

## Kisbolygó vagy üstökös?

## A Tunguz-esemény

A történet épp száz évvel ezelőtti kezdődött: az egykori cári Oroszországban 1908. június 30-án helyi idő szerint reggel negyed nyolc körül a transzszibériai vasút utasai, amikor a vonal a Jenyiszej-folyó forrásvidékéhez közeli Kanszk szomszédságába ért körülbelül Nap nagyságú, legalább a Naphoz mérhető fényességű „meteor” láttak délnyugatról észak-északkelet felé haladni. Amint a „meteor” a horizont mögött elünn, óriási detonációk hallatszottak. A masinista rémülten megállította a szerelvényt, mert azt hitte, hogy a mozdonyban esetleg a vonathan történt robbanás, illetve mivel a föld is belemeggett, attól tartott, hogy a vasúti sínpálya megsérült. A fényjelenséget az egész szibériai Jenyiszej-kormányzóságban (ma Krasznojarszki körzet) látták: a jelenség centruma valahol a szibériai őrs-tajgában, az alon Kóves-Tunguzka folyó erdős, domhos lápos, lavas, mocsaras szűnyognkkal teli téhál nehezen megközelíthető, nehezen kutatható vidékén lehetett.

hanással és kb.  $-29$  magnitúdós felvillanással (a Nap látszó fényessége mintegy  $-26$  magnitúdó). A fényjelenséget éa a 20 km magas tűzszlopot a centrimtől több mint 400 km-re is látták, valamint a hatalmas mennydörgésszerű roham az esemény helyétől 1000 km-re is hallották. A jelenség nappal következett be, sötét porsáv maradt utána a levegőben.

Hazai megfigyelésről is tudunk: az ahatij-toma megyei Bályok községhől Szabó Gyula 1908. június 30-án este „sarki fényt látott”, de erről kiderült, hogy valószínűleg a több órával ezelőtti hekövetkezett Tunguz-esemény légköri hatása lehetett (l. még Bartha Lajos cikkét, Meteor 1998/3., 37. o.). A rendkívüli jelenségről a korabeli sajtóban csak rövid hírek jelentek meg, és a tudományos körök sokáig semmit sem törődtek vele.

A jelenséget követően több napon keresztül sokkal több világtó felhő látszott az égen, mint más években (ezeket Európa és Ázsia több pontjáról, az  $ész. 45.$  és  $50.$  fok



Kiróllt fák a területen az 1920-as években (balra) és 1992-ban (jobbra) (Leonid Kuik, ill. a Reginai Egyetem felvételei)

A légkörben mintegy 450 km-t haladó objektum pályája 5 és 30 fok közötti szöveget zárt be a vízszintessel, 5–8 km magasan semmisült meg, 10–20 megatonnás robb-

közötti sávból látták), emellett szokatlanul sok halójelenség is mutatkozott az égen. Mindez feltehetőleg a légköri repülés és a robbanás nyomán a sztratoszférába került

portal) illetve az arra kifagyott jéggel lehet kapcsolathoz, érdekes, mintha az esemény előtt egy-két nappal már megnőtt volna a hejelenések száma, de ez nem elég megbízható információ. Utóbbi nyomán született az elgondolás, amely szerint talán a Tunguz-objektumhoz tartozó üstökös csóvjája már korábban találkozott a Földdel – de erre nincs bizonyíték.

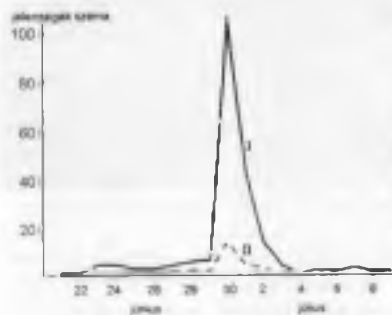
<b>Időpont</b>	1908. június 30. 00:13:35 UT
<b>Földrajzi</b>	Keleti hosszúság 101°53' 40"
<b>koordináták</b>	Északi szélesség 60°53' 09"
<b>A szélrobbanás magassága</b>	8,5 km
<b>Erkezési irány azimut szög tartomány</b>	97° S A s 127°
<b>Érkezési irány magassági szög tartomány</b>	3° S h s 28°
<b>Erkezési sebességtartomány</b>	14 s v s 32 km/s

Az esemény a földi mágneses tér egy részébe is hatással volt. Az irkutszki obszervatórium megfigyelései alapján a geomágneses térben a robbanás után 5-6 másodperccel jelentkeztek háborgások, amelyek közel négy órán keresztül tartottak.

A Leonid Alekszejevics Kulik ásványkutató geológus professzor vezette 1922-es helyszíni expedíció után a Budapesti Hírlap 1929 február 10-i számának 7. oldalán „Az 1908-as Tunguz-jelenségről” c. cikkében Lambrecht Kálmán így érzékelteti a jelenséget: „Rettenetes események előhírnöke,

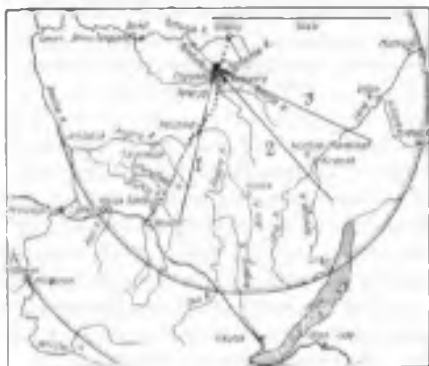
amely hóböhlöve, vonítva rohant le a földre és elűnt”. Magyar nyelven az első részletes és hosszabb terjedelmű tudományos ismeretterjesztő munka a szibériai pusztító meteorhullásról Petre László Üzenetek a Világűrről című, 1939-ben kiadott könyvében jelent meg. Azóta már több tudományos ismeretterjesztő írás is megjelent magyar nyelven, amelyekből az érdeklődő olvasó a jelenség részleteit és lehetséges magyarázatait is megtalálhatja (l. <http://csi-mahi.csiillagaszat.hu>).

Tehát most száz éve annak, hogy 1908. június 30-án helyi idő szerint a kora délelőtti órákban (l. a mellékelt táblázat!) a szibériai alsó Koves-Tunguzka folyó szerencsére lakatlan forrásvidékén lokális méretű kozmikus becsapódási katasztrófa történt. Ezt az eseményt azóta Tunguz-meteornak, Tunguz-holidaynak – bár ezeknél nagyságrendekkel nagyobb jelenségről van szó – Tunguz-jelenségről, illetve Tunguz-katasztrófának, Tunguz-eseménynek is nevezik. Mérvadó tudományos körökben az 1920-as évektől kezdve általánosan elfogadott nézet az, hogy a Tunguz-jelenség kozmikus katasztrófa volt – ez ma már nem kérdés. Nevezetesen egy üstökös-mag lövedéknek a földi légkörbe való helézésének a következménye lehetett, de emellett idővel elő-előkerült az az elképzelés is, hogy talán egy kisméretű aszteroidával találkozott hollygónk. Ezek szerint egy legfeljebb 100-150 méter átmérőjű építési a Föld légkörébe kozmikus sebességgel érkező még a földfelszín feletti szétesett, csak az általa keltett lökéshullám érte el a



A szokatlan légkör-jelenségek gyakornsága 1908 nyarán (balra) és a megfigyelések helyszíne (jobbra) (Vasilyev 1998)

szibériai tajga lakatlan vidékét és mintegy 50x50 kilométeres térségben letarolta és részben felgyújtotta azt. A tajga részben a robbanás fényétől részben a kiterjedő felhő forró, mintegy 10-20 ezer K hőmérsékletű gázaitól kapott lángra. Az epicentrum 3-5 km átmérőjű területén a fák állva maradtak de gallyak nélkül – ezt a területet nevezik „telegráf” erdőnek. A középponttól 18-41 km távolság között dőltek ki a fák – összesen mintegy 8 millió – közel 100 másodperc alatt. A pusztított terület a jellegzetes lepke alakon túl nyugati irányba volt a legkiterjedtebb.



A Tunguz esemény helye és lényegességének láthatóság határa a transzibériai vasútvonal. Balra: I.é. Jeny szei I. éna. Angara és a Köves-Tunguzka, va amint az utóbbi val kapcsolatos folyók. Felül a test három letehetően haladási irányja fe tüntetésével (Bronssteir 2000)

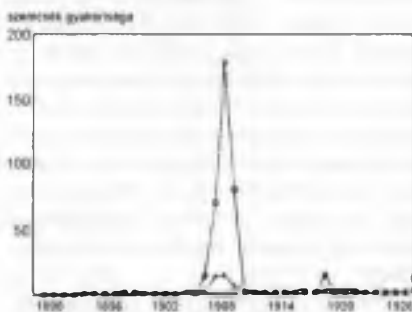
Nagyonh mértű hecsapódási kráteri nem találtak a csak jóval később a helyszíntre érkezett első kutató expedíciók. Figyelemre méltó azonban hogy Gasparini és munkatársai egy 1959-es nemzetközi expedíció során 200 kHz-es frekvenciájú hanghullámokkal végzett akusztikus szondázása szerint a jelenség centrumához közeli Csalkó-tó aljzatán felhalmozott üledékben kb. 10 méter mélyen a környezettől eltérő réteg húzódik, ami talán a hecsapódó égéssel lehet kapcsolatban. (A tó az epicentrumtól 8 km-rel északabbra levő 300 m átmérőjű és 50 m mély, meredek falú mélyedés.) Azonban nincs kis kráterperem (talán hemlött és a tóban található a perem anyaga?), az



A Tunguz esemény a William K. Hartmann paneló égő-csillagász és „aszmétesztő” által készített képeken

anyagmintákat eddig csak 1,8 m mélységig vizsgálták, illetve csak ez a fő az egyetlen kráterjelölt a térségben. A légkori lokálishullám és az általa lokálisan keltett, a kiindulópont térségében a Richter-skálán 4,5–5,0 magnitúdós földtreméshullám többször is megkorúlt a Földön. Ezeket a rengéshullámokat több akkor már működő geofizikai és meteorológiai obszervatóriumban is mérték, a magasha kidőhött, és a légkörben szétterült poranyag pedig hosszú ideig ott maradt. A megfigyelt fényjelenségek között említhetők, hogy bár az esemény előtt és után hetekkel is sok világító felhőt láttak, a kérdéses napokban erősen megnőtt ezek gyakorisága. A földi mágneses tereket csak lokálisan zavarja meg a jelenség, a mágneses háborúgnak a robbanás után 5–6 másodperccel jelentkeztek, és közel 4 órán keresztül tartottak.

eredményei alapján ismerteljük, hogy kisholygő vagy üstökös váltotta-e ki a Tunguz-eseményt.



A fák gyártáiban talált, a légkörben külepedett aeroszol szemcsék gyakori ságának változása az epichorizumban, taláiháló lákná (Lonç 1994)



Az erdőz és a kidőz fák területeinek viszonyja (Vasilyev 1996)

Ahogy az ilyenkor lenni szokott, időről időre megalapozatlan elgondolások is szóba kerültek a jelenség magyarázatánál (pl. anti-anyag meteor, földi nagyméretű tektonikus levékenység fényjelenséggel is együtt járó következménye stb.), illetve teljesen a tudomány keretein kívül eső elképzelések is. Ezekkel a fantazmagóriákkal nem kívánunk foglalkozni. Most a legújabb vizsgálatok

A kutatást eleinte komolyan hátráltatta, hogy az orosz vezeték „tillott” körzetnek tekintette a vidéket. Az első expedíció csak 1927-ben indult Lennyid Kulik vezetésével, amelyet hat további nagyobb kutatóút követte. A térséget 1992-ben nyitották meg a külföldi szakemberek előtt, és azóta négy nagyobb konferenciát is szerveztek az itt szerzett ismeretek áttekintésére.

Már évtizedekkel ezelőtt különböző ismert üstökösökkel, az azokkal kapcsolatos nagyobb meteoroid (1–100 méteres kis égitestek) harsapódásával hozták kapcsolatba a Tunguz-eseményt. Nem lehetett retrográd pályán keringő üstökös, mert akkor túl nagy lett volna a relatív sebessége a Földhöz képest, a nagy mozgási energia miatt harsapódási kráter keletkezett, és még nagyobb katasztrófa történt volna. Ezért tehát mindvégig direkt keringési irányú ekliptikai üstökösökkel vettek számításba. Lennyid Kulik már az 1927-ben, 1933-ban, illetve 1938-ban megjelent munkáiban a 7P/Pons–Winnecke üstökösöt jelölte meg a Tunguz meteor forráségitestének, 1966-ban Feszencov a „Mrkos üstökösével” hozta kapcsolatba, azonban nem jelölte meg, hogy melyik Mrkos üstökösről van szó, de itt megjegyezzük, hogy a 18D/Perrine–Mrkos (1896 X1 = 1909 P1) ekliptikai üstökös jöhetne csak szóba, ha a pályája

is megfelelő lenne, 1969-ben Zotkin, majd pedig kilenc évvel később Kresák (1978), illetve húsz év elteltével Asher és Steel (1998) a 2P/Encke üstökös darabjának azonosították a Tunguz-meteorit. Közben azonban az üstökös eredetét erősen kritizálta Sekanina (1983, 1988), aki szerint mintegy 90–190 méter átmérőjű valószínűleg  $10^{12}$ – $10^{13}$  g (1–10 millió tonna) tömegű és  $0,3 \text{ g/cm}^3$  átlagos tömegsűrűségű Apollo típusú kisholygó vagy meteoroid lehetett a Tunguz-meteor. Andrejev (1990) kimutatta, hogy a Tunguz-meteor lehetséges pályaközi pályái az Apollo-kisholygók pályáihoz állnak a legközelebb. A kis tömegsűrűségű kisholygó feltételezést kritizálta Levin és Bronshtein (1986, 2000), akik szerint inkább egy körülbelül  $3 \text{ g/cm}^3$ -as nagyobb sűrűségű kisholygóról van szó, amely folyamatos szétaprózódáson ment keresztül a földi légkörrel való kölcsönhatás következtében, miközben sok szilárd meteoritoidok keletkezett széles mérettartományban (mikronostól a deciméteres, méteres méretekig). Eközben azonban kis hemélyedéseknek, különböző méretű kráterek sokaságának kellett volna keletkezni. A probléma viszont az, hogy igazából nem találtak hecsapódási krátereket, ellentétben az egyetlen jelöltől a Csalkó-tó esetében.

A Jupiter árapály hatására darabjaira szétesett D/Shoemaker–Levy 9 üstökös szerkezetének megfigyelése kapcsán Chyba 1993-ban végzett modell-szimulációkat a Tunguz-meteorinak a Föld légkörében való szétesésével kapcsolatban. A modellszámítások szerint egy mintegy 60 méter átmérőjű kis égitest nem feltétlenül éri el a Föld felszínét, legfeljebb kb. 10 km földfelszín feletti magassáig maradhat egyben, és ezután darabokra szedi szinte „szétporlasztja” a légkör (nyomáskülönbség a front oldal és az azzal ellentett oldal között, helyi feszültségek, valamint a hő-sokk). Ez a modell megengedi, hogy egy kis méretű, kőzet anyagú kisholygó a földfelszínbe való hecsapódás nélkül széteszen a légkörben. A felszínen pedig erős légköri lökéshullám okozott volna pusztítást. Eszerint a Tunguz-meteor

egy 60 méter átmérőjű, viszonylag nagy átlagos tömegsűrűségű (de nem vasmeteor sűrűségű) égitest lehetett, amelyet a nagy sűrűsége ellenére a földi légkör a troposféra tetelének magasságában szinte „palacsintává lapított és szétszedett”, ugyanis nagy nyomáskülönbség alakult ki a haladási irány felé eső front és az ellentett oldal között. Így a meteoroid teljesen szétesett, anyaga elpárologt, még ha egy monolitikus tömbből állt is, sőt a szétaprózódás még könnyebben is ment akkor, ha laza kőből tombókból, törmelékéből összeállt test volt a D/Shoemaker–Levy 9-hez hasonlóan.

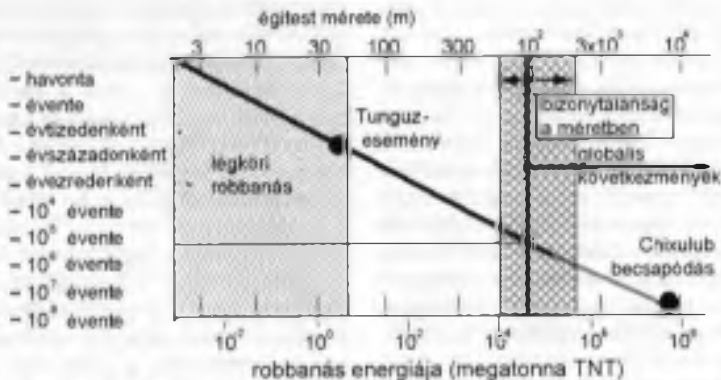
A Tunguz-jelenség esetében a Föld felszínére csak az erős lökéshullám és magas hőmérsékletű lözöngyön ért le (egy tomor vasmeteor teste azonban hecsapódott volna és krátert mélyített volna a felszínbe). Az ilyen légkörirrobbanásnak voltak a következményei a centrumra sugárirányban kidőlt fák, a centrumban erdőtüzek valamint a hollygónkon többször korheltű légköri nyomás- és földrengéshullámok is. A hecsapódás szerint a Tunguz-jelenség mintegy 15 megatonna TNT-vel egyenértékű robbanásnak felel meg (az eddig előfordult szám adatok 10 és 40 Mt közöttiek), ami a Nagaszakira ledobott 20 kilotonnás atombomba hatóerejének mintegy ezerszerese. Ha a Tunguz-jelenség kis égitestje mintegy négy órát késik akkor a Föld elfordulása következtében a közel azonos földrajzi szélességen lévő Szentpétervár városában és körzetében a sűrűbben lakott európai területeken sőt a Balti-tenger partvidékén fejlette volna ki szörnyű pusztító hatását, aminek a történelem további melleire is mélyreható következményei lettek volna.

Tehát a D/Shoemaker–Levy 9 üstökös, a Tunguz-meteor és más hasonló huszadik századi kozmikus hecsapódási események modelljei, sőt intő példái a kis égitestek nagyholygókkal, köztük a Földdel való ütközésének, ami új számítógépes modellek elkészítésére készítette a szakembereket. Sőt, 1994 után nagyobb szabású földi teleszkópos keresőprogramok indultak meg a földközeli kis égitestek felkutatá-

sára pályájuk meghatározására, nyomok követésére. A Tunguz-meteorit eldőlő és direkt keringési irányú, kis mozgási energiájú, laza szerkezetű kis égitest mérete abba a közties tartományba esik, amelyet a földi légkör még a felszín elérése előtt szel tud szedni. Évszázadonként átlagosan egy vagy két ilyen objektummal találkozunk hollygónk. Ennél sokkal veszélyesebbek a néhány száz méter átmérőjűek. Azonban ma még messze nem fedeztük fel a földközeli objektumok közül az összes 1/2-, illetve néhány százalékos kis égitestet. Ez tehát a közeljövő nagy csillagászati átvizsgáló programjainak a feladata lesz (pl. Pan-STARRS, I. S. S. T., Spacguard 2, EARTHGUARD).

jul az aszteroidákra. Nyilvánvaló azonban, hogy egy egyszerű statisztikai hecslés után még nem dönthet el, hogy a Tunguz-meteor üstökös vagy kishollygő eredetű volt-e.

Ezért legutóbb Jopek és munkatársai 2008-ban részletesebb számításokkal végeztek a kérdés eldöntésére. Két, egymástól teljesen különböző módszert alkalmaztak: 1) Kresák (1978) ötletét, vagyis a Tunguz-meteor lehetséges radiánspontjainak összehasonlítását a valódi földközeli objektumok radiáns pontjaival, azaz megkeresték, hogy mely pontok ennek egymáshoz a legközelebb, illetve 2) 1908-tól a múltba visszafelé húszévez év időtartamra terjedő pontos pályaszámításokkal megkeresték, hogy mely valódi földkö-



A Tunguz-esemény energiája mintegy 15 megatonna TNT egyenértékű volt, és évszázadonkénti statisztikus gyakorisága, míg a dinoszauruszok kihalását előidéző becsapódási eseményé (K/T) kb. 10–100 millió megatonna közötti és mintegy 100 millió éves átlagos gyakorisággal következik be. (Chapman, Morrison)

Fontos itt megjegyezni, hogy ma nem ismerünk olyan konkrét kis természetes égitestet (meteoroid, kishollygő vagy üstökös), amely *halálható időn belül* bolygónkba ütközne.

A Tunguz-meteor kishollygő- és üstökös-mag hipotézisét egyaránt tárgyalták a szakirodalomban 1993/94 után is. 1999-ben Bronstein számításai szerint a Tunguz-meteor lehetséges pályáinak csak kisebb hányada üstökös-pálya, míg a pályák többsége Apolló típusú kishollygópálya. Ezt erősítette meg Farinella (2001) hecslése, aki szerint a földközeli objektumok között valóban kicsi, csak mintegy 17% az üstökös-pályák hányada, és 83%

zeli objektumok pályáihoz (3238 objektum) esnek legközelebb a Tunguz-meteor lehetséges leztl-részterekéi (3311 termegpont) a Nap körüli keringésük során. Bár a földközeli objektumok között jóval kevesebb üstökös vagy üstökös eredetű objektum van, mint kishollygő, ennek ellenére nem zárták ki, hogy szétesett, vagy szelaprózódó üstökös-mag egy darabja legyen a Tunguz-meteor. Így például a 2P/Encke, a 3D/Biela, a 7P/Pons-Winnecke-üstökös, ezeken kívül az Arietida, Réta Taurida és Zéla Persida meteorrajokat is figyelembe vették a számításokban.

A számítások nem mutatták ki egyértelműen a Tunguz-meteor őseit, de erre két nagyon valószínű jelöllet igen. Őszesen ugyanis 130 földközeli objektum pályája nagyon hasonló a lehetséges Tunguz-meteor pályákhöz az elmúlt húszezer évben Teljesen kizárják, hogy az Encke-üstökösöt eredne, azonban több lucat más üstökös pályájához mutatkozózt hasonlóknak a Tunguz-meteor pályája. A két nagyon valószínű jelölt KTe 16192-hen a 97P/Melcal-Brewington-üstökös, illetve KTe 932-ben a (10653A) 2000 WK63 Apollo kisholygó e két égitest pályájához esik közel a Tunguz-meteor lehetséges pályája.

A számításokból kiderült, hogy a földközeli kisholygók nemcsak a Tunguz-meteorra hecsult 10–14 km/s minimális ütközési sebességgel, hanem nagyobb, mintegy 30 km/s sebességgel is beletűzhetnek hollygónkba, ami komoly figyelemztetés, hiszen a hecsapódás átalakuló mozgási energiája a sebesség négyzetével arányos. A 97P/Melcal-Brewington üstökös jelenlegi közelítő pályaadatái:  $a=4.80$  CSE,  $e=0.45$ ,  $i=18^\circ$ ,  $q=2.61$  CSE,  $Q=6.99$  CSE,  $P=10.5$  év, legutóbbi perihéliuma 2001. április 15-én volt. A pályáját a Jupiter erősen befolyásolja. Az üstökös mag átmérője mintegy 3,4 km. A 2000 WK63 pályaadatái  $a=2.43$  CSE,  $e=0.75$ ,  $i=10^\circ$ ,  $q=0.58$  CSE,  $Q=4.28$  CSE,  $P=3.8$  év és mintegy 1,7–3,9 km átmérőjű kisholygóról van szó.

Az utóbbi évtizedben több expedíció is gondosan, korszerű módszerekkel anyagmintákat gyűjtött a helyszínen, és később modern laboratóriumokban elvégezték ezek kémiai analízisét, ami közelebb visz a Tunguz-meteor eredetének kiderítéséhez. Orosz és kínai kutatók (Kolesnikov, Kolesnikova, Hou, Xie, Zhou és Sun, 2004) együttműködésben végzett kutatási eredményei szerint a Pd, Rh, Ru és Co szénhez viszonyított mennyisége az L6-típusú szenes kondritokéval egyezik meg, nevezetesen a C/Pd, C/Rh, és néhány sziderofil elem aránya. Emellett a katasztrófa idejéből visszamaradt rétegekben enyhe irídiumhiányosság, valamint C, H és N izotópok anomális gyakorisága is megfigyelhető.

Az egyes nyomelemek és izotópok egymáshoz viszonyított aránya egyértelműen kozmikus eredetre utal. A fák gyanúiban is megnőtt a beleszagadt szemcsék gyakorisága 1908. környékén, főleg az epicentrumban. A megfigyelések értelmezését sajnos néhány, ekkoriban történt vulkánkitörésből kiüledett szemcsék is megnehezítik.

Mindennebből arra a következtetésre jutottak, hogy a Tunguz-jelenséget előidéző kis égitest legvalószínűbben egy üstökös mag volt, de fenntartják annak a lehetőségét is, hogy az üstökös magokéra nagyon hasonló egyszerű, primitív felépítésű szenes kondrit anyagi cszeméda is lehetett. Mindkét esetben ugyanis laza, könnyen széleső, szétaprózódnó kis égitestről van szó, amelyet a földi légkör még a felszín elérése előtt szét tudott szedni és megakadályozta a becsapódási kráter vagy kráterek létrejöttét. Ez a következtetés tehát nem támasztja alá a tisztán keményebb kőzetekből álló kisholygó feltételezését a Tunguz-jelenség magyarázatára.

Az esemény utóhatása igen összetettnek mutatkozik. A Tunguz-test légköri repülésekor nagyságrendileg egymillió tonna nitrogénoxid keletkezett, amely savas esők formájában hullott vissza a területre, és a robbanás után a növekedésben megtorpant növényzet felvirágzásának lendületet adva, a benne megkötött nitrogénnel évekig át segítette a térség ökoszisztémájának magához térését. Az esemény után megnőtt mutációk gyakorisága feltehetőleg a hirtelen megváltozott környezetre adott reakció a terület élővilágától – ami furcsa, mintha az objektum haladási irányában még ennél is valamivel nagyobb lenne a mutációk gyakorisága, de ez nem elég biztos megfigyelés. A modellek alapján a jelenség következtében a légkör felső tartományába került por 2–3 fűzfokkal is csökkenthette a következő évek átlaghőmérsékletét az északi féltekén. Ilyen csökkenésre utalnak is egyes megfigyelések, de itt a korabeli aktív vulkánok ismét megnehezítik az értelmezést.

Kereszturi Akos–Tóth Imre