его крупнейшего спутника Харона, сделанные во время пролета системы 14 июля (Земля и Вселенная, 2015, № 6). Ученые смогли заглянуть в запутанную историю этих небесных тел.

Рельеф Харона оказался гораздо разнообразнее, чем многие ожидали, – кроме ударных кратеров, на поверхности спутника обнаружены высокие горы и глубокие расселины, каньоны, оползни и равнины. К северу от экватора расположен пояс трещин и разломов, например глубина гигантского каньона – 3600 м, в два раза больше, чем у Гранд Каньона на плато Колорадо (штат Аризона, США). Эта огромная система, расположенная немного севернее экватора спутника, простирается примерно на 1600 км по всей поверхности полушария Харона, обращенного к Плутону, и, вероятно, заходит на обратную сторону спутника. Ученые предполагают, что в его недрах протекают бурные геологические процессы, так как вся кора оказалась

расколотой. Южнее экватора лежит очень гладкая область, получившая неофициальное наименование Равнина Вулкана (Vulcan Planum), покрытая множеством следов относительно недавней геологической активности. Она содержит меньшее количество ударных кратеров, чем северное полушарие Харона. От свежих кратеров исходят яркие и темные лучи. Исследователи полагают, что здесь произошло обновление поверхности, когда до какой-то глубины замерз подледный океан, объем спутника увеличился, ледяная кора растрескалась, и потоки воды из недр залили обширные пространства. Помимо этих участков, на снимках можно рассмотреть загадочную северную околополярную область Мордор (Mordor Macula) с размытым темным пятном красноватого оттенка. Равнины к югу от каньонов Харона имеют меньше крупных кратеров в сравнении с регионами, расположенными к северу от них. Это указывает на то, что они значительно моложе. Гладкость равнин – явный признак криовулканизма. Кроме топографических особенностей, Харон отличается и различиями в альbedo поверхности.

Опубликованы также фотографии высокого разрешения центрального участка поверхности левой (западной) части Плутона – протяженной светлой области в форме сердца, покрытой инеем из замороженного угарного газа. Это молодая поверхность возрастом не более 100 млн

лет, практически лишенная ударных кратеров и покрытая необычным узором из сегментов неправильной формы шириной около 20 км, окантованных неглубокими рвами. Дно некоторых рвов покрыто очень темным материалом. Вырастают над окружающей местностью цепочки холмов. В других местах обнаружены ямы и рытвины, образовавшиеся в результате сублимации. Возникли две гипотезы о том, как сформировался странный рисунок из сегментов. Согласно первой, поверхность сжималась и растрескивалась подобно тому, как растрескивается засыхающая грязь. Вторая говорит о том, что такой узор возник в результате медленной конвекции пластичных льдов метана, угарного газа и азота, подогреваемых снизу скудным теплом из недр. Плутон окружен тонкой разреженной атмосферой, которая на 98% состоит из азота, в качестве примеси – ацетилен и этилен. Атмосферное давление у поверхности (ниже 10 микробар) в 10 тыс. раз меньше, чем на Земле. Из-за своей малой массы Плутон постепенно теряет атмосферу, которая улетучивается со скоростью сотен тонн в час. В результате моделирования ученые пришли к заключению, что дымка в атмосфере планеты не может возникать на высотах выше 30 км. На снимках, полученных камерой LORRI спустя 7 ч после момента максимального сближения с Плутоном, видны два слоя дымки, находящихся на высотах около 50 км и 80 км! По мнению



Харон. Разрешение – 1,2 км. Снимок передан 9–11 сентября 2015 г. АМС “Новые горизонты”. Фото NASA/JPL.

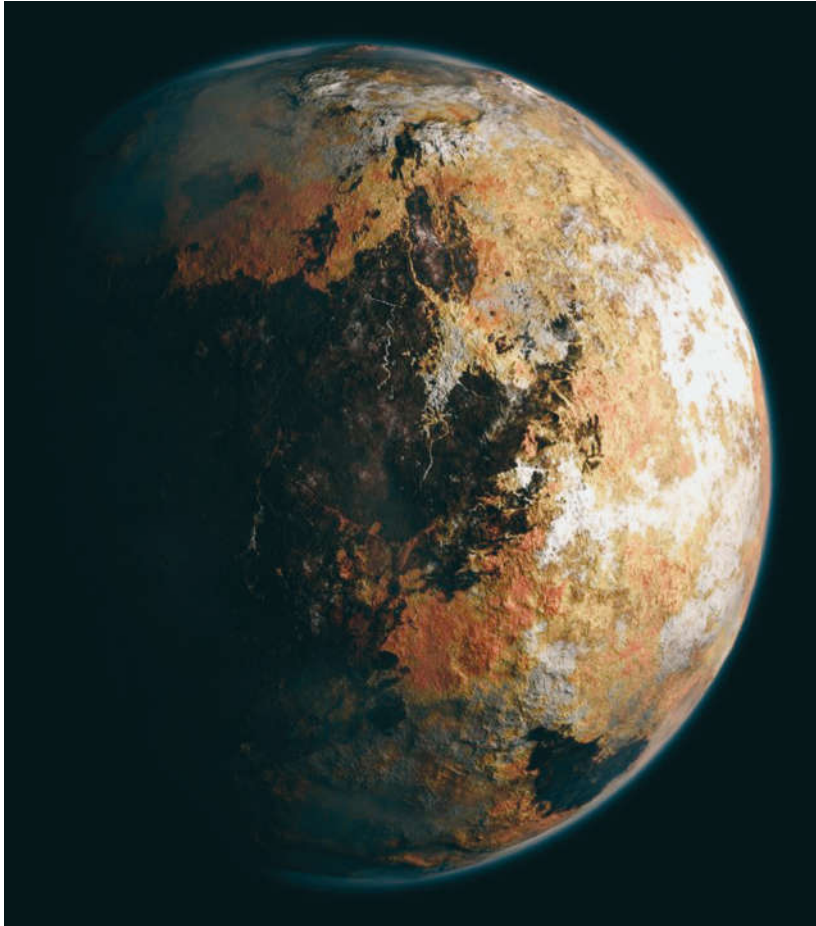
исследователей, дымка в атмосфере Плутона возникает в результате фотодиссоциации метана и образования этилена и ацетилена (следы этих газов также найдены во время пролета). В более низких и холодных слоях атмосферы этилен и ацетилен конденсируются в твердые частицы. Дальнейшие фотохимические реакции с участием азота приводят

к формированию сложных углеводородов, окрашивающих поверхность Плутона в темные тона.

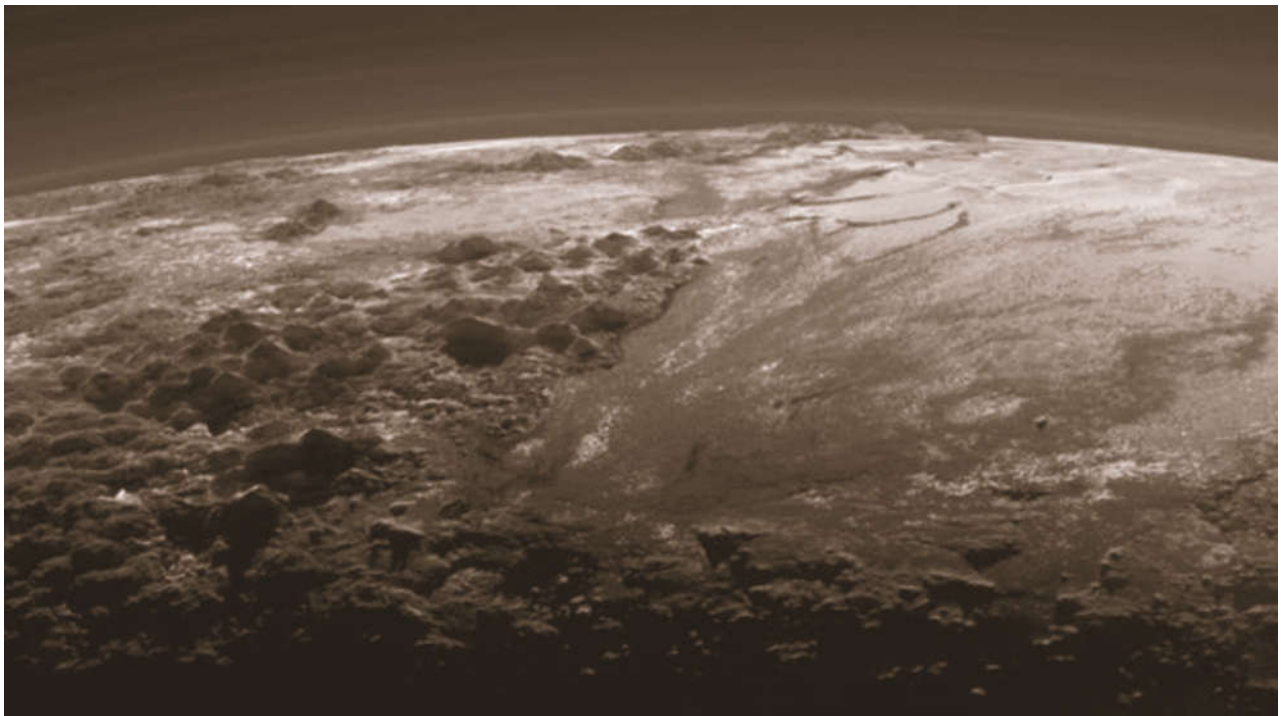
Один из районов Плутона напоминает змеиную кожу или древесную кору, образованную многочисленными прямыми гребнями, параллельными друг другу и разделенными корытообразными долинами. Там же можно видеть протяженные

разломы, замерзшие озера и множество других необычных форм рельефа, природа которых остается неизвестной.

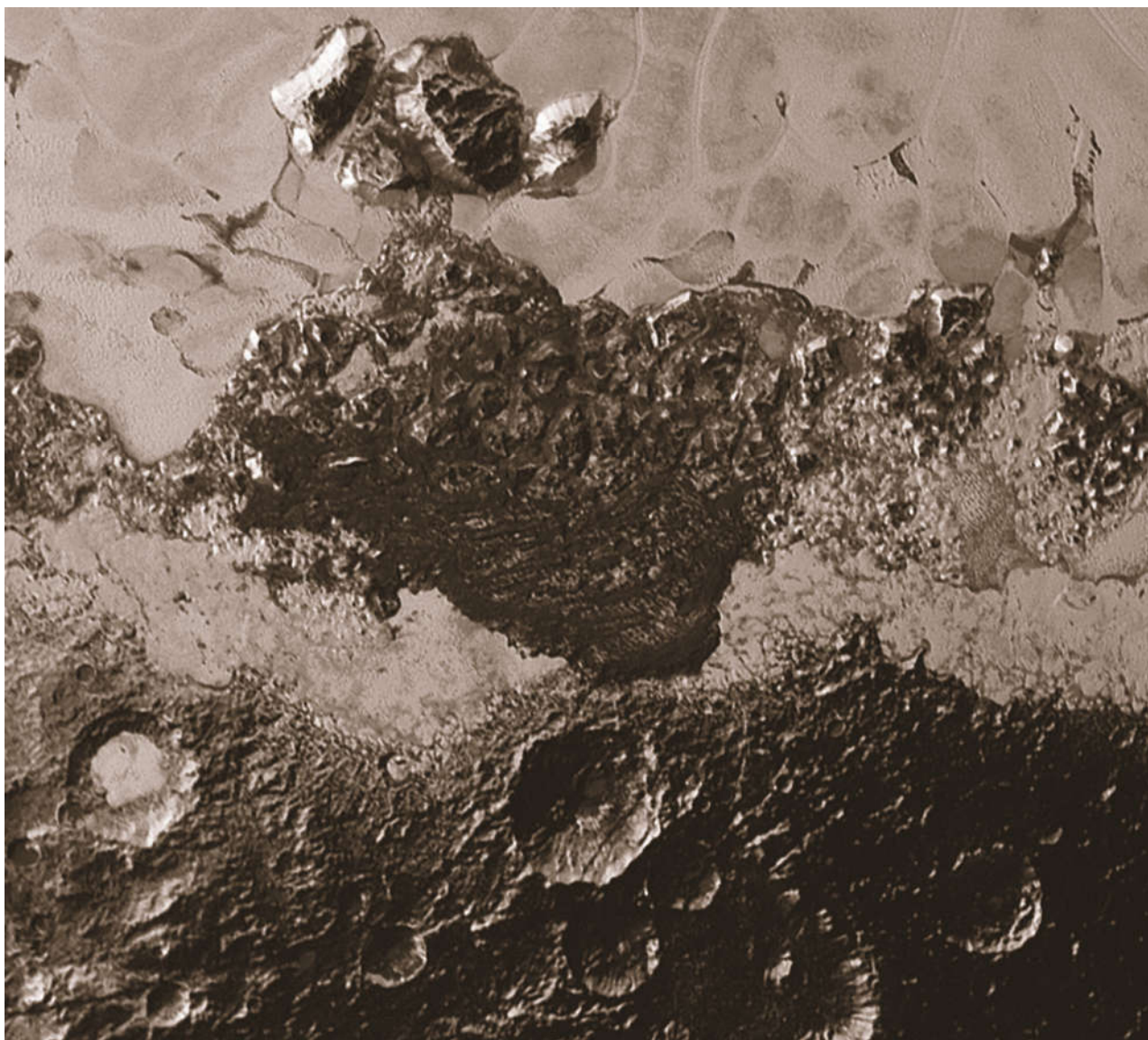
На Плуtone замечены движущиеся ледники, которые не могут быть водяным льдом. При температуре 37 К (–236 °С) лед становится твердым, как горная порода. Однако азотный лед становится пластичным под



Плутон. Снимок передан 9–11 сентября 2015 г. АМС “Новые горизонты”. Фото NASA/JPL.



Туман над Плутоном. Два слоя дымки обнаружены на высотах, где ее быть не должно. Снимок передан 21 сентября 2015 г. АМС “Новые горизонты” (расстояние до Плутона – 360 тыс. км). Фото NASA/JPL.

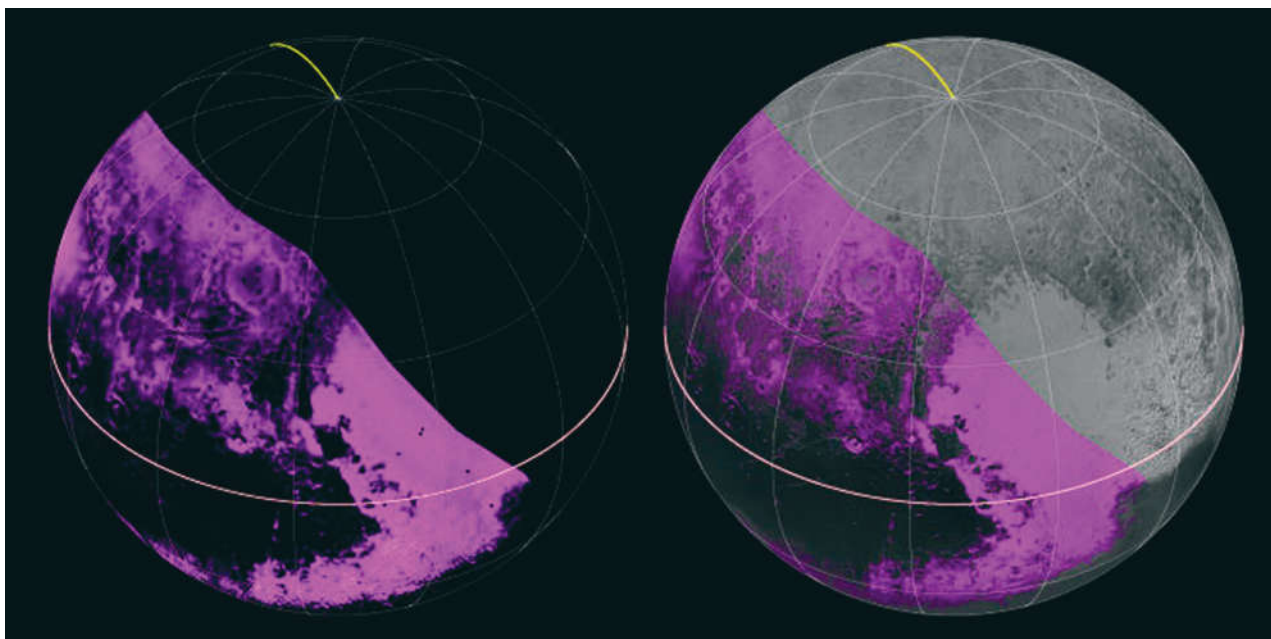


Область Плутона размером 350 км с разнообразным рельефом поверхности. Снимок передан 9–11 сентября 2015 г. АМС «Новые горизонты». Фото NASA/JPL.

давлением, поэтому он движется как земные ледники. Источником азота могут быть кометы: их ядра могут содержать этот газ и высвобождать его во время столкновения с Плутоном, или же при ударе извлекается азот из его глубины. Скорее всего, азот поступает в атмосферу в результате геологической активности самого Плутона. Действительно, значительная доля поверхности карликовой планеты

весьма молода и демонстрирует явные следы различных тектонических процессов. Сравнительно высокая температура (около 0 °С) в недрах Плутона способствует образованию молекулярного азота и его просачиванию на поверхность, где он пополняет собой атмосферу и формирует ледники. Крайны равнины Спутника изобилуют удивительными и разнообразными формами рельефа, среди которых –

разветвляющиеся борозды, напоминающие реки Титана и высохшие русла Марса, а также области хаотического рельефа. На границе между светлой молодой поверхностью равнины Спутника находятся темные кратерированные области. Светлые районы имеют шероховатую линейную текстуру, напоминающую дюны. Стенки кратеров темной области покрыты вертикальными бороздами.



Карта распределения метанового льда по поверхности Плутона. На равнине Спутника находится много метана (фиолетовый цвет, черный – его отсутствие), в то время как в области Ктулху его практически нет. По данным АМС “Новые горизонты”. Фото NASA/JPL.

Удивительный динамичный мир Плутона отличается разнообразием геологических структур и особенностей: древние и молодые участки поверхности соседствуют с горными цепями, растрескавшиеся ледяные равнины с медленно текущими ледниками. Недра, возможно, скрывают жидкий океан. Ученые пришли к выводу, что кора Плутона сложена водяным льдом, а не толстым слоем азотного снега – иначе высокие горы не смогли бы существовать в течение долгого времени. Диаметр Плутона (2374 км) оказался больше, чем считалось ранее, это означает, что его средняя плотность ниже. Скорее всего, доля льда в составе карликовой планеты составляет 35–40%, каменных пород – 60–65%.

Сейчас группа ученых программы “Новые горизонты” занята составлением карты поверхности Плутона и Харона. Названия для отдельных деталей рельефа берутся из банка имен “OurPluto”, созданного с помощью общественности. Пока все названия неофициальные и предварительные, их еще должен утвердить Международный астрономический союз.

Помимо захватывающих снимков Плутона, АМС “Новые горизонты” передала на Землю спектральные данные, позволившие построить карту содержания замороженного метана на поверхности карликовой планеты. Распределение метанового льда на Плуtone оказалось неравномерным. Так, равнина Спутни-

ка очень богата метаном, тогда как в области Ктулху его почти нет. Также очень мало метана в горах, окаймляющих равнину Спутника с запада. В целом метана больше в ярких областях и на краях кратеров, мало или совсем нет – в темных областях и на дне кратеров. Чем вызвана такая неравномерность, пока неясно.

АМС “Новые горизонты” успешно продолжает полет в поясе Койпера. В течение 2016 г. станция продолжит передавать записанные данные. В октябре 2015 г. она удалилась от Земли на 33,67 а.е. и от Плутона – на 0,69 а.е., ее скорость относительно Солнца – 14,48 км/с.

*Пресс-релизы JPL/NASA,
21 и 29 сентября,
2 и 9 октября 2015 г.*

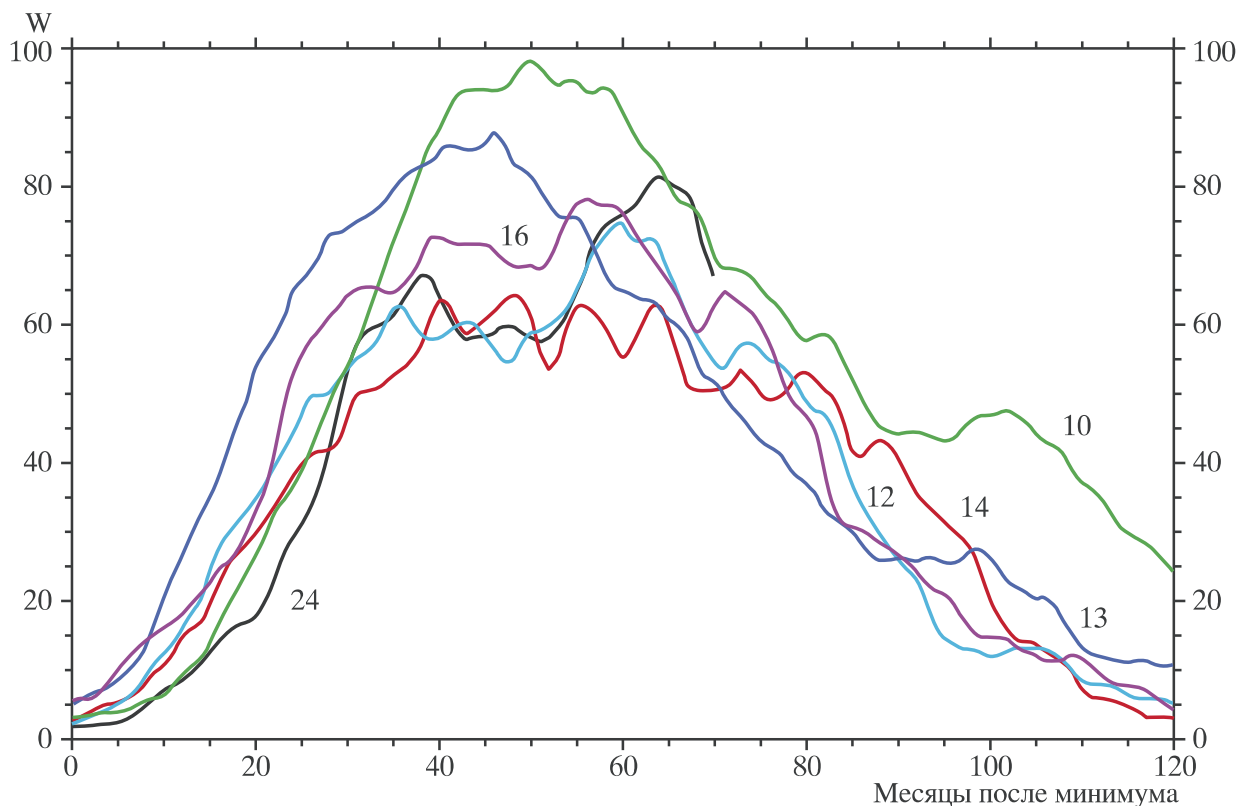
Солнце в августе – сентябре 2015 г.

В данный период пятнообразовательная активность на Солнце оставалась на среднем уровне, иногда опускаясь до низкого (1 сут в августе и 2 сут в сентябре), увеличиваясь до высокого (4 сут в последней декаде сентября). Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 1 до 8.

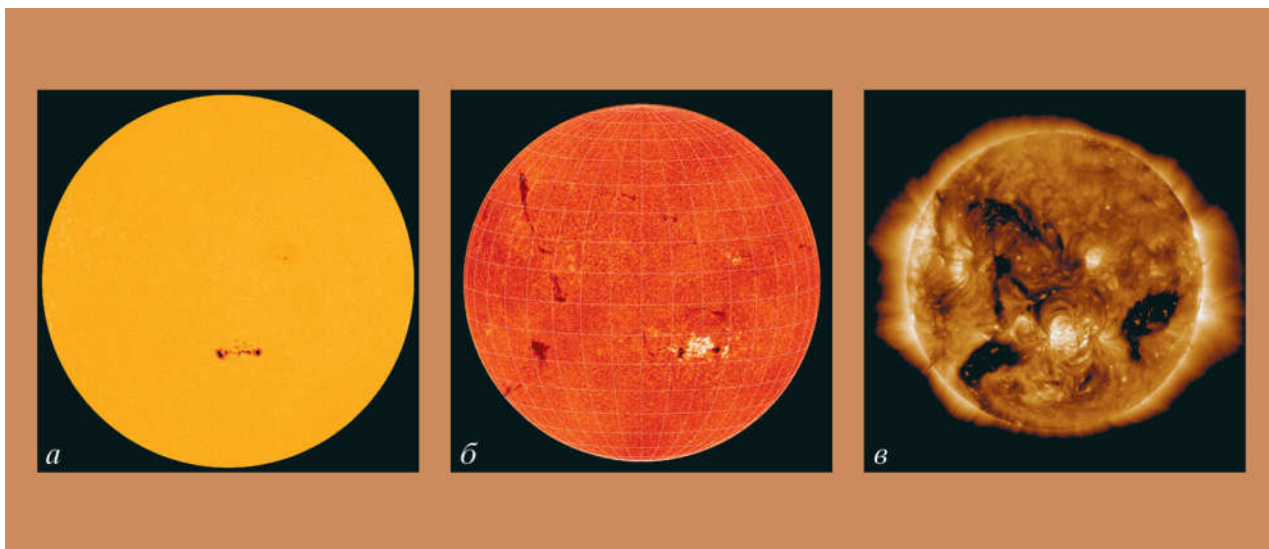
В основном группы пятен были небольшими и спокойными, однако в Южном полушарии образовались 3 крупные по площади. Из 32 групп солнечных пятен 16 появилось в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен уверенно идет на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы будем придерживаться старой, классической системы) $W_{авг.} = 38,8$ и $W_{сен.} = 46,9$. Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в феврале и марте 2015 г. составило $W^* = 52,0$ и $49,3$ соответственно.

С июля 2015 г. Мировой центр по солнечным индексам в Брюсселе закрыл ста-

рую классическую систему подсчета чисел Вольфа, и теперь он производится по новой (<http://www.sidc.be/silso/newdataset>; Земля и Вселенная, 2015, № 6). Это создало большие неудобства с использованием всей предыдущей литературы. По мнению разработчиков, перевод чисел Вольфа стал более гладким и однородным, появилась возможность не обращать внимания на различные исторические способы подсчета этого параметра. Значения чисел Вольфа в новой системе приблизилось к американской системе (разница 2–3 единицы). В новой системе текущий 24-й цикл начался с декабря 2008 г. Низкими циклами солнечной активности теперь



Ход развития (74 месяца) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.). W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой, классической системе.



Солнце 24–25 августа 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория “SDO” (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

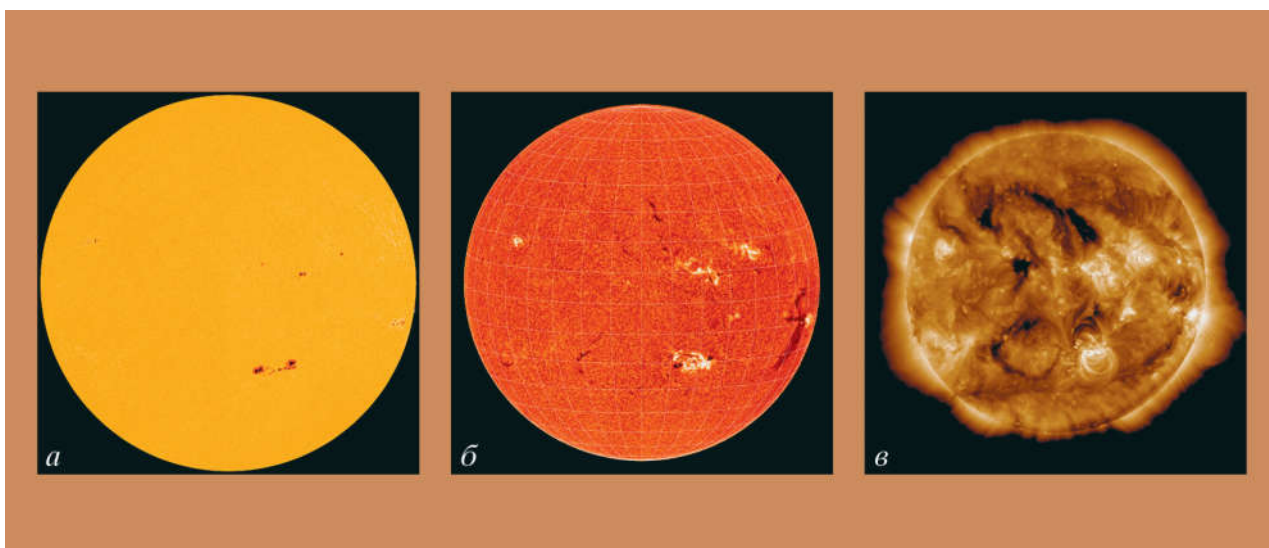
стали циклы со значением $W_{\text{макс}}^* \leq 130$, высокими – $W_{\text{макс}}^* \geq 200$, остальные будут относиться к циклам средней величины. Табли-

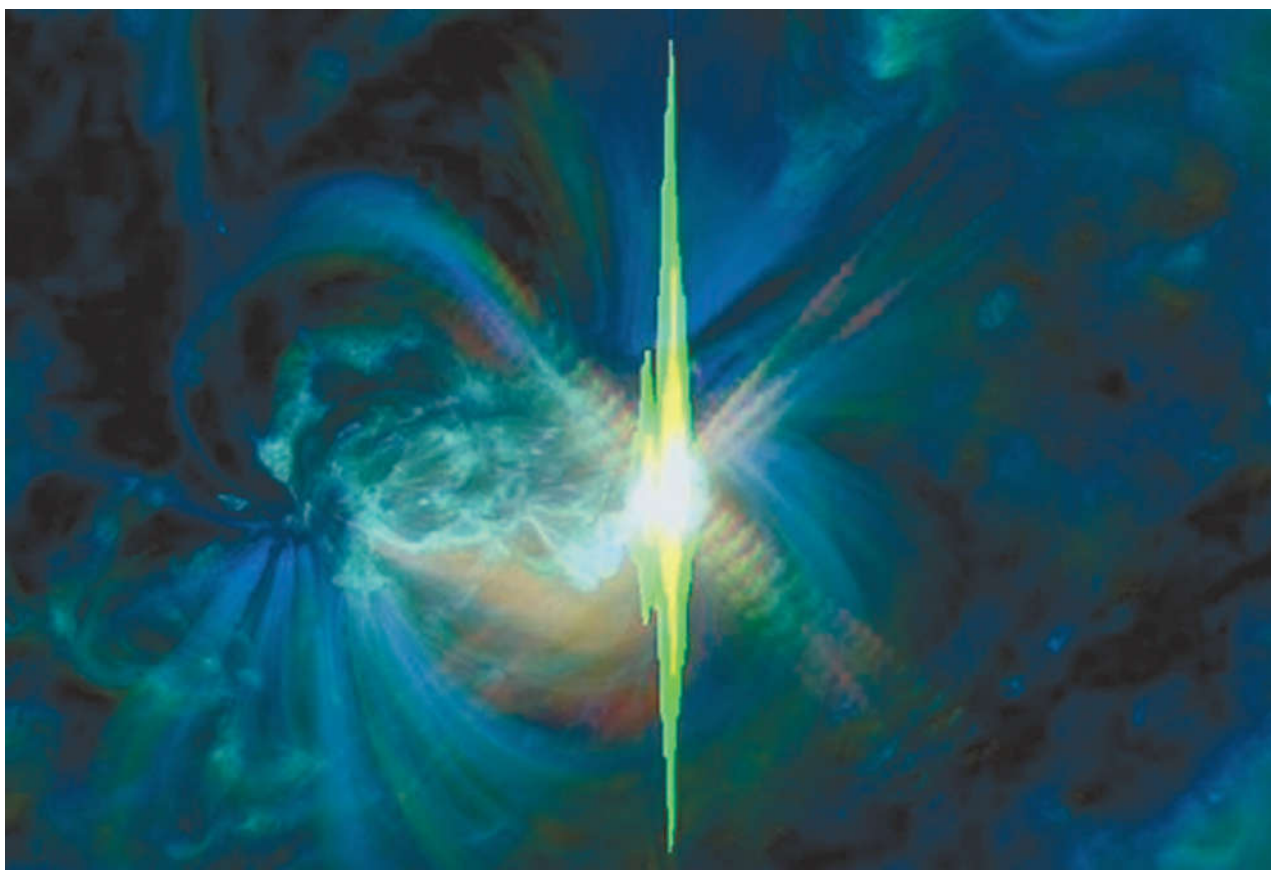
цу характеристик солнечных циклов в новой системе планируется опубликовать в ближайшем номере.

Первая и вторая декады **августа** характеризовались

значительными колебаниями пятнообразовательной активности в пределах значений среднего уровня. 3 августа в Южном полушарии вблизи восточного лимба сформировалась группа пятен, 6 августа она увеличилась по площади и 9 августа достигла своего пика – 840 мдп (миллионных долей полусферы). Магнитная конфигурация этой активной области нормализовалась, поэтому в ней произошли только небольшие солнечные вспышки. 14 августа группа пятен ушла за западный лимб. 16 августа

Солнце 28 сентября 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория “SDO” (<http://spaceweather.com>).





Большая солнечная вспышка 28 сентября 2015 г. балла M7,6 в линиях высокоионизованного железа в диапазоне крайнего ультрафиолета: $\lambda = 131 \text{ \AA}$ (Fe VIII), $\lambda = 193 \text{ \AA}$ (Fe XII), $\lambda = 171 \text{ \AA}$ (Fe IX). Комбинированное изображение получено с помощью прибора Atmospheric Imaging Assembly космической солнечной обсерватории "SDO".

из-за восточного лимба появилась другая группа пятен, в которой 22 августа всплыл новый магнитный поток, что привело 24 августа к большой вспышке балла M5,6/1B. Она сопровождалась геоэффективным корональным выбросом вещества. Следствием этих событий стала умеренная магнитная буря 26–27 августа. После 25 августа пятнообразовательная активность держалась вблизи минимального среднего уровня. Максимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено **7 августа (W = 112)**, минимальное –

17 августа (W = 20). Вспышечная активность держалась на высоком уровне 24 августа, среднем – 21, 22, 27, 28 и 30 августа. В остальные дни вспышечная активность оставалась на низком и очень низком уровне. Выбросы солнечных волокон (26 событий) наблюдались 4, 5, 6 (2), 9, 11, 12 (3), 13 (2), 14 (2), 15 (3), 19, 22, 25, 26 (3), 28 и 29 (3) августа. Коронोगрафы космической обсерватории "SOHO" зарегистрировали 110 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых пять были типа "частичное гало II" (угол раствора 90° – 180°).

6 рекуррентных и 2 вновь образовавшиеся корональные дыры проходили по видимому диску Солнца, 4 из них вызвали магнитные бури. На средних широтах Земли отмечены одна умеренная (15–16 августа) и 5 малых магнитных бурь: 7, 16–17, 19, 23 и 26–29 августа. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 10 возмущенных дней. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ зафиксирован 11–12 августа.

В первую декаду **сентября** уровень пятнообразовательной активности Солнца

менялся от низких значений среднего к низкому и снова к среднему уровню. До 20 сентября сохранялись умеренные значения среднего уровня, затем постепенный рост до высокого (25–28 сентября) и последние дни месяца снова средний уровень. На видимом диске Солнца появилось от 2 до 8 групп солнечных пятен, одна из них выросла до большого размера. Минимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено 5 сентября ($W = 26$), максимальное – **26 сентября ($W = 169$)**. Высокий уровень вспышечной активности наблюдался 28 сентября и связан со вспышечной активностью большой группы пятен Южного полушария. В этой активной области возникла большая солнеч-

ная вспышка балла M7,6, однако никакого заметного влияния на околоземное космическое пространство она не произвела. Средний уровень вспышечной активности отмечен 20, 27, 29 и 30 сентября. Выбросы солнечных волокон (21 событие) наблюдались 1 (2), 2, 4 (2), 5 (2), 8–11, 13 (2), 15, 17, 19, 23, 27 (2) и 28 (2) сентября. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 109 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди них одно было “частичное гало III” (угол раствора 180° – 270°) и 4 – типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). В сентябре произошли 5 рекуррентных и две вновь образовавшиеся корональные дыры, 4 из которых внесли значимый

вклад в геомагнитную возмущенность околоземного космического пространства, зарегистрированы две большие (8–9 и 20 сентября), одна умеренная – 7 сентября и две малые (4 и 14–15 сентября) магнитные бури. Всего за месяц было отмечено 11 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах 6–7, 9–18 сентября образовался очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ.

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

Ураган Хоакин

1 октября 2015 г. урагану Хоакин, бушевавшему над Атлантикой, присвоили четвертую категорию опасности по шкале Саффира – Симпсона. Максимальная скорость ветра достигала 210 км/ч. Напомним, что шкала Саффира – Симпсона, по которой рассчитывается потенциальный ущерб от ураганов и их степень опасности, имеет пять уровней. Шторм становится ураганом первой категории, когда скорость ветра превышает 119 км/ч, при урагане пятой категории – более 250 км/ч и приводит к катастрофическим послед-

ствиям. Сбором информации занимался Национальный центр США по слежению за ураганами метеорологической службы.

Хоакин сформировался в Карибском бассейне 29 сентября, в течение нескольких дней нанес большой ущерб Багамским островам и восточным областям США (см. стр. 2 обложки, вверху). В Мэриленде, Вирджинии, Нью-Джерси и Северной Каролине (США) было объявлено чрезвычайное положение. В г. Колумбия выпало 143 мм осадков, в Северной Каролине больше всего осадков досталось городу Вилмингтон (132 мм). Таких дождей в этом регионе не было с 1936 г. Реки вышли из берегов, полностью ушел под воду при-

брежный г. Джорджтаун, где проживает более 9 тыс. человек. Дороги затопило, на нескольких направлениях не ходили поезда, электричество отключено. Полиция зафиксировала свыше 300 ДТП, в том числе серьезных. Экстренные службы получили сотни звонков с просьбами о помощи. Власти Южной Каролины назвали последствия урагана “потопом тысячелетия”. 4 октября скорость ветра упала до 165 км/ч, но сохранилась вероятность возникновения опасных штормов. Хоакин стал уходить на северо-восток, в сторону Британских островов, куда он пришел 10 октября.

Пресс-релиз НИЦ
“Планета”,
10 октября 2015 г.