



УДК 523.682.4

Следы на небе: классификация и результаты регулярных наблюдений сумеречных болидов

К.И. Чурюмов¹, А.Ф. Стеклов², А.П. Видьмаченко³, Е.А. Стеклов¹Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко²Межрегиональная Академия управления персоналом³Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

Мы предлагаем организовать малые базовые обсерватории аэрокосмического мониторинга опасных болидных событий для детального исследования взаимодействия нашей планеты с космическим окружением. За период наблюдений с марта 2013 по июль 2014 г. нами зафиксировано падение не менее десятка фрагментов ядер комет, не менее пяти достаточно крупных и десятки меньших фрагментов метеороидов. Поэтому по примеру большинства стран Европы и Америки в Украине необходимо создать сеть малых базовых обсерваторий аэрокосмического мониторинга, оснащенных простой широкоугольной оптикой с малогабаритной камерой для регистрации этих явлений на персональный компьютер. Такими простыми дешевыми аппаратными комплексами следует оснастить как профессиональные обсерватории, так и базовые университетские, школьные и любительские наблюдательные пункты.

СЛІДИ НА НЕБІ: КЛАСИФІКАЦІЯ І РЕЗУЛЬТАТИ РЕГУЛЯРНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ СУТІНКОВИХ БОЛІДІВ, Чурюмов К.І., Стеклов А.Ф., Видьмаченко А.П., Стеклов Е.А. — Ми пропонуємо організувати малі базові обсерваторії аерокосмічного моніторингу небезпечних болидних подій для детального дослідження взаємодії нашої планети з космічним оточенням. За період спостережень з березня 2013 по липень 2014 нами зафіксовано падіння не менше десятка фрагментів ядер комет, не менше п'яти досить великих і десятки менших фрагментів метеороїдів. Тому за прикладом більшості країн Європи та Америки в Україні необхідно створити мережу малих базових обсерваторій аерокосмічного моніторингу, оснащених простою ширококутною оптикою з малогабаритною камерою для реєстрації цих явищ на персональний комп'ютер. Такими простими дешевими апаратними комплексами слід оснастити як професійні обсерваторії, так і базові університетські, шкільні та аматорські спостережні пункти.

TRACES ON THE SKY: CLASSIFICATION AND RESULTS OF REGULAR OBSERVATIONS OF THE TWILIGHT BOLIDES, Churyumov K.I., Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Steklov E.A. — We propose to organize a small basic Observatory aerospace monitoring of dangerous fireballs for a detailed study of the Earth interaction with space environment. During the observation from March 2013 to July 2014 we recorded fall at least a dozen of comet nuclei fragments, at least five large and dozens of smaller fragments of meteoroids. So, like most countries in Europe and America, Ukraine needs to create a network of small basic aerospace monitoring observatories equipped with wide-angle lenses with a simple compact camera to measure these phenomena on a personal computer. These simple inexpensive hardware complexes should be equipped a professional observatory and university, school and amateur observation points.

Ключевые слова: сумеречные болиды; наблюдения.

Key words: twilight bolides; observations.

1. ВВЕДЕНИЕ

Поток метеоров наблюдается ежегодно около даты, когда Земля проходит точку пересечения орбит метеороидов, пересекающих земную орбиту [2]. В зависимости от сечения метеороидных орбит наблюдения метеорного потока длится от нескольких часов до нескольких недель. Подсчитано, что в результате этого за сутки на Землю выпадает от 100 до 1000 т метеорного вещества. Падение крупных метеороидов обычно сопровождается сильными световыми и звуковыми (так называемый электрофонный болид) явлениями и даже нарушением радиосвязи. Болид (в переводе с греческого — “метательное копьё”) — это метеорное явление яркостью не менее -4^m (ярче планеты Венера), которое имеет заметные угловые размеры. Особенно яркие болиды иногда называют суперболидами. Для сравнения: блеск Луны составляет примерно -13^m , Солнца -26^m .

2. МЕТЕОРНОЕ ЯВЛЕНИЕ

Метеорное явление вызывается вторжением в плотные слои атмосферы твердых частиц, названных метеорными или метеороидными телами. Влетев в земную атмосферу, метеорное тело уже на высоте 100–130 км над Землей встречает сильное сопротивление воздуха. Поэтому воздух перед метеорным телом мгновенно сжимается и вследствие этого разогревается, образуя так называемую «воздушную подушку». Двигаясь в атмосфере, частица из-за торможения нагревается с поверхности до температуры

в несколько тысяч градусов, а вокруг нее образуется обширная светящаяся оболочка из горячих газов; именно в этот момент она и становится заметной. Метеорные тела небольшого размера полностью испаряются в атмосфере Земли. А крупное метеорное тело от сильного сопротивления воздуха нередко раскалывается и выпадает на Землю в виде осколков. Иногда выпадает целый метеоритный дождь. Обычно скорость и масса, необходимые для образования болида, имеют следующие значения: около 100 г при скорости 20 км/с, или 1 г при скорости около 60 км/с. Тогда вещество метеорного тела после закипания испаряется и частично разбрызгивается на мельчайшие капельки. При внимательном изучении так называемого Пикскильского (Peekskill) болида (рис. 1) одновременно наблюдалось до 70 отдельных фрагментов.

Не менее грандиозным считается и болид над Гронингеном (рис. 2), яркость которого была сравнима с яркостью Луны при пролете над территорией Нидерландов и Германии. Наблюдатели отмечали, как метеорное тело распалось на яркие куски, оставив за собой дымный след, который долго еще висел в небе.

И хотя такие яркие болиды высвечиваются в атмосфере Земли каждый день, но их наблюдения происходят гораздо реже, потому что в большей части они падают в океаны и на необитаемые территории.

За время полета их масса сильно уменьшается и к Земле долетают лишь остатки, которые обычно успевают остыть, когда космическая скорость погашена сопротивлением воздуха. Они бывают покрыты затвердевшей оплавленной коркой. Но метеориты больших размеров, весом в сотни и тысячи тонн, не смогут затормозиться в воздухе и со скоростью свыше 4–5 км/с ударятся о Землю. При таком ударе метеорит мгновенно нагреется до высокой температуры, иногда может полностью превратиться в газ со взрывом с образованием кратера. Самый крупный метеорит (около 60 т) был найден в Юго-Западной Африке в 1920 г. и назван Гоба (названия дают по ближайшему к месту падения населенному пункту).

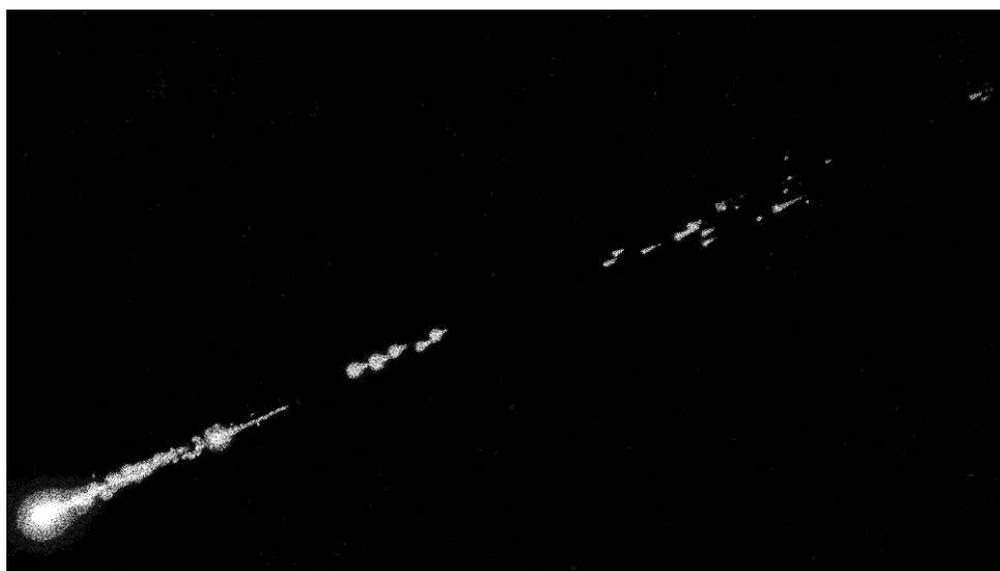


Рис. 1. Пикскильский болид 09.10.1992 [5]

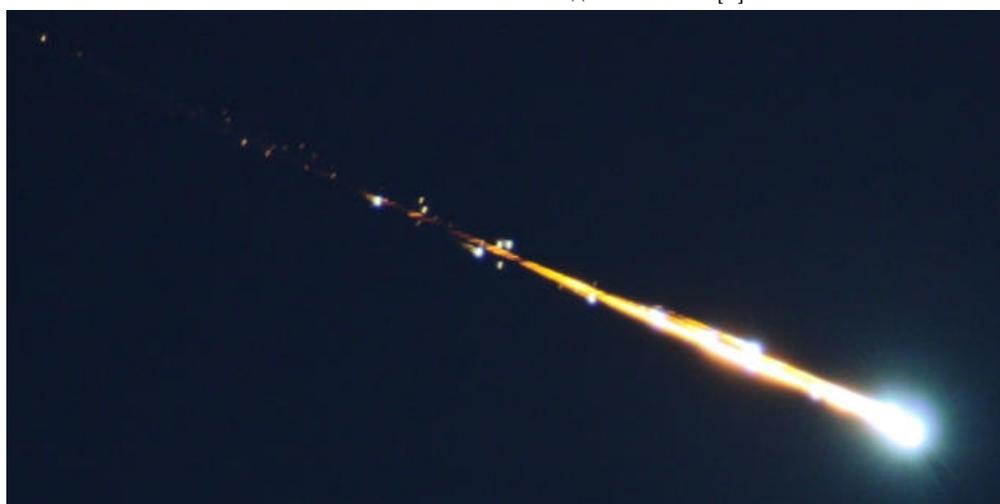


Рис. 2. Болид над Гронингеном 15.10.2009 [8]

К крупнейшим метеоритам относится и железный Сихотэ-Алинский, упавший утром 12 февраля 1947 г. Он образовал ослепительно яркий болид, который по свидетельствам очевидцев был ярче Солнца и днем отбрасывал тени. После него появился похожий на дым след в виде широкой полосы, которая вскоре стала загибаться, постепенно ослабевать и разрываться на отдельные куски; исчез след только к вечеру. Еще в атмосфере метеорное тело раскололось на тысячи частей и выпало на Землю «железным дождем». При ударе о грунт его части измельчили скальные породы, образовав в них кратер; было обнаружено 200 кратеров диаметром от 20 см до 26 м. Масса упавшего Сихотэ-Алинского метеорита оценивается в 70 т, собрано более 23 т.

Однако такие большие метеориты падают редко; как правило, массы метеоритов составляют сотни граммов, или несколько килограммов. И все-таки ежедневно в атмосфере Земли вспыхивают яркие болиды.

3. ГОДОВЫЕ И СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ БОЛИДОВ

Преобразование энергии, которое происходит во время полета метеороида в атмосфере, сильно зависит от его геоцентрической скорости. Также следует учитывать тот факт, что чем меньше скорость, тем глубже метеороид сможет проникать в атмосферу, прежде чем завершится абляция [1, 3]. Это делает преобразование энергии очень эффективным в плотных слоях атмосферы и, следовательно, приводит к более яркому метеорному явлению. Метеороид того же размера, но с большей скоростью входа в атмосферу вызывает такое же преобразование энергии на несколько большей высоте.

Очевидно, что скорость при входе в атмосферу Земли является самой низкой в момент, когда метеорное тело входит со стороны антиапекса. В этом случае его относительная скорость равна разности скоростей между метеороидом и Землей. Возле момента весеннего равноденствия антиапекс находится ближе к зениту в вечернем небе, и такое высокое расположение радианта на «местном» небе приводит к существенному увеличению количества видимых метеорных явлений [1, 4]. Именно поэтому следует ожидать и большего количества болидов весной, чем осенью для мест к северу от экватора. По этой же причине яркие болиды должны быть частыми и весной в южном полушарии, когда антиапекс будет в зените уже в южных широтах Земли. Реальная картина может отличаться из-за того, что распределение метеорных частиц не изотропно вдоль орбиты Земли. Суточный ход появления болидов также зависит от той же ситуации. В 18 часов по местному времени антиапекс достигает своей максимальной высоты, а около 6 часов утра имеет место противоположная картина. По многочисленным исследованиям такое соотношение может быть от 2:1 [7] до 4:1.

4. СЛЕДЫ НА НЕБЕ ОТ БОЛИДОВ

Болиды часто оставляют яркий долгосуществующий след (хвост) из пыли и ионизированных газов. Если метеорит падает днем при безоблачном небе и ярком солнечном освещении, то болидное явление не всегда бывает видно. Но если болиды имеют заметный угловой размер, то они становятся видны даже днем. После его полета на небе остается заметный след, а на месте исчезновения болида появляется темное на фоне яркого неба облачко. Конечно, особенно хорошо видно ионизационные следы метеоров и болидов. Но следы проникающих в глубокие и плотные слои атмосферы болидов в основном состоят из пылевых частиц и именно поэтому они видны как темные дымные облачка. Если же такой пылевой след освещается лучами только что зашедшего Солнца или даже в лунном свете, то он бывает виден как серебристые, часто достаточно яркие полосы на фоне ночного или сумеречного неба (рис. 3). Поэтому мы назвали их «сумеречные болиды». И такие следы могут наблюдаться часами, пока не будут уничтожены атмосферными течениями.

Следы же менее ярких метеоров, которые образуются на высотах более 75 км, содержат лишь очень малую долю пылевых частиц, и их видно только в результате самосвечения атомов ионизированного газа. Так, продолжительность видимости ионизационного следа невооруженным глазом для болидов -6^m составляет в среднем около 2 минут, а для метеора 2^m — всего 0,1 секунды. Ионизационные и пылевые следы испытывают влияние высотных ветров, которые разрушают и рассеивают их остатки,



Рис. 3. Редкое явление сразу трех болидных следов в сумеречном небе над Киевом (фото Стеклова Е.А., 29.03.2013), образованных в течение 12 секунд в результате падения довольно крупных метеорных тел [6].

вплоть до полного их исчезновения. На левой части рис. 4 видно подсвеченный недавно скрывшимся за горизонт Солнцем пылевой след; в правой части того же рисунка виден уже темный не подсвеченный пылевой след, который существенно рассеян мощными ветровыми потоками в стратосфере Земли. След был виден на протяжении около 50 минут.

О том, что такие крупные болидные следы не такое уж редкое явление, говорит и рис. 5, на котором представлено практически австралийскую копию того, что нам удалось наблюдать на сумеречном небе над Киевом.

5. СЕТЬ НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРОВ

В 90-е годы XX века американские военные опубликовали данные, собранные за два десятка лет, начиная с 1975 г., достаточно разреженной сетью различных детекторов, расположенных на Земле и в космосе. Но и они смогли зарегистрировать около 200 довольно больших болидов, выпавших в виде метеоритов на Землю. После этого для наблюдения за болидами начали создаваться и/или восстанавливаться болидные сети в США, Канаде, во многих странах Европы.

Так, Испанская метеорная сеть (SPMN) начала действовать в 1997 г. с целью изучения межпланетного вещества и для лабораторного изучения «свежих» метеоритов. Этот проект основан исследователями нескольких университетов и научных центров по всей стране. Поэтому сеть растет с хорошей скоростью и имеет хорошее финансирование, получаемое как от различных исследовательских проектов, так и за счет государственных средств. С 1999 г. деятельность SPMN расширилась с целью в краткосроч-

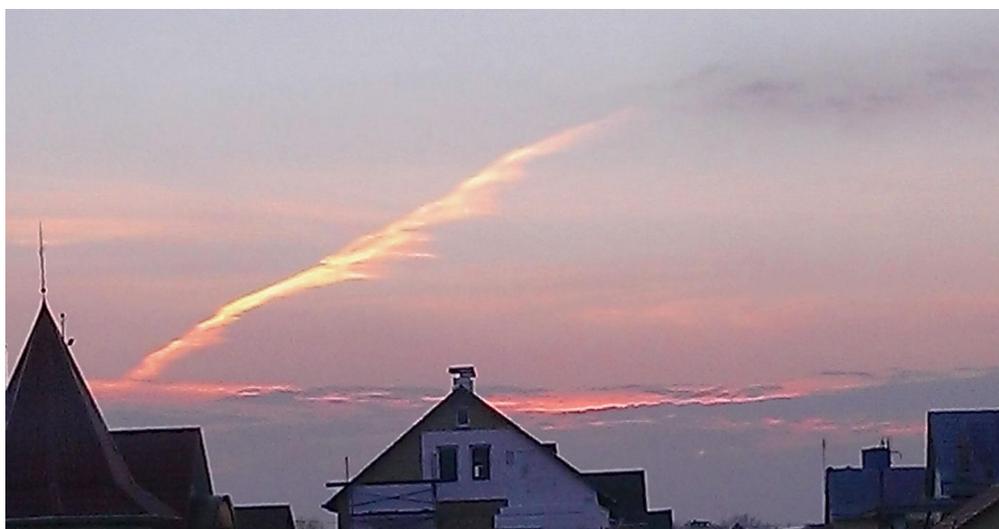


Рис. 4. След от падения сумеречного болида над Киевом (фото А.Ф. Стеклова, 27.10.2013)



Рис. 5. След сумеречного болида в Австралийском небе был виден более 20 минут (фото Гэвина Траута, 30.06.2012)

ной перспективе внедрить в Испании автоматизированную сеть по наблюдениям ярких болидов (Fireball Network). Для этого была разработана ПЗС камера с высоким пространственным разрешением для обзора всего неба с целью мониторинга болидов. На 2010 г. сеть имела уже 25 видео- и ПЗС-станций мониторинга ярких болидов в атмосфере над территориями Португалии, Испании, северного Марокко и юга Франции. По наблюдениям из нескольких станций в настоящее время они получают подробную информацию о метеорных потоках и болидных событиях над Испанией и соседними странами. Астрономы-любители также участвуют в деятельности SPMN с конкретными программами наблюдений. Главная цель таких исследований заключается в повышении знаний о взаимодействии метеороидов с атмосферой, узнать больше о динамических механизмах доставки метеорного вещества на Землю и о той роли, которую эти первичные тела сыграли в зарождении и происхождении жизни на Земле. Специализированная междисциплинарная группа в Испании изучает эти проблемы со всех возможных подходов.

В последние годы американские геостационарные спутники, оснащенные инфракрасными и оптическими датчиками, неоднократно регистрировали яркие вспышки в атмосфере Земли. Их светимость обычно превышает -17^m , поэтому их можно назвать суперболидами. Относительно небольшое число высокоорбитальных специализированных спутников позволяет контролировать большую часть земной поверхности и вести непрерывное, независимое от погодных условий наблюдение за Землей. Для сравнения следует отметить, что Европейская болидная сеть охватывает только 0,3% земной поверхности. Однако, например, довольно редкие спутниковые наблюдения с помощью инфракрасных датчиков регистрируют всего лишь около 30 ярких вспышек в год. Наблюдения со спутников в видимом диапазоне велись в течение еще меньшего времени. Первоначально спутниковая система наблюдений должна была контролировать выполнение договора о запрещении ядерных испытаний и запуски ракет. Но вскоре оказалось, что яркие световые вспышки в атмосфере, энергия которых была сравнима с энергией наземных ядерных взрывов, были вызваны внедрением в атмосферу и взрывным разрушением в ней крупных метеороидов. По оценкам, характерный начальный размер таких каменных тел составляет 1–3 м. А при условии, что эти метеороиды состоят из снега и льда, то их размер увеличивается до десятков метров.

Ранее в астрономии СССР также значительное внимание уделяли службе болидов и проблеме болидной опасности. Так, Владимир Платонович Цесевич был одним из организаторов Всесоюзной службы болидов. Всеволод Владимирович Фединский в 1973 г. возглавил работы по созданию станций службы болидов СССР. По его инициативе подобные наблюдения велись и в Сомали, Эфиопии, в странах Латинской Америки и т.д. Игорь Станиславович Астапович и его последователи активно проводили визуальные и фотографические наблюдения болидов и метеоров. Ими были составлены каталоги радиантов метеорных потоков, а дрейфа метеорных следов использовался при исследованиях циркуляция верхней атмосферы Земли.

6. КЛАССИФИКАЦИЯ СЛЕДОВ

После драматического явления Челябинского болида многие исследователи начали делать выводы о том, что такое грандиозное зрелище следует ожидать не ранее, чем через 100–150 лет. Но уже 20 марта 2013 г. одному из авторов удалось получить четыре снимка трех фрагментов (рис. 3), возможно, кометного ядра, которые почти одновременно «упали» возле Киева. После этого наш авторский коллектив получил несколько тысяч различных «следов на небе», которые мы предлагаем классифицировать предварительно на следующие четыре типа: АМ — аэрометеорологические, АО — аэротехнические, АК — аэрокосмические, ДРУГИЕ — пока не классифицированные. Детальное изучение нашей фототеки позволяет сделать следующие заключения.

1. Нами открыт новый класс астрономических объектов — *эрдгрейзеры*, то есть кометы, «царапающие» Землю. Именно поэтому они являются самыми опасными для всего человечества и для биосферы планеты Земля.

2. Открыт новый эффективный класс наблюдений — *сумеречные* (вечерние и утренние) визуальные, фотографические и видеонаблюдения болидов и ярких метеоров с целью изучения динамики их следов. Это открывает перспективную возможность создания, по примеру многих стран Америки и Европы, малых базовых обсерваторий аэрокосмического мониторинга (МБО АКМ) при университетах, педагогических институтах, астрономических обсерваториях, школах и т.д. для обеспечения постоянных автоматических (или на первых порах полуавтоматических) наблюдений в рамках очень важной Государственной «Службы опасных болидов». Это необходимо как для развития междисциплинарной науки, так и для разнообразных служб Министерства Чрезвычайных Ситуаций (МЧС) Украины.

Особенно актуальным это является после печальных последствий падения 15.02.2013 Челябинского болида, когда было повреждено более 1000 домов и более 450 человек попали в больницы с травмами. Поэтому в каждом крупном городе можно (и нужно) создать серию таких малых базовых обсерваторий аэрокосмического мониторинга, если этот город интересуется контролем за своим аэрокосмическим окружением из соображений безопасности для своих жителей и для защиты своих зданий, сооружений

и структур от космических разрушений. Стоимость простого набора необходимой для таких МБО АКМ аппаратуры составляет до 10 тыс. грн.

Особенно важно отметить, что обсерватории типа «МБО АКМ» вполне могут создавать даже любители астрономии. Это важно и перспективно также для детских, ученических научных организаций, например, для Малой Академии Наук Украины, для Украинского молодежного аэрокосмического объединения (УМАКО) «Созвездие», ассоциации планетариев Украины, а также для обсерваторий в школах, лицеях, колледжах, в обсерваториях при планетариях, в обществе «Знание» и при дворцах научно-технического творчества детей и юношества.

3. Нами предложен новый метод различения следов космических объектов (метеороидов, астероидов, кометных ядер и т.д.) от метеорологических при наличии низкой облачности с большими разрывами между ними. Поскольку низкие облака (с высотами 1–5 км) в сумерках будут уже достаточно темными, то высокие аэрокосмические следы болидов и метеоров отмеченного выше типа АК (с высотами 20–50 км) в течение 1–2 часов будут все еще светлыми (оранжевыми, желтыми, красными и т.д.) из-за подсветки Солнцем из-под горизонта. Поэтому в сумеречных условиях подсветки космические следы болидов и метеоров очень хорошо видны.

4. Результаты наших наблюдений также показали, что утром и вечером, а также в утренние и вечерние сумерки над Киевом очень хорошо видны шлейфы выбросов аэрозоля технической природы от заводов, фабрик и других производств. Таким образом, аэрокосмический мониторинг в период сумерек является важнейшим методом экологического контроля состояния окружающей среды жизнедеятельности человека и жизни биосферы планеты Земля. А при наличии в составе МБО АКМ легкого (даже беспилотного) летательного аппарата быстрого реагирования мы сможем для служб МЧС оперативно и точно определять предприятия, которые загрязняют воздушную среду над городами и другими населенными пунктами. В нашей базе данных уже есть немало снимков выбросов предприятиями Киева. Пока это эпизодические ряды наблюдений, но при финансировании работ от МЧС наши службы МБО АКМ смогут обеспечить постоянный контроль этих проблем.

7. ВЫВОДЫ

Таким образом, мы считаем, что астрономические исследования в каждой малой базовой обсерватории аэрокосмического мониторинга должны опираться на детальные исследования взаимодействия нашей планеты с космическим окружением. А это и есть аэрокосмический мониторинг, особенно для опасных болидных явлений. За достаточно короткий период наших наблюдений (с конца марта 2013 г.) было зафиксировано падение не менее десятка фрагментов ядер комет, не менее пяти достаточно крупных и десятки меньших фрагментов метеороидов. Поэтому становится понятным, что по примеру большинства стран Европы и Америки необходимо продолжить широкую кампанию по созданию в Украине малых базовых обсерваторий аэрокосмического мониторинга, оснащенных простой широкоугольной оптикой с малогабаритной камерой для регистрации этих явлений на персональный компьютер. По предварительным оценкам, стоимость такой аппаратуры будет составлять от 10 000 грн.

Для проведения комплексных наблюдений по патрулированию ярких сумеречных болидов такими простыми аппаратными комплексами могут быть оснащены как профессиональные обсерватории, так и базовые университетские, школьные и любительские наблюдательные пункты.

1. *Бронштэн В.А.* Физика метеорных явлений. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
2. *Видьмаченко А.П., Стеклов А.Ф.* Изучение кометного вещества на земной поверхности // Вісник Астрономічної школи. — 2013. — **9**, №2. — С. 146–148.
3. *Кручиненко В.Г.* Математико-физический анализ метеорного явления. — К.: Наукова думка, 2012. — 294 с.
4. *Федынский В.В.* Метеоры. Популярные лекции по астрономии. Выпуск 4. — М.: Гос. изд-во технико-теорет. лит-ры, 1956. — 109 с.
5. *Beech M., Brown P., Hawkes R.L., Ceprecha Z., Mossman K., Wetherill G.* The fall of the Peekskill meteorite: Video observations, atmospheric path, fragmentation record and orbit // Earth, Moon, and Planets. 1995. — **68**, Issue 1–3. — P. 189–197.
6. *Churjumov K.I., Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Steklov E.A.* Three bright bolides in Kiev sky on 29 March 2013 // Conference «Meteoroids 2013». Program and abstracts. 26–30 Aug. 2013, Poznań, Poland. — P.77.
7. *Halliday I., Griffin A.A.* A study of the relative rates of meteorite falls on the earth's surface // Meteoritics. — 1982. — **17**, Mar. 31. — P.31–46.
8. <http://apod.nasa.gov/apod/ap091015.html>

Поступила в редакцию 24.08.2014