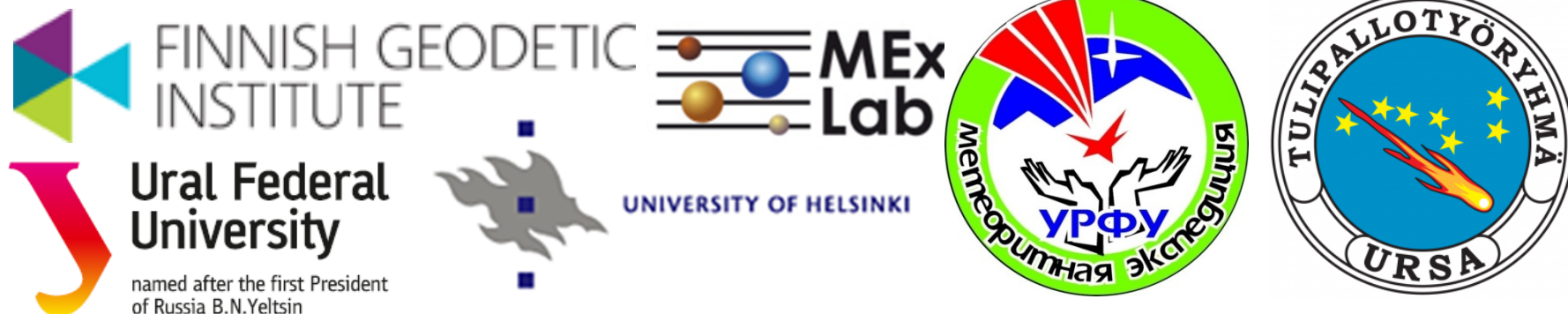




ANALYSIS OF THE BRIGHT FIREBALL OVER KOLA PENINSULA ON APRIL 19, 2014 FOLLOWED BY SUCCESSFUL METEORITE RECOVERY CAMPAIGN

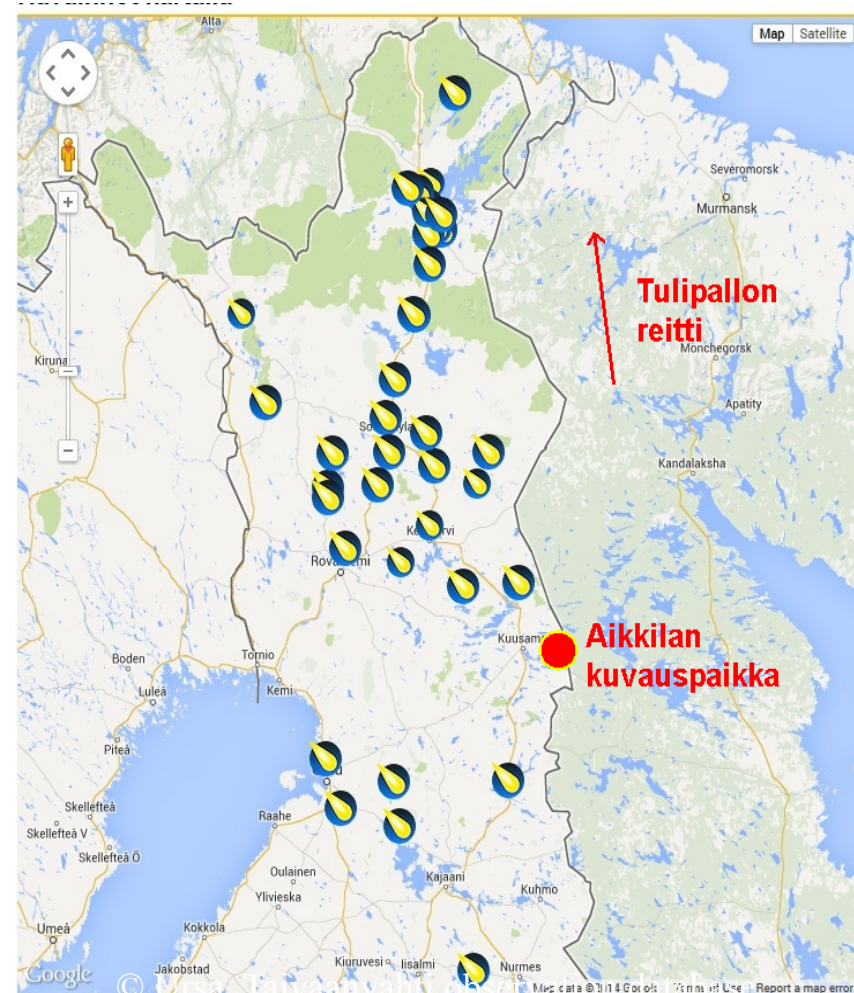
M. Gritsevich, E. Lyytinen, T. Kohout, J. Moilanen,
S. Midtskogen, N. Kruglikov, A. Ischenko, G. Yakovlev,
V. Grokhovsky, J. Haloda, P. Halodova, V. Lupovka,
V. Dmitriev, J. Peltoniemi, A. Aikkila, A. Taavitsainen,
J. Lauanne, M. Pekkola, P. Kokko, and P. Lahtinen

maria.gritsevich@fgi.fi

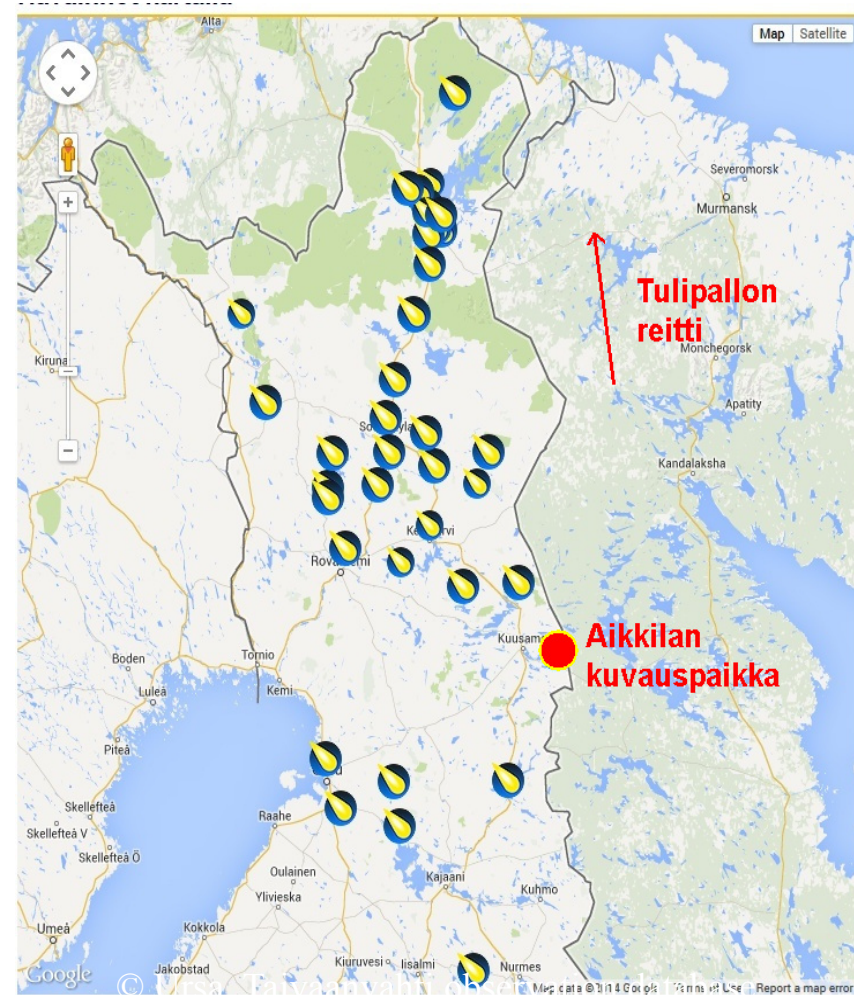
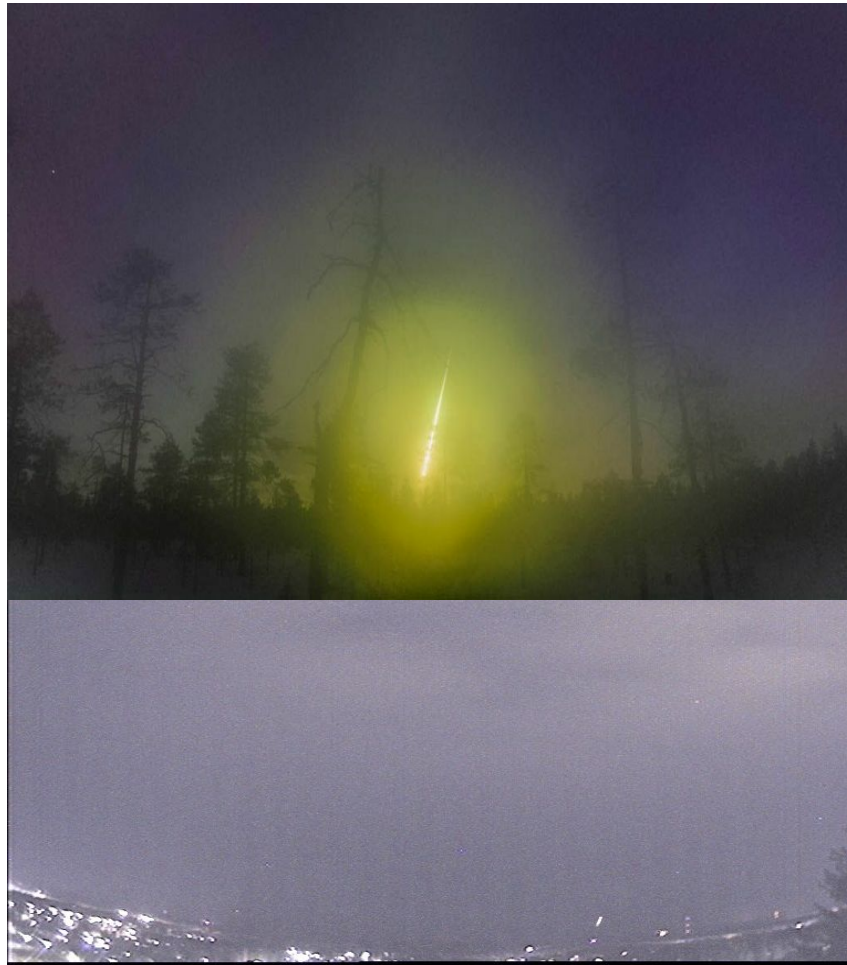
Murmansk / Kola fireball, April 19, 2014



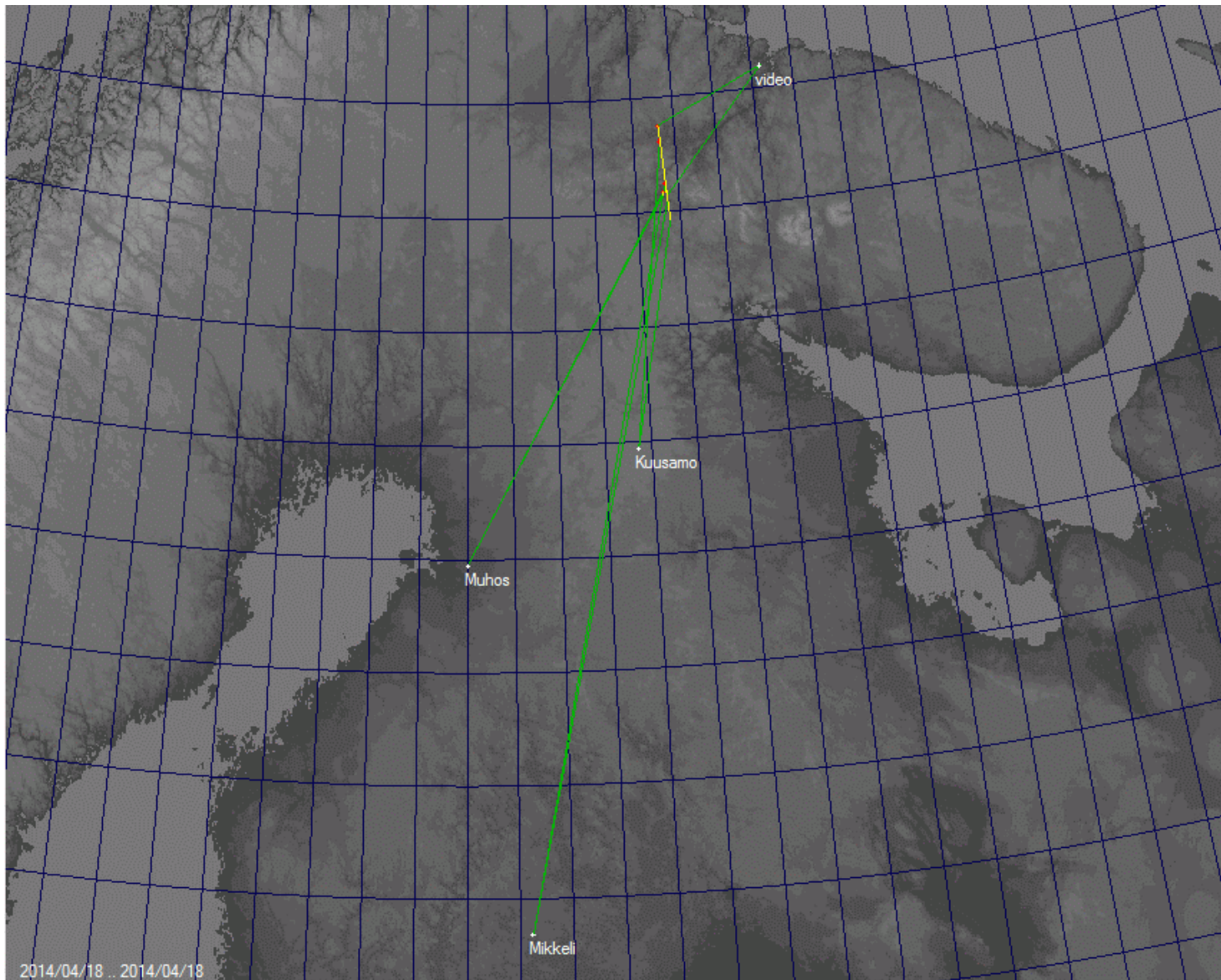
- The fireball was very bright and was witnessed in Russia, Finland, and Norway
- Finnish Fireball Network imaged the fireball from Kuusamo, Mikkeli and Muhos sites
- Dash-board video made in Snezhnogorsk



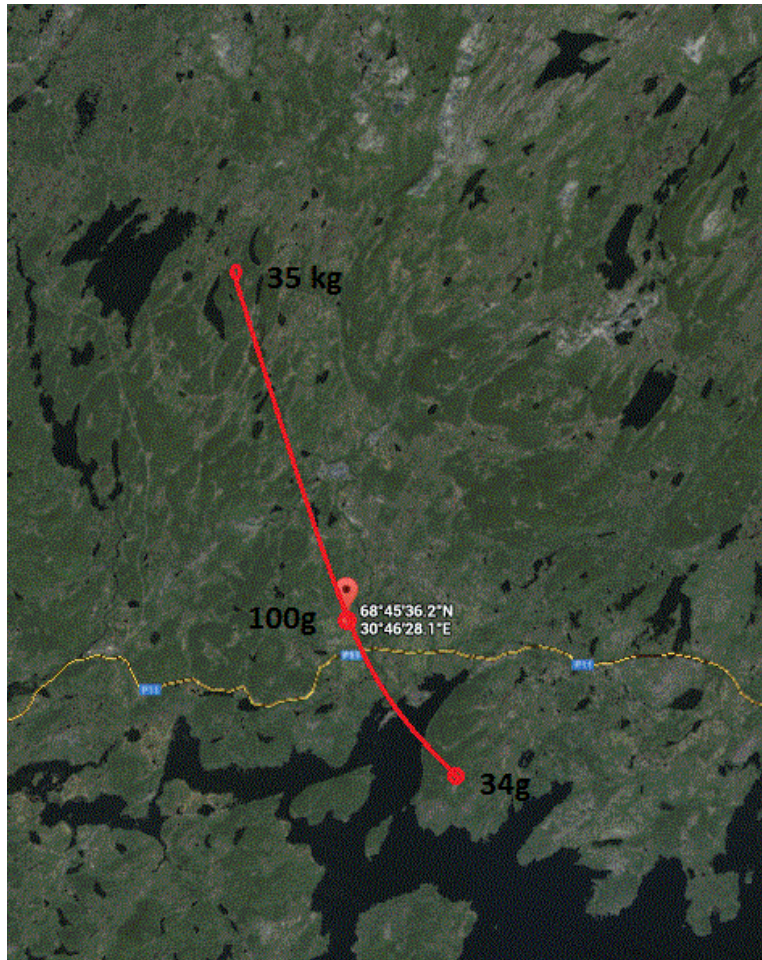
Kola fireball, April 19, 2014



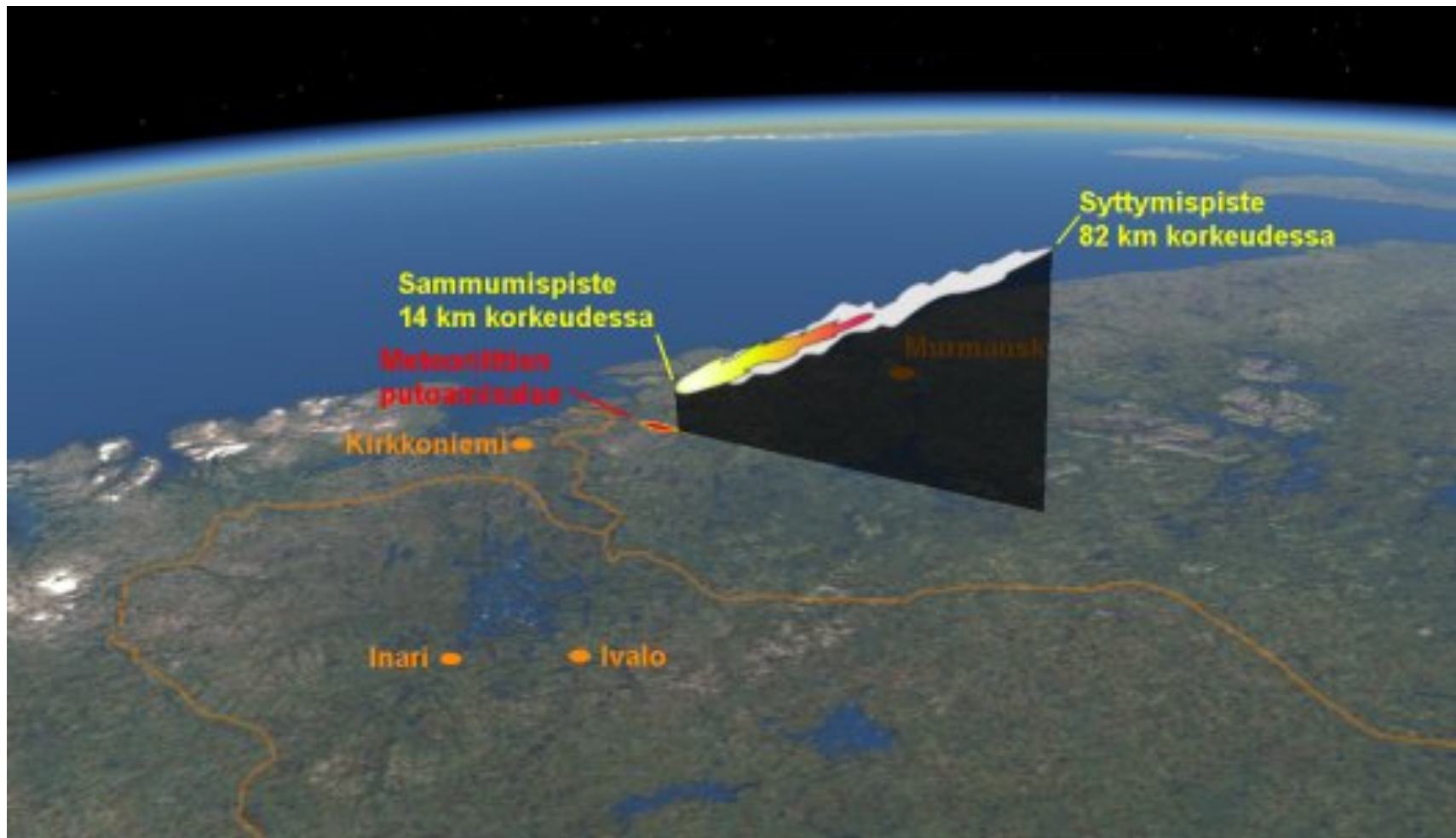
Murmansk / Kola fireball, April 19, 2014



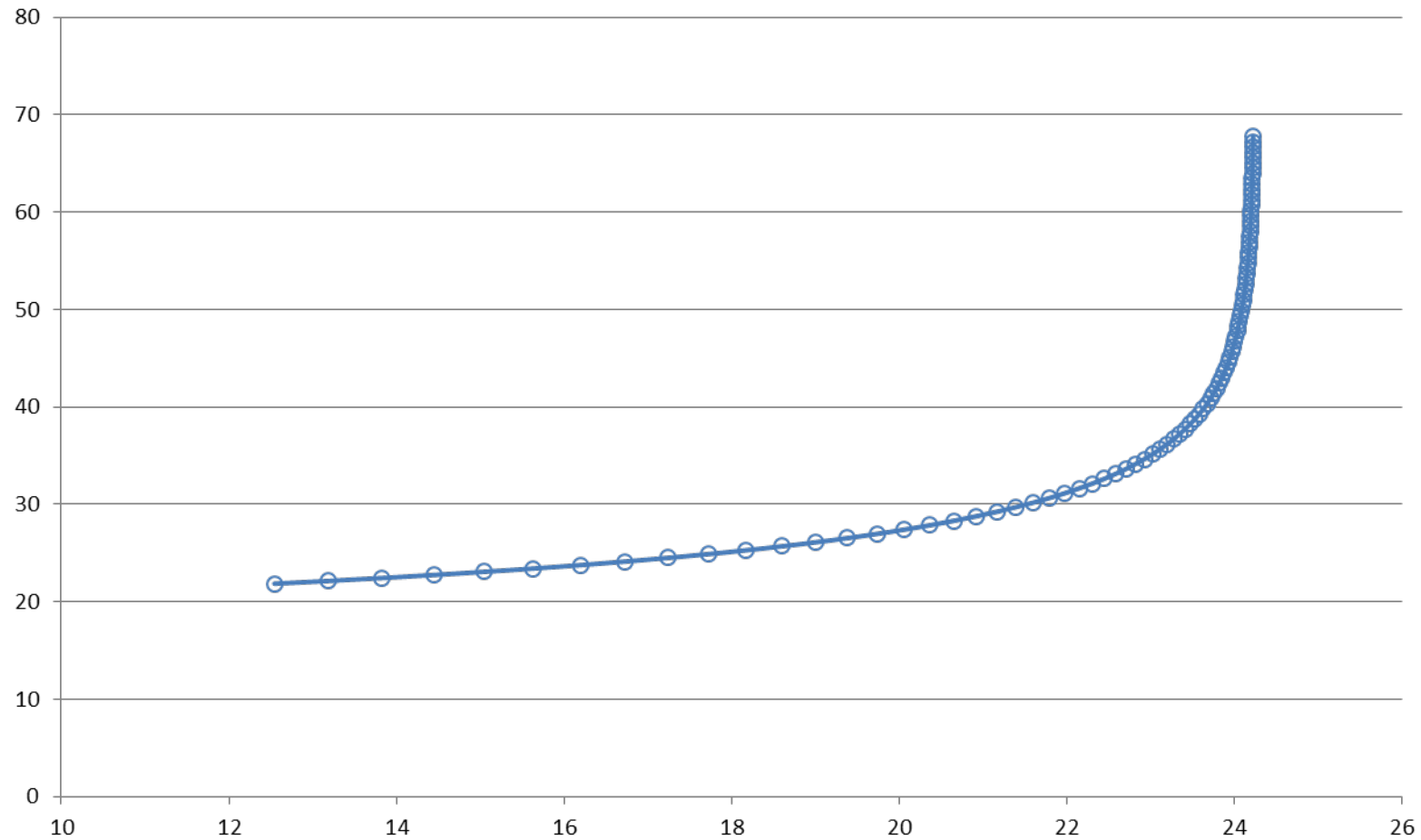
Projection of the fireball track



Visualization of the fireball



Height (km) vs Velocity (km/s)



Used parameterisation

$$\alpha = \frac{1}{2} c_d \frac{\rho_0 h_0 S_e}{M_e \sin \gamma}, \quad \beta = (1 - \mu) \frac{c_h V_e^2}{2 c_d H^*}, \quad \mu = \log_m s$$

α characterizes the aerobraking efficiency, since it is proportional to the ratio of the mass of the atmospheric column along the trajectory, which has the cross section S_e , to the body's mass

β is proportional to the ratio of the fraction of the kinetic energy of the unit body's mass to the effective destruction enthalpy

μ characterizes the possible role of the meteoroid rotation in the course of the flight

Matching first integrals of dynamical eqs.

□ Initial conditions

$$\begin{aligned}y &= h/h_0 = \infty, \\v &= V/V_e = 1, \\m &= M/M_e = 1\end{aligned}$$

$$m(v) = \exp\left(-\beta \frac{1-v^2}{1-\mu}\right)$$

$$y(v) = \ln 2\alpha + \beta - \ln(\bar{E}i(\beta) - \bar{E}i(\beta v^2))$$

where by definition:

$$\bar{E}i(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^z dz}{z}$$

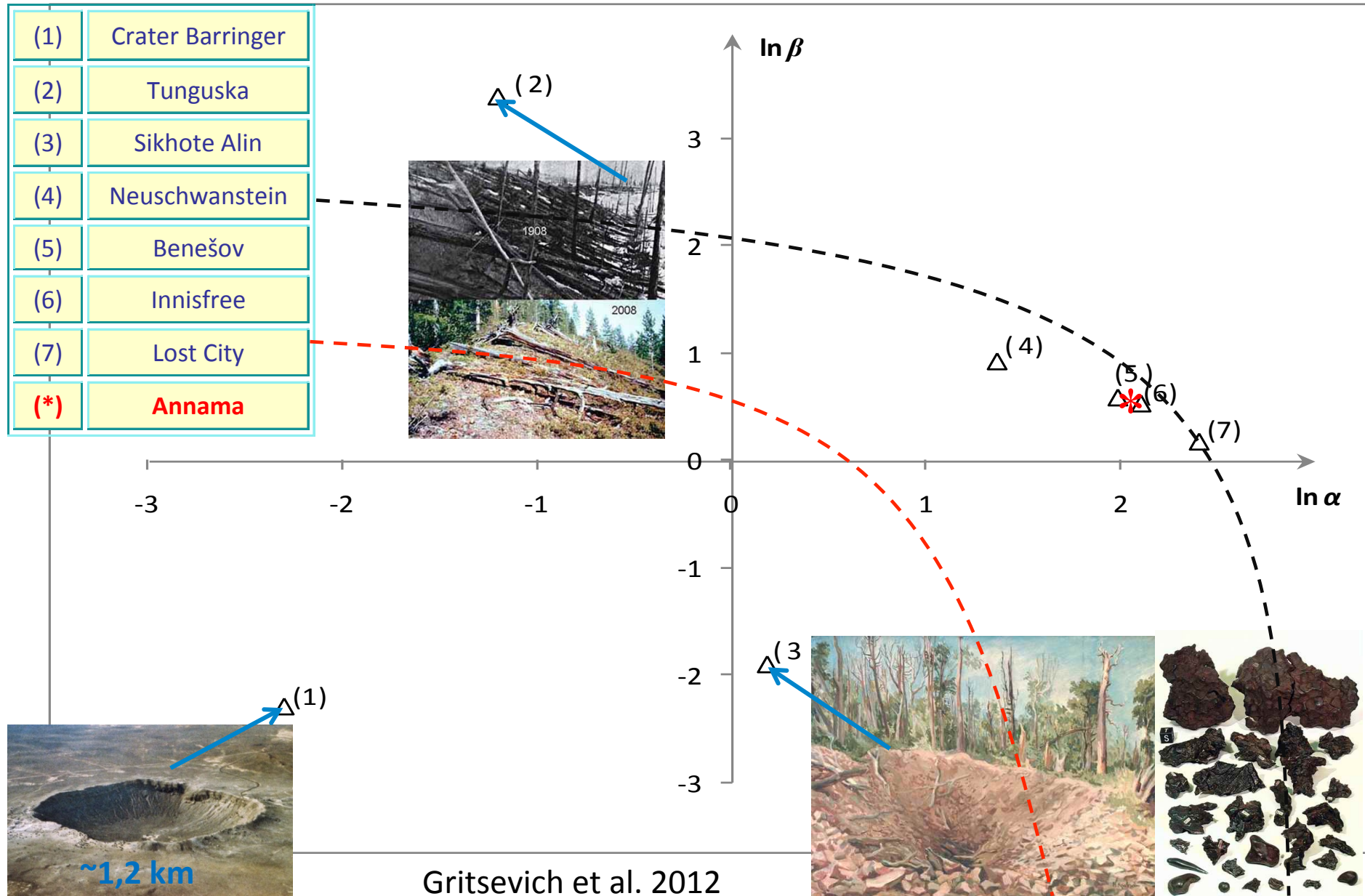
Results of calculations

V_e, km/s	γ	α	β	M_e	M_t
24,23	33,7°	8,33	1,61	476 kg	13,8 kg

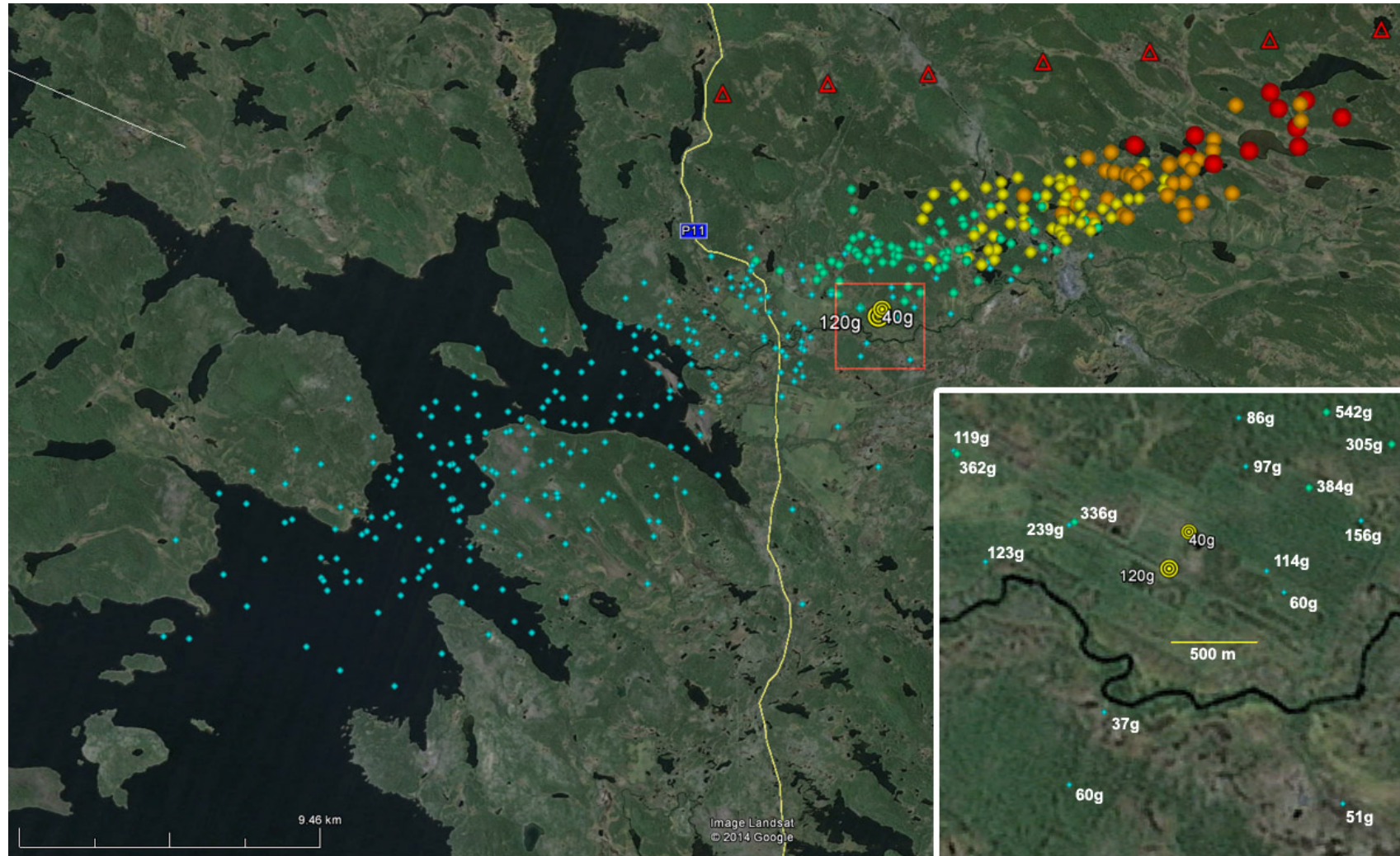
Fit well to the other meteorite falls

fireball	V_e , km/s	$\sin \gamma$	α	β
Annama	24,23	0,55	8,33	1,61
Lost City	14,15	0,61	11,11	1,16
Innisfree	14,54	0,93	8,25	1,70
Neuschwanstein	20,95	0,76	3,92	2,57

Fit well to meteorite /crater production criteria

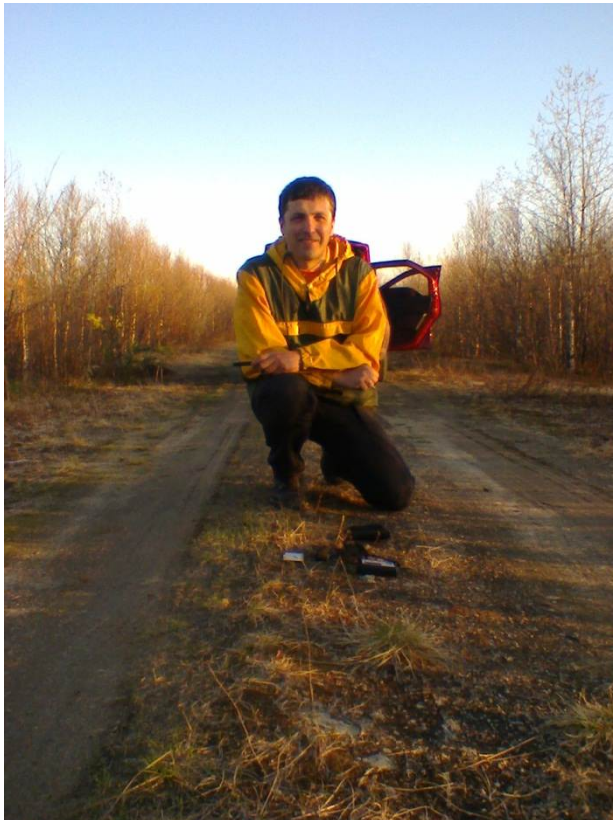


Numerical simulations



Color code of simulated fragments: blue are <0.3 kg, green 0.3 - 1 kg, yellow 1 - 3 kg, orange 3 - 10 kg, red >10 kg

5 days meteorite expedition

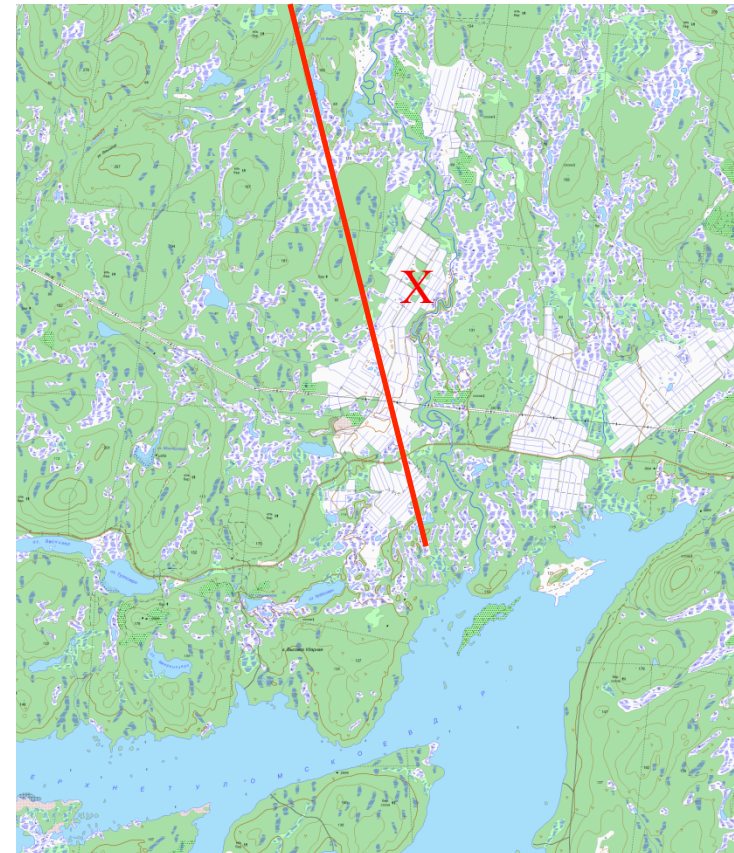


120.35 g



May, 29 first meteorite recovered ☺

The second meteorite found on May, 30



Annama meteorite

- Analysis done in June at the Czech Geological Survey & Univ. Helsinki
- H5 ordinary chondrite
- S2 shock level
- W0 weathering degree
- Bulk density 3,5 g/cm³
- Grain density 3,8 g/cm³
- Porosity 5 %



Further recovery campaigns

- Landing area is surrounded by wetlands
- Recovery of remaining fragments is difficult..

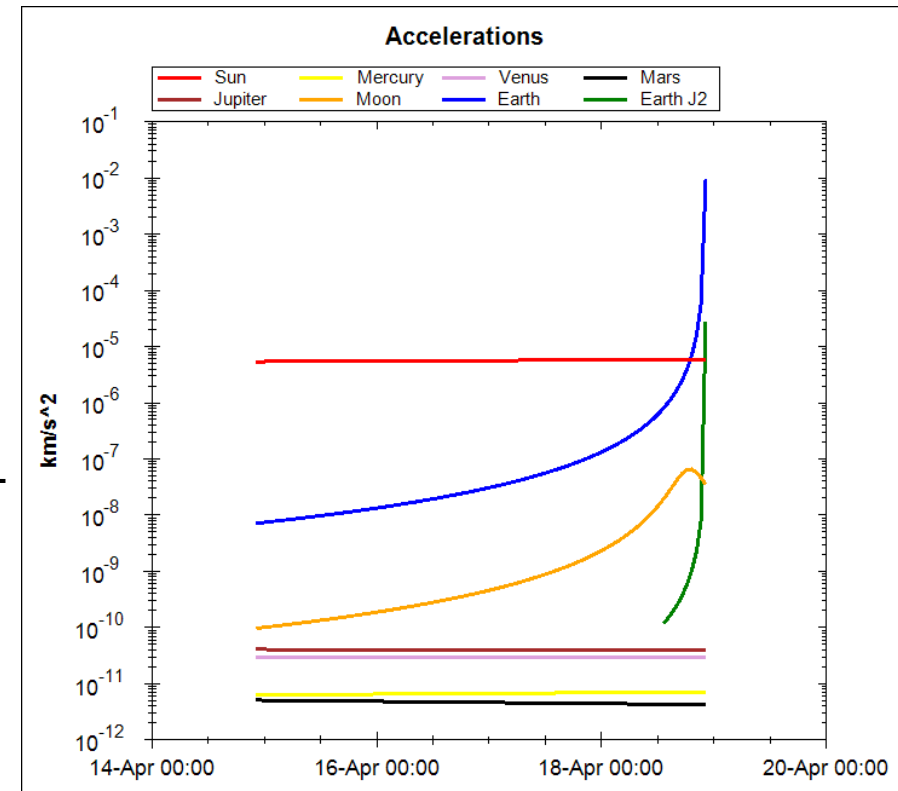


Orbit determination

The orbit was determined by numerical integration of the equations of motion:

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{GM_{sun}}{r^3} \vec{r} + \ddot{\vec{r}}_{Earth}(r, t) + \ddot{\vec{r}}_{EarthGravField}(C_{nm}, S_{nm}, r, t) + \ddot{\vec{r}}_{Moon}(\vec{r}, t) + \sum \ddot{\vec{r}}_{planets}(\vec{r}, t) + \ddot{\vec{r}}_{atm}(\vec{r}, t).$$

The equations were integrated back in time up to the intersection of the meteoroid's orbit with the Hill sphere of the Earth

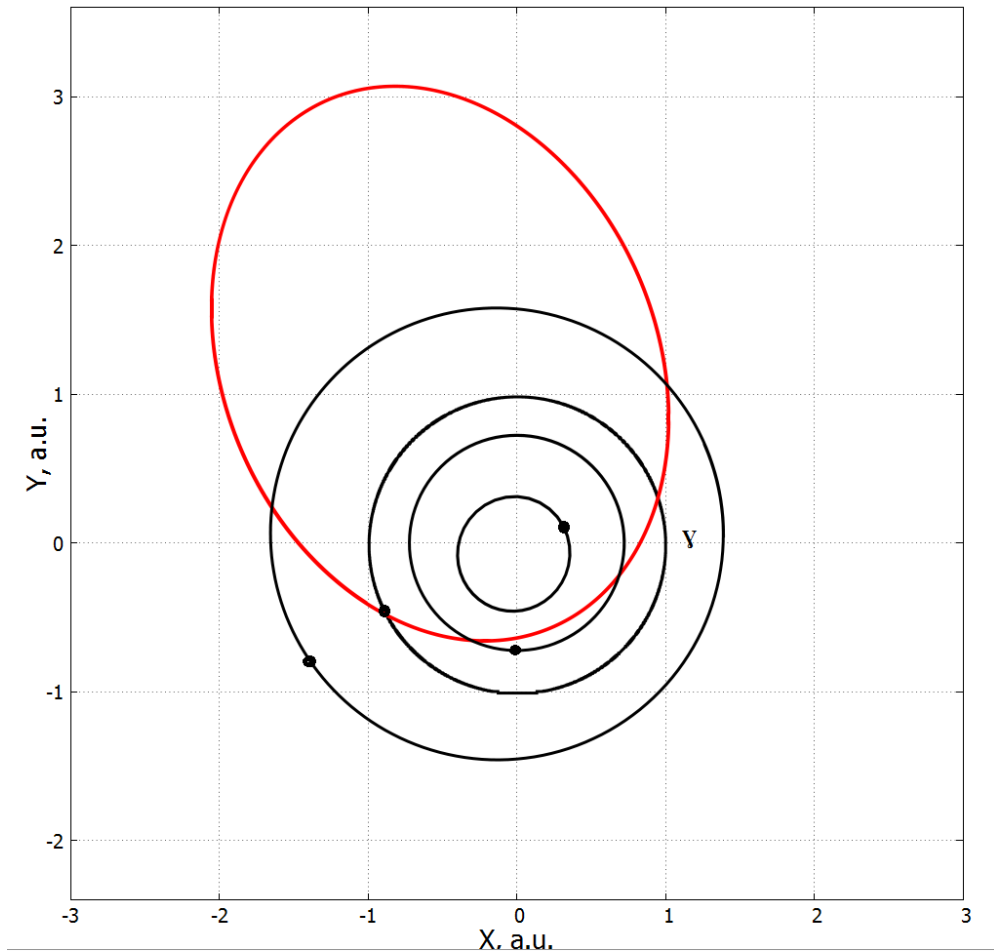


Preatmospheric accelerations
in motion of the meteoroid

Orbital parameters

Name	Annama 20140418	RMS
Epoch	2014-04-18T22:14:30	
B, deg	67.932	
L, deg	30.762	
H, km	83.87	
Az, deg	176.1	±0.20
El, deg	34.3	±0.40
V, km/s	24.23	±0.50
Epoch	2014-04-14T22:14:30	
a, AU	1.99	±0.12
e	0.69	±0.02
i, deg	14.65	±0.46
Ω , deg	28.611	±0.001
ω , deg	264.77	±0.55
M, deg	342.10	±1.81

Apollo-type orbit of the meteoroid



Search for similar orbits

<i>Meteorite</i>	<i>A, a.u.</i>	<i>e</i>	<i>I,°</i>	<i>Ω,°</i>	<i>ω,°</i>	<i>Tisserand (T)</i>	<i>Dsh</i>
Annama 20140418	1.99±0.12	0.69±0.02	14.65±0.46	28.611±0.001	264.77±0.55	3.49±0.20	±0.01
<i>Meteorite</i>	<i>A, a.u.</i>	<i>e</i>	<i>I,°</i>	<i>Ω,°</i>	<i>ω,°</i>	<i>ΔT</i>	<i>Dsh</i>
Grimsby (Canada, 2009)	2.04000	0.51800	28.070	159.865	182.956	0.011	inf
<i>Apollo asteroids</i>	<i>A, a.u.</i>	<i>e</i>	<i>I,°</i>	<i>Ω,°</i>	<i>ω,°</i>	<i>ΔT</i>	<i>Dsh</i>
(2005 NE7)	2.04703	0.64736	9.520	80.452	306.861	0.0001	0.089
(2013 LY28)	2.02037	0.65922	15.417	262.677	82.827	0.006	0.060
(2012 HJ8)	1.91545	0.72116	13.691	126.024	334.138	0.048	0.063
(2012 TT5)	2.07631	0.65506	15.225	12.369	272.254	0.058	0.200
(2006 EV52)	2.01650	0.70754	15.937	168.557	167.089	0.058	0.246
(2004 HF12)	2.13400	0.65080	13.363	22.643	104.974	0.100	0.104
(1996 TC1)	1.86751	0.72007	14.531	5.012	258.813	0.106	0.223
(2006 WK130)	2.10739	0.68226	13.800	72.162	276.955	0.112	0.167

Conclusions

- (only) 22nd meteorite with known orbit
- Successful trajectory reconstruction & meteorite recovery (only about 100 meters from the nominal landing site prediction)
- Similar ‘scaling’ parameters as for the Innisfree meteorite
- H5 ordinary chondrite, S2W0
- Known physical properties (bulk and grain density, porosity, magnetic susceptibility)

AURINGON SISÄR LÖYTYI • HUIKEAT HALONÄYTELMÄT • SOVELLUKSET WINDOWS-PUHELIMEEN



Tähdet ja avaruus

PÖHJOISMAIDEN SUURIN TÄHTITIEDELEHTI

5|2014

ENSIMMÄINEN TETRAKVARKKI

Nyt havaittu hiukkanen
auttaa ymmärtämään
neutronitähtien sisuksia

10 VUODEN TUTKIMUSMATKA

Cassini-luotain
seikkailee Saturnuksen
järjestelmässä

GALE-KRAATTERIN ILMASTO YLLÄTTI

Suomalaislaitteet
löysivät Marsista
5 uutta sääilmiötä

TÄHTITIEDETTÄ MEGALIITEISTA

Tuhannet pystykivet
seisovat jonoissa
Ranskan rannikolla



Tässä se on!

Huhtikuisesta tulipallosta
alkanut salapoliisityö johti
historialliseen meteoriittilöytöön



Ursan tulipallotyöryhmän havainnot ja tarkan putoamisalueen laskenta ovat ensimmäistä kertaa johtaneet meteoriitin löytymiseen. Suomalaisten ja venäläisten tutkijoiden sekä harrastajien yhteistyössä järjestämässä etsinnässä löytyi kaksi avaruuskiveä. Kuolan niemimaan ensimmäinen meteoriitti on peräisin Pohjois-Suomen taivailla 19.4. näkyneestä suuresta tulipallosta.

TEKSTI MIKKO SUOMINEN JA MARKO PEKKOLA

Täysosuma!

Kuolan meteoriitti löydettiin

Huhtikuun 19. päivän yönä kello 1.16 Pohjois-Suomen taivailla lensi suuri tulipallo. Aamuaisesta ajankohdasta huolimatta Ursan Taivaanvahtihavaintopalveluun ilmestyi yli 40 havaintoa vaikuttavasta ilmiöstä.

Tseljabinskin yllä hajonneen asteroidin tapan tulipallo tallentui venäläisten autojen kolarikameroihin Murmanskin alueella. YouTubeen ladatut videot nousivat uutisotsikoihin Yhdysvaltoja myöten.

Avaruudessa vaeltaneen kappaleen massaksi arvioitiin aluksi noin sata kiloa, mutta mallinnuksen edetessä kappale varmistui yhä kookkaammaksi.

"Alkoi näyttää siltä, että Kuolan yllä maapalloon osui peräti 500 kilon eli puolen tonnin meteoriidi", Esko Lyytinen kertoo. "Suuri osa siitä tuhoutui ilmakehässä, ja kappale hajosi lennon aikana. Oli selvää, että muutaman pääkappaleen lisäksi maanpinnalle oli päätyntä paljon pikkupalasia."

RATKAISEVISTA VALOKUVISTA KOLME SUOMESTA

Jälleen kerran Ursan tulipallotyöryhmän jäsenet olivat onnistuneet tallentamaan ilmiön

kuviin, joiden perusteella radanmääritys oli mahdollinen.

Kuolan suuri tulipallo löytyi Aki Taavitsaisen ja Jani Lauanteen kamera-asemalta Mikkelissä, Asko Aikkilalta Kuusamossa ja Pekka Kokolta Muhoksessa.

Tulipallotyöryhmän matemaatikko Esko Lyytinen ryhtyi laskemaan meteoriitin tarkkaa putoamispaikkaa. Tarkistuksissa ja meteoroidin pimeän lennon vaiheen simulaatioissa häntä avustivat Jarmo Moilanen ja Steinar Midtskogen.

Pitkällisen yrityksen jälkeen yksi venäläisistä autovideoista oli tarkalleen paikannettavissa.

Google Mapsin tienvarsinäkymistä löytyi viimein juuri se kohta, jossa kuljettaja oli ajanut autoaan Kuolan niemimaalla, kun tulipallo oli syöksynyt edessä olevan tien yli. Näin yhtä YouTubeen videoita pystyttiin käyttämään kuvadokumenttina lentoradan määrittämisessä.

Lopulta kaikki laskut täsmäsivät kapeaan alueeseen itärajan takana.

Meteoriittien todennäköisin putoamispaikka oli noin 10 neliökilometrin kokoinen alue sata kilometriä Murmanskista länteen Venäjän ja Norjan rajan tuntumassa lähellä Petsamoa.

KIVI PUTOSI KESKELLE TIETÄ

Ursan tulipallotyöryhmän jäsenet, tutkijat Tomas Kohout Helsingin yliopiston fysiikan laitokselta ja Maria Gritsevich Geodeettiselta laitokselta, organisoivat etsintäretken putoamisalueelle yhdessä Venäjän Uralin federaatioyliopiston tutkijoiden kanssa.

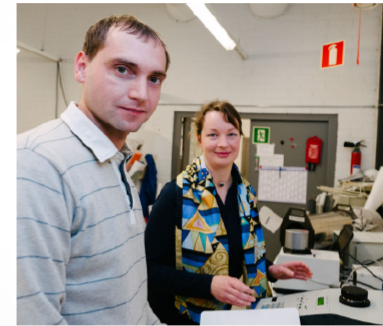
Viisipäiväinen tutkimusmatka Kuolaan tehtiin toukokuun lopulla. Etsintäalue sijaitsee noin sata kilometriä Raja-Joosepin raja-asemalta itään.

Seutu on osin ruohoniittyä ja nuorten koivujen valtaamia niittyjä, mutta laaja alue on etsinnän kannalta hyvin vaikeaa turvesuota. Ajankohta oli kuitenkin suotuista, sillä lumi oli juuri sulanut, mutta ruoho ei vielä ollut alkanut kasvaa.

Etsijät haravoivat aluksi niittyjä, joilta meteoriittien löytämisen kuviteltiin olevan helppoa. Mitään ei kuitenkaan näkynyt. Toisen etsintäpäivän iltana oltiin vielä tyhjin käsin.

"Olimme tehneet etsintöjä kymmenen tuntia päivässä. Toisen päivän lopulla olin aivan uuvuksissa", Tomas Kohout muistelee. "Jalkoihini koski. Ehdotin, että ajamme etsintäalueen toiseen päähän."

Tämä soi hetken lepoa ja myös mahdollis-



Tomas Kohout ja Maria Gritsevich tutkivat Helsingin yliopiston fysiikan laitoksen laboratoriossa maapallon uusinta meteoriittia.

suuden katsoa tietä autosta. "Menomatkaalla Aurinko paistoi suoraan silmiin emmekä huanneet tiellä mitään. Paluumatkaalla tilanne oli kuitenkin toinen."

Nikolai Kruglikov sanoi nähneensä mahdollisesti jotain. Seurue ajoi vielä parikymmentä metriä eteenpäin ennen kuin

Kruglikov päätti sittenkin pyytää pysäyttää auton. Autolta hän käveli takaisin päin tarkistaakseen kohteen.

"Yhtäkkiä Kruglikov alkoi tanssia ja huutaa. En ollut ensin uskoa löytöä todeksi, mutta sitten tarkistin kiven koostumuksen mittalaitteistolla", Kohout kertoo. "Sen ympärillä oli tuore sulamiskuori, ja koostumus kertoi uudesta maapallolle pudonnesta meteoriitista."

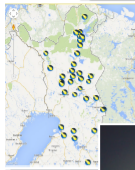
"Olimme hirveän onnekkaita, että meteoriitti oli pudonnut juuri keskelle tietä ja näimme sen ajassamme", arvioi Kohout.

"Löytöpaikka sijaitsi hyvin lähellä laskettua putoamispaikkaa." Seuraavana päivänä ryhmän jäsen

"Alkoi näyttää siltä, että Kuolan yllä maapalloon osui peräti puolen tonnin

meteoriidi, joka hajosi palasiksi."

Täysosuma Kuolan niemimaalta



19.4.2014
Kuolan
niemimaan yllä
nähdään kirkas
tulipallo. Urnan
Tahvanvarti-palveluun
tulee tapahtumasta
40 havaintoa.



Aleksei Ištenko löysi vielä toisen, 40 gramman palasen. Meteoriitit olivat vain noin 30 metrin päässä toisistaan.

Meteoriitin kappaleita löytyy todennäköisesti alueelta vielä lisää, mutta pääosin sois- ta koostuva etsintämaasto on haastava.

KONDRIITTEJA KUOLASTA

Kaiken kaikkiaan maastoon uskotaan pudonneen kymmeniä kiloja meteoriittimateriaalia.

"Ilman lentoradan analyysia ja putoamis- alueen mallintamista emme olisi millään päätyneet oikealle alueelle. Olemme siitä tyytyväisiä", kertoo Kohout.

"Löydöstä kuultuani tuntui melkein uskottamalta", Esko Lyytinen myöntää. Kyseessä on ensimmäinen kerta, kun Urnan tulipallotyöryhmän havainnot ja laskelmat johtavat meteoriittien löytämiseen.

"Verrattuna aiempiin etsintöihin tässä oli etuna, että alun perin suuri kohde hajoi- lrunsaasti ja pudotti ilmeisesti yhden tai muutaman suurenpuoleisen pääkappaleen lisäksi paljon pikkupalasia", arvioi Lyytinen.

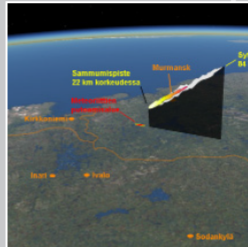
NÄYTTEITÄ AURINKOKUNNAN ALKUJAILTA

"Toinen löytyneistä meteoriiteista on analysoitu Prahan Geologian tutkimuskeskukseen", kertoo Gritsevich.

Kappale osoittautui tavalliseksi kivime- teoriitiksi eli kondriitiksi. Sen tarkka tyyppi on H5. "Merkittävää on, että se on historial- lisesti yksi vain 22 avaruuskivestä, joiden rata aurinkokunnassa tunnetaan. Kymme-



HUHTIKUU 2014
Esko Lyytinen mallintaa kamerahavainnoista tulipallon lentoradan ja meteoriittien putoamisalueen. Jarmo Moilanen (oik.) avustaa putoamisalueen simuloinnissa.



nistä tu- hansista muista meteo- riiteista ei tiedetä, mistä ne ovat peräisin", Gritsevich hehkuttaa. "Tämä on historiallista", tutkija Peter Jenniskens Nasan SETI-instituutista kommentoi. "Onnittelut Suomen tulipalloverkolle. Vain näiden harvojen kamerahavainnoilla löydettyjen meteoriittien avulla tutkijat pää- sevätkin selvittämään eri meteoriittilajien alku- peräisiä lähdealueita asteroidivyöhykkeellä." Jenniskensin mukaan tämän H5-ryhmän kivime- teoriittien rata on kautta aikojen onnis- tuttu selvittämään vain kolmesta tapauksesta, joista aiemmat olivat kuuluisat nykyisen Tšekin tasavallan alueella sijaitseva Příbram vuonna 1959 ja Yhdysvaltain Lost City vuonna 1970.

Maailmalla on vain muutamia tutkijoiden ja harrastajien meteorikameraverkkoja. Niitä on Yhdysvalloissa, Kanadassa, Keski-Euroopassa, Espanjassa, Australiassa ja Suomessa.

Tyypillinen saalis yhdeltä kansalliselta kameraverkolta on vain 1 tai 2 meteoriittien löytyminen noin 10–15 toimintavuotta kohti. Kappaleen rata lasketaan sen reitistä ilma- kehässä, jonka kamerat ovat tallentaneet sekä hidastumisesta ja massan kulumisesta tulipallossa.

"Meteoriitit ovat minulle kuin kirjeitä, jotka sisältävät arvokasta tietoa aurinkokun-

nasta. On meistä kiinni, haluammeko tutkia postilaatikon vai- ko jättää sen tutkimatta", vertaa Gritsevich.

SITKEYDELLÄ JA INNOSTUKSELLA TULOISTA

Nykyään ainoa toinen tapa saada avaruuden kappaleita tutkittaviksi laboratorioon ovat näytteidenhakulennot luotaimilla. Ne mak- savat vähintään satoja miljoonia euroja ja tuovat tarkasteltavaksi vain pieniä määriä maapallon ulkopuolista ainetta.

"Jos sinulla on intoa, näkemystä tai harras- tuneisuutta, jolla meteoriitti voitaisiin löytää, panosta etsintään!" kehottaa Kohout. "Ursan tulipallotyöryhmä koostuu harrastajista, jotka rakentavat itse kamera-asemansa ja ku- vaavat taivasta öisin. Juuri työryhmän ai- kaansaannot mahdollistivat etsintäalueen tarkentamisen muutamien kilometrien säteelle."

"Yhtenä päivänä voit onnistua siinä, missä edes ammattilaiset eivät", Kohout jatkaa. "Ensimmäisen meteoriitin löytänyt Nikolai Kruglikov oli myös vapaaehtoinen. Hän on innostunut tähtiharrastaja ja otti vapaata



TOUKOKUU 2014
Tulipallotyöryhmän Tomas Kohout ja Maria Gritsevich organisoivat Venäjän Uralin federaatioyliopiston tutkijoiden kanssa etsintäretken putoamisalueelle.



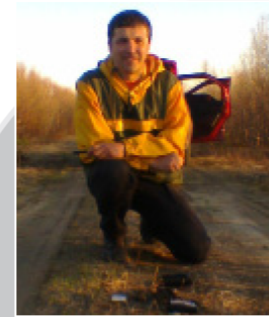
toistään osallistukseen retkikun- taan."

"Meteoriittien etsintä on kuin kilpailisi olympialaisissa", Kohout vertaa.

"Tällainen mahdollisuus koit- taa vain muutamia kertoja elä- mässä. Niihin täytyy valmistau- taa huolellisesti etukäteen. Paj- kan päällä maastossa pitää tehdä parhaansa käytettävissä olevana aikana."

Kohout tutkii aurinkokunnan pienkappaleita Helsingin yliopistossa. Etsinnän onnistuminen riippuu Ko- houtin mukaan aina monista tekijöistä, kuten putoamisalueen mallinnustarkkuudesta, keskittymisestä, tiimin yhteistyöstä, kenttäolosuhteista ja tietenkin suurelta myös onnesta.

"Monia kertoja joutuu palaamaan kotiin



Löytäpäikä oli vain 200 metrin päässä Esko Lyytisen laskemasta tulipallon putoamisalueen keskiviivasta.

29.5.2014
Retkikuntaan kuuluva tähtitieteen harrastaja Nikolai Kruglikov löytää ensimmäisen meteoriitin (yllä). Seuraavana päivänä löytyi läheltä myös toinen.



tyhjin käsin ja tuntee olonsa häviäjäksi, mutta ei pidä antaa periksi. Jonain päivänä se tapahtuu. Äkkiä juokset muita nopeammin ja saat kultamitalin tai löydät meteoriitin. Olet ensimmäinen ihminen, joka pitelee käsissään kiveä, joka lensi vain vähän aikaa sitten avaruudessa. Sekunnissa muutut häviäjistä sankariksi." ●

"Yhtäkkiä Kruglikov alkoi tanssia ja huutaa. En ollut ensin uskoa löytöä todeksi."