

## ЧЕЛЯБИНСКОЕ СОБЫТИЕ: ОПРОС ОЧЕВИДЦЕВ

*А.П. Карташова<sup>1</sup>, О.П. Попова<sup>2</sup>, П. Дженнискенс<sup>3</sup>, С. Короткий<sup>4</sup>,  
Е. Бирюков<sup>5</sup>, И. Сердюк<sup>4</sup>, В.В. Емельяненко<sup>1</sup>, Д.О. Глазачев<sup>2</sup>,  
С.А. Хайбрахманов<sup>6</sup>, А.Е. Дудоров<sup>6</sup>, А.Я. Скрипник<sup>7</sup>, Ю.С. Рыбнов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> – ИНАСАН, <sup>2</sup> – ИДГ РАН, <sup>3</sup> – SETI Institute, <sup>4</sup> – обсерватория Ка-Дар,  
<sup>5</sup> – ЮУрГУ, <sup>6</sup> – ЧелГУ, <sup>7</sup> – ГЕОХИ РАН

Вход космического объекта в атмосферу сопровождается ярким излучением, генерацией ударной волны, принесением космического вещества на разные высоты в атмосфере и последующими химическими реакциями, и другими эффектами. Свечение Челябинского метеороида было видно на обширной территории, а жители Челябинской области наблюдали не только пролет болида, но и другие явления, вызванные входом метеороида в атмосферу (приход ударной волны, вызвавшей разрушения и травмы, тепловые, звуковые эффекты и т.д.). В данной работе представлены данные об этих эффектах Челябинского метеороида, полученные в результате опросов очевидцев.

### Введение

Вход Челябинского метеороида в атмосферу был виден на обширной территории, свидетелями пролета Челябинского метеороида стали жители Челябинской, Свердловской, Курганской и Тюменской областей, а также Республики Башкортостан и Казахстана [Емельяненко и др., 2013]. Жители Челябинской области наблюдали не только пролет болида, но и другие эффекты, вызванные входом метеороида в атмосферу (приход ударной волны, вызвавшей разрушения и травмы, тепловые, звуковые и т.д.). Данные о некоторых из этих эффектов (например, электрофонных звуках, запахах и т.д.) в принципе могли бы быть получены инструментальным образом, если бы соответствующая аппаратура была бы установлена в нужное время и в нужном месте, а в ее отсутствие могут быть собраны только методом опроса.

Опрос очевидцев проводился во время экспедиции 9–25 марта 2013 г., которая была организована сотрудниками ИНАСАН и ИДГ РАН и поддержана SETI институтом, Челябинским государственным университетом и Южно-Уральским государственным университетом. Кроме того, вскоре после падения, был запущен сайт с

интернет-анкетой, которую заполнило большое количество очевидцев [Kartashova et al., 2014a, б]. В общей сложности было собрано более 2000 показаний очевидцев, которые содержат информацию о субъективных ощущениях случайных наблюдателей (тепло, запах, звук, возникновение солнечных ожогов и т.д.).

Одной из целей опроса свидетелей было определить распространение таких эффектов как запах, тепло и солнечные ожоги, звук, область выпадения пепла и др. Поэтому необходимо было охватить большую площадь в различных направлениях (север-юг, запад-восток), где и проводился опрос. Для этого участники экспедиции посетили более 50 населенных пунктов в Челябинской и прилежащих к ней областях.

В ходе интернет-анкетирования задавался целый ряд вопросов, в том числе:

- Вы получили травму?
- Вы слышали звуки болида в течение полета (перед ударной волной)?
- Вы чувствовали повышение температуры?
- Вы ощущали запах после пролета болида?
- Вы видели шлейф пыли?
- Вы услышали звук, и в какое время после того, как болид пролетел?
- Вы или Ваши друзья находили метеориты? и т.п.

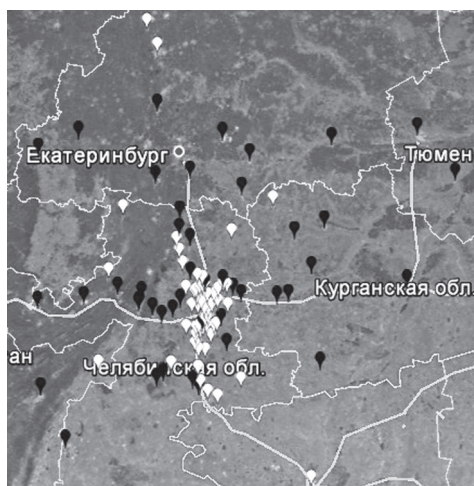
Интернет-анкета была заполнена более чем 1800 свидетелями из 122 населенных пунктов, а также свидетелями, находившимися в момент события на трассах М36 и М5. Наибольшее число очевидцев было из Челябинска, как наиболее крупного населенного пункта с наибольшей плотностью населения и наиболее развитой инфраструктурой (доступом к интернету).

## Тепловые эффекты

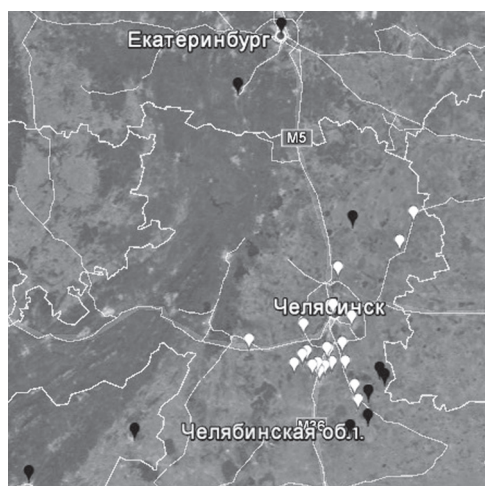
Большое количество свидетелей сообщало, что ощущало тепло во время пролета болида, даже на некоторых видеозаписях, выложенных на youtube, очевидцы говорят, что «жаром обдало», «как тепло» и т.д. Многие очевидцы упоминали об ощущении тепла, которое возникало в момент пролета болида, когда они стояли к нему спиной и не видели его. Из 1113 очевидцев интернет опроса, которые находились в момент пролета болида на улице 2,3% (25 человек) сообщили о покраснении на коже, 28% (315 человек) ощущали жар, 37% (415 человек) ощущали тепло (рис. 1). Тепловые ощущения были зафиксированы на расстоянии до 110 км от траектории болида. Данные о тепловых ощущениях интернет-очевидцев, находившихся заметно дальше 100 км (например, дальше Екатеринбурга, или в Нижнем Тагиле) от траектории, вызывают сомнение и требуют уточнения.

Очевидцы, которые находились ближе к траектории болида, сообщали, что получили легкие ожоги. В основном это было покраснение открытых (или плохо прикрытых) участков тела (руки, шея, лицо). Распределение 25 свидетельств о покраснениях кожи приведено на рис. 2.

Житель Коркино Владимир Петров и глава Травниковского сельского поселения Н.А. Рыбин рассказывали, что они получили ожоги (аналогичные солнечным), вызвавшие впоследствии шелушение кожи. Коркино находится в 5–6 км от проекции траектории болида на землю. Травники расположены в 3 км от проекции траектории (55 км от основной вспышки и в 4 км от второй вспышки излучения на световой кривой болида). Расстояние от точки максимального энерговыделения до Коркино составляет примерно 30 км, известно, что такого рода покраснения возникают



а)



б)

**Рис. 1.** Данные о тепловых ощущениях: (а) согласно Интернет опросу; (б) полученные в экспедиции. Черные метки – очевидцы не ощущали тепловых эффектов, белые – очевидцы ощущали тепло



**Рис. 2.** Данные Интернет опроса – показаны данные об ожогах

при потоках примерно в  $1000 \text{ Дж/м}^2$  в диапазоне 290–320 нм (в основном УФ излучение). Если пользоваться оценкой температуры излучающей области в 6000 К [Nemtchinov et al., 1997], то поток составит  $\sim 200 \text{ Дж/м}^2$  в Коркино, но следует помнить, что эта оценка приближительна, а в излучающей области имеются и более высокие температуры [Голубь и др., 1997]. Кроме того, свой вклад могло внести и отражение от окружающего снега.

## Травмы

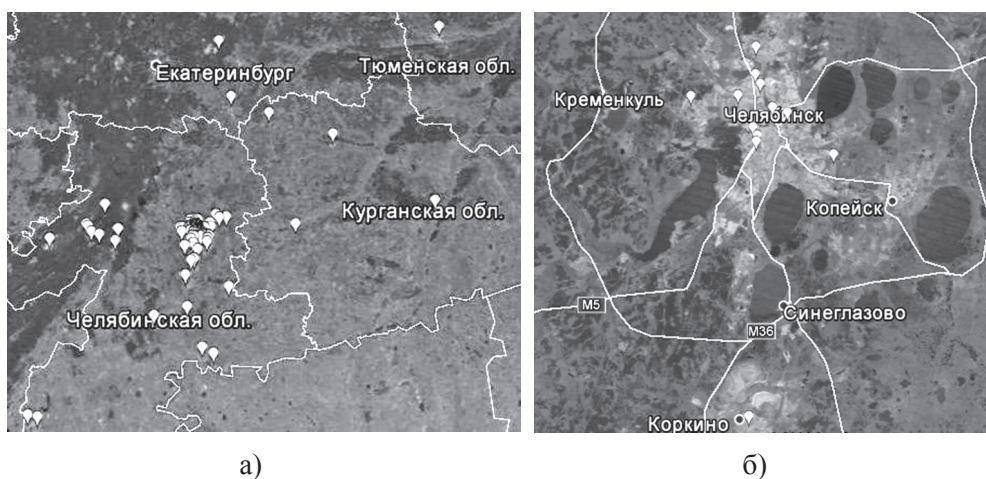
Челябинское событие – единственное на сегодняшний день падение космического объекта, от которого пострадали люди. С точки зрения проблемы астероидной опасности важно понимать, какого рода травмы возникают в таких ситуациях. Челябинское событие, вызванное падением 20-м тела, по Туринской шкале [Binzel, 2000] относится к классу нулевой опасности, тем не менее, достаточно заметное число жителей было вынуждено обратиться за медицинской помощью. Травмы были различного характера, большую часть из них составляли порезы от разбитых стекол. В результате 1625 человек обратились за медицинской помощью, 69 из них были госпитализированы (из которых 13 детей), 2 пострадавших получили тяжелые травмы.

Доля жителей, получивших травмы, требовавшие медицинской помощи, достигала 0,16–0,11% в наиболее заселенных и близко расположенных к траектории районах [Ророва et al., 2013]. Далеко не все обратились за медицинской помощью. Из 500 опрошенных по телефону респондентов в Челябинске 1% сообщил, что получил повреждения/недомогания, еще 1% сообщил, что повреждения/недомогания были у него самого и у ближайших родственников, 7% сообщили о тех или иных травмах у ближайших родственников [Kartashova et al., 2014 а,б]. Поэтому можно предполагать, что хотя бы минимальные повреждения или небольшие недомогания получили несколько тысяч человек.

На вопрос о травмах положительно ответило 377 респондентов интернет опроса (20,9% от опрошенных), которые перечислили разные виды травм/недомоганий. 290 оставило вопрос без ответа (16% из числа опрошенных). Основная часть травм/недомоганий была вызвана как действием яркого света на глаза, так и воздействием ударной волны. Видеозаписи свидетельствуют, что ударная волна была достаточно сильная, чтобы в ряде случаев сбить человека с ног. Осколки стекла и каких-либо конструкций привели к порезам и ушибам у 18 (4,8% от числа ответивших положительно) и 11 (2,9%) респондентов, но ни один не сообщил о переломе костей.

## Поражения глаз

204 очевидца из 1800 указали, что после Челябинского события у них болели глаза. Ощущения были различного характера. Кто-то указал, что у них были резкие боли (180 респондентов (48% травм/недомоганий)), временное ослепление (70 респондентов, 19% травм/недомоганий), у кого-то опухли глаза, и они обратились за медицинской помощью, возникала чувствительность к дневному свету. На рис. 3 показано расположение очевидцев получивших травму глаз. Были и такие, кто считал, что получил ожоги сетчатки (15 человек (4% из интернет опроса) (рис. 3,б).



**Рис. 3.** (а) Расположение очевидцев события, сообщивших о поражении глаз; (б) расположение очевидцев, сообщивших об ожогах сетчатки

Симптомами ожога сетчатки, по словам очевидцев, являлись ощущения, похожие на возникающие при взгляде на сварку или появление темных пятен в глазах, существовавших долгое время. Официальных данных об ожоге сетчатки не было.

### Головные и ушные боли

Многие очевидцы говорили, что получили контузию (легкое сотрясение головы) и испытывали головные боли после прихода ударной волны. Об этом сообщил 41 респондент (11% травм/недомоганий) интернет опроса (рис. 4,а), в основном это были жители Челябинска.

85 человек (23% от сообщивших о травмах/недомоганиях или 5% от всех ответивших) жаловались на временное оглушение или заложенность ушей. Не было ни одного сообщения о повреждении барабанной перепонки, что позволяет сказать, что избыточное давление нигде не превышало 16,5 кПа (пороговое значение, при котором вероятность разрыва барабанной перепонки составляет 1% [Mannan and Lees, 2005]). Согласно Гельфанд, Сильников (2002) у 10% людей возникает временная потеря слуха при уровне давления в ударной волне 1,4 кПа. Поэтому можно предположить, что давление в ударной волне достигало и могло превышать 1 кПа, что согласуется с данными по выбитым стеклам [Шувалов и др., 2014].

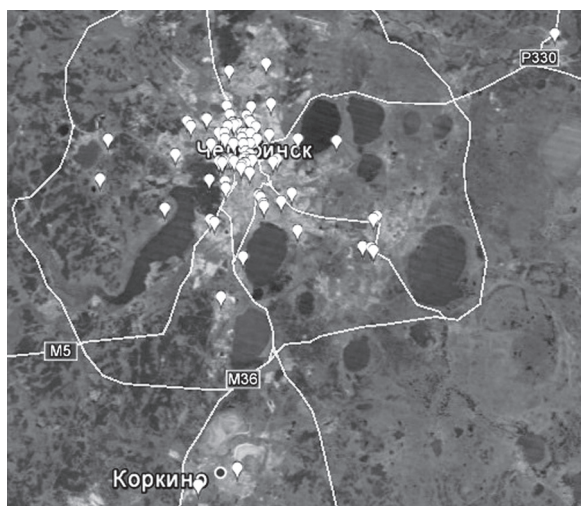
### Запах

Информация о запахах была зафиксирована в 14 населенных пунктах расположенных вдоль траектории болида. Запах ощущался в течение 1–1,5 часов после пролета. Восточная граница с очевидцами данного эффекта совпадает с восточной границей ударной волны и проходит через Белоусово, Лесной и Николаевку. Архангельское, Октябрьское поле являются западной границей, которая также находится вблизи западной границы, где были выявлены повреждения (разбитые стекла в окнах и дверях). Почти все очевидцы сообщали, что запах был похож на запах

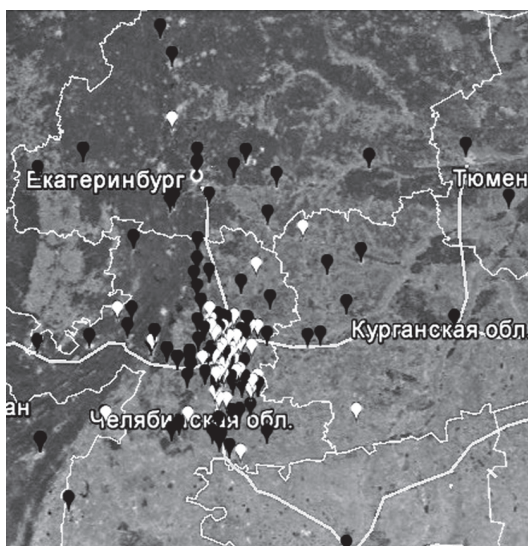


а)

**Рис. 4.** (а) Расположение очевидцев с головной болью; (б) распределение очевидцев, жаловавшихся на поражения ушей



б)



**Рис. 5.** Расположение очевидцев, чувствовавших запах (данные интернет опроса и экспедиции)

серы, гари или запах пороха после выстрела. Возможным объяснением такого запаха может быть горение троилита ( $\text{FeS}$ ), присутствующего в веществе метеорита в заметных количествах. Кроме того, запах гари мог возникнуть благодаря появлению в воздухе заметного количества пыли и сажи из вентиляционных шахт, дымоходов и печных труб под действием ударной волны. Этим эффектом можно объяснить и появление пепла, о котором сообщал ряд очевидцев. Очевидцы из Еманжелинки, расположенной вблизи траектории болида, также сообщали о появившемся запахе озона, похожего на запах после грозы. Озон может образовываться под воздействием УФ излучения метеора с длиной волны  $\lambda = 200\text{--}300$  нм

в непосредственной близости от болида. Наличие солнечных ожогов у очевидцев также свидетельствует о заметной доле ультрафиолета в излучении болида.

## Звук

Пролет болидов сопровождается звуковыми эффектами. Челябинское событие стало тем редким случаем, когда полет болида характеризовался различными звуковыми эффектами. Прежде всего, огромное впечатление на очевидцев оказала ударная волна. Звук от нее был зафиксирован, по словам очевидцев, на расстояниях до  $\sim 150$  км от траектории полета. Кроме того, Челябинский болид сопровождался звуками во время полета, то есть являлся так называемым электрофонным. Многочисленные очевидцы из населенных пунктов (на расстоянии около 50 км от места основного энергосвечения) рассказывали о звуках подобных свисту, треску, шипению, бенгальским огням (табл. 1, рис. 6). По результатам интернет опроса 131 опрошенных из 1800 сообщили о звуках, которые они слышали до прихода ударной волны, во время пролета болида.

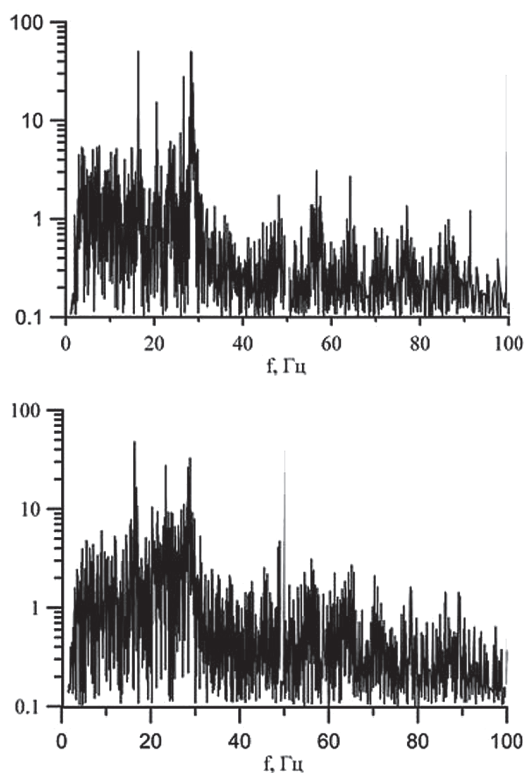
*Таблица 1*

**Данные интернет опроса об электрофонных звуках**

| Звуки                                      | Опрошенные | Звуки         | Опрошенные |
|--------------------------------------------|------------|---------------|------------|
| Шипение или свист, подобный запуску петард | 76         | Треск         | 25         |
| Звук подобный бенгальскому огню            | 13         | Шелест, шорох | 6          |
| Свист                                      | 26         | Гул           | 19         |
| Писк                                       | 2          | Гул самолета  | 31         |

На рис. 6 изображены населенные пункты, где находились респонденты, сообщившие об электрофонных звуках. Область, из которой пришли сообщения об электрофонных звуках, достигает 115 км с запада на восток и 142 км с севера на юг. Три заслуживающих доверия очевидца (инженер, физик по образованию и





**Рис. 7.** Спектры шума, создаваемого бенгальскими огнями различных фирм

зоне частот регистрировались шумы при наблюдении метеоров потока Леониды [Zgrablic et al., 2002].

## Выводы

Челябинское событие хорошо задокументировано. Есть различные фото, видео регистрации, регистрации излучения спутниковой системы наблюдений, инфразвуковые и сейсмические сигналы, спутниковые и наземные регистрации пылевого следа в атмосфере. Но определение других эффектов (запах, тепловые и звуковые ощущения и т.д.) невозможно без опроса очевидцев, поэтому и были организованы интернет опрос и экспедиция в район события. Опрос очевидцев также необходим для составления полной картины полученных травм.

Были получены ответы ~1800 респондентов с помощью интернет опроса, в ходе экспедиции были опрошены свидетели в 59 населенных пунктах. Эти данные позволили определить области, в которых наблюдались различные эффекты, сопровождавшие падение Челябинского метеороида (запахи, связанные с пролетом болида; электрофонные звуки), области, в которых люди получили те или иные травмы и недомогания. Эти данные позволяют уточнить картину входа крупного космического тела в атмосферу, составить более точный прогноз поражающих эффектов космических импактов.

водитель) описывают звук как шипение масла на сковороде (Челябинск), гудение трансформатора и рев двух истребителей (оба – Еманжелинск). Ни один из этих очевидцев не носит очки, им казалось, что звук доносится со стороны болида.

Для звуков, сопровождающих горение бенгальских огней, характерны спектры, приведенные на рис. 7. Основная мощность звуков приходится на диапазон частот ниже 30 Гц. На более высоких частотах могут быть отдельные пики, но гораздо меньшей мощности. Для человеческого уха эти звуки соответствуют звукам контроктавы и ниже (в научной нотации – первой октаве, которой соответствуют частоты 32,7–61,7 Гц) и большой октаве (в научной нотации второй октаве, которой соответствуют частоты 65,4–123,5 Гц).

На основе этих данных можно сказать, что свидетели слышали низкочастотный шум в диапазоне ~30 Гц и выше. В этом же диапазоне

## Литература

Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Фугасные эффекты взрывов. 2002, СПб., ООО «Издательство Полигон», 272 с.

Голубь А.П., Косарев И.Б., Немчинов И.В., Попова О.П. Спектры излучения ярких болидов // *Астрономический вестник*. 1997. Т. 31. № 2. С. 99–112.

Емельяненко В.В., Попова О.П., Чугай Н.Н. и др. Астрономические и физические эффекты Челябинского события 15 февраля 2013 г. // *Астрономический вестник*. 2013, 47, с. 1–16.

Шувалов В.В., Артемьева Н.А., Попова О.П. (данный сборник).

Binzel R.P. The Torino impact hazard scale // *Planetary&Space Science*. 2000. Vol. 48. P. 297.

Kartashova A. et al. Expedition to the field of the Chelyabinsk event // *Proceedings of IMC-2013, Poznan, Poland* (in press).

Kartashova A. et al. The eye witnesses interviews of the Chelyabinsk meteorite // *Proceedings of IMC-2013, Poznan, Poland* (in press).

Nemtchinov I.V., Svetsov V.V., Kosarev I.B. et al. Assessment of kinetic energy of meteoroids detected by satellite-based light sensors // *Icarus*. 1997, 130, с. 259–274.

Mannan S., Lees F.P. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*, vol. 1, 3rd edition (Elsevier Butterworth-jHeinemann, 2005).

Popova O.P., Jenniskens P., Emel'yanenko V.V. et al. (59 authors). Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery and Characterization, *Science*. 342, pp. 1069–1073, 2013.

Zgrablic G, D. Vinkovic', S. Gradec'ak, D. Kovac'ic', N. Bilis'kov, N. Grbac, Z. Andreic', and S. Garaj. Instrumental recording of electrophonic sounds from Leonid fireballs // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107, N. A7, 10.1029/2001JA000310.