

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

Космические угрозы вблизи Земли и их обнаружение

Научная сессия Отделения физических наук
Российской академии наук, 27 марта 2013 г.

PACS number: 01.10.Fv

DOI: 10.3367/UFNr.0183.201308g.0885

27 марта 2013 г. в конференц-зале Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (РАН) состоялась научная сессия Отделения физических наук РАН "Космические угрозы вблизи Земли и их обнаружение".

Объявленная на web-сайте ОФН РАН www.grad.ac.ru повестка заседания содержала следующие доклады:

1. **Емельяненко В.В., Шустов Б.М.** (Институт астрономии РАН, Москва). *Челябинское событие и астероидно-кометная опасность.*

2. **Чугай Н.Н.** (Институт астрономии РАН, Москва). *Физическая модель Челябинского явления.*

3. **Липунов В.М.** (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва). *Глобальная сеть оптического мониторинга МАСТЕР.*

4. **Бескин Г.М.** (Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Архыз, Карачаево-Черкесская Республика). *Системы широкоугольного оптического мониторинга субсекундного временного разрешения для обнаружения и исследования космических угроз.*

Статьи, написанные на основе докладов 1 и 4, публикуются ниже.

PACS numbers: 89.60.Gg, 96.30.Ys, 96.30.Za
DOI: 10.3367/UFNr.0183.201308h.0885

Челябинское событие и астероидно-кометная опасность

В.В. Емельяненко, Б.М. Шустов

1. Введение

Утром 15 февраля 2013 г. примерно в 9 ч 20 мин по местному времени в районе г. Челябинска (Россия) произошёл взрыв вошедшего в атмосферу крупного метеороида. Космическое тело до входа в атмосферу не было обнаружено ни одним из средств наблюдений за космосом. Оно вошло в атмосферу под углом приблизительно 15 градусов к горизонту. С этого момента дальнейшее прохождение тела в атмосфере сопровождалось явлениями, зарегистрированными различными

средствами наблюдений. Наиболее ярким для многочисленных очевидцев события проявлением взаимодействия тела с атмосферой было сильное свечение (явление, называемое болидом), наблюдавшееся на большой территории. Явление болида регистрировалось видеокameraми в течение довольно длительного времени (до 16 с). Яркость болида быстро нарастала, и в конце его полёта наблюдалась мощная вспышка. По сообщениям очевидцев яркость освещения от вспышки заметно превышала солнечную, ощущался жар. Через несколько минут пришла мощная взрывная (ударная) волна. Из-за ударной волны (главным образом, из-за выбитых волной стёкол) пострадали люди. По данным Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС) за медицинской помощью обратилось 1613 человек. Ударная волна повредила здания (выбитые стекла, сорванные подвесные потолки, выломанные оконные петли и т.д.). Материальный ущерб был предварительно оценён в сумму от 400 млн до 1 млрд рублей.

В данном сообщении даётся краткое описание наблюдательных данных о Челябинском явлении и приводятся первые результаты научного анализа этих данных. Особое внимание уделено определению физических и динамических характеристик небесного тела. Также обсуждается значение Челябинского события для решения проблем астероидно-кометной опасности.

2. Наблюдательные данные о Челябинском явлении

Событие 15.02.2013 (Челябинский болид) выделяется в ряду других входов космических тел в атмосферу большим количеством разнообразных наблюдательных данных. Имеются данные, полученные современными средствами удалённых наблюдений: регистрации излучения спутниковой системой наблюдения, большое число зарегистрированных инфразвуковых и сейсмических сигналов, спутниковые и наземные регистрации пылевого следа в атмосфере. Но, по нашему мнению, наибольшую научную ценность имеют данные наблюдений, полученные в Челябинской области непосредственно в районе места события. Для сбора этих данных Институт астрономии РАН (ИНАСАН) и Институт динамики геосфер РАН (ИДГ РАН) организовали экспедицию в Челябинскую область, проходившую с 9 марта по 26 марта 2013 г. В состав экспедиции входили Е.Е. Бирюков (Южно-Уральский государственный университет), Д.О. Гла-

В.В. Емельяненко, Б.М. Шустов. Институт астрономии РАН, Москва, РФ. E-mail: vvemel@inasan.ru, bshustov@inasan.ru

зачев (ИДГ РАН), П. Дженнискенс (Институт поиска внеземных цивилизаций (SETI), США), В.В. Емельяненко (ИНАСАН), А.П. Карташова (ИНАСАН), О.П. Попова (ИДГ РАН), С.А. Хайбрахманов (Челябинский государственный университет). Основными целями экспедиции были: а) проведение астрономической привязки видеозаписей Челябинского события, полученных в основном автомобильными видеорегистраторами и фотоаппаратами; б) получение данных о Челябинском событии из официальных источников; в) сбор свидетельских показаний в различных населённых пунктах.

Видеозаписи болидного явления использовались прежде всего для определения траектории космического тела в атмосфере (а в дальнейшем для определения его заатмосферной орбиты), а также важных физических деталей полёта метеороида в атмосфере: световой кривой (кривой блеска), характеризующей изменение выделения лучистой энергии со временем, структуры следа, проясняющей детали процесса разрушения тела и т.д. В настоящее время в нашем распоряжении имеется более 150 видеозаписей Челябинского явления, полученных из Интернета и в ответ на прямое обращение к очевидцам представителей Экспертной рабочей группы по космическим угрозам при Совете РАН по космосу, хотя и не все из записей представляют ценность для научного анализа. В ходе экспедиции проводилась ориентированная съёмка звёздного неба с тех же точек, с которых были сделаны снимки метеора. Естественно, что в ограниченные сроки не удалось провести астрономическую привязку всех видеозаписей, представляющих важные для определения орбиты (в том числе, из-за погодных условий). Но и полученный материал является очень ценным, в частности, благодаря тому что астрономическая привязка была проведена для видеоданных, полученных из пунктов, расположенных на большом удалении друг от друга (от Белорецка до Верхней Пышмы).

В ходе экспедиции удалось получить важную информацию от служб правительства Челябинской области, Управления МЧС по Челябинской области и других структур о зоне разрушения, количестве повреждённых окон, числе пострадавших и т.д. Большое научное содержание имеют синхронизированные по времени записи видеокамер наружного наблюдения, расположенных кроме Челябинска в Златоусте, Кургане, Магнитогорске, Миассе, Чебаркуле. Не менее важными являются сведения, предоставленные многочисленными очевидцами событий. Участники экспедиции посетили около 50 населённых пунктов, в которых были собраны сведения о разрушениях, зрительских впечатлениях о болидном явлении и возможном выпадении метеоритного вещества. Наибольшие разрушения зафиксированы в направлении, перпендикулярном траектории движения, что указывает на цилиндрический характер распространения ударной волны.

Экспедиция не преследовала цели сбора метеоритного вещества, выпавшего на земную поверхность. Во-первых, эту задачу выполнили более ранние экспедиции под руководством В.И. Гроховского (Уральский федеральный университет) и Д.Д. Бадюкова (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН)). Во-вторых, к моменту начала нашей экспедиции выпал полуметровый слой снега, скрывший следы выпадения метеоритного вещества. Отметим только, что большинство осколков метеорита было найдено



Рис. 1. Полынья на озере Чебаркуль, возможно образованная крупным фрагментом Челябинского метеорита (фотография Э.О. Калинина от 16.02.2013).



Рис. 2. Лунка на ледяной поверхности озера Еткуль, возможно образованная осколком Челябинского метеорита (фотография Э.О. Калинина от 17.02.2013).

между посёлками Александровка и Депутатское. Согласно данным лаборатории метеоритики ГЕОХИ РАН (<http://www.meteorites.ru/menu/press/yuzhnouralsky2013.php>) Челябинский метеорит является обыкновенным хондритом типа LL5.

Пока не найдены крупные фрагменты метеорита (наибольший обнаруженный фрагмент имеет, по свидетельству В.И. Гроховского, массу 1,8 кг). До сих пор обсуждается вопрос о том, что крупный фрагмент упал в озеро Чебаркуль, образовав прорубь диаметром 6–8 м, которая видна на фотографии, сделанной Э.О. Калининым с борта самолёта (рис. 1). Однако, несмотря на активные поиски, крупные осколки в проруби пока что не обнаружены.

К интересным и непонятным явлениям относятся также лунки размером не более 15–20 см, обнаруженные Э.О. Калининым с самолёта на ледяных поверхностях озёр Аргаяш, Дуванкуль, Еткуль (рис. 2), которых не было до Челябинского события. Вблизи этих мест мелких осколков пока не обнаружено.

3. Первые результаты исследования Челябинского явления

Приведём краткие сведения о физических и динамических характеристиках космического тела и деталей

физической картины его прохождения в атмосфере, которые получены на данный момент на основе анализа наблюдательных данных. Более подробное описание методов исследования представлено в статье [1].

Анализ световой кривой болида показал, что основное выделение световой энергии происходило в течение около 6 с. За это время зафиксировано несколько вспышек яркости, среди которых явно выделяется основная (главная) вспышка, произошедшая приблизительно через 11 с после появления метеорного следа. Длительность этой вспышки составила около 2,5 с, причём за время вспышки выделилось не менее 70 % всей световой энергии болида. Естественно связать основную вспышку с главной фазой разрушения метеороида. Таким образом, взрыв (распад тела, сопровождающийся мощным выделением энергии в результате взаимодействия с атмосферой) не являлся точечным, как, например, при взрыве бомбы, а был распределённым вдоль большого (несколько десятков километров длиной) участка траектории. Это вполне объясняет приведённый в разделе 2 вывод о цилиндрическом характере ударной волны.

Обработка видеозаписей показала, что минимальное запаздывание (77 с) ударной волны по отношению к главной световой вспышке было зафиксировано в посёлке Первомайский. Вблизи этого пункта разрушение небесного тела происходило на высоте 23–24 км. Анализ видеоклипов показал, что максимум яркости вспышки, соответствующий максимуму световой кривой, был достигнут в момент, когда космическое тело находилось на высоте 28–30 км в 20 км восточнее п. Первомайский.

В результате сопоставления оценок энергии по избыточному давлению, при котором разрушались стёкла в Челябинске, инфразвуковым данным и световым регистрациям спутниковой системы наблюдения, приведённого в работе [1], сделано заключение, что кинетическая энергия космического тела составляла 300–500 кт тринитротолуола. При скорости $18,8 \text{ км с}^{-1}$ и плотности тела $3,2 \text{ г см}^{-3}$ его диаметр в момент входа в атмосферу составлял от 16 до 19 м.

Мы не проводим здесь подробного обсуждения орбиты тела до его сближения с Землей, откладывая этот вопрос до окончания обработки всех наблюдений и их астрономических привязок. Отметим только, что согласно [2] и нашим предварительным оценкам, приведённым в [1], данный астероид относится к астероидам типа Аполлона.

4. Челябинское событие как иллюстрация к проблеме астероидно-кометной опасности

Челябинское событие широко обсуждается также и в контексте так называемой астероидно-кометной опасности (АКО), т.е. угрозы столкновения Земли с малыми телами Солнечной системы (астероидами и кометами) с причинением серьёзного ущерба населению планеты, вплоть до уничтожения человечества. Как отмечено в [3, 4], главное содержание проблемы АКО составляет угроза столкновений с телами размером 50–500 м, происходящих на временных масштабах существования биологического вида *Homo sapiens* (около 200 000 лет). В этом смысле Челябинское событие не относится к проблеме АКО, поскольку соответствующий метеороид не классифицируется как опасное небесное тело (ОНТ). Ущерб, нанесённый падением, не слишком велик, хотя в случае Челябинского метеорита повезло — при менее

пологой траектории входа метеороида в атмосферу последствия взрыва могли быть гораздо более катастрофичными. Более того, если бы размер тела был 50 м и выше, то шансов на везение уже не было бы. Заинтересованному читателю можно рекомендовать обсуждение метеоритной опасности в [5].

И всё же Челябинское событие является убедительной иллюстрацией реальности проблемы АКО. В связи с этим в обществе возникает много вопросов, связанных с обнаружением тел, подобных челябинскому, и возможными мерами противодействия. Не вдаваясь здесь в подробное обсуждение этих вопросов, дадим краткий комментарий.

Обнаружение. В истории есть лишь один случай, когда метеороид наблюдался относительно задолго (за 20 ч) до его входа в атмосферу Земли [6]. Метеороид имел размер 3–5 м, и входов метеороидов таких размеров в течение года может быть несколько. Всё это означает, что метеороид, получивший астероидное обозначение 2008 TC₃, был обнаружен случайно, хотя и в рамках системного обзора. На больших расстояниях такие тела размером менее 20 м нельзя обнаружить из-за ограниченности проникающей силы современных обзорных телескопов (см. [7]). На малых расстояниях трудность обнаружения обусловлена слишком малым временем, имеющимся в распоряжении для обнаружения объекта.

Что касается Челябинского метеороида, то его нельзя было обнаружить с помощью *всех* существующих у человечества средств. Оптический диапазон исключался, поскольку небесное тело приближалось к Земле со стороны Солнца. Угол от Солнца составлял всего 15 градусов. Такой объект нельзя обнаружить в оптическом диапазоне не только с Земли, но и с помощью космического аппарата, расположенного на околоземной орбите, поскольку величина критического угла избегания (угловой радиус вокруг Солнца, в область которого оптический телескоп, за исключением специальных солнечных инструментов, направлять нельзя из-за угрозы его непосредственного повреждения) составляет 30–35 градусов (по данным различных космических проектов). Радиотехнические средства контроля ближнего космоса также не могут быть эффективными. Причины просты: во-первых, дальность действия таких систем 5–10 тыс. км, что при скоростях ОНТ $20–30 \text{ км с}^{-1}$ означает подлётное время не более нескольких минут (слишком мало для реагирования), а во-вторых, эти системы не могут одновременно наблюдать в таком широком диапазоне скоростей (ввиду частотных ограничений каналов). Обсуждаемый в настоящее время выход — создание быстрых среднеапертурных систем обнаружения как наземного (см., например, описание системы ATLAS (Asteroid Terrestrial-impact Last System) <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/ATLAS/>), так и космического базирования. Предложение о создании в России системы заблаговременного обнаружения (при времени упреждения не менее одного месяца) относительно крупных тел (размером более 50 м) и обнаружения метеороидов и фрагментов космического мусора в околоземном пространстве подробно описано в [8], где обсуждается проект концепции национальной (федеральной) программы противодействия космическим угрозам.

Противодействие. Высокая скорость метеороида и малое время подлёта исключают возможность применения ракетных средств отражения. Другие средства (на-

пример, мощное лазерное оружие) достаточной мощности для разрушения такого массивного тела пока только рассматриваются в рамках различных научно-исследовательских работ. Единственный разумный способ уменьшения ущерба при выявлении угрозы (близкого, на масштабе нескольких часов, столкновения) — это применение технологий МЧС, оповещение, вывоз людей в безопасную зону, выключение опасных установок, остановка опасных производств и т.д. И конечно, необходимо продолжать фундаментальные исследования различных аспектов воздействия на опасные небесные тела. В связи с этим новое значение приобретают работы по столкновениям естественных небесных тел (см., например, [9]), а также столкновениям космических аппаратов с малыми небесными телами (см., например, [10]).

5. Заключение

1. С астрономической точки зрения Челябинское событие является типичным случаем вхождения астероида в атмосферу Земли. Необычность данного события состоит в том, что оно впервые в современной истории произошло в плотно населённой местности, привело к заметным разрушениям и было зарегистрировано с помощью многочисленных средств наблюдений, включая видеокamеры.

2. Челябинское событие является убедительной иллюстрацией реальности проблемы астероидно-кометной опасности. Необходимо развивать средства заблаговременного обнаружения опасных малых тел. В мире этим занимаются серьёзно, и Россия не может остаться в стороне от общего развития.

3. Для эффективной работы необходима программа федерального уровня. Проект концепции такой программы представлен в [8].

Благодарности

Авторы выражают благодарность правительству Челябинской области во главе с губернатором М.В. Юревичем, оказавшему всемерную поддержку нашей экспедиции по сбору данных о Челябинском событии, сотрудникам Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Челябинской области, оказавшим огромную помощь в сборе фактических материалов о последствиях Челябинского явления, генеральному директору компании "Интерсвязь" Э.О. Калинину, предоставившему записи видеокamер наружного наблюдения и фотоматериалы съёмок местности с самолёта, и многочисленным очевидцам события, которые сообщили сведения о том, что произошло в небе над Челябинском 15 февраля 2013 г., и предоставили свои видеозаписи.

Работа поддержана грантами Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг. и Программы 22 Президиума РАН "Фундаментальные процессы исследований и освоения Солнечной системы".

Список литературы

1. Емельяненко В В и др. *Астрон. вестник* **47** 262 (2013) [Emel'yanenko V V et al. *Solar Syst. Res.* **47** (4) (2013)]
2. Borovicka J, Spurny P, Shrbeny L, *Electronic Telegram*, No. 3423 (Cambridge, MA: Central Bureau Electronic Telegrams, Intern. Astronomical Union, 2013)

3. Шустов Б М, Рыхлова Л В (Ред.) *Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра* (М.: Физматлит, 2010)
4. Шустов Б М *УФН* **181** 1104 (2011) [Shustov B M *Phys. Usp.* **54** 1068 (2011)]
5. Зеленый Л М, Захаров А В, Ксанфомалити Л В *УФН* **179** 1118 (2009) [Zelenyi L M, Zakharov A V, Ksanfomality L V *Phys. Usp.* **52** 1056 (2009)]
6. Boattini A et al., *Bull. Am. Astron. Soc., DPS Meeting* Vol. 41, No. 9.02TC3 (2008) (Washington, DC: American Astronomical Soc., 2009) 09.02
7. Шустов Б М, Нароенков С А, Емельяненко В В, Шугаров А С *Астрон. вестник* **47** 312 (2013) [Shustov B M *Solar Syst. Res.* **47** (4) (2013)]
8. Шустов Б М и др. *Астрон. вестник* **47** 327 (2013) [Shustov B M et al. *Solar Syst. Res.* **47** (4) (2013)]
9. Фортвов В Е и др. *УФН* **166** 391 (1996) [Fortov V E et al. *Phys. Usp.* **39** 363 (1996)]
10. Клумов Б А и др. *УФН* **175** 767 (2005) [Klumov B A et al. *Phys. Usp.* **48** 733 (2005)]

PACS numbers: 89.60.Gg, 95.55.Cs, 96.30.Ys

DOI: 10.3367/UFNr.0183.201308i.0888

Системы широкоугольного оптического мониторинга субсекундного временного разрешения для обнаружения и исследования космических угроз

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, В.Л. Плохотниченко, С.Ф. Бондарь, А.В. Перков, Е.А. Иванов, Е.В. Каткова, В.В. Сасюк, Э. Шерер

1. Введение

В настоящей статье обсуждаются возможности использования многообъективных оптических телескопов, оснащённых детекторами высокого временного разрешения, для обнаружения и изучения быстро движущихся космических тел естественного и искусственного происхождения. Рассматриваются два варианта инструмента такого типа (шесть и девять каналов), использующих стандартные светосильные объективы малого диаметра (70 мм), панорамные детекторы высокого временного разрешения и экваториальные монтировки. Системы функционируют в двух режимах: мониторинговом (поля зрения 600 и 900 квадратных градусов) и исследовательском (поле зрения 100 кв. град.), в котором все объективы наблюдают одно поле с обнаруженным при мониторинге быстро движущимся объектом. Изменение ориентации объективов за несколько долей секунды обеспечивается поворотами плоских зеркал, расположенных перед объективами, а измерение цвета и поляризации — набором фильтров и полярироидов. Описываются особенности конструкции прототипов приборов, их

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, В.Л. Плохотниченко. Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская Республика, РФ. E-mail: beskin@sao.ru
С.Ф. Бондарь, А.В. Перков, Е.А. Иванов, Е.В. Каткова. Станция оптических наблюдений "Архыз" Научно-производственной корпорации "Системы прецизионного приборостроения", Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская Республика, РФ
В.В. Сасюк. Общество с ограниченной ответственностью "Параллак", Казань, РФ
Э. Шерер. Национальный университет Ирландии, Голуэй, Ирландия