

20-я Международная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли", Москва, ИКИ РАН, 14-18.11.2022г.

***Болидные взрывы и падения
крупных метеоритов на Землю
в XX и XXI столетиях:
статистика и анализ***

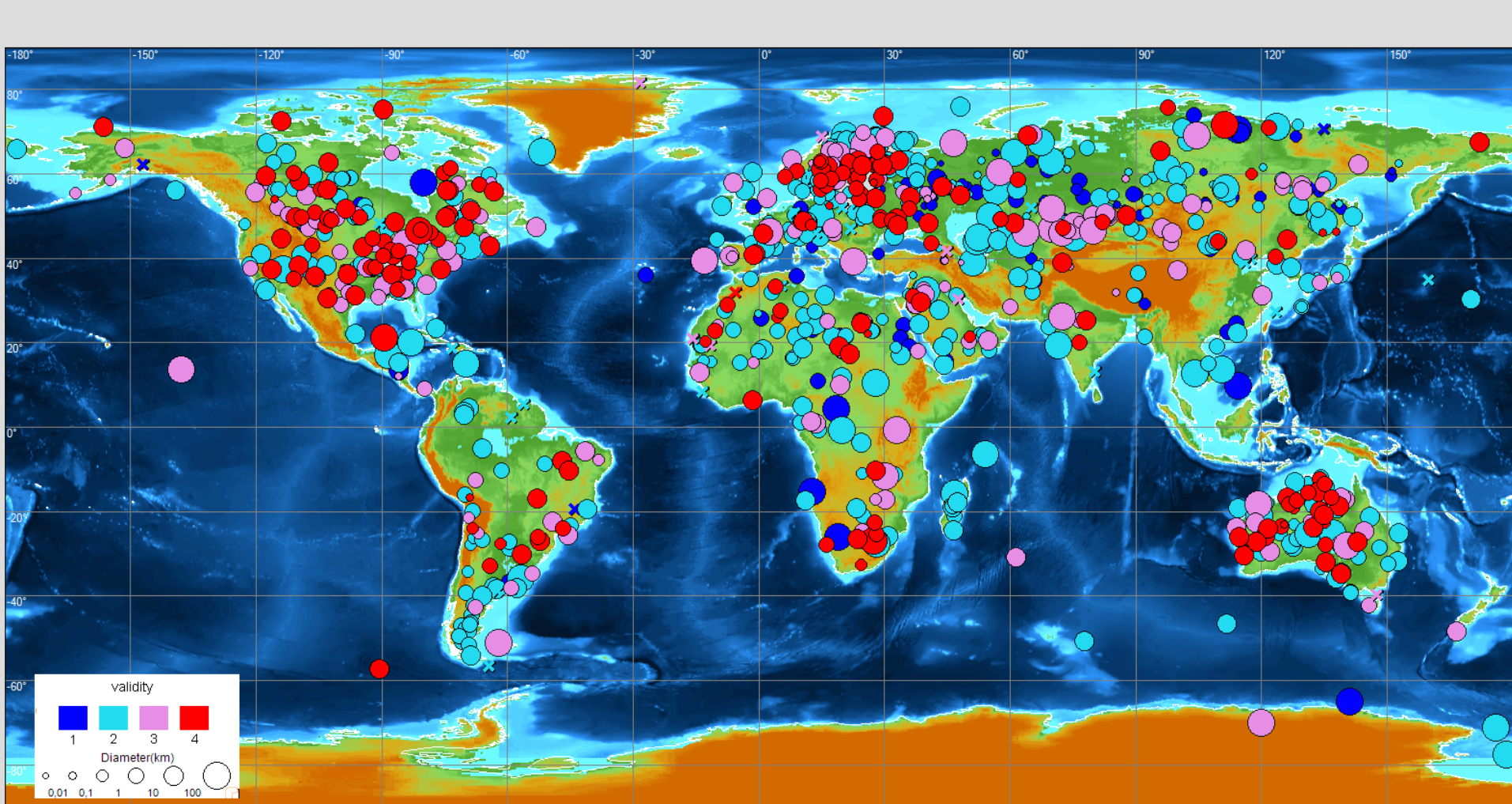
Гусяков В.К.

***Институт вычислительной математики и математической
геофизики РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 6, Россия***



После падения Челябинского метеорита 11 февраля 2013 года (оценка кинетической энергии 440-550 кт) создавшего чрезвычайную ситуацию федерального уровня, космическая (астероидно-кометная) угроза была официально включена в список природных опасностей, нуждающихся в прогнозе и планировании противодействия, защиты и ликвидации последствий.

Earth Impact Database (EID), University of New Brunswick, Canada (195 кратеров)



Карта импактных структур Земли, 205 кратеров с $V=4$ (а) и около 1165 структур с $V=1-4$ (б) Источник: Expert Database on the Earth Impact Structures (EDEIS, ИВМиМГ СО РАН, 2021)



**Чикскулуб, Мексика, диаметр 180 км,
возраст 65 млн. лет**



**Барринджер, Аризона, США, диаметр
1100м, возраст 52,000 лет**



**Каали, Эстония, диаметр 110м,
возраст 800-2000 лет т.н.**

Крупнейшие болиды и падения за последние 120 лет



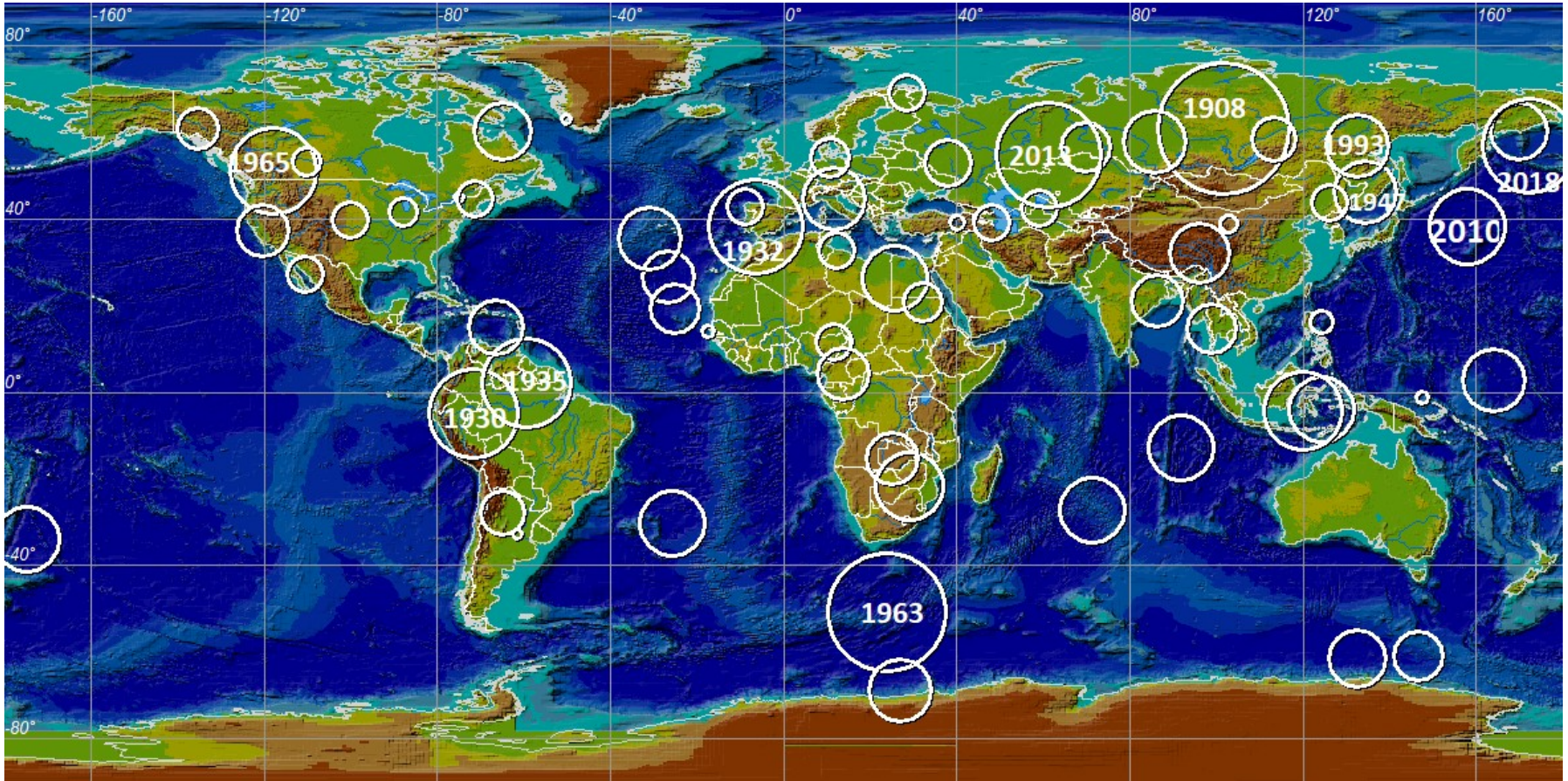
Тунгусский метеорит
30 июня 1908 года
 $E \sim 5-10\text{MT}$



Сихотэ-Алинский метеорит
12 февраля 1947 года
 $E \sim 1-2\text{kT}$

Челябинский метеорит
15 февраля 2013 года
 $E \sim 550\text{kT}$





Карта мест падений больших метеоритов и крупнейших болидных взрывов в атмосфере за последние 120 лет. Размер кружков пропорционален энергии падения или взрыва (всего около 85 событий)

Другой фактор недооценки уровня космической опасности – это широко распространенное, особенно в англо-язычной литературе утверждение о том, что «никто не был убит метеоритом» (Д.Моррисон, С.Чапман)

Но это утверждение просто не соответствует действительности.

В 1951 году, 15 августа, на Тегеран (Иран) обрушился метеоритный каменный дождь, разрушив 62 дома. В результате погибли 12 горожан, 19 были ранены, свыше 300 голов скота было убито прямым попаданием или последовавшим за ударом с неба пожаром.

В 2003 году, 29 сентября, в северо-восточном штате Индии (Орисса) прямо на деревню Судусудия упал метеорит. Взрыв сопровождался шумом и ярким светом, вызвав пожары и разрушения. Пострадали 20 человек, один погиб, получив сильнейшие ожоги.

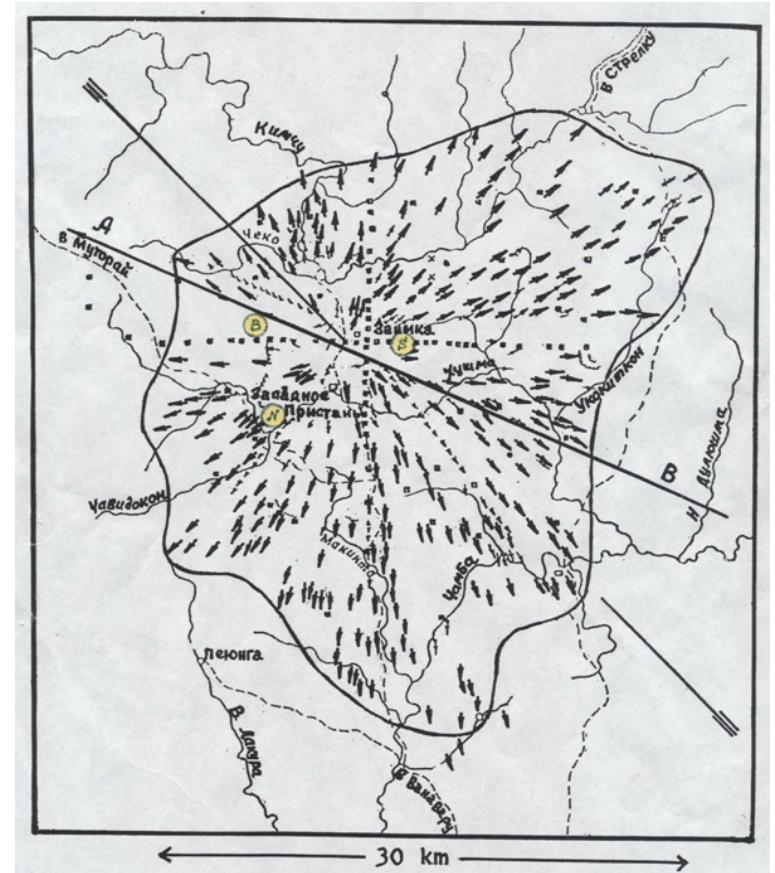
В 2007 году, 22 февраля, в Индии (штат Раджастан) около деревни Банчола упал метеорит. Трое человек убиты и четверо ранены.

В 2016 году, днем 6 февраля, в Индии (штат Тамилнад) на территории колледжа Бахрадхидасан упал метеорит. Он сопровождался мощным взрывом, на месте взрыва образовалась 2-м воронка. Пострадал водитель автобуса колледжа, умерший позднее в госпитале

Тунгусский метеорит 30 июня 1908 года



Фото вывала 1928 года



«Бабочка Фаста»

**В научном мире стал известен в 1928 году, т.е. через 20 лет после падения
Следов падения и вещественных остатков космического тела не найдено до сих пор**

13 августа 1930 года «Бразильская Тунгуска», Курука, вблизи границы Бразилии и Перу, 5,18S, 71,6W

«Внезапно, часов в восемь утра, солнце стало кроваво-красным, и на округу опустилась тьма. Большое облако красной пыли наполнило воздух, а затем мелкий белый пепел опустился на деревья и растения. За этим последовали пронзительные свистящие звуки, после чего раздались три мощных взрыва, после которых лес превратился в пылающий ад, на несколько месяцев опустошивший большую территорию. Некоторые люди видели большие огненные шары, падающие с неба. Взрывы вызвали толчки, подобные землетрясению, и были слышны на расстоянии нескольких сотен километров. До полудня солнце оставалось скрытым облаком пепла».

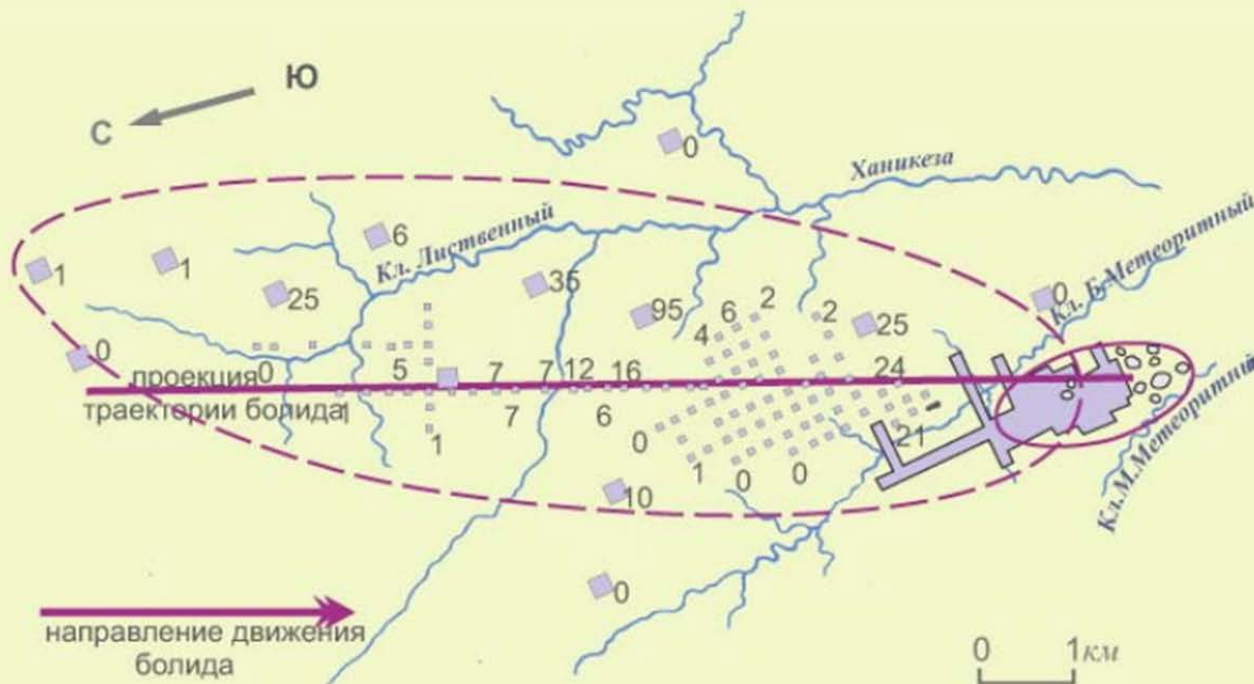
Британская Гвиана 11 декабря 1935 года E ~ 1 Mt

Всего через пять лет после бразильского события большой болид, по-видимому, врезался в джунгли Гайаны.

Опустошенная площадь джунглей «может быть равна или превышать площадь великого сибирского метеора 1908 года». Болид и область падения наблюдал золотоискатель, доктор Г. Дэвидсон:

«Около 10:30 утра мы поднялись на вершину горы, чтобы увидеть панораму окрестностей. Мы могли видеть обширные участки леса, которые были сметены какой-то огромной силой, деревья были скручены примерно в 25 футах над землей. Мы попытались войти в одну из этих областей, но завалы леса были столь плотны, что нам пришлось от этого отказаться». Kroff, Serge A., et al; "Tornado or Meteor Crash?" The Sky, 3:8, September 1939.

Сихотэ-Алинский метеорит 12 февраля 1947 г. Карта кратерного поля



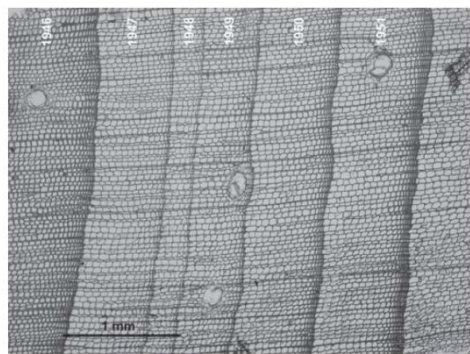
В передней (головной) части эллипса рассеяния выпали самые крупные обломки, в тыловой – самые мелкие.

В кратерном поле, площадью 0,75 км², насчитывается:

- 24 кратера диаметром более 9 м,
- 98 воронок диаметром 0,5 – 9 м,
- 78 лунок диаметром менее 0,5 м.

В кратерах метеориты от удара о Землю разлетались на множество осколков, в воронках и лунках сохранились целыми.

Самые большие экземпляры имели массу > 1 тонны, самые мелкие – < 1 г. Наличие очень крупных и очень мелких обломков указывает на крайнюю неоднородность исходного тела.



International Journal of Astrobiology, Page 1 of 6
doi:10.1017/S1473550411000309 © Cambridge University Press 2011

Tree-ring dating of meteorite fall in Sikhote-Alin, Eastern Siberia – Russia

R. Fantucci¹, Mario Di Martino² and Romano Serra³

¹Geologi Associati Fantucci e Stocchi, 01027 Montefiascone (VT), Italy

e-mail: fantucci@libero.it

²INAF-Osservatorio Astronomico di Torino, 10025 Pino Torinese, Italy

³Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, via Irnerio 46, 40126 Bologna, Italy

Fig. 4. Transverse wood section of sample n.4 showing growth anomaly in 1947.

a

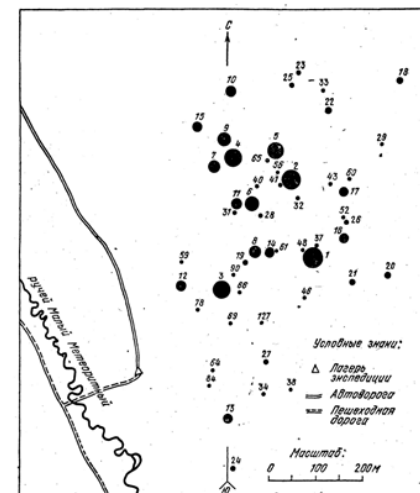
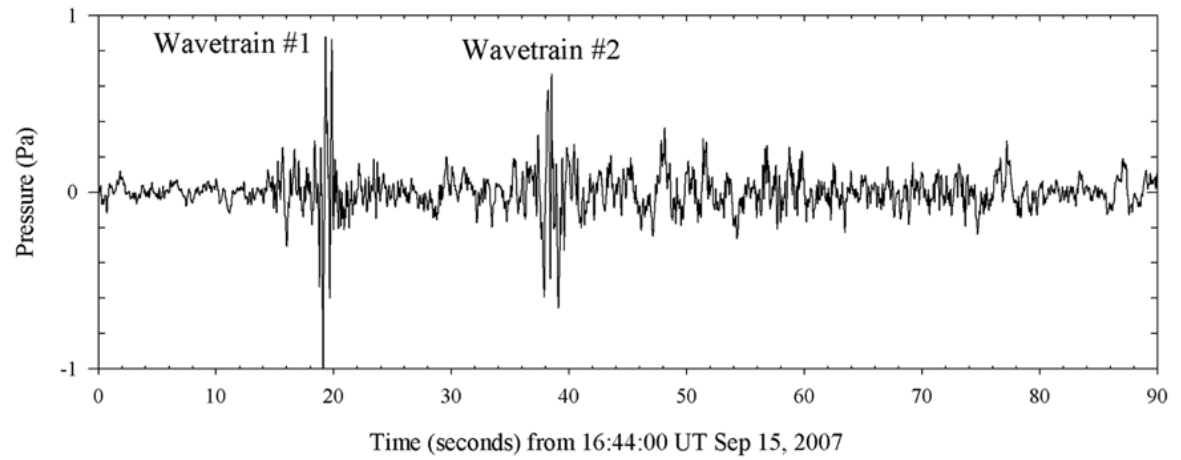
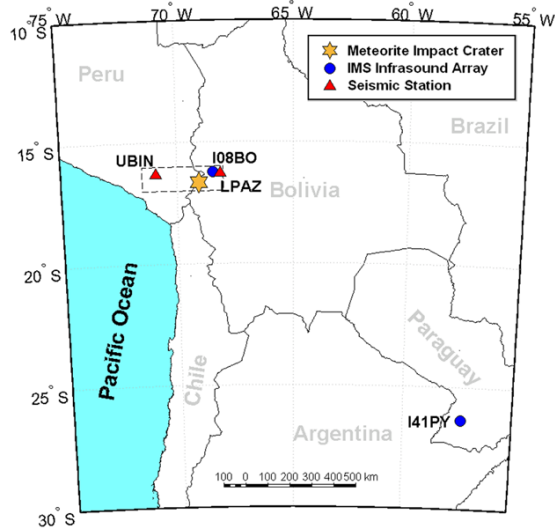
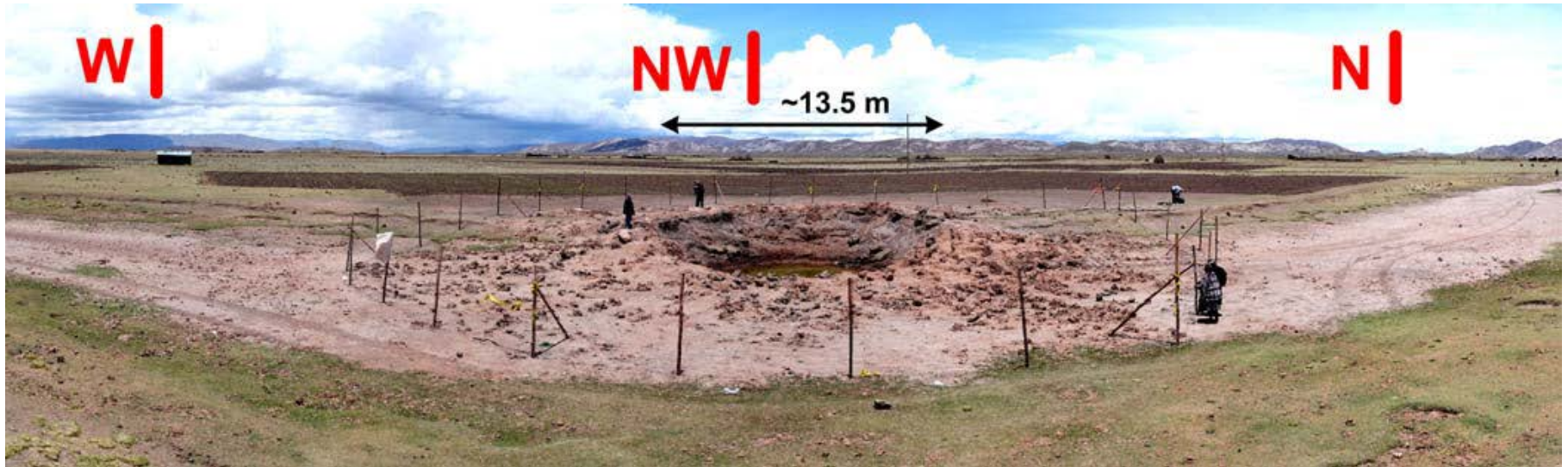


Рис. 37. Схематическая карта кратерного поля. Числа указывают номера кратеров и воронок.

**Кратер Каранкас, Перу, 15 сентября 2007г., диаметр 13.5 м
11:45 LT (16:45 UT) $E = 10^{10}$ J equivalent to 2–3 tons of TNT**



Запись инфразвукового сигнала на станции I08.



Общий вид кратера

Кратер в Акуре, Нигерия, 28 марта 2020г. 7.28°N, 5.29°E.

Диаметр 21 м, глубина 8м. Оценка энергии взрыва $E = 20$ т ТНТ. Взрывом было повреждено около 70 домов и зданий, при этом 13 человек получили ранения. События нет в базе CNEOS



Повреждения зданий

Согласно официальной версии – воронка образовалась после взрыва грузовика, перевозившего взрывчатку. Геолог A.Adereluni (Awolowo University), обследовавший воронку, считает ее метеоритным кратером

The explosion that rocked Akure, Ondo state capital, on Saturday, was caused by a giant rock from space known as meteorite. A team of experts have concluded

International Tsunami Survey Team (ITST) Post-Tsunami Survey Field Guide

2nd Edition, 2014

UNESCO 2014

TABLE OF CONTENTS

	page
Acknowledgements	
Foreword	
Executive Summary	
1 Introduction	1
1.1 Rationale, purpose and value of post-tsunami surveys	1
1.2 Structure of this Field Guide	2
1.3 Modification of this Field Guide from the First Edition	2
1.4 Recognizing the need for 'flexible' Post-tsunami Survey Teams	4
1.5 Working with national research professionals	4
1.6 Tsunami terminology and alignment with United Nations and UNESCO natural hazards and disaster risk reduction definitions and efforts	4
2 Key Elements of the Survey	4
2.1 Before the Field Survey	5
2.1.1 Tsunami National Contact	5
2.1.2 Host Country Co-ordination Committee, Decision-making procedure	5
2.1.3 Terms of Reference	6
2.1.4 ITST Leadership (Co-ordination) and composition	7
2.1.5 Leadership	7
2.1.6 Disciplines involved in ITST surveys	8
2.1.7 Logistics	8
2.1.8 Relevant Background Information	10
2.1.9 Training	10
2.1.10 Cultural awareness, country specific regulations and practices and human research ethics	10
2.1.11 Legal requirements, visas and import/export permits	10
2.2 During the Field Survey	11
2.2.1 Entering the host country	11
2.2.2 Conducting the field survey	12
2.2.3 Exiting the country	13
2.2.4 Special Considerations	14
2.3 After the Field Survey	14
2.3.1 Reports and publications arising from the ITST	15
2.3.2 Gathering, Processing, Sharing and Distribution of Data	16

International Tsunami Survey Team (ITST) Post-Tsunami Survey Field Guide, Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals and Guides 37, 2nd Edition, 2014

Челябинский метеорит 11 февраля 2013 года



Начальная масса порядка $1.2 \cdot 10^7$ кг (12,000 тонн). Угол наклона траектории 17° . Общая оценка энергии воздушного взрыва порядка 550 кт ТНТ. Траектория падения прошла примерно в **43 км** к югу от центра Челябинска.

Мадридский метеорит 10 февраля 1896 года

«Сегодня в Мадриде тысячи людей наблюдали огненный шар или метеорит, который посеял повсюду ужас и вызвал большое количество происшествий и несчастных случаев, — сообщала газета «La Avanguardia» в своей хронике от 11 февраля 1896 года.

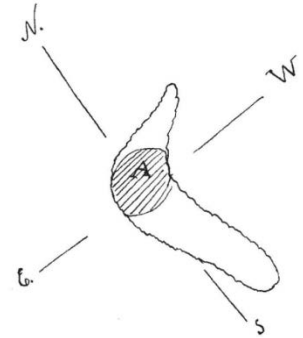


FIG. 1.—Aspect and position of the cloud some minutes after the explosion.
A, Condensation of a reddish colour.

«В 9 час 29 мин утра небо озарилось интенсивной вспышкой голубовато-белого цвета, причем настолько интенсивной, что свет проникал во внутренние помещения. День был прекрасный, с лучистым солнцем и почти штилевым ветром»

Также был слышен громкий взрыв, от которого сотряслись здания, во многих местах были разбиты стекла. Последовавший за ним мощный гул продолжался около двух минут

Много людей получило ранения, в том числе один фармацевт, Педро Эстебан, который был ранен в лоб небольшим фрагментом метеорита. Сообщалось, что упала стена каменного забора американского посольства.

Похожие явления наблюдались в большой области Испании, примерно 400 на 700 км, в частности на Балеарских островах. Найденные фрагменты метеорита находятся в Museo Nacional de Ciencias Naturales в Мадриде.

Витимский болид 25 сентября 2002 года, 01:50 местного времени



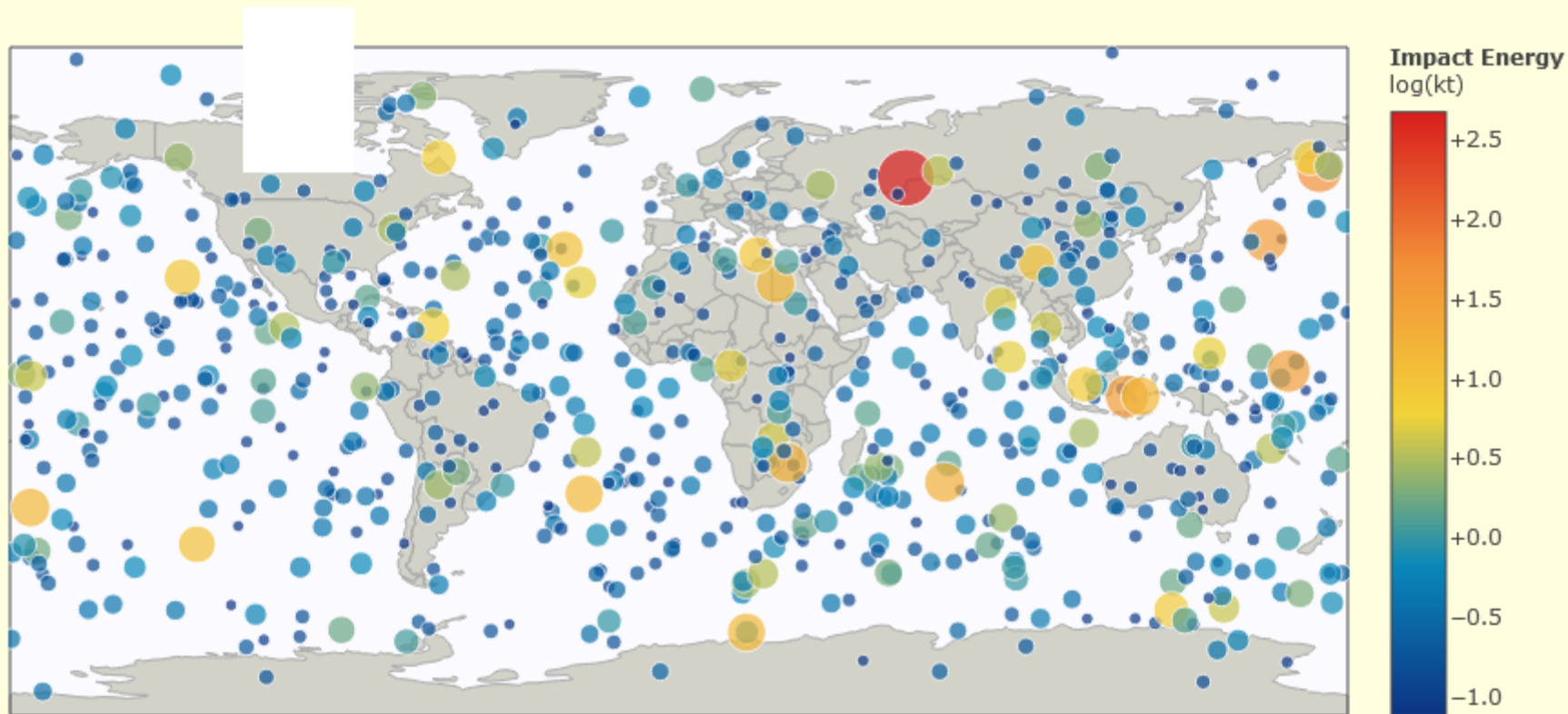
Рисунок Вадима Черноброва. Энергия взрыва порядка 2.4 кт



Несмотря на наличие спутниковых измерений траектории падения и несколько экспедиций, проведенных в 2002-2003гг. место падения так и не было достоверно установлено

Fireballs Reported by US Government Sensors

(1988-Apr-15 to 2021-Nov-08)



<https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>

Alan B. Chamberlin (JPL/Caltech)

Карта болидных взрывов, зарегистрированных в атмосфере Земли за период с 15.04.1988 по 08.11.2021 (на данный момент около 900 событий)

CNEOS database (Jet Propulsion Laboratory, Cal. Inst. of Technology (CalTech))

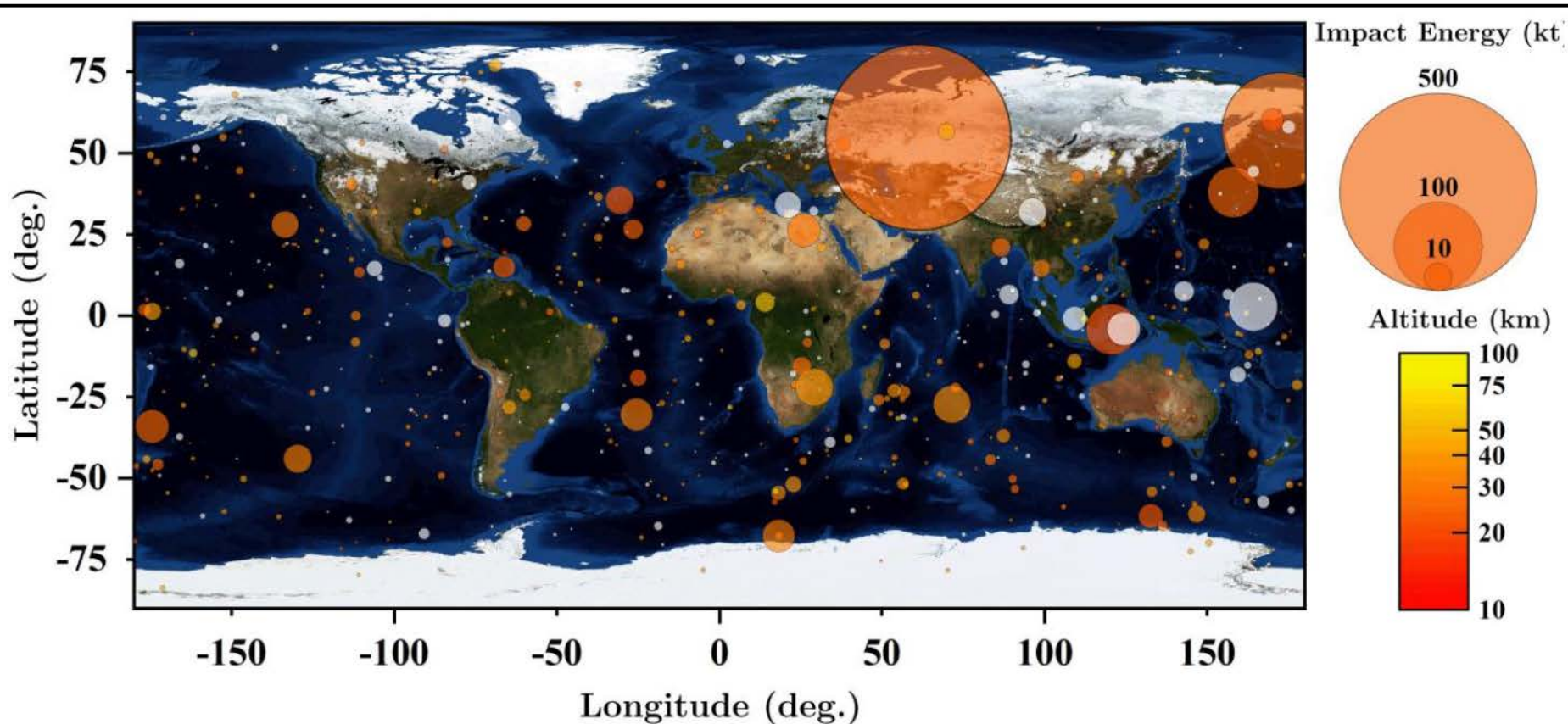


Figure 2 – Map of recent 873 events greater than 0.073 Kt from April 15, 1988 to Sept 29, 2021 air burst impacts from atmospheric infrasonic sensors. The Feb 15, 2013 Chelyabinsk 500 Kt event is clearly seen over Russia. It is important to note that the energy ranges of many of these events of asteroid strikes are in the ranges of tactical to strategic nuclear weapons. Data is through Sept 29, 2021. White colored point lack altitude data. Data from Alan B. Chamberlin (JPL/Caltech)

***Карта болидных взрывов, зарегистрированных в атмосфере
Земли за период с 15.04.1988 по 08.11.2021
(всего около 900 событий)***

CNEOS database (Jet Propulsion Laboratory, Cal. Inst. of Technology (CalTech))

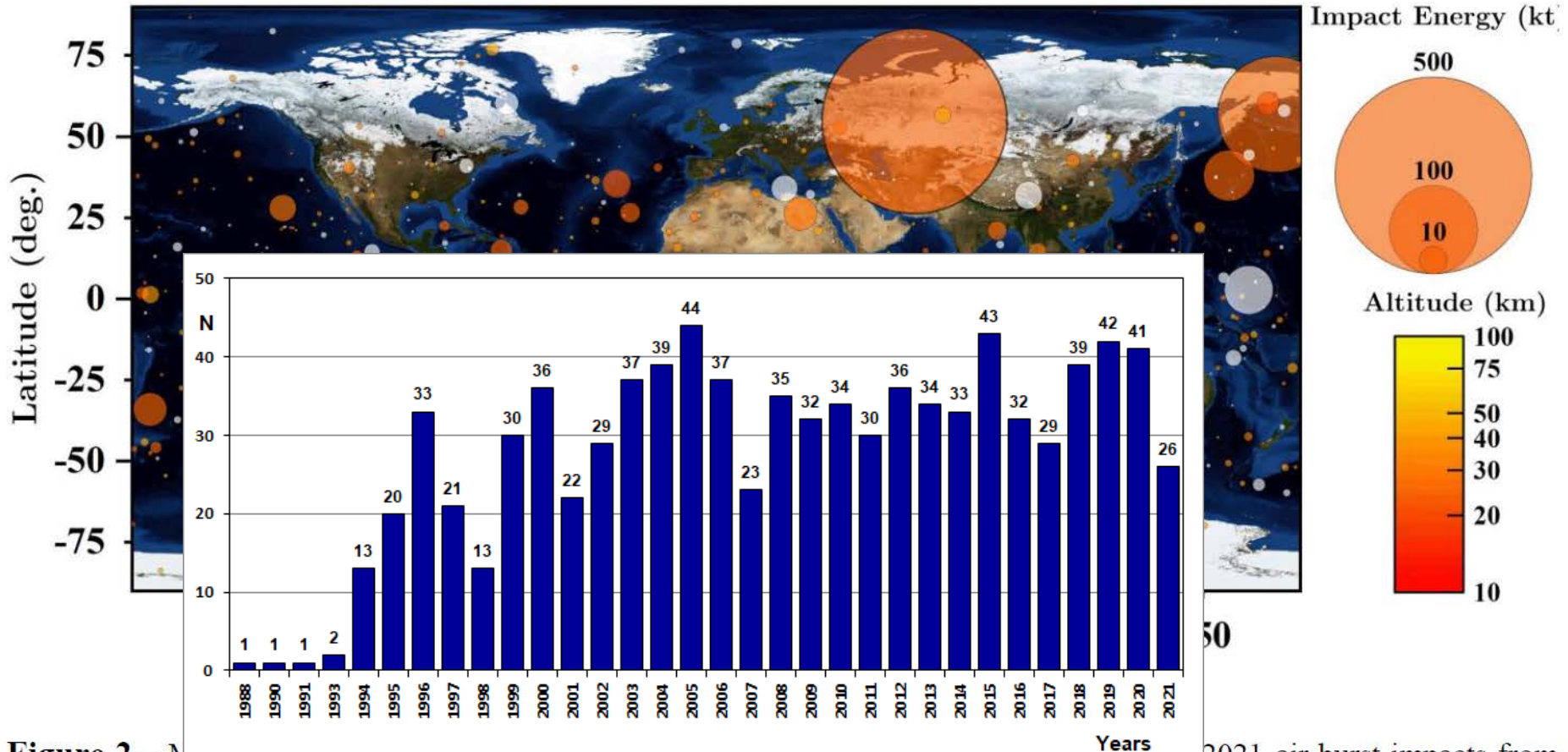
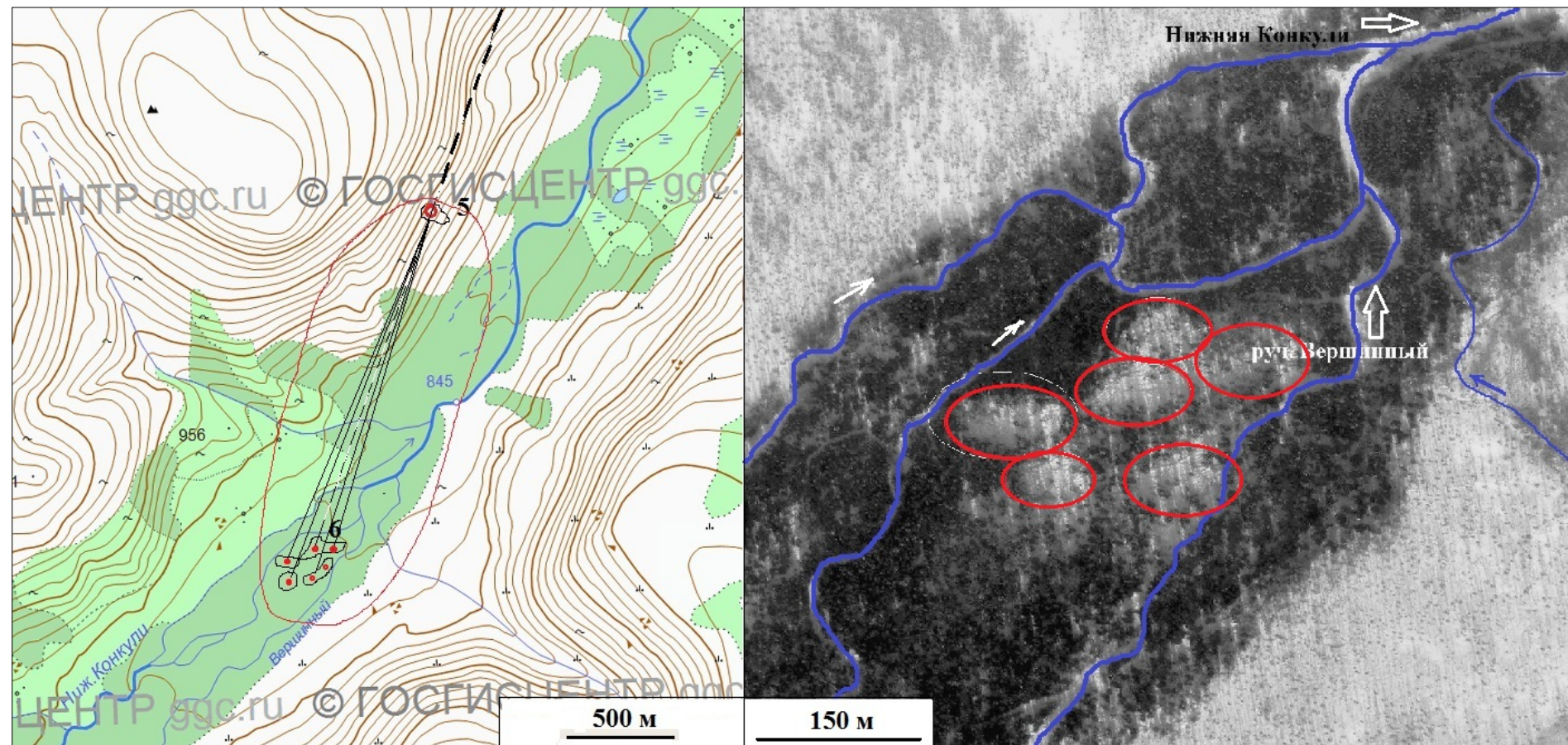


Figure 2 – Map of air burst impacts from atmospheric infrasonic sensors. The Feb 15, 2013 Chelyabinsk 500 Kt event is clearly seen over Russia. It is important to note that the energy ranges of many of these events of asteroid strikes are in the ranges of tactical to strategic nuclear weapons. Data is through Sept 29, 2021. White colored point lack altitude data. Data from Alan B. Chamberlin (JPL/Caltech)

Карта болидных взрывов, зарегистрированных в атмосфере Земли за период с 15.04.1988 по 08.11.2021 (всего около 900 событий) и временная развертка числа событий в базе



Событие произошло в одном из самых малонаселенных и труднодоступных мест РФ - в Аяно-Майском районе Хабаровского края. Ближайшие к нему населенные пункты находятся на расстоянии 200-300 км.

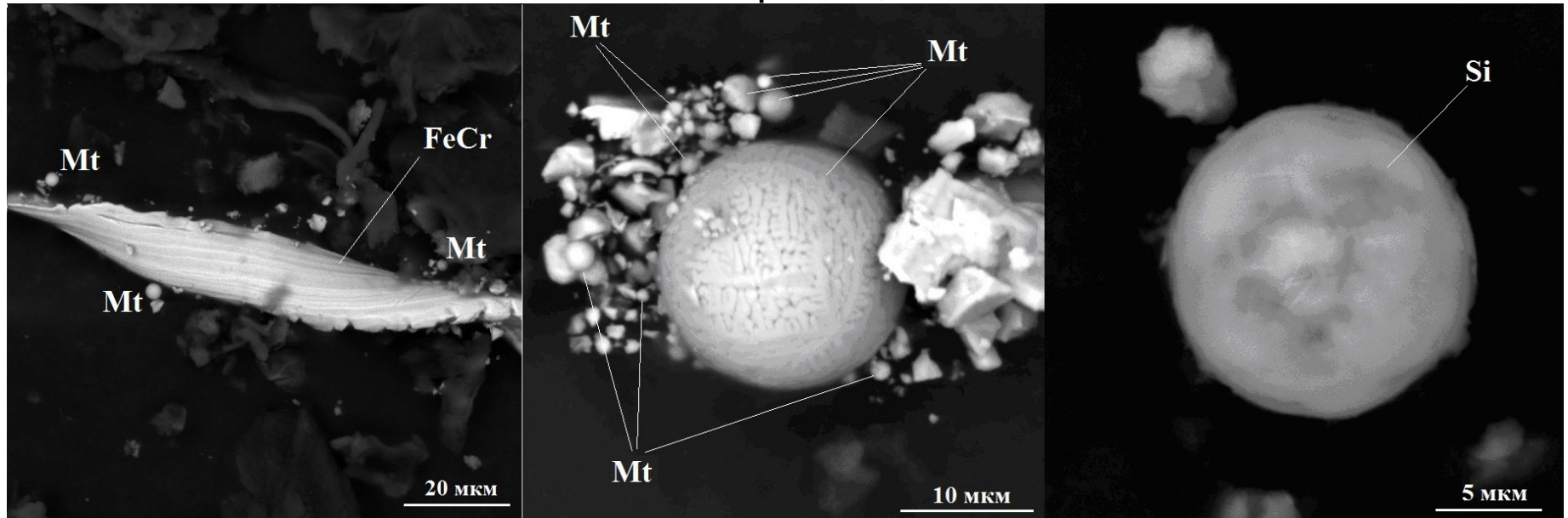


Основными свидетельствами в пользу реальности болидного взрыва и возможного падения остатков космического тела, происшедшего на р.Н.Конкули в августе 1993 года являются: (1) масштабный вывал леса площадью 4-5 кв. км, (2) следы недавних разрушений (подвижек, сколов, переворотов камней) на левом борту долины, идентифицированные вначале на спутниковых снимках, и подтвержденные затем полевым обследованием, (3) повышенной (сравнительно с фоновой) концентрацией микрочастиц космогенной природы в верхней части образцов торфа из района падения (микросферулы, микротрубки, микрочастицы Fe, Ni, Nd, Cr)

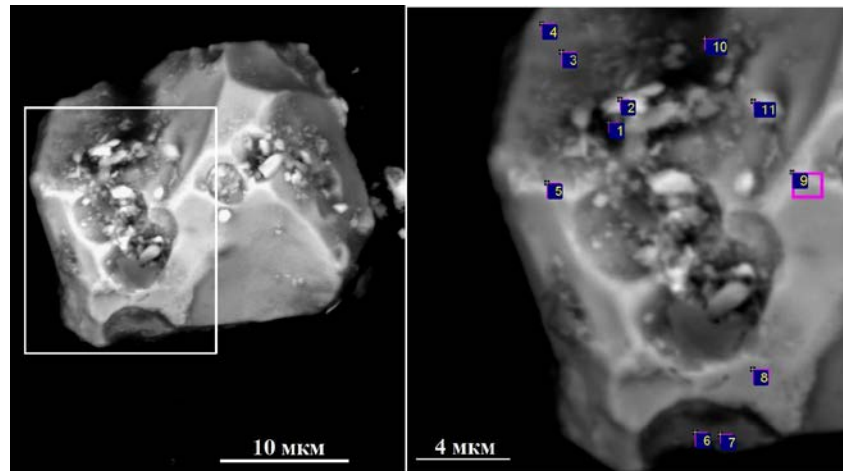


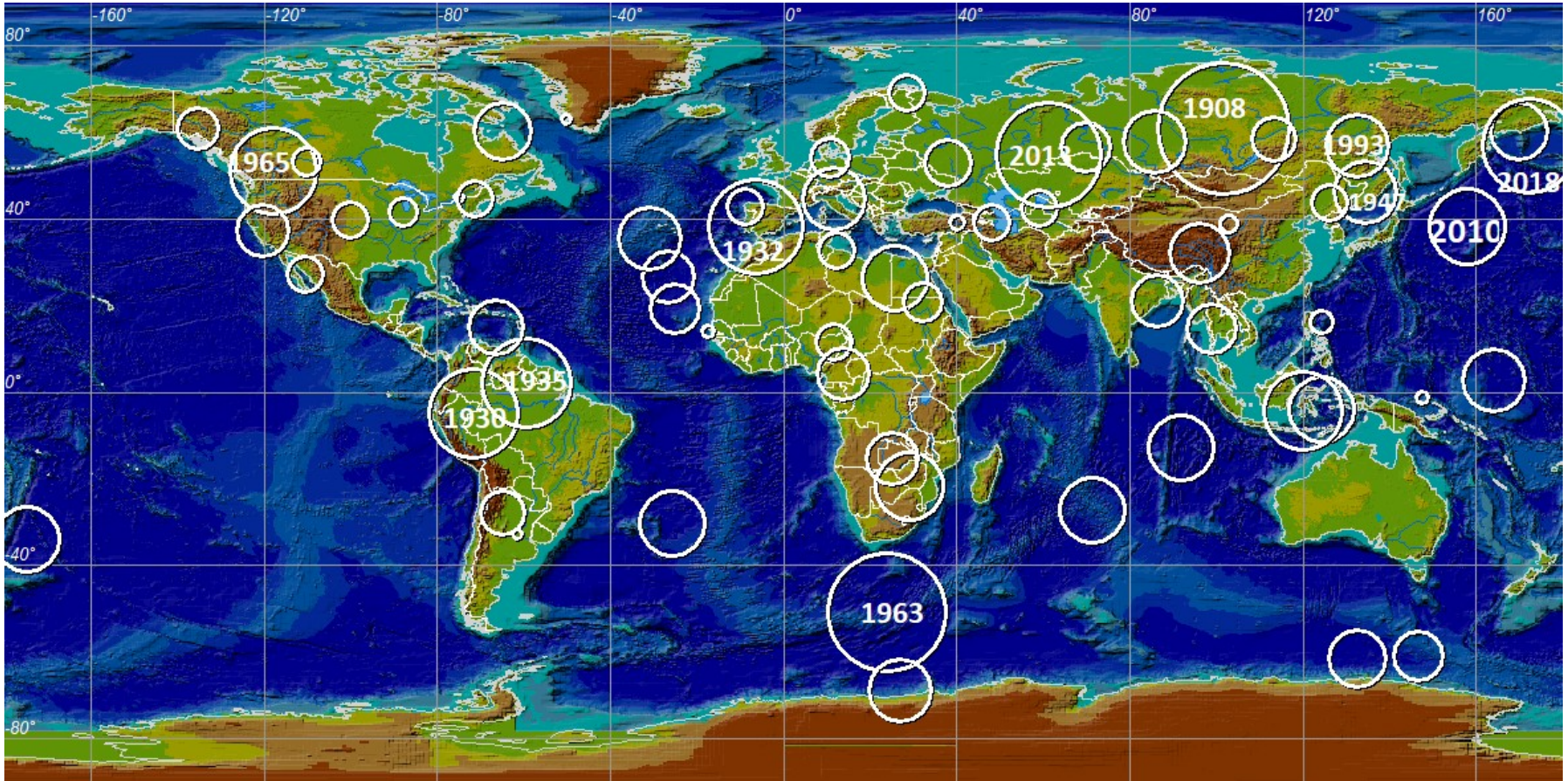
Вывал леса в долине р.Н.Конкули. Фото И.Амелина. Август 2017 года

Найдена повышенная концентрация магнетитовых и силикатных шариков,



микрочастиц железа с высоким содержанием никеля (“метеоритные” минералы FeNi - тэнит, аваруит), а также со значительной примесью редкоземельных элементов (неодим, празеодим).





Карта мест падений больших метеоритов и крупнейших болидных взрывов в атмосфере за последние 120 лет. Размер кружков пропорционален энергии падения или взрыва (всего около 85 событий)

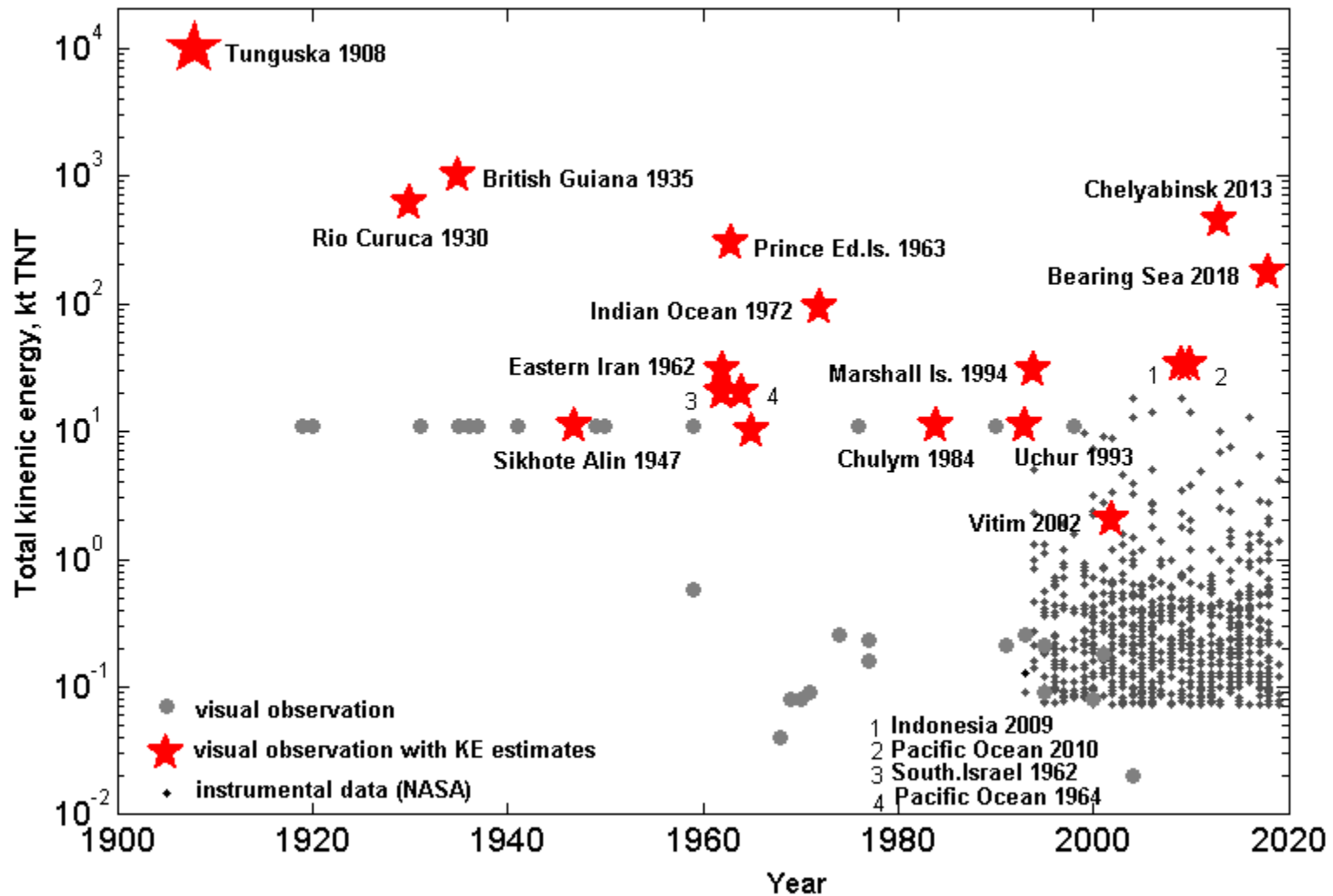


Диаграмма $E(t)$ – падение космических тел на Землю в течение последних 120 лет

Бликие пролеты (close flybys) и тесные сближения

Помимо зафиксированных падений на землю и болидных взрывов опасность также представляют близкие пролеты космических тел.

Согласно имеющимся оценкам, несколько десятков метеоритов размером порядка Челябинского (10-12 м) заходят внутрь лунной орбиты ежегодно, но только часть из них фактически обнаруживается современными средствами наблюдения за небесной сферой.

По оценкам специалистов Near-Earth Object Program Office, Pasadena, CA астероид размером с 2012 DA14 (диаметр около 30 метров, масса около 40 000 т) пролетает в пределах лунной орбиты в среднем каждые 40 лет и столкнется с Землей в среднем примерно раз в 1200 лет.

Year	Date of closest approach	Date discovered	Object	Nominal geocentric distance (in 000's km)	Nominal geocentric distance (in LD)	Size of object (in meters)	(H)	Ref
2095	2095-09-06	2010-09-05	2010 RF ₁₂	39.1	0.10	7	28.4	JPL · CAD
2034	2034-05-06	2014-04-29	2014 HB ₁₇₇	88.9	0.23	6–14	28.1	JPL · CAD
2032	2032-08-14	2008-02-18	2008 DB	125.0	0.32	19–43	25.7	JPL · CAD
2029	2029-04-13	2004-06-19	99942 Apophis	38.0	0.10	310–340	19.7	JPL · CAD
2028	2028-06-26	2001-11-20	(153814) 2001 WN ₅	248.7	0.65	610–1400	18.2	JPL · CAD
2021	2021-02-09	2021-02-09	2021 CZ ₃	22.7	0.06	1.7–3.9	30.9	JPL · CAD
	2020-11-13	2020-11-14	2020 VT ₄	9.3	0.02	4.8–11	28.7	JPL · CAD

Ожидаемые сближения в XXI века

Заключение

- **Даже для современного инструментального периода (последние 120 лет) каталог падений космических тел на Землю является существенно неполным и не дает возможности надежно оценить повторяемость таких падений.**
- **На глобальном уровне не существует непрерывной системы наблюдений, специально предназначенной для фиксации таких падений.**
- **Не существует согласованных и стандартизированных процедур изучения мест возможных падений и поиска материальных остатков**
- **Помимо зафиксированных падений и болидных взрывов опасность также представляют близкие пролеты космических тел. Число таких сближений непрерывно нарастает по мере развития систем наблюдений за «ближним космосом»**

a