

# ОТЗВУКИ ЧЕЛЯБИНСКОГО БОЛИДА

С. А. ЯЗЕВ

15 февраля 2013 г. в небе над Южным Уралом наблюдалось необычайное небесное явление. Благодаря снимкам, сделанным многочисленными очевидцами, средствам массовой информации и Интернету, оно стало сенсацией не только для россиян, но и для всего мирового сообщества



ЯЗЕВ Сергей Артурович – доктор физико-математических наук, директор астрономической обсерватории и проректор Иркутского государственного университета, старший научный сотрудник Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). Заместитель сопредседателя правления Международной организации «Астрономическое общество». Автор и соавтор более 170 научных работ и учебных пособий, в том числе 3 монографий, и 5 научно-популярных книг

Фото М. Ахметвалеева

## АСТРОНОМИЧЕСКАЯ АЗБУКА

**МЕТЕОРОИД** – небольшое небесное тело размером меньше астероида, но значительно больше атома, движущееся в межпланетном пространстве.

**МЕТЕОРИТ** – метеороид, упавший на поверхность планеты.

**МЕТЕОР** – светящийся след метеороида, движущегося с огромной скоростью в атмосфере Земли.

**БОЛИД** – предельно яркий и заметный метеор

© С. А. Язев, 2013

Яркий болид появился над Южным Уралом в 9.20 по местному времени. Огненный хвостатый шар прочертил голубое утреннее небо с юго-востока на северо-запад под небольшим (около 16°) углом к горизонту, оставив мощный дымно-пылевой след. Свечение болида, усиливаясь, перешло в ослепительное сияние, сопоставимое с яркостью Солнца, и завершилось яркой вспышкой.

Впервые в современной истории человечества такое редкое небесное явление было подробно зафиксировано при помощи множества автомобильных видеорегистраторов одновременно с многих точек наблюдения, разнесенных в пространстве. Это позволило детально восстановить процессы, происходившие во время падения, сравнивая их с теоретическими прогнозами.

По данным Астрономического института Академии наук Чехии, небесное тело вошло в атмосферу на высоте 91 км. Начальная скорость метеороида на входе в атмосферу, по оценке чешских исследователей и специалистов NASA, составила около 17,5–18 км/с.

Спустя 9 с на высоте 41 км тело начало разрушаться: согласно расчетам, давление набегающего потока воздуха к этому моменту достигло около 40 атм. Двумя секундами позже на высоте 23 км произошла самая яркая вспышка.

### Ключевые слова:

астероидно-кометная опасность, болиды, Челябинский метеорит.

### Key words:

asteroid cometary danger, bolides, the Chelyabinsk meteorite



**Челябинский метеороид вошел в атмосферу Земли на высоте 91 км над оз. Большие Донки (Курганская обл.). Болид наблюдался на огромной территории, включая Тюменскую, Челябинскую и Свердловскую области, Северный Казахстан и Башкортостан.**

**На высоте 41 км над с. Белоусово около оз. Большой Шантрапай (Еткульский р-н Челябинской обл.) тело начало разрушаться. Взрыв болида произошел на высоте 23 км приблизительно в 40 км к юго-востоку от центра г. Челябинск. Ближе всего к эпицентру взрыва оказался пос. Первомайский.**

**Всего же длина проекции траектории падения Челябинского метеороида превысила 300 км. Остатки его упали в оз. Чебаркуль (около г. Златоуст)**

*На фото – остаточный след болида на восходе Солнца. Хорошо видно раздвоение дымного следа Челябинского болида – признак дробления метеороида во время его полета в атмосфере  
Фото М. Ахметвалеева*

Болид наблюдался на огромной территории, включая Тюменскую, Челябинскую и Свердловскую области, Северный Казахстан и Башкортостан. Это небесное явление оказалось исключительно мощным. На основе измерений порожденного болидом инфразвука, выполненных сетью наземных станций, специалисты NASA по свежим следам опубликовали результаты модельных расчетов. Общее количество энергии, выделившееся при разрушении метеороида, было оценено в 300–500 тыс. т в тротиловом эквиваленте, начальная масса – в 10 тыс. т, а размеры – до 17 м.

### От Витимского до Челябинского

Механизм разрушения небесных тел в атмосфере очень сложный и неодномоментный. Из-за гигантского давления набегающего потока и высоких температур каменное тело уже на больших высотах начинает трескаться, лопаться, дробиться и разрушаться. На оп-

ределенной высоте возникающие термонапряжения начинают превышать предел прочности летящих осколков – происходит так называемый концевой тепловой взрыв метеороида. В итоге осколки дробятся до размеров щебня и даже крупного песка, большая часть которых взрывообразно испаряется в раскаленном газовом (плазменном) облаке, окружающем рой летящих фрагментов. Обычно это происходит на высотах около 30 км. И действительно, в нашем случае наиболее яркая вспышка наблюдалась южнее Челябинска на высоте 32 км.

Часть фрагментов во время взрыва меняет свою траекторию; некоторым, отделившимся чуть раньше, удастся эффективно погасить скорость из-за трения о воздух и не развалиться в пыль. В итоге в рое летящих осколков помимо мельчайших частичек, пылинок и песчинок могут находиться мелкие камни и даже фрагменты покрупнее, которые разлетаются веером. Наиболее крупные осколки по инерции улетают дальше всего, «мелочь» быстро теряет скорость и выпадает раньше.



Имеются косвенные свидетельства, что сравнительно крупный (массой в десятки кг) фрагмент Челябинского болида упал, пробив лед, в оз. Чебаркуль. Отдельные мелкие осколки метеорита массой от долей грамма до 1,8 кг удалось обнаружить в снегу вблизи траектории падения.

Полет в атмосфере крупного тела с космической скоростью порождает мощную ударную волну. Возникшая при взрыве Челябинского метеорита ударная волна, пришедшая с большой высоты спустя несколько минут после вспышки, повредила оконные рамы и легкие строительные конструкции, выбила стекла общей площадью 200 тыс. м<sup>2</sup>. Всего было повреждено около 7300 зданий, а осколками стекла были травмированы (некоторые – тяжело) свыше 1100 человек. В результате Челябинску был нанесен миллиардный ущерб.

Нужно сказать, что над территорией России, составляющей всего лишь 3% от общей площади поверхности земного шара, с начала XXI в. наблюдалось еще три подобных небесных явления. Так, в ночь на 25 сентября 2002 г. в небе на севере Иркутской области засиял знаменитый Витимский болид, мощность которого

оценена в 2,5 тыс. т в тротиловом эквиваленте. Размер этого разрушившегося в пыль каменного метеороида составлял примерно 3 м при массе около 50 т. Ударная волна, пришедшая с высоты 32 км, поломала верхушки деревьев и привела к частичному вывалу леса вдоль траектории его падения.

Яркий болид, сопровождавшийся мощными акустическими и световыми явлениями, был отмечен и в Республике Коми 17 октября 2009 г. Наконец, 1 марта 2011 г. в Осинском районе Иркутской области наблюдался мощный болид, сопровождавшийся ударной волной и инверсионным следом, который был сфотографирован на мобильный телефон.

К счастью, все эти три метеорита упали вдали от густонаселенных районов. Челябинский суперболид – первый и, к счастью, пока единственный случай в новейшей истории, когда сравнительно крупное небесное тело упало вблизи миллионного города, вызвав достаточно тяжелые последствия. Тот факт, что в этом случае обошлось без человеческих жертв, можно считать фантастическим везением.



Российско-украинский телескоп «Цейсс-2000», установленный в Приэльбрусье на пике Терскол (Терскольский филиал Института астрономии РАН, Москва), может отслеживать уже известные астероиды. Однако не очень большое поле зрения этого превосходного инструмента делает его недостаточно эффективным для поиска новых объектов. *Фото автора*

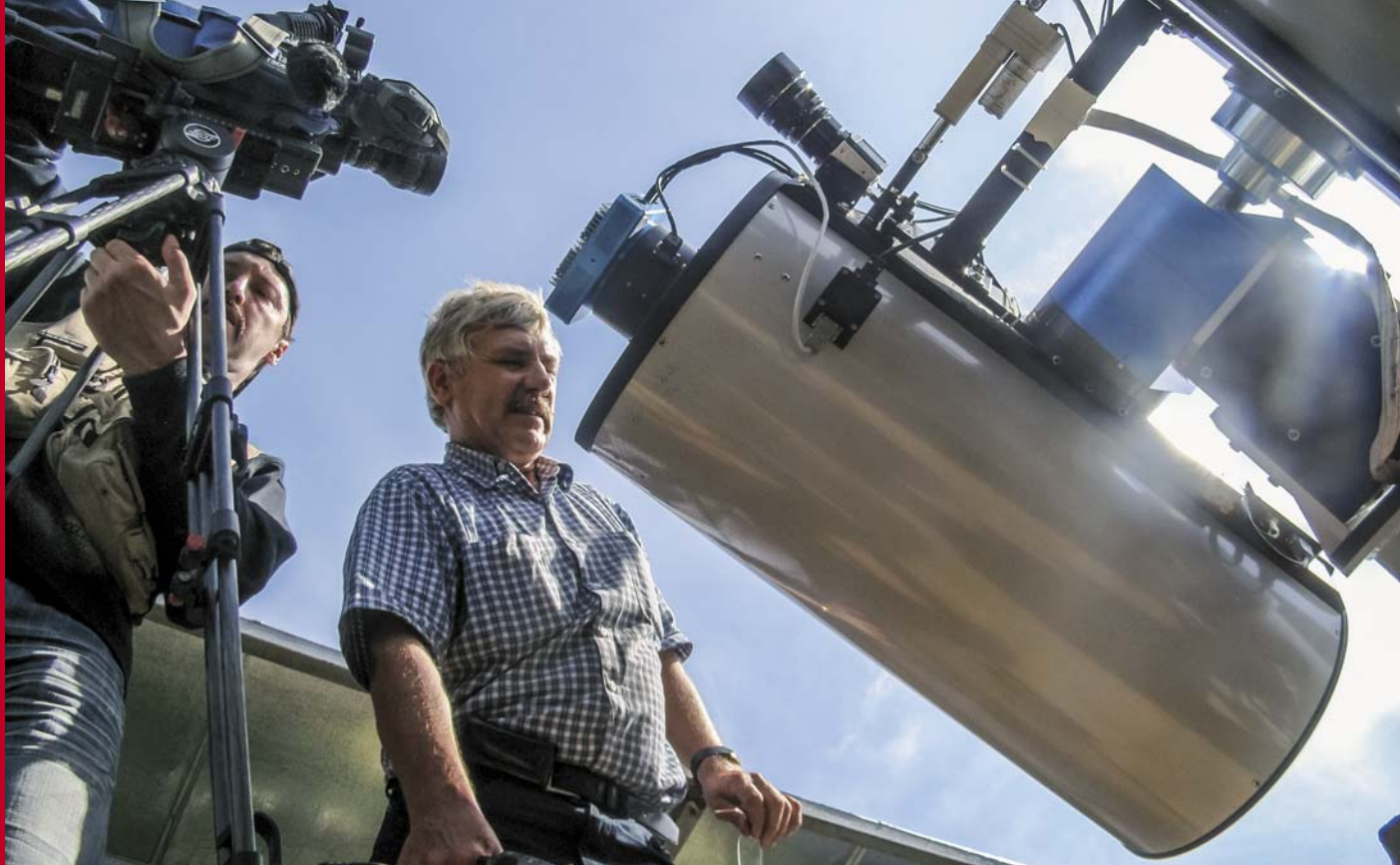
## Почему не предупредили?

Сразу после падения Челябинского метеорита все российское информационное пространство наполнилось возмущенными репликами: почему не предупредили? Где были МЧС, системы ПВО и ПРО?

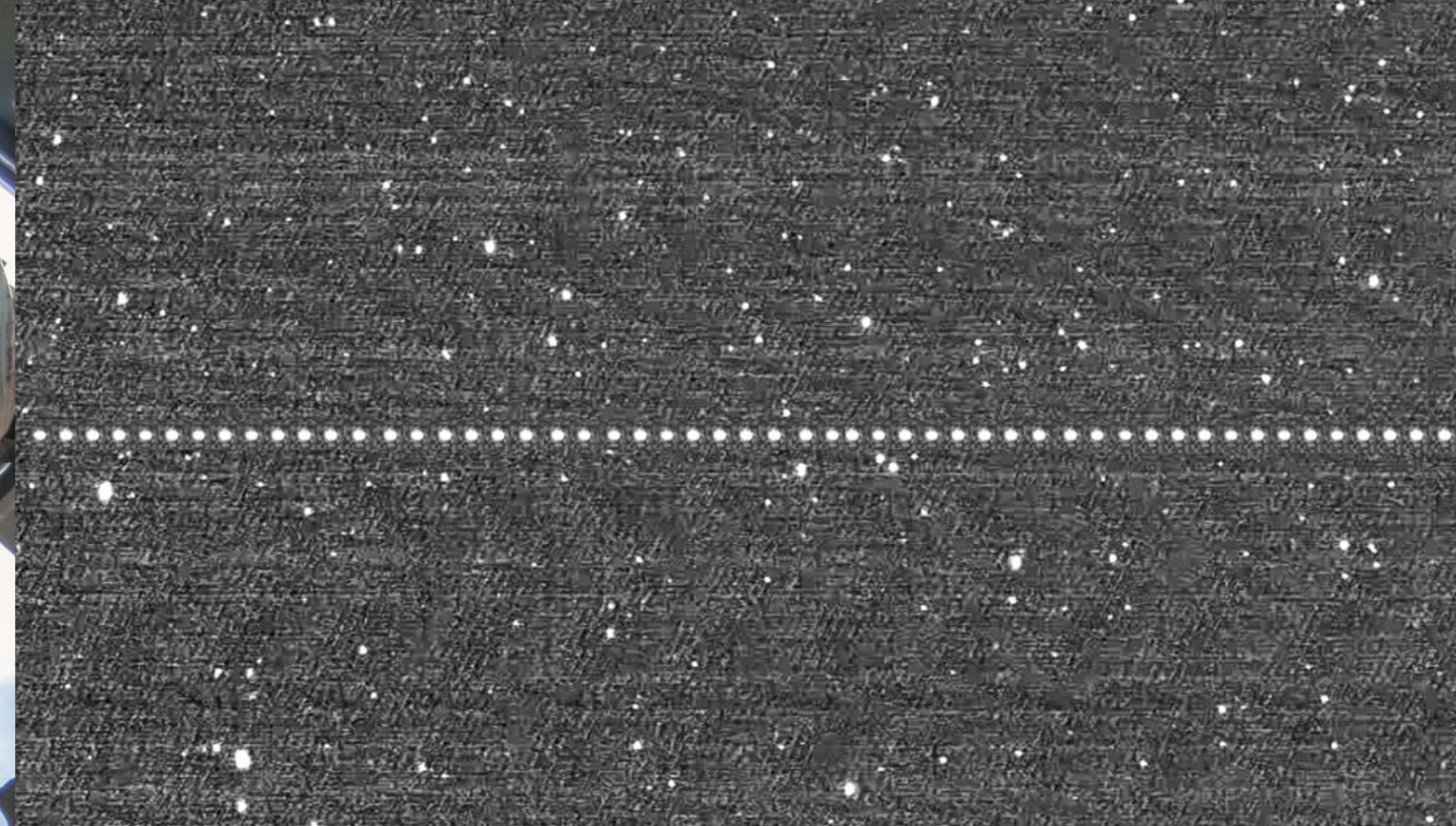
Действительно, приближение к Земле этого небесного «посланника» не было предсказано и замечено ни одной из существующих систем наблюдения и явилось для всех полной неожиданностью. Но возможно ли в принципе заранее обнаружить следующий к Земле небольшой астероид?

На сегодняшний день в мире ведутся работы примерно по двадцати программам наблюдений, согласно которым «свежие» изображения участка звездного неба постоянно сопоставляются с уже существующими звездными картами, заложенными в память компьютера. В результате обнаруживаются новые, ранее отсутствовавшие в базах данных объекты.

В списке активно работающих систем наблюдения в первую очередь нужно отметить американские Spacewatch-1, 2, LINEAR, LONEOS, NEAT, Catalina Sky Survey (CSS), Siding Sky Survey (SSS), Mount Lemmon Survey (MSS) и AMOS. Свой, пусть и сравнительно небольшой, вклад вносят канадская система Victoria, шведско-германская UDAS, итальяно-германская ADAS, чешские KLENOT и KLET, китайская система на базе Пекинской обсерватории, украинская – на базе обсерватории в г. Симеиз. И, наконец, российская система на базе обсерватории Института астрономии РАН (г. Звенигород), а также сеть телескопов МАСТЕР (Мобильная автоматизированная система телескопов-



Этот сдвоенный телескоп «МАСТЕР-2», установленный на астрофизическом полигоне Иркутского государственного университета в Тункинской долине, – одна из установок первой в России полностью автоматизированной системы наблюдения за небесными объектами.  
Фото автора



#### МАСТЕР ЗА РАБОТОЙ

Телескопы сети МАСТЕР уже установлены в Подмосковье, под Екатеринбургом, в Тункинской долине (Бурятия), в Благовещенске и Кисловодске. Кроме того, планируется разместить их на Канарских островах и в Антарктиде. Основная задача сети – вести наблюдения оптического свечения космических гамма-всплесков, исходящих от удаленных внегалактических объектов. Однако в поле зрения сдвоенных 40-сантиметровых телескопов сети попадают и другие космические объекты, включая астероиды. Так, автоматическая установка «МАСТЕР-2», развернутая на бурятском полигоне Иркутского государственного университета, выполнила 27 наблюдений 11 астероидов, сближающихся с Землей, что позволило уточнить параметры их движения. С помощью сети МАСТЕР было открыто два новых астероида в 2011 г., и еще два – в 2012 г. (правда эти объекты находятся в Главном поясе астероидов и не сближаются с Землей). Парадоксально, но свои немалые возможности МАСТЕР продемонстрировала именно 15 февраля 2013 г., в день Челябинского болида. В этот день ожидалось прохождение в 26 900 км от Земли астероида 2012 DA14, открытого годом раньше. Телескоп «МАСТЕР-2 – Амур» (г. Благовещенск) в течение нескольких часов отслеживал движение астероида на фоне звездного неба, при этом были сделаны его фотографии высокого качества

Комбинированное изображение движущегося астероида 2012DA14 сделано на основе серии снимков, полученных на телескопе «МАСТЕР-2», установленном в Благовещенске

роботов), созданная по инициативе Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова. В этом списке фигурируют преимущественно не очень большие телескопы с диаметрами зеркал 0,5–1,8 м.

В результате совместных наблюдений уже обнаружено около 10 тыс. астероидов, сближающихся с Землей, и их число увеличивается на один-три объекта в сутки. При этом число известных крупных (размерами в сотни метров и первые километры) объектов нарастает гораздо медленнее. Это означает, что большинство таких астероидов уже открыто, что и неудивительно: крупные астероиды заметны и обнаруживаются за многие месяцы и даже годы до сближения с нашей планетой. Но что касается малых астероидов, то обнаружить их далеко не так просто.

Во-первых, в большинстве своем чувствительность действующих систем с малым (до 1 м) диаметром оптики не очень высока, поэтому астероиды с размерами в первые метры обнаруживаются не ранее чем за несколько суток или даже часов до их сближения с Землей. Пока что за всю историю наблюдений удалось лишь один раз точно предсказать падение на земную поверхность такого космического тела: речь идет о небольшом метеороиде, который был обнаружен менее



Астероид 2012 DA14 успешно наблюдался и на телескопе АЗТ ЗЗИК Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). Этот единственный в России инфракрасный телескоп с диаметром главного зеркала 1,7 м и фокусным расстоянием 30 м рассчитан на измерение отражательно-излучательных характеристик космических объектов в околоземном пространстве в диапазоне 0,3–25 мкм, в том числе в дневных условиях.  
 Фото В. Короткоручко



чем за сутки до его разрушения над пустыней в Судане 7 октября 2008 г.

Во-вторых, эффективность всех этих систем наблюдения далека от абсолютной, и Челябинский болид является тому свидетельством. Нет сомнений, что многие космические объекты, пролетающие вблизи Земли, мы просто не замечаем. Если такой объект приближается со стороны Солнца, обнаружить его на дневном небе с помощью оптического наземного телескопа просто невозможно. Кроме того, поле зрения типичного телескопа, как правило, очень мало, и чтобы осмотреть все сегменты неба требуется множество ясных ночей. В любом другом случае «засечь» приближающийся астероид заранее окажется невозможным. Для решения этой задачи требуется иметь как большое количество небольших телескопов, одновременно смотрящих в разные сегменты неба, так и крупные телескопы с диаметром оптики около 8–10 м и большим полем зрения.

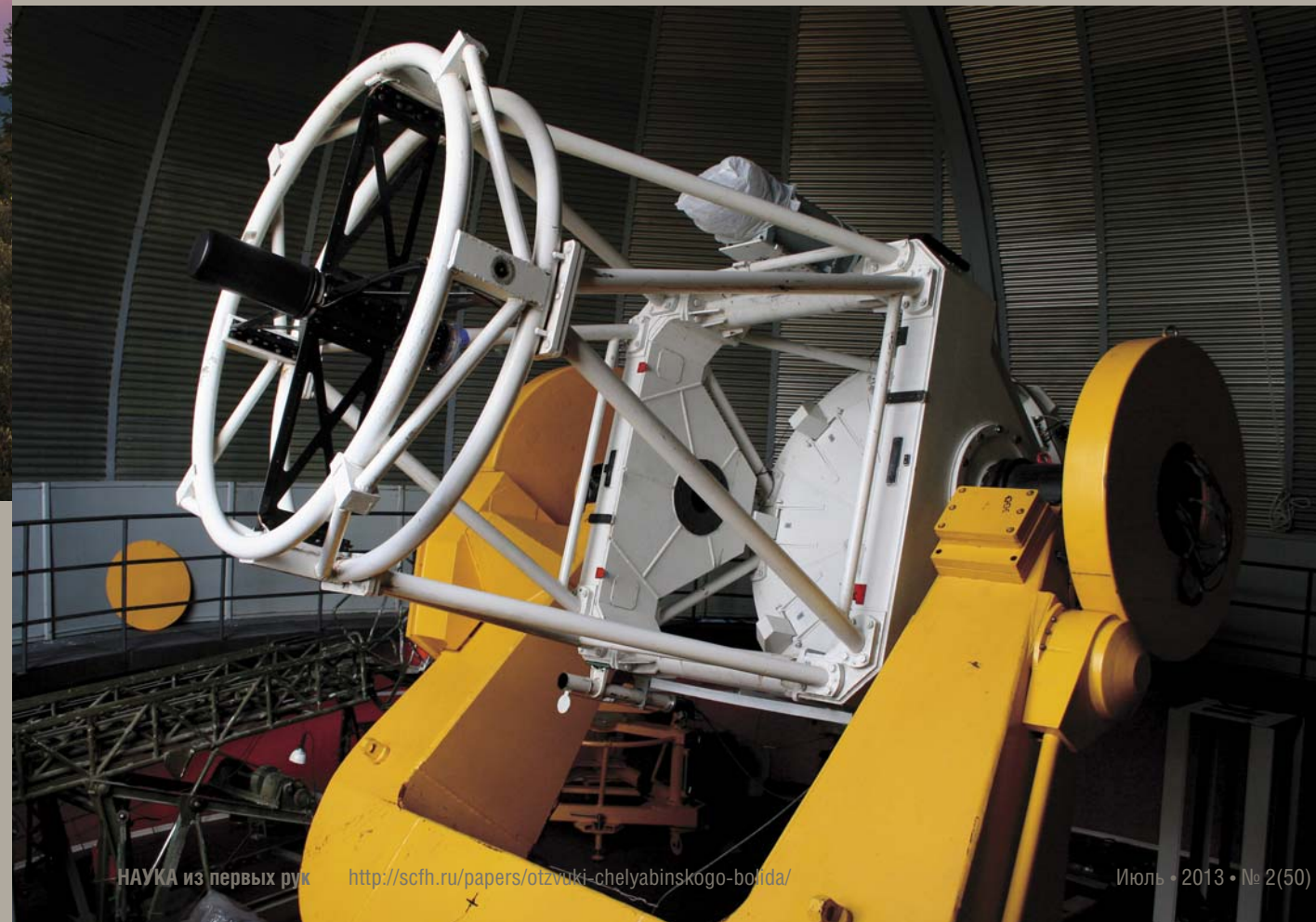
Также очевидно, что задачу поиска угрожающих Земле космических тел нельзя поручать человеку, поскольку надежность такого метода наблюдений невелика.

Поэтому большинство указанных выше систем включают в себя автоматизированные сети из небольших телескопов. В числе таких наиболее эффективных систем – американо-австралийская Catalina с диаметром оптики от 0,5 до 1,5 м. Полностью автоматизированной является и уже упомянутая отечественная система телескопов МАСТЕР.

### Взгляд в будущее

Известно, что чем выше будет собирающая площадь главного зеркала телескопа, тем лучше его чувствительность. Однако, как говорилось выше, типичные оптические схемы обладают маленьким полем зрения, и для обследования всей доступной части неба требуются многие месяцы, если не годы. Поэтому сегодня актуальной задачей является создание широкоугольных (широкопольных) телескопов со сравнительно большой *апертурой* (диаметром главного зеркала или его собирающей линзы).

Фото автора



Необычно большим полем зрения в 3 квадратных градуса обладал первый телескоп американской системы Pan-STARRS с зеркалом диаметром 1,8 м, установленный на Гавайских островах в 2007 г. Впоследствии четыре таких телескопа были размещены на одной монтировке (такая схема была отработана в военных целях для лазерного дальномера). В перспективе планируется создать несколько таких установок.

Наиболее впечатляющим является, пожалуй, американский проект создания Большого обзорного телескопа (Large Synoptic Survey Telescope – LSST) с главным зеркалом диаметром 8,4 м. Большое поле зрения телескопа будет достигаться путем использования трех зеркал: в его оптической схеме предусмотрено помимо главного два дополнительных зеркала диаметром 3,4 и 5 м. В камерной части этого телескопа будут установлены 180 цифровых матриц с суммарным числом пикселей около 3 млрд. Каждое изображение, получаемое на таком телескопе, будет содержать около терабайта информации. Понятно, что обработка таких гигантских потоков информации потребует создания новых технологий.

LSST планируется ввести в строй в 2016 г. Телескоп будет расположен на пике Эль-Пеньон горы Серо-Пачон (2682 м) в северной части Чили. Ожидается, что телескоп будет способен осмотреть все небо за несколько ночей.

Сразу после падения Челябинского суперболида появились сообщения об ускорении планов развития Space Situational Awareness (SSA) – Европейской системы поиска и наблюдения опасных астероидов, инициированной в 2008 г. Европейским космическим агентством. Эта программа предусматривает в обозримом будущем создание системы из шести широкоугольных телескопов с диаметром зеркал 1 м, которые смогут обнаруживать потенциально опасные астероиды диаметром более 50 м за три месяца до возможного столкновения.

В России на сегодня действует небольшое число крупных телескопов, которые создавались не с целью наблюдения за астероидами. К ним относятся 6-метровый телескоп Специальной астрофизической обсерватории РАН (Архыз), 2-метровый телескоп на пике Терскол («Цейсс-2000», Терскольский филиал ИНАСАН), 1,7-метровый телескоп Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск), российско-турецкий 1,5-метровый телескоп вблизи г. Анталя, созданный по инициативе Казанского (Приволжского) федерального университета. Кроме того, имеется еще военная установка на Алтае (Змеиногорск).

На сегодняшний день новые системы с относительно большими апертурами в России создаются только в ИСЗФ СО РАН. Так, в Саянской обсерватории ин-

ститута вблизи границы с Монголией на высоте 2000 м сооружается обзорный телескоп АЗТ-33 с зеркалом 1,6 м и большим (около 3 квадратных градусов) диаметром поля зрения. Этот телескоп, разработанный Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО) войдет в строй в ближайшие годы.

Руководитель проекта МАСТЕР профессор МГУ В.М. Липунов выступил с предложением создания сети модифицированных телескопов «МАСТЕР-3», которая могла бы целенаправленно работать по тематике астероидно-кометной опасности. Этот проект опирается на уже созданную инфраструктуру, поэтому может быть реализован в краткие сроки и с относительно небольшими вложениями.

Нужно сказать, что если сети небольших относительно недорогих автоматизированных телескопов постепенно начинают создаваться как во всем мире, так и в России, то разработка и сооружение крупных телескопов с большим полем зрения требует затрат в сотни миллионов долларов. Так, планируемая цена уникального инструмента LSST составляет около 400 млн долл., а реально он, без сомнения, обойдется еще дороже.

**Д**о недавнего времени правительства и даже многие ученые считали создание подобных систем неоправданным расточительством, а саму опасность – преувеличенной. Однако статистика открытий сближающихся с Землей астероидов последних лет заставила многих ученых и политиков всерьез задуматься. Скорее всего, в связи с Челябинским феноменом многие пересмотрят свою позицию.

Что будет делать человечество, если станет достоверно известно, что некий астероид столкнется с Землей? Даже если проблема заблаговременного обнаружения опасных астероидов будет решена в течение ближайших лет, задача обнаружения опасности не эквивалентна задаче ее устранения.

Нужно признать, что систем, способных уничтожить либо отклонить приближающийся объект, сегодня не существует. Предлагается множество теоретических методов, но нет ни одной реально существующей технологии. Более того, разработкой систем, способных на перехват астероидов, всерьез фактически никто не занимается. Для развертывания соответствующих программ требуется политическое решение, поскольку очевидно, что они потребуют огромных ресурсов.

Однако нет сомнений, что этой проблемой заниматься необходимо. Вспомним, что в результате падения знаменитого Тунгусского метеорита был повален лес на площади более 2 тыс. км<sup>2</sup>! Страшно подумать, что могло бы произойти, если бы траектория Челябинского



болида прошла чуть ближе к городу, хотя его мощность и была примерно в двадцать раз меньше, чем Тунгусского. Многочисленные человеческие жертвы были бы в этом случае неизбежны. Данные астрономических наблюдений последних лет показывают, что рядом с Землей каждый год пролетают десятки небесных тел различных размеров, при этом они обнаруживаются в лучшем случае за несколько суток. Только в России в начавшемся недавно веке было зафиксировано уже четыре события падения суперболидов. А что можно сказать заранее о траектории летящего к Земле астероида, который будет открыт завтра?

Безусловно, любая оборона всегда стоит дорого, но ее отсутствие может обойтись неизмеримо дороже. По словам д.ф.-м.н. А.В. Багрова из Института астрономии РАН, ведущего специалиста ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», «космическая угроза – это та же военная угроза, только идущая от противника, с которым нельзя договориться и нельзя напугать возмездием. Наша оборона должна быть готова к отражению атак из космоса так же, как к отражению военного нападения».

Есть надежда, что в результате Челябинского «синдрома» будет дан ход уже давно разработанным проектам противодействия астероидно-кометной опасности, в том числе и российским, до сих пор лежащим под сукном в кабинетах, где принимаются решения. О необходимости всерьез заняться проблемой астероидной опасности высказались многие российские политики высшего звена.

Телескоп АЗТ 33ИК Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск. Фото В. Короткоручко

*Литература*

*Астероидная опасность: вчера, сегодня, завтра.* М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.  
 Бронштэн В.А. *Тунгусский метеорит: история исследований.* М., 2000. 312 с.  
 Вишневский С.А. *Астроблемы.* Новосибирск: ООО «Нон-парель», 2007. 288 с.  
*Катастрофические воздействия космических тел / Под ред. В.В. Адушкина и И.В. Немчинова М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 310 с.*  
*Угроза с неба: рок или случайность? / Под ред. А.А. Боярчука М.: Космоинформ, 1999. 220 с.*  
 Цицин Ф.А. *Очерки современной космогонии Солнечной системы.* Дубна.: Феникс+, 2009, 356 с.  
*Энциклопедия. Т. 8. Астрономия / Гл. ред. М.Д. Аксенова. М.: Аванта+, 1997. 688 с.*

Редакция благодарит Челябинский государственный краеведческий музей за предоставленные фото М. Ахметвалеева