

Reet Tiirmaa

METEORIIDID JA METEORIIDIKRAATRID



Saateks

METEORIIDID JA METEORIIDIKRAATRID

Reet Tiirmaa

TTÜ GEOLOOGIA INSTITUUT
RAAMATUKOGU
Nr. 4224

Tallinn 2002

Toimetaja: akadeemik Anto RAUKAS
Kaanekujundus, makett ja küljendus: Raul KASK

© TTÜ GEOLOGIA INSTITUUT
ISBN 9985-894-44-8
Trükikoda K&O Ofset

Saateks

Me ei ole kosmoses üksi. Meie ümber tiirleb peale planeetide ja kinnistähkede veel tohutu hulk asteroide, komeete ja muud kosmilist ainet. Seni, kuni me teadsime sellest vähe, tekitas komeetide ilmumine või taevakivide langemine õudust, põhjustades väljamõeldisi üleloomulikest jõududest. Nüüd, kus oleme astunud kosmoseajastusse, oskame suhtuda ümbritsevasse maailma rahulikumalt, tasapisi tema saladuste juurde püüeldes. Kosmoselaevad on lennanud väljaspoole Maa atmosfääri, kogunud kosmosest imepisikesi mikrometeorite, käinud Kuul ja sondeerinud lähiplaneetide pindu ning selgitanud neil esinevate hiiglaslike ringstruktuuride meteoriitset päritolu.

Meteoriitika on keeruline teadusvaldkond ning selle täielikuks mõistmiseks tuleb süüvida sügavale astronoomilistesse ja kosmoloogilistesse arutlustesse, teha keerukaid arvutusi, mõelda välja teravmeelseid hüpoteese.

Käesolev raamat püüab anda eespooltoodust mitmekülgset ülevaadet, mida on Eestiski väga vaja, kuivõrd me asume kosmosekehade poolt intensiivselt pommitatud maadükil. Siia on neist jäänud rohkesti hästisäilinud jälgi - Kaali meteoriidikraatrid Saaremaa dolomiitides, Ilumetsa, Tsöörikmäe ja Simuna väikesed löögikraatrid pehmetes pinnastes, unikaalne paesse mattunud Kärkla hiidkraater Hiiumaal, mere ja mandrijää poolt osaliselt avatud hiigelvorm - Neugrundi ringstruktuur merepõhjas. Arusaadavalt tuleb enne nende tekke seletamist üht-teist eelnevalt teada. Meil on registreeritud viie meteoriidi langemine. Vaatleme meteoriitide päritolu, nende keemilist koostist, ehituse iseärasusi ning vastastikust mõju atmosfääriga, seost asteroidide ja komeetidega. Lisatud on paljude huvitavate meteoriitide langemise ja leidude näiteid. Lähemalt vaatleme veel meteoriidikraatrite tekkimist nii Maal kui ka teistel planeetidel.

Autor loodab, et kirjapandu on kasulik laialdasele lugejate ringile ja abiks kõigile neile, kellel on meid ümbritseva kosmilise ruumi vastu süvendatud huvi. Ja mis kõige tähtsam, võib juhtuda, et olete leidnud mõne huvitava kivikamaka, mis erineb igapäev nähtust. Võib-olla hoiate seda oma õues või toanurgas. Kuid see peaks jõudma spetsialistide kätte uurimiseks!

Meteoorid, meteoorivoolud ja boliidid

I osa

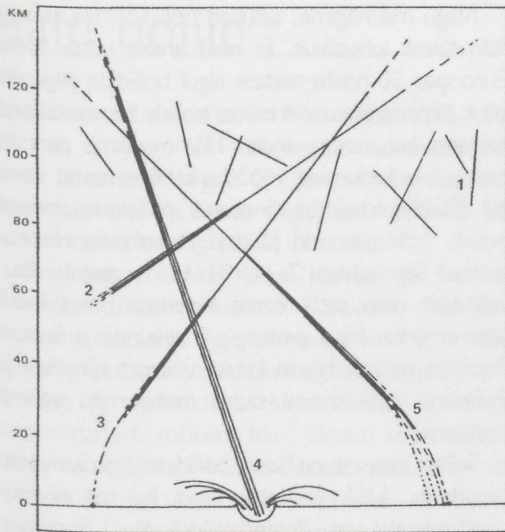
On tähisöö. Ja äkki, eriti augustiöödel, võime näha langemas helenduvaid taevakehi, mida rahvasuus nimetatakse lendtähtedeks. Nimetus ei ole aga õige, sest sel nähtusel pole taevas paistvate tähtedega midagi ühist. Tegelikult lendab läbi Maa atmosfääri tillukene keha, mis õhu molekulidega kokku põrgates kuumeneb ja atmosfääri kõrgemates kihtides aurustub. Teele jääb helenduv jälg, mis pikeneb seni, kuni meteoorkeha on oma kiiruse kaotanud või siis täielikult aurustunud. Mida suurem on meteoorkeha mass ja kiirus, seda pikem ning heledam on jälg. Ilmingut põhjustavat kosmilist kehakest nimetatakse meteooriks ehk meteoorkehaks. (kr. meteoros "õhus hõljuv"). Meteoorid jaotatakse juhuslikeks ehk sporaadilisteks ja korrapäraseks ehk regulaarseteks meteoorivooludeks. Juhuslike meteore võib näha terve aasta jooksul keskööst koiduni. Ühe meteoorivoolu ilmingud näivad lähtuvat teatavast kindlast, üsna väikesest taevavõlvi piirkonnast, mille keskpunkti nimetatakse radiandiks. Meteooride näiv väljumine taevaalaotuse ühest punktist on puhtperspektiivne nähtus, sest meteoorivoolude lennuteed on peaaegu paralleelsed. Näiva radiaalse liikumise põhjuseks on asjaolu, et need meteoorid langevad Maale kõik samast suunast ja jõuavad Maale enam-vähem ühesuguse kiirusega. Meteoorivoolude puhul kohtub Maa kosmoseosakeste parvega. Päikese külgetõmbe mõjul jaotuvad mingist komeedist eraldunud meteoorkehad lõpuks enam-vähem ühtlaselt piki kogu antud parve orbiiti, moodustades kogu orbiiti täitva meteooride vöö. Maa kohtumisel sellise vööga näivad kõik meteoorid teatud päevald tulevat ühest ja samast taevapiirkonnast.

Praegu tuntakse ligi 1200 meteoorivoolu. Meteooririkkamaid on neist 10...15. Meteoori-

voolud kannavad selle tähtkuju nimetust, kus asub nende radiant. Nii näiteks kutsutakse igal aastal augustikuu esimesel poolel nähtavat meteoorivoolu perseiidideks. Selle voolu radiant asub Perseuse tähtkujus. Novembrikuu vool on leoniidide vool, mille radiant on Leonise (Lövi) tähtkujus. Meteoorivoolude orbiidi kuju ja meteooride keemiline koostis viitavad nende seotusele komeetidega. Nii on teada, et 1872. a. Biela komeet jagunes algul kaheks, seejärel kadus ja asendus tähesajuga. Peaaegu kõigi tähtsamate meteoorivoolude jaoks on teada ka nende oletatav tekitaja - voolu orbiidile lähedasel orbiidil tiirlev komeet. Nii on perseiidide vool seotud 1862. a. avastatud Swift-Tuttle-Simonsi komeediga, Halley komeeti aga seostatakse koguni kahe meteoorivooluga: orioonide vool (radiant asub Orioni tähtkujus) vastab lähenevale, eeta-akvariidide vool (radiant Veevalaja tähtkujus) aga lahkuvale komeedile.

Erinevalt planeetidest ja enamikust asteroididest ei eelista tillukesed meteoorkehad elliptilist tasandit. Need võivad Maale läheneda suvalisest suunast ning liiguvad tavaliselt palju kiiremini kui Maa orbitaalkiirus, mis on ligi 30 km sekundis. Tavaliselt on meteoorkehade kiirused üle 41 km sekundis, mistõttu need pääsevad Päikese gravitatsiooniväljast. Meteoorkehade orbiidid on peaaegu paraboolsed ja sisenemiskiirused Maa atmosfääri erinevad vastavalt sellele, mis suunas need liiguvad.

Suurema massiga meteoorkehad - boliidid - võivad põhjustada juba väga efekteid valgusnähtusi. Rahvakeeli nimetatakse boliide tulekuulideks ja nende heledus on tihti silmatorkavalt suur. Boliidideks nimetatakse kõiki meteore, mis oma heleduselt ületavad "koidutähte" Veenust. Boliid ilmub harilikult 100...120 km kõrgusel maapinnast



Meteorkehade lend Maa atmosfääris.

(E. Krinovi järgi autori täiendustega)

1. Meteoroid - väikekehad, mis atmosfääri sisenedes helendades aurustuvad; 2. Boliid - suurem keha, mis põleb täielikult atmosfääri tihedamates kihtides; 3. Boliid, mis jõuab atmosfääri tihedasse kihti, pidurdub seal, kaotades kosmilise kiiruse. Tema jäänuks allub vabale langemisele ja jõuab maapinnale meteoriidina;
4. Hiidmeteoriid, mis säilib kokkupõrkeni maapinnal veel kosmilise kiiruse ja põhjustab plahvatuse ning tekitab kraatri; 5. Boliidi lagunemisel võib tekkida palju tükke, mis põhjustavad meteoriidisaju.

ning kustub keskmiselt 20...40 km kõrgusel, kus meteorokeha kaotab pidurdumise tõttu oma kosmilise kiiruse. Mida suurem on meteorokeha, seda pikema jälje see Maa atmosfääris jätab.

Tavaliselt on boliidi värvus suurel kõrgusel punakas, tihedamate õhukihtide läbimisel muutub see kollakaks ja isegi valgeks. Boliidi lennuteest jääb järele ioniseeritud õhumolekulidest helenduv jälg. Umbes 80 km kõrgusel tekib lööklaine tagajärjel meteorokeha ees tugevasti kokkusurutud õhust omapärane padi, mis kuumeneb kuni 2000...3000 °C. Selles temperatuuris meteorokeha pind sulab ja vastutulevad õhuvoolud rebivad tema pinnalt lahti hõõguva aine piisakesi. Näib, nagu paiskaks boliid enesest välja helenduvate osakeste vihu. Vahel moodustub neist tuline helenduv saba. 50...60 km kõrgusel saavutab boliid helenduse maksimumi. 30 km kõrgusel valgusintensiivsus tavaliselt väheneb. Tugeva õhutakistuse tõttu kahaneb ka boliidi kiirus ja lõpuks see lakkab helendamast. Helenduva jälje ja

boliidi asemele ilmub suitsupilveke, mis jääb veel mõneks ajaks taevasse püsima. Helenduse kadudes jätkab meteorokeha, mis varem paistis meile boliidina, oma edasilikumist vaba langemise seaduse kohaselt ning selle säilinud tükid võivad langeda Maa pinnale kiirusega mõnisada meetrit sekundis. Tavaliselt mõni minut pärast helendava boliidi kadumist kostuvad järsud plahvatust meenutavad katkendlikud löögid, järgneb äikesesarnane mürin ja raksatus ning lõpuks kostub vaibuv kõmin. Vahel saavutavad need nähtused nii suure jõu, et nii inimesed kui ka loomad satuvad paanikasse. Siiski ei jõua kaugelki kõikide boliidide tükid maapinnale, sagedamini hävinevad need atmosfääri tihedas allosas.

Boliidina käituvad kehad tungivad tavaliselt atmosfääri mingi terava nurga all, kuid mõnikord liiguvad need ka otse ülevalt alla. Äärmuslikel juhtudel võivad kosmosekehad langeda peaaegu paralleelselt maapinnaga, liikudes mingi osa teest atmosfääris ja jätkates seejärel lendu tagasi kosmosesse. Viimati nähti sellist maakera "riivavat" boliidi USA-s 1972. aasta augustis. Tuhandete hämmastunud vaatlejate peade kohal liikus ligi 60 kilomeetri kõrgusel üle minuti kirkas päikesevalguses särav valgustäpp, mis suundus seejärel veidi aeglasema kiirusega tagasi kosmosesse. Sellest jõuti teha sadu pilte ja isegi filmida. Nähtust jälgis ka kosmoses tiirelnud satelliit, millest saadud andmete järgi arvutati keha omadused üsna täpselt. Taevakeha mass oli tuhandeid tonne, läbimõõt kümneid meetreid ja kiirus ligi 15 km/s. See kosmosekeha oleks maapinnale kukkudes tekitanud suure kraatri!

Üks kõikide aegade kummalisim boliidilming oli Kanada ja USA kirdeosariikide kohal. 9. veebruaril 1913. a - püha Cyrilliuse päeval. Hämmastunud



Leonidi lend 18. novembri 2001 varahommikul New Yorgis.

Jim Fakatselse foto.



Harrastusastronoom Gustav Hahni joonistatud kūrillitide parv 1913. a.

inimesed nägid taevast aeglaselt loodest kagusse liikuvaid tulepalle. Toronto Ülikooli astronoom prof. C.A. Chant kogus saadud vaatlusandmed ja märkis:

"Selle päeva õhtul kell 21.05 tuli loodetaevas nähtavale hõõguv punane keha, mille mõõtmel lähenedes kiiresti kasvasid ja mille taga oli pikk saba... Helenduse pea ja saba sarnasid värvilt ja kujult raketiga. Kuid erinevalt raketist ei näidanud keha mingeid tundemärke maapinna poole langemisest. Hoopis vastupidi: see liikus edasi täiesti horisontaalselt, maapinnale vajumata.

Enne kui esimese bolliidi poolt tekitatud hämmastusmöödus, ilmus lisaks bolliide loodest ja need tulid nähtavale täpselt samast kohast kui esimenegi. Edasi liikusid need samasuguse majesteetlikult mõõdetud kiirusega kahe-, kolme- või neljakaupa, tulised sabad taga, ehkki mitte nii pikad ja kirkad kui esimesel juhul. Trajektoor oli kõigil suunatud samasse kagutähe punkti.

Mõni hetk hiljem, kui kosmosekehad olid kadumas, kuuldi selget mürinat nagu kauge äikese ajal. Nähtuse kestust ei määratud, aga ilmselt oli see ligikaudu kolm minutit."

Sellest omapärasest sündmusest saadi teateid ka Põhja-Atlandil liikuvailt laevadelt, Bermuda saartelt ja isegi Lõuna-Atlandilt Brasiilia lähistelt. Kūrilliidid, nagu neid tulekuule hakati nimetama, liikusid seega atmosfääris maapinnaga enam-vähem paralleelselt viis tuhat kilomeetrit. Teadlased oletavad, et bolliidid, mis tekitasid selle "rongkäigu", olid enne atmosfääri sattumist liikumas Maa ringikujulisel orbiidil.

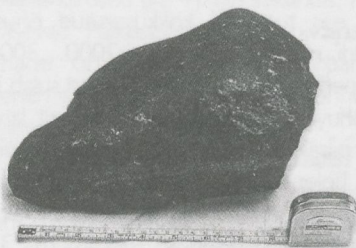
Valdav osa helenduvatest kosmosekehadest liigub mööda planeetidele omaseid elliptilisi orbiite. Võimalik, et osa selliselt käituvaid meteorokehi pärineb Marsi ja Jupiteri orbiitide vahele jäävast asteroidide vöõndist. Osa neist liigub siiski ka komeetidele lähedastel orbiitidel, planeetidele vastupidises suunas.

Nagu me nägime, satuvad bolliidid Maa atmosfääri täiesti juhuslikult. Et neid arvele võtta, loodi Euroopas 50-ndate aastate algul bolliidide jälgimise võrk. Jälgijate üllatuseks esines bolliide kümneid kordi rohkem kui varem arvati. Hämmastama pani ka nende kiire kadumine. Möödus kaheksa aastat, enne kui Tšehhoslovakkias õnnestus pildistada esimest bolliidi, mille jäänukid jõudsid maapinnale meteoriidina. See juhtus 7. aprillil 1959. aastal. Kuuvalgusest oma sada korda heledam bolliid ilmus jälgimisvõrku, liikus peaaegu 5 sekundit ja kustus. Poolteist minutit hiljem kuuldi võimsat kärgatust ja Pribrami küla lähedal sadas maha mitu väikest meteoriiiti.

Sellest innustatuna hakati bolliidide jälgimise võrku laiendama. USA keskosas loodi ligi miljoni km² suurusel alal nn "Preeriavõrk". Kuid lootused pildistada meteorite tekitavaid taevakehasid pika aja jooksul luhtusid. Järgmine õnnelik juhust saabus alles 3. jaanuaril 1970. aastal, kui fotode järgi võis arvutada meteoritide langemispaiga, mis asus Lost City lähedal Oklahoma osariigis. Kokku leiti lumiselt teelt 17 kg meteoriiite.

Kolmas pildistatud meteorokeha langemine toimus 5. veebruaril 1977. aastal Kanadas. Kaks nädalat pärast pildistamist leiti oletatud kukkumiskohast vaid paarsada meetrit eemal kahekilone meteoriiit, mis sai oma nime sealse Innisfree küla järgi.

Kosmosest Maale saabunud kehade uurimine annab meile andmeid Päikesesüsteemi ehituse ja tekke ning Maa atmosfääri kõrgemate kihtide füüsikast. Ka kosmoselendudel on hädavajalik teada nende kehade tõenäolist tihedust avakosmoses. Kokkupõrkel kosmoselaevaga võib meteorokeha oma suure kiiruse tõttu toimida purustava kahurimürsuna.



3.01. 1970. a pildistati 9 sekundi kestel bolliidi lend ja seejärel leiti Lost City lähedalt bolliidi jäänukina ka meteoriiit.

Balti boliid

See juhtus 11. veebruaril 1976. aastal kell 17.50 Soome aja järgi, kui tumenevale taevalaotusele ilmus ootamatult kirgas, üle Soome lahe kagusse liikuv tulekera. Ka Eestis nägid seda kella 18.50 paiku Moskva aja järgi paljud inimesed.

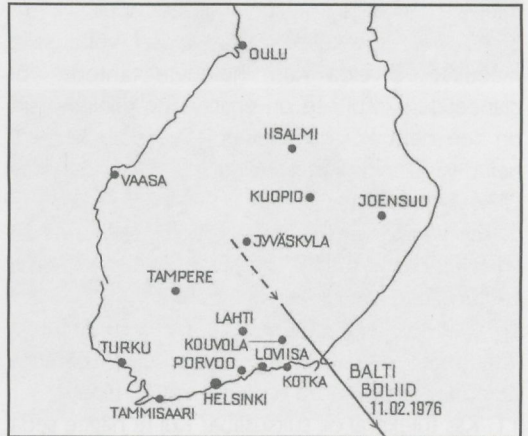
Eesti astronoomid Mihkel Jõeveer ja Teofilus Tõnnison süstematiseerisid Tõravere observatooriumi saabunud ligi kolmesaja kirja andmed, paljud neist nähtuse üksikasjalike kirjelduste, jooniste ja skeemidega. Kirju saabus kõikidest maakondadest, rohkem Ida-, vähem sündmusest kaugemale jäänud Lääne-Eestist. Kirjutasid nii noored kui ka vanad, nii üliõpilased, õpetajad, õppejõud, autojuhid, traktoristid, elektrikud, kaubandustöötajad, kirjakandjad, kalurid, kaevurid, põllutöölised. Ka arhitektid, kirjanikud, kirurgid ja skulptorid ei jäänud kõrvale. Toimunu äratas rohkem huvi meessoos, kellelt oli umbes 70% kirjadest.

Kokkuvõte ilmus artiklitenä "Tulekera Eestimaa talvetaevas" ajakirja "Eesti Loodus" 1977. aasta veebruari- ja märtsikuu numbrites. Eestis tehtud visuaalsete vaatluste andmed näitasid, et tulekera liikus pooleteise minuti kestel vähemalt 100 km kõrgusel maapinnast kiirusega umbes 10 km/s. Loodest lähenedes oli objekt algul nähtav eestpoolt. Edaspidi nähti tulekera järjest rohkem küljelt, seejuures paranes saba nähtavus. Atmosfääri tihedamates kihtides muutus helendus sinakamaks. Enne sinna jõudmist oli keha kompaktnä. Kriitiline hetk saabus meteoorkeha jõudmisel Soome lahe põhjarannikule. Järgnes kaks plahvatust, misjärel keha lagunes kümnekonnaks tükiks. Ka tükide lend oli jälgitav: need eraldusid üksteisest kõige rohkem piki liikumisteed ja "keha" muutus piklikuks.

Tolleaegse NSVL Teaduste Akadeemia Geo-füüsika Komitee andmetel lendas tulekera asimuudil 146° edasi üle Leningradi ja Novgorodi oblasti, kustudes kusagil Kalinini oblastis umbes 25 km kõrgusel, kus lendkeha jäänused võisid ka maapinnale jõuda. Seni pole selle leidudest midagi teada. Pilvisuse tõttu Põhja-Soomes jääb lahtiseks boliidi trajektoori pikkus Soome kohal. Et tulekera tuli Baltimaade poolt, anti ajalehes "Leningradskaja Pravda" sellele Balti boliidi nimi.



Balti boliid hajus atmosfääris laiaks parveks, mille pikkus oli 20 km ja laius 2 km. Foto A. Tihhomirov.



Soome vaatlajate andmetel ületas Balti boliid Lõuna-Soome loodest kagusse ligi 120 km kõrgusel.

Boliidivaatleja meelespea

Igäühel meist võib kunagi õnne olla mõnda boliidi näha, igaüks võib siis selle kohta ka hinnalisi andmeid lisada. Seda võiks teha järgmisi soovitusi järgides:

A. Boliidi langemise ajal:

1. Millal meteoor nähtavale ilmus? Märkige kuu-päev ja täpne kella-aeg.
2. Kirjeldage oma asukohta pikkus- ja laiuskraadides.

3. Märkige üles oma täpne asukoht, st kust te oma vaatlusi tegite. Kirjeldage orientiire, kasutades oma asukohta või tähistage see selliselt, et hiljem saaks koha looduses üles leida.

4. Mis suunas tulekera liikus? Võite kasutada kompassi või märkida liikumissuund mingi orientiiri järgi (puu, maja, elektripost jne.)

5. Kui kõrgel oli meteoro, kui te seda märkasite? Millal see lakkas helendamast? Selle kõrgust saab päevalgel jällegi mõõta tuttavate orientiiride abil.

6. Kui meteor langes öösel ja te tunnete mõningaid heledamaid tähtkujusid, võite vastata küsimusele 4 ja 5 kirjeldades meteoori teekonda läbi nende tähtkujude. Sel juhul on aga eriti oluline kellaaja märkimine, kuna tähtede kõrgus ja asimuut muutuvad pidevalt.

7. Kui pikk oli selle tulekera kestus? Kõige kindlam moodus sündmuse pikkust üles tähendada on sekundite lugemine ajahetkest, mil esmakordselt tulekera nägite kuni hetkeni, mil see kadus.

8. Kui hele see tulekera oli? Öösel võite selle heledust võrrelda Kuu, heledate tähtede või planeetidega. Kui see on ebatavaline tulekera, siis on see neist kõigist heledam. See võib kergesti heita varju ning oma heleduselt olla võrreldav Päikesega.

9. Kui suur see tulekera oli? Võite selle suurust võrrelda mõne tuttava maastikuobjektiga või oma väljasirutatud käe rusika või pöidlaga.

10. Kas tulekera värv, suurus või kuju muutus? Visandage selle kuju ja märkige üles mistahes sädemed, plahvatused või keha murdumine.

11. Kas tulekeral oli suitsusaba? Kui te nägite seda öösel, kas see helendas? Kui kauaks jäi see saba

taevasse? Visandage joonis või veelgi parem, tehke sabast foto. Seda peaks tegema kiiresti, kuna kõrged tuuled hajutavad saba mõne minuti jooksul. Pange tähele ka saba suunda mingi orientiiri suhtes.

12. Kas kuulsite mingeid helisid? Milline oli hää! Plöks? Susin? Äikesemürin? Kui kaua aega pärast tulekera märkamist olid helid kuuldavad? Ku kuulsite vilisevat heli, siis möödus meteoriit teist väga lähedalt.

13. Kas nägite mingisuguseid tumedaid kehasid kukkumas kohalt, kus meteor kustus? Kui jah, siis mitu ja millises suunas?

B. Pärast langemist:

1. Kas meteoriit tabas enne maapinnale kukkumist mingeid esemeid (puid, maju jne.)?

2. Milline oli pinnase tüüp? Liiv, savi, paekivi? Kas meteoriit tekitas augu või jäi see maapinnale lebama? Kui suure ja kui sügava augu meteoriit põhjustas? Kas auk oli vertikaalne või vertikaali suhtes mingi nurga all? Hinnake seda nurka.

3. Palju aega möödus meteoriidi löögihetkest ja sellest, kui te meteoriidi leidsite?

4. Kas meteoriit oli leidmise hetkel katsudes soe või külm?

5. Kas leidsite rohkem kui ühe meteoriidi? Märkige hoolikalt iga meteoriidi leiukoht.

Fotojäädvustus ükskõik millisest langemis-aspektist on hindamatu tähtsusega. Fotod meteoriidist langemiskohal peaksid olema tehtud enne seda, kui meteoriiti on maapinnalt liigutatud. Neid pilte peaks tegema mitme nurga alt. Pärast meteoriidi eemaldamist peaks pildistama järelejäänud auku, kui see on olemas. Paremini on siiski mitte puutuda meteoriiti, vaid anda leiust teada spetsialistidele.

Asimuudi hinnangud meteoriitide langemise lõpp-punktide kohta näitavad langemispiirkonna tõenäolist asukohta. Kui kaardile joonistatakse vaatlejate tehtud mitmed asimuudimäärangud, mis on tehtud üksteisest kilomeetrite kaugusel olevatest asukohtadest, siis iga joon lõikub teistega mitmes punktis. Lõikepunktid koonduvad ellipsitaolisele alale, kust meteoriiti(e) tulekski otsida.



Leegitsev leoniid Alabama taevas.

Pildistamisel on kasutatud 28 mm lääts ja ava 2,8.
Kodak ASA400. Gary Holmesi foto.

Meteoriitiku aksiom: Ükski meteoriit ei lange kunagi meteoriiduurija läheduses.

Meteoriidid

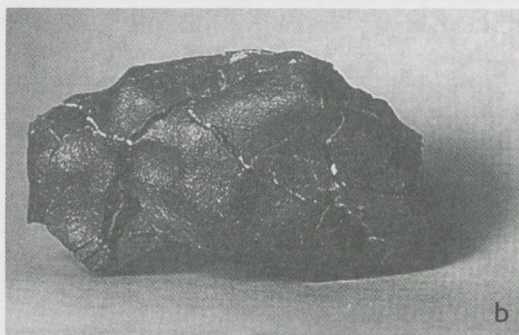
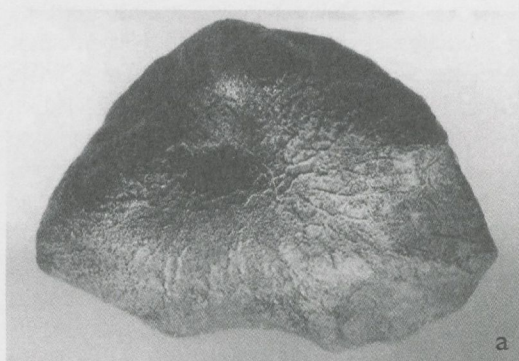
Nagu eespool öeldud, suurem osa kosmosest langevatest meteorokehadest laguneb ja põleb juba kõrgemates atmosfääri kihtides. Vaid suuremad kosmosekehad, olles kaotanud osa oma massist, võivad jõuda maapinnale. Tavaliselt 10...30 km kõrgusel keha langemine pidurdub ja edasine langemine toimub vaba langemise kiirusega. Maapinnale jõudmist soodustab suure keha lagunemine väiksema massiga tükkideks. Viimased pidurduvad kergemini ja jõuavad seetõttu läbi põlemata maapinnale. Suure keha purunemist põhjustab termiline pingestatus - pealispinnal sulamiseni tõusva temperatuuri ja kosmiliselt külma sisemuse vahel.

Maapinnale langenud meteorokeha nimetatakse meteoriidiks.

Tavaliselt on meteoriidid ümarja kujuga. Neil on hästi märgatavad tasandunud murdepindasid jälgivad tahud. Tähkudel võib esineda madalaid sulamislohuksi - regmaglütpe. Teravaid nurki ja servi üksikpaladel ei ole, need on atmosfääri läbimisel osalise sulamise tõttu ümardunud. Kui meteorokeha pidurdub ja kuumenemine lakkab, siis selle õhuke kuunenemine pealispind jahtub kiiresti ja kõvastub, moodustades meteoriiti katva õhukese, mõne millimeetri paksuse tumeda sulamiskooriku. Koorik on värvuselt must või pruunikas, harvem sinakas või isegi valkjas, sageli klaasjas. Kauem maas lamanud meteoriidi sulamiskoorik oksüdeerub tumepruunikas.

Meteoriidid langevad maale soojade või tulistena, kuid mitte hõõguvatena, nagu sageli arvatakse. Pidurdumise ajal nende pealispind jahtub jaheda sisemuse mõjul. Seetõttu ei saa meteoriidid põhjustada tulekahju isegi sel juhul, kui need langevad kergestisüttivale esemele.

Suuremad meteoriidid jõuavad maapinnale sageli kosmilise kiirusega. Kui meteorokeha kiirus



Näiteid kivimeteoriitide sulamiskoorikutest:

(a) kokkutõmbunud lõhed sulanud pinna kiirel jahtumisel; (b) pärast tuhandeid aastaid kuivas kõrbe kliimas olnud sulamiskoorik sarnaneb halvasti pargitud nahale ja (c) hästi väljakujunenud regmaglütid.

on veel vähemalt 3 km/s, siis toimub selle kokkupuutel maapinnaga plahvatus: suurem osa meteorokehast muutub seejuures momentaalselt hõõguvaks gaasiks, plahvatusel aga moodustub kraater, mille ümbrusesse hajuvad vaid vähesed säilinud meteoriidikillud. Niisuguseid meteoriite langeb väga harva, kuid geoloogilisest minevikust on neid tänaseks teada ligi paarsada.

Meteoriite, mille mass ületab kilogrammi, langeb Maale aasta jooksul tuhande ümber ehk keskmiselt 3 ööpäevas. Kahjuks langeb suurem osa neist ookeanidesse, polaaraladele, kõrbesse ja teistesse väheasustatud piirkondadesse või siis jäävad nende langemised lihtsalt märkamatuks. Seetõttu satub kollektsioonidesse ja registreeritakse vaid alla kümne uue meteoriidi aastas.

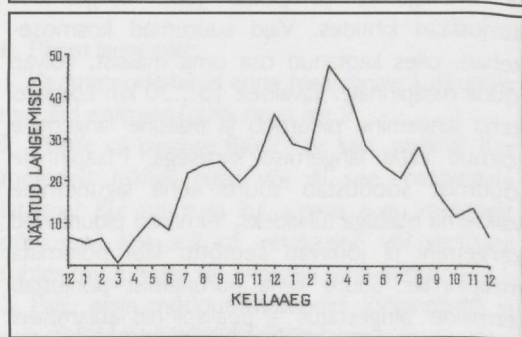
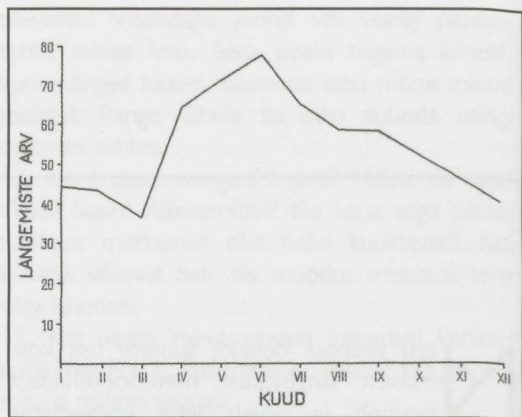
Meteoriite langeb kõikidel aastaegadel ja kogu ööpäeva jooksul. On püütud teha ka statistikat. Näiteks aastail 1800 - 1960 registreeriti 581 langemist, kusjuures kõige enam märgati neid mais ja juunis. Miinimumid oli detsembris, jaanuaris ja märtsis. Seletus on lihtne: kevad-suvel viibitakse rohkem väljas, tehakse enam põllutöid, ning samal ajal on võimalus leida ka kaevetöödel varem langenud meteoriite. Samuti on tihedamini asustatud aladel sel ajal märkamise võimalused suuremad.

Suurimad tervikuna säilinud meteoriidid

Kõik maailma suured meteoriidid on raudmeteoriidid. Neist suurim, Hoba meteoriid leiti 1920. aastal Namiibias (Lõuna-Aafrika). See tume, roostega kaetud rauakamakas on pooleldi maa sees. Meteoriidi pikkus ja laius on 2,7 m, kõrgus maapinnalt 0,9 meetrit ning mass ligi 70 tonni. Kamaka nurkades ja servades on heledamad laigud, sealt on võetud uuringuteks proove.

Suuruselt teine on Ahnighito raudmeteoriid Gröönimaalt massiga 34 tonni.

Hiina pretendeerib kolmandale suurimale raudmeteoriidile. See langes Gobi kõrbesse eelajaloolisel ajal ja seda tuntakse alates 19. sajandist "hõbedase kaameli" nime all. 1965. aastal transportiti see Chingho provintsist Urushisse



Meteoriite langeb kõikidel aastaegadel (a) ja kogu ööpäeva jooksul (b), kuid mõned kuud ja kellaajad paistavad silma suurema langemissagedusega.



34 tonnine Ahnighito meteoriid, mille 1894. aastal leidis Gröönimaalt polaruurija Robert E. Peary. Praegu asub meteoriid New Yorgis Ameerika Loodusajaloo Muuseumis.

Loode-Hiinas. Gobi meteoriidi mass ulatub 33 tonnini.

Jaapani teadlased arvavad siiski, et kõige suurem Maale kukkunud meteoriitidest asub nende maal.



Maailma suurim raudmeteoriit Hoba asub Namiibias ning on pooleldi maa sees.

See avastati 1975. aasta novembris Jaapani meres Tadasima saare lähedal. Meteoriiti on pildistatud veeluse kaameraga ja mõõdetud. Hinnanguliselt on selle mass ligi 100 tonni.

1576. aastast tuntakse Campo del Cielo raudmeteoriite Chaco provintsis Argentiinas. 15 tonnine meteoriit avastati 1813. aastal ja asub praegu Briti Muuseumis. Möödunud sajandi 70-ndatel aastatel leiti siit veel lisaks madalast kraatrist 18 tonnine meteoriit.

Üks suuremaid raudmeteoriite massiga 22 tonni leiti 1863. aastal Mehhikos Sinaloas.

1967. aastal leiti Mundrabilla lähedal Austraalias 8 ja 11 tonnised raudmeteoriidid. Sealt on leitud ka sadu väiksemad palasid ja paljud ootavad sealsel hajumisalal veel oma avastajat. Eesti meteoriidikogus on sellest meteoriidist 384 grammine pala.

Meteoriidisajud

Väga sageli puruneb suurem meteorokeha atmosfääri alumistes kihtides väiksemateks tükikeks, kutsudes esile meteoriidisaju. Heal juhul võib pärast kukkumist lähikonnast korjata kümneid, sadu või isegi tuhandeid meteoriite.

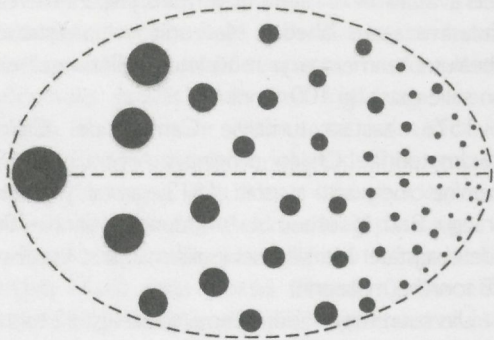


Robinson Henry joonis boliidi lennust 18. augustil 1783. a Newark-on-Trent'i lähedal Inglismaal. Boliid lagunes mitmeks tükiks ja tekitas meteoriidisaju.

Meteoriidisaju üksikpalad langevad kindlas järjekorras ja hajuvad elliptilise kujuga väljale, nn hajumisellipsile.

Hajumisala etteulatuvasse ossa langevad suured, tagumisse ossa väiksema jääkkiirusega palad. Hajumisellipsi pikem telg viitab tavaliselt meteorokeha langemise suunale. Siiski võivad väikesed palad tuule mõjul kõrvale kalduda ning seetõttu võib hajumisellipsi pikim telg ka langemistrajektorist erineda. Selline nähtus esines 9. oktoobril 1938. aastal Ukrainas kivimeteoriidi Zhovtnevyi Hutor ja 28. jaanuaril 1976. aastal Indias Dhajala kivimeteoriidi langemisel.

Tavaliselt näeb vahetu pealtnägija boliidi purunemist plahvatusena, kusjuures sellest eralduvad "tuletükid ja sädemed". Meteorokeha võib puruneda korduvalt. Seetõttu võivad ühe ja sama meteoriidisaju üksikpalad pärineda purunemise erinevatest staadiumidest ning morfoloogiliselt erineda. Näiteks Sihhote Alini 12. veebruari 1947.



Meteoriitide hajumine meteoriidisajus.

Suurema massiga kehad kanduvad edasi kiiremini ja kaugemale.

aasta meteoriidisaju esimese staadiumi üksikpalad on ümardunud ning välispinnal on hästi väljakujunenud sulamislohkused - regmaglütid. Mõned neist on peaaegu kerakujulised. Teisel purunemisel tekkinud tükidel on suhteliselt hästi väljakujunenud regmaglütiline reljeef, kuid neil on halvasti ümardunud nurgad ja servad. Kolmanda staadiumi tükid kattusid vaid õhukese koorikuga ning neil säilisid teravad nurgad ja servad.

Vene meteoriitik J. L. Krinov eraldas peale üldise purunemise veel üksikute tükide eraldumise staadiumi, mis toimub kogu bolliidi liikumise kestel. Sageli esinevad atmosfääri tunginud meteorokehal väljaulatuvad, põhikehaga vaid nõrgalt ühendatud nukid. Just piki neid ühendusi toimubki suuremal osal juhtudest tükeldumine, mis paistab pealt-nägijatele bolliidi sädelemisena. Maapinnale langenult erinevad need tükid teistest selle poolest, et neil on jälgitavad küll ebatasasused ja konarlikud õhukese sulamiskoorikuga kaetud murdepinnad, kuid neil puudub reeglina selge regmaglütiline reljeef. Tükid jaotuvad hajumisalal sama seaduspärasusega nagu üksikpalad meteoriidisajus. On teada juhtumeid, kus kahte või enam, erinevatest kohtadest leitud pala on mööda murdepinda võimalik liita ühtseks tervikuks. Nii võis ühendada teineteisest pooleteise kilomeetri kaugusele langenud 14,9 kg ja 9,9 kg massiga palad Zhovtnevi Hutori meteoriidisajust.

18. oktoobril 1916. aastal langesid Boguslavka (Venemaa) raudmeteoriidi kaks kokkusobivat tükki massidega 199 ja 57 kg teineteisest ligi poole

kilomeetri kaugusele. 1917. aastal USA-s leiti Plainview kivimeteoriidi kaks pala teineteisest ligi kilomeetri kaugusel. 27. detsembril 1857. aastal Birmas Quenggouki kivimeteoriidi kolm eksemplari massiga vastavalt 2,3; 1,9 ja 1,8 kg langesid 16 km läbimõõduga hajumisalale. Ühtseks kehaks oli võimalik liita ka 27. juunil 1966. aastal Itaalias langenud Saint-Severini viis kivimeteoriiti massiga vastavalt 113,0; 57,6; 27,2; 45 ja 5,2 kg.

Gröönimaa meteoriidisadu

Huvitavad on ka Lääne-Gröönimaa Cape-Yorki raudmeteoriidisaju leiud. 1818. aastal seilas Briti maadeuurija kapten John Ross piki Gröönimaa läänerannikut. Melville lahe põhjaosas kohtus ta eskimodega, kes näitasid talle rauast valmistatud nuge ja harpuuniotsi. Eskimod rääkisid Melville lahe põhjarannikul mäest esile ulatuvast hiiglasuurest rauast kaljust. Halva ilma tõttu ei saanud Ross seda kahjuks uurida. Mõõdus seitsekümmend viis aastat. 1894. aastal saabus samasse Melville lahe põhjarannikule kuulus polaaruurija Robert E. Peary. Seal nägi ta lumevallis kolmetonnist raudmeteoriiti, mida eskimod nimetasid Naiseks (Woman). Eskimod rääkisid, et see on vaid üks kolmest kivist. Väiksemat neist kutsuti Koeraks (Dog) ja kõige suuremat Telgiks (Tent).

Uurimist jätkati järgmisel aastal. "Tenti" mass ulatus 34 tonnini. 1897. aasta augustis laaditi see nüüd juba Ahnighito nimeline rauamürakas laevale *Hope*. 2. oktoobril 1897. a jõudis laev oma lastiga õnnelikult New Yorgi sadamasse. 1913. aastal leiti



Apgallitki raudmeteoriidi transportimine leiupaigalt Gröönimaal 1963. a. V.F. Buchwaldi foto.

Gröönimaalt Saviku poolsaarelt neljas 3,5 tonnine meteoriid, mis viidi 1926. aastal Taani ekspeditsiooni poolt Kopenhaagenisse. Viies, 15 tonnine mürakas Agpalilik leiti 1963. a Taani meteoriiditu ja keemiku Vagn F. Buchwaldi poolt Cape Yorgi sisemaalt. Kõik suured meteoriidid leiti maa-alalt, mille läbimõõt on umbes 15 km. Arvatakse, et osa meteoriididest võis kukkuda merre. Kolm meteoriidid Agpalilik lihvitud lõiku massidega 13,5; 0,343 ja 0,104 kg kinkis V. Buchwald 1992. aastal oma külaskäigu ajal Eesti meteoriidikogule.

Kollektsioonidesse talletatud meteoriidisadudest pärit meteoriidide arv on üle kümne tuhande. Eesti meteoriidikogus on näiteks sadakond Sihhote-Alini sajast pärinevat individuaalpala ja kildu. Suurim neist, massiga 49 kg, asub Tartu Ülikooli geoloogia-muuseumis.

XIX sajandi suuremaid meteoriidisadusid

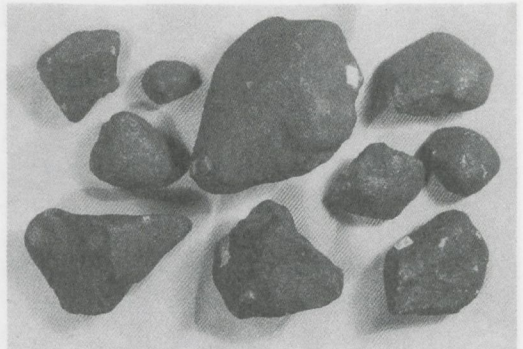
XIX sajandil oli rohkesti muljetavaldavaid meteoriidisadusid.

26. aprillil 1803. aastal langes taevast ligi kolm tuhat kivi Normandias (Prantsusmaa) L'Aigle (Orne) lähedal üle 9 km pikkusele ja 4 km laiusele maa-alale. Kogutud meteoriididest, kokku ligi 37 kg, suurima pala mass oli 1,8 kg.

9. juunil 1866. aastal toimus Ukrainas kivi-meteoriidisadu Knyaginya. Sealt korjati hiljem ligi 1000 meteoriidit kogumassiga 500 kilogrammi. Neist kõige suurem, 293 kilogrammine pala asub Viini rahvusmuuseumis.

Teadadaolevaist suurim meteoriidisadu toimus 1868. aasta 30. jaanuari õhtul Pultuski linna lähedal Poolas, kus langes üle 100 000 meteoriidid. Pealnägijate andmetel nähti bolliidi juba ligi 40 km kõrgusel. See on palja silmaga kõige kõrgemal nähtud bolliid, mis omakorda näitab meteoroorkeha väga pikka langemistrajektoori. Suurem osa meteoriididest langes umbes 10 km² suurusele elliptilisele hajumisalale. Suurim leitud pala oli üle pooleteise kilogrammi. Kõik leitud valkjashalli siseehitusega palad olid kaetud musta sulamis-koorikuga.

Prantsusmaa väkelinna Orgueillis' (Nontaubani



Meteoriidipalasad 30. jaanuaril 1868. a toimunud maailma suurimast meteoriidisajust Pultuskis (Poola). G. Baranovi foto Eesti meteoriidikogus asuvatest paladest Tallinnas.

provintis) lähistel toimus 14. mail 1864. aastal meteoriidisadu, kust leiti ligi kaksikümmend pala. Tegemist oli väga harva esineva meteoriiditüübi - süsinikkondriidiga. See on väga rabe ja halvasti säiluv. Ka Eesti meteoriidikogus olev ligi 47 grammine pala on aja jooksul pulbristunud.

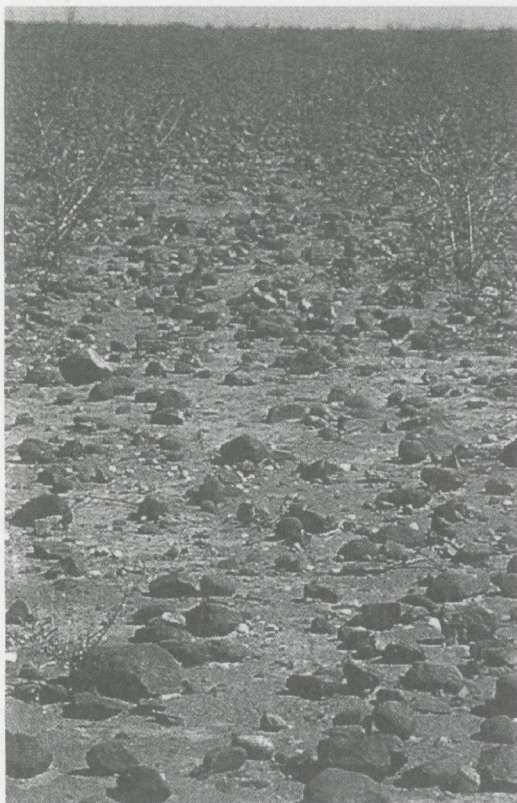
Kolm suurt meteoriidisadu toimusid Iowa osariigis USA-s tähelepanuväärselt lühikese aja - 15 aasta - jooksul. Esimene neist leidis aset 1875. a 12. veebruari hilisõhtul Homesteadi linna lähedal. Täiskuu suurune bolliid valgustas talvist maastikku, selle langemist saatis kõuetaoline hää. Mõned kilomeetrid enne maapinda meteoroorkeha plahvatas, saates Maale ligi tuhat kivipala, millest suurim oli 33 kg. Meteoriiditükid katsid ligi 40 km² suuruse ala. Järgnevatel aastatel koguti neid sealt kogumassiga 226 kg.

Iowa teine sadu toimus 10. mail 1879 Estherville linna lähedal. Bolliidi lend oli sedavõrd tähelepanuvääriv, et katkestati isegi pesapalli võistlus. Olgugi et sadu andis vaid mõned palad, ei olnud need tavalised kivimeteoriidid, vaid väga harva esinevad kivi-raudmeteoriidid.

Esthervilles idas asuvas Forest City's sadas 2. mail 1890 üle 2 km laiusele alale 1800 väikest kivimeteoriidit, kokku ligi 100 kg. Suuremaid palasid massiga 1,5 kuni 32 kg oli vaid viis.

Neist meteoriididest on palad ka Eesti meteoriidikogus.

1836. aastal avastati Lõuna-Aafrikas 400 km pikkune ja 100 km laiune Gibeoni meteoriidikraatrite väli. Selle raudmeteoriidide saju aeg pole kahjuks teada.



Gibeoni raudmeteoriidisaju hajumisväljalt võib koguda tuhandeid palasid.

Ka XX sajand oli tunnistajaks mitmele suurele meteoriidisajule

Tsarjovi kivimeteoriidisadu leidis aset 6. detsembril 1922. aastal Tsaritsõni kubermangus (praegu Volgogradi oblast).

Esimene teade langemisest ilmus 24. detsembril 1922. aastal. Ajalehe teatel oli kaks nädalat varem täheldatud tulekuma ja tugevat kõminat, millest kaikusid läbi kahuripaukude sarnased helid. Lendu oli jälgitud õhtul mitme sekundi vältel "pimestava äikesena", millega oli kaasnenud aknaklaase klirisema panev mürin. Hiljem Ahtuba jõe äärsesse steppi saadetud uurimis-

rühmad suutsid küsitluste ja tähelepanekute põhjal taastada vaid meteorokeha lennu üldpildi.

Suurt huvi selle meteorokeha lennu vastu tundis Tunguusi katastroofi uurija, Tartus sündinud Leonid Kulik. Ta levitas 1923. aastal kohalike elanike hulgas küsitluslehti ja määras vastuste põhjal tõenäolise langemiskoha. Kuid teadusemaailmas suurt huvi tekitanud "Volga meteoriit" jäi tookord siiski leidmata. Nagu hiljem selgus, oli oletatav langemiskoht määratud valesti - tegelikust mõnevõrra ida pool.

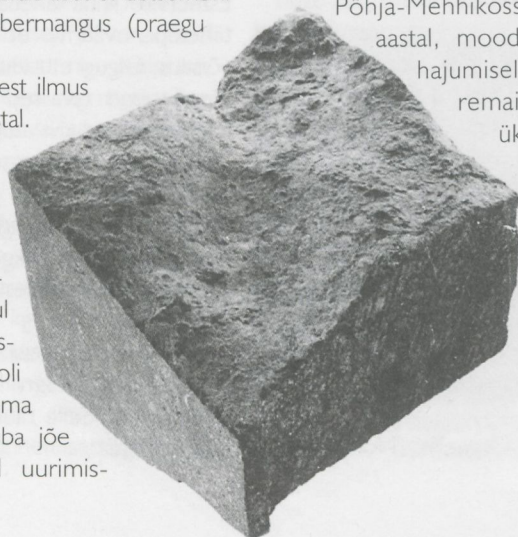
Meteoriit tuli päevavalgele 1979. aastal põllutöödel juhuslikult, kui leiti 19 üksikpala. Samas selgus, et selliseid erilaadseid kive oli siit leitud juba 1968. aastal uudismaa ülesharimise käigus, kuid teadet neist ei jõudnud tolelaegse NSVL TA Meteoriitide Komiteesse ja leiud jäid lähemalt uurimata. 1980. aastal korraldati leiukohta ekspeditsioon, mille käigus koguti 44 üksikpala kogumassiga 1225 kg. Kõikidel meteoriidipaladel olid iseloomulikud sulamisjälgedega regmaglüpssed pinnad. Maal lebedes olid need kattunud tugeva punakaspruuni oksüdeerumiskoorikuga. Kuigi Tsarjovi meteoriit on harilik kivimeteoriit, on selle saju puhul tegemist Venemaa suurima kivimeteoriidisajuga.

Sihhote Alini raudmeteoriit langes loendamatute tükkidena 12 ruutkilomeetri suurusele (6x2 km) alale. Suur osa sellest sajust puhkab praegugi taiga pinnases, sest hajumisala pole jõutud veel lõpuni uurida. Seal on mitmel korral töötnud ka Eesti meteoriitikud.

Eelnevalt tuhandeteks paladeks purunenud Allende kivimeteoriit langes särava tulekuuluna

Põhja-Mehhikosse 8. veebruaril 1969.

aastal, moodustades 40 km pikkuse hajumisellipsi, mis on üks suuremaid maailmas. Selle saju üksikpalade mass on mõnest grammist 110 kilogrammini. Esimese mõne nädala jooksul koguti neist kokku rohkem kui kaks tonni.



Tsarjovi kivimeteoriit (354 g) Eesti meteoriidikogus Tallinnas. R. Tiirmaa foto.

Sama aasta 28. septembril toimus veel teinegi kivimeteoriidi sadu, seekord Murchisoni linnas Austraalias. Oli pühapäeva hommik, mil enamik elanikke, kui bolid nähtavale ilmus, viibis kirikus.



8. veebruaril 1969. a langenud Allende meteoriidisaju palad Eesti meteoriidikogus Tallinnas. G. Baranovi foto.

Meteoriit lagunes ja hajus linnas. Inimesed kogusid tänavatelt 8 ruutkilomeetrisele alale üle saja kilogrammi meteoriite. Suurim neist oli 6 kg.

Nii Allende kui ka Murchisoni meteoriit on süsinikkondriidid. Murchisoni kivimeteoriit erineb Allende meteoriidist selle poolest, et sisaldab 10% vett, mistõttu see on habras ja laguneb väga kergesti. Neid peab koguma kiiresti, enne kui ilmastik need lõplikult hävitab. Mõlemad meteoriidid sisaldavad orgaanilisi ühendeid, aminohappeid, mida on leitud kõikides Maa eluvormides.

7. märtsil 1976. aastal toimus Hiinas Jilini meteoriidisadu. Maailma ühe suurima kivimeteoriidi tükid hajusid 70 km pikkusele ja 8 km laiuks alale. Paari kuuga koguti sealt sadu meteoriite. Suurim neist massiga ligi 2000 kg asus savipinnases kahemeetrise läbimõõduga 6,5 m sügavuses augus.

XIX ja XX sajandi tähelepanuväärsemad meteoriidisajud:

nimi	aasta	koht, riik	arv	koostis
Allende	1969	Chihuahua, Mehhiko	tuhanded	kivimeteoriit (CV3)
Bruderheim	1960	Alberta, Kanada	üle 75	kivimeteoriit (L6)
Estherville	1879	Emmet, Iowa, USA	sajad	kivi-raudmeteoriit (MES)
Forest City	1890	Winnebago, Arizona, USA	üle 500	kivimeteoriit (H5)
Holbrook	1912	Navajo, Arizona, USA	16 000	kivimeteoriit (H6)
Homestead	1875	Iowa, USA	üle 100	kivimeteoriit (ADIO)
Knyaginya	1866	Ukraina	üle 1 000	kivimeteoriiti (L5)
L'Aigle	1803	Orne, Prantsusmaa	üle 2 000	kivimeteoriit (L6)
Millbillillie	1960	Wiluna, Austraalia	sajad	kivimeteoriit (AEUC)
Mocs	1882	Transylvania, Rumeenia	3 000	kivimeteoriit (L6)
Murchison	1969	Victoria, Austraalia	sajad	kivimeteoriit (CM2)
Nakhla	1911	Alexandria, Egiptus	40	kivimeteoriit (ACANOM)
New Concord	1860	Muskingum, Ohio, USA	30	kivimeteoriit (L6)
Norton County	1948	Norton, Kansas, USA	üle 100	kivimeteoriit (AUB)
Nuevo Mercurio	1978	Zacatecas, Mehhiko	tuhanded	kivimeteoriit (H5)
Orgueil	1864	Montauben, Prantsusmaa	20	kivimeteoriit (CI)
Pasamonte	1933	New Mexico, USA	üle 75	kivimeteoriit (AEUC)
Pultusk	1868	Pultusk, Poola	100 000	kivimeteoriit (H5)
Sihhote-Alin	1947	Primorje, Venemaa	tuhanded	raudmeteoriit (IIB)
Tenham	1879	Queensland, Austraalia	sajad	kivimeteoriit (L6)

Hiljem leitud suuremate meteoriidisadude kuhjed:

nimi	aasta	koht, riik	arv	koostis
Brenham	1882	Kiowa, Kansas, USA	tuhanded	kivi-raudmeteoriit (PAL)
Campo del Cielo	1576	Chaco, Argentiina	tuhanded	raudmeteoriit (IA)
Gibeon	1836	Namiibia	tuhanded	raudmeteoriit (IVA)
Imilac	1822	Atacama, Tšiili	sajad	kivi-raudmeteoriit (PAL)
Mundrabilla	1911	Lääne-Austraalia	sajad	raudmeteoriit (IRANOM)
Plainview	1917	Hale, Texas, USA	tuhanded	kivimeteoriit (H5)
Toluca	1776	Mehhiko	tuhanded	raudmeteoriit (IA)
Vaca Muerta	1861	Atacama, Tšiili	tosin	kivi-raudmeteoriit (MES)

Leiud ja langemised

Meteoriitide kolleksioneerimisel kasutatakse kahte määrangut: langenud - kui on teada täpne langemisaeg ja koht; leitud - kui märgitud andmeid pole teada, s.o juhuslikult leitud meteoriit. Neile antakse tavaliselt langemise või leidmispaiga lähedal oleva asula või küla (talu) nimi. Mõningatel juhtudel on meteoriidil mitu nime. Näiteks 1855. aastal Saaremaale Meriste külla Kaanda talu maadele kukkunud meteoriiti tuntakse maailmas Oeseli või Kaande (moonutatud vorm talu nimest) meteoriidina. Mitmel Soomest leitud meteoriidil on kataloogides rootsipärane nimi: näiteks 1910. a Mikkeli lähedale langenud meteoriit kannab St. Micheli ja 1901. a Huittisesse langenud meteoriit Hvittise nime. Omapärane on ka "Taiga" meteoriidi nime tuletus. Kataloogides ei ole sellele koordinaate antud, sest meteoriidi leidis 1946. aastal Siberi taigast metsatööde ajal saksa sõjavang, kes selle hiljem vabanedes Saksamaale viis.

1977. aastal leiti Lääne-Austraalias Nullabori platoo põhjaosast iseäraliku koostisega kivi-meteoriit, mis sai nimeks Carlisle Lakes. Huvitav

on märkida, et Carlisle'i järved on saanud oma nime legendaarse meteoriidiotsija John Carlisle järgi.

Briti Muuseumi poolt 1985. a välja antud kataloogi andmeil oli sellal kogu maailmas arvele võetud 2611 autentset meteoriidipala. Neist 1813 (69%) on kivi-, 725 (28 %) raud- ja 73 (3%) kivi-raudmeteoriidid. Neile lisaks on nimekirjas veel ligi 200 pala, mille meteoriitne päritolu on vaieldav. 959 meteoriidi puhul nähti langemist ja 1727 on leitud. Suurem osa leitud meteoriitidest on raudmeteoriidid, sest need on äratuntavad oma eripärase välimuse tõttu. Nii on 725 raudmeteoriidi puhul ainult neljakümne kahel (5,8%) nähtud langemist. Harilikud kivimeteoriidid sarnanevad maistele kivimitele ja neid lihtsalt ei tunta ära. Seevastu 1813 kivimeteoriidi puhul 853-l (47%) on nähtud langemist. Kivi-raudmeteoriite on 73 ja neist ainult kümnel juhul on nähtud langemist.

Riikide nimistus on meteoriidi leidude ja langemiste arvukuse poolest esikohal USA 920 meteoriidiga. Sellest 116 korral on nähtud langemist ja 795 on leitud, lisaks neile on veel 9 kaheldavat leidu. Teisel kohal on Austraalia 218

meteoriidiga: neist 12 langemist ja 204 leidu ning 2 on kahtlased. Indias on langemisi 111, leitud 7 ning kahtlasi 6, kokku 124 meteoriiti. Järgnevad Mehhiko 71, Prantsusmaa 69 ja Hiina 68 meteoriidiga. Eesti ala on andnud maailmale viis meteoriiti.

Kõige rohkem on nähtud langemisi (üle 300) Euroopas, mis peegeldab mõneti selle tihedat asustatust. Leidusid on kõige enam Põhja-Ameerikas - ligi 700. Samal ajal maakera teistes osades on meteoriite leitud palju vähem. Rohkesti meteoriite leitakse kõrbetest. Viimasel ajal on meteoriidiküttide meelismaaks saanud Sahaara kõrb, kus meteoriidid vähese niiskuse tõttu murenevad väga aeglaselt. Veel poolsada aastat tagasi olid meteoriidid juhuleidudeks. Tänapäeval otsitakse neid eesmärgikindlamalt.

1920. aastal nägi USA kooliõpetaja Harvey Nininger bolliidi langemist ja hakkas seejärel innukalt meteoriite uurima ja otsima. Poolesaja aasta jooksul kogus ta koos abilistega enda loodud Ameerika Meteoriidilaboratooriumisse mandri eri paikadest sadu meteoriite. Leidude seas on mitmeid haruldusi. Eriti palju koguti neid New Mexico osariigist, paikkonnast, kus paarikümne sentimeetrise mullakihi all on kõva savimaa. 30-ndate aastate katastroofilise põua ajal hävitas tuul mullakihi ja paljastas savi. Sellelt leiti hulganisti aegade jooksul maapinnale kukunud meteoriite.

Meteoriitide poolest viljakas paik on ka Lääne-Austraalia Nullarbori lubjakiviplatoo. Kohalikke on õpetatud taevakive tundma ning kümne viimase aasta jooksul on siit leitud üle 20 uue meteoriidi.

On huvitav märkida, et nii vanalt ja hästi uuritud maalt kui Suurbritannia, on leitud vaid üks kivimeteoriit. 1974. aastal leiti see Hampshires Danebury Hilli lähedal 1,5 m sügavusest kaevisest. Seevastu langemisi on seal registreeritud kaksikümmend.

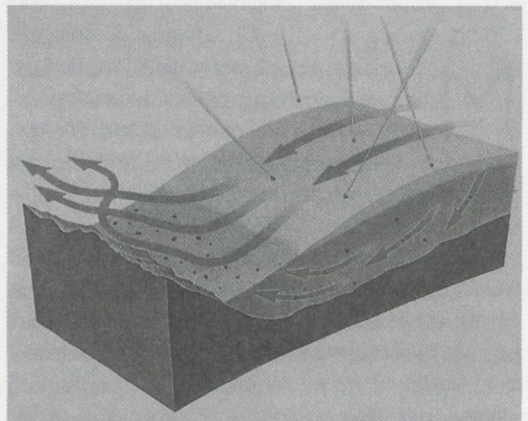
Kanada bolliidide jälgimise võrgustiku vaatluste põhjal oletatakse, et Maale langeb igal aastal 26 000 üle saja grammise massiga meteoriiti. Nendest suurem osa langeb ookeanidesse, mis teatavasti katavad 361 059 km² (70%) kogu maakera pinnast. Ainult viis või kuus pealtnäggijate poolt registreeritud langemist satuvad teadlaste kätte uuringuteks.

Meteoriitide leiud Antarktikast

Antarktikast on leitud nüüdseks üle 10 000 üksik-pala, mida kattev jääkilp oma aeglasel liikumisel ranniku lähedal või mägede jalamil sulades vabastas jäävangist, kus need olid pikaks ajaks konserveeritud. Kuni 1964. aastani oli sealt leitud vaid 6 meteoriiti. Esimene Antarktika meteoriit leiti 1912. a detsembris Austraalia Antarktika ekspeditsiooni liikmete poolt. See väike kilogrammine kivi-meteoriit sai nimeks Adélie Land. Mõõdus peaaegu 50 aastat, enne kui 1961. a jaanuaris kuuenda Nõukogude Antarktika ekspeditsiooni geoloogid leidsid järgmised kaks raudmeteoriiti Lazarev. Samal aastal leidsid ka USA geoloogid kivi-raudmeteoriidi Thiel Mountains ja 1964. aastal raudmeteoriidi Neptune Mountains.

1969. aasta detsembris leidsid Jaapani glatsioloogid sisemaalt Yamato mägede jalamilt, kus jääliustik oli tuulte poolt tugevalt kulutatud, jää pealt üheksa meteoriidipala. Algul arvati, et need pärinevad ühest ja samast meteoriidisajust. Pärast palade uuringuid selgus aga üllatuseks, et need kuulusid vähemalt nelja erinevasse kivimeteoriidi rühma. 1973. aastal saadeti samasse piirkonda geoloogide rühm, kes kogus üle tosina meteoriidi. 1974. aastal leidsid nad aga juba 663 pala ja järgmisel aastal 307. Eriti õnnelikuks olid Jaapani ekspeditsioonile aastad 1979/80, mil nad kogusid ligi 3700 pala.

1976. aastal alustasid ka ameeriklased meteoriitide otsinguid Mount Baldri lähedal asuva Transantarktika mäestiku jalamil, kuid leidsid vaid mõned meteoriidid. Pärast kuut nädalat pingsat



Nii kuhjuvad meteoriidid Antarktika jões.

tööd otsustasid nad tagasi pöörduda oma McMurdo jaama. Tagasiteel soovitas helikopteri juht otsida meteoriiite Allan Hills'i lähedal olevalt lagedalt jääväljalt. Juba mõni minut pärast maandumist leidsid nad esimese meteoriiidi, kiiresti järgnesid uued leiud. 1976. aastast kuni 1980. aastani koguti Allan Hills'i alalt rohkem kui 800 meteoriiiti. Ameerika meteoriiitikutele olid kõige õnnelikumateks aastateks 1981/82 ja 1985/86, mil nad kogusid vastavalt 375 ja 368 pala. 1996. aasta andmetel olid ameeriklased selleks ajaks kogunud juba 7645 meteoriiiti.

Antarktika meteoriiidid võivad esindada ligi 800 eri meteoriiidi langemist ja suurendaksid seni teada olevate meteoriiidisadude arvu rohkem kui veerandi võrra. Antarktika leiud esindavad kõiki meteoriiiditüüpe, kuid valdavaks on ikkagi kivi-meteoriiidid. 1979. aastal leiti kaks šergotiiti Victoria Maalt. Enne seda oli selliseid meteoriiite maailmas teada ainult seitse. Ühel neist olid tumehallid klaasjad suletised, milles avastati krüptooni, argooni, ksenooni ja lämmastikgaase. Gaasid võivad viidata meteoriiidide lähtekoha atmosfääri koostisele. Saadud analüüs viitas Marsi atmosfäärile, mille koostist oli mõõdetud kosmoselaeva "Viking"

maandurite poolt 1976. aastal.

Antarktikast pärit meteoriiidide isotoopuurin-gud näitasid nende Maal veedetud aega, mis ulatus 10 000 aastast kuni 750 000 aastani. Seega on need Maal seni tuntud meteoriiitidest vanimad.

Seoses arvukate meteoriiidide leidudega ühest piirkonnast tekkis meteoriiidide tähistamise "no-menklatuurne" probleem. See lahendati järgmiselt: meteoriiidid tähistatakse ladina tähtede ja numbritega, kusjuures kolm esimest tähte näitavad leiukohta, neljas on meteoriiidi leidnud otsimis-rühma indeks; esimesed kaks numbrit on leiuaasta kaks viimast numbrit, ülejäänud numbrid leiu järjekorranumber. Seega ALHA 77029 on 29. meteoriiiti, mis on leitud Allan Hillsist 1977. aastal grupi "A" poolt.

Käesoleval ajal kasutatakse Victoria Maa rajoonis järgmisi leiukoha nimetusi: ALH - Allan Hills, MBR - Mount Baldr, PGP - Purgatory Peak, MET - Meteorite Hills, DRP - Derrick Peak, BTN - Bates Nunatak, EET - Elephant Moraine; RKP - Reckling Peak, OTT - Outpost Nunatak. Yamato ja Belgica mägedest leitud meteoriiidide tähistamisel kasu-tatakse sama numbrilist printsiipi, kuid leiukoha nimi näidatakse täielikult või esimese tähega.

Meteoriiidide koostis

Meteoriiidide koostist ja ehitust uuriti juba ülemöödunud sajandil, mil selgitati põhi-lised meteoriiidirühmad ja -tüübid. Meteoriiidide uurimises nähti võimalust tundma õppida mitte ainult haruldast kosmilist ainet, vaid selle kaudu ka Maa sisemust.

Meteoriiidide peamised komponendid on silikaatne (kivi-), metalliline (raudnikli-) ja sulfidne (troiliitne). Need esinevad meteoriiidides mit-mesugustes kombinatsioonides ja vahekordades. Keemiliselt koosnevad meteoriiidid Maal tuntud elementidest. Tähtsamad neist on hapnik, raud, räni ja magneesium, mis moodustavad 90%

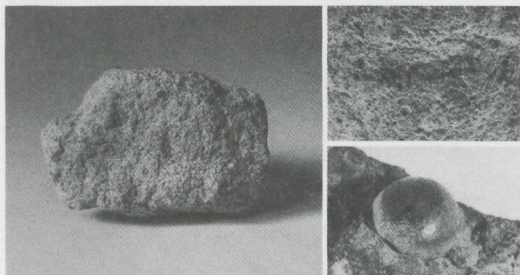
meteoriiidide massist. Meteoriiidides on kindlaks tehtud üle 100 mineraali, nendest on tähtsamad oliivin, pürokseenid ja plagioklass. Suurem osa mineraalidest on samad kui maakooseski, kuid leidub ka mineraale, mida Maal ei tunta, nagu kamsiit, taeniit, troiliit, šreibersiit, barringeriit jt. Mineraali suurus varieerub mikrokristallilisest kuni jämedakristalliliseni.

Meteoriiidid jagatakse keemilise ja mineraalse koostise alusel kivi-, raud- ja kivi-raudmeteorii-tideks ehk segameteoriiidideks, mis omakorda jaotatakse struktuuri arvestades järgnevatesse klassidesse:

tüüp	klass	esinemissagedus
kivi- meteoriidid	kondriidid akondriidid	92,7%
kivi-raud- meteoriidid	mesosideriidid pallasiidid	1,3%
raud- meteoriidid	oktaedriidid heksaedriidid ataksiidid	6 %

Kivimeteoriidid - kondriidid ja akondriidid

Kivimeteoriidid sarnanevad mõneta maakooses olevate kivimitega. Need on tavaliselt tumedad, kaetud enamasti hallikas- kuni punakasmusta koorikpinnaga. Nende värske murdepind võib olla hele- või tumehall, harvem valkjas. Neis võib esineda õhukesi tumedaid omavahel lõikuvaid soonekesi. Peeneteralises põhimassis on rohkearvuliselt tumedaid, hõbedaselt läikivaid, millimeetrist väiksema läbimõõduga kerakesi - kondreid, primaarse kosmilise aine tombukesi. Arvatakse, et need on tekkinud meteoriitse aine tilgakeste kiirel hangumisel ja näitavad selle eksisteerimist kunagi osaliselt sulanud olekus. Kondrid koosnevad oliviinist, pürokseeni rühma mineraalidest, päevakividest ja nikkelrauast. Kondriidid, st kondreid sisaldavad kivimeteoriidid (nimetuse soovitas G. Rose 1864. a), jaotatakse keemilise ja mineraalse koostise järgi harilikeks, enstatiitkondriitideks ja süsinikkondriitideks. Esimesed moodustavad ligi 90% kõikidest leitud kivimeteoriitidest. Kõvadus on kivimeteoriitidel erinev, alates väga kõvadest enstatiitkondriitidest kuni



12. märtsil 1899. a langenud Bjurböle kivimeteoriit, mille pinnal on selgesti eralduvad kondrid.
G. Baranovi fotod Eesti meteoriidikoogu palast Tallinnas.

pehmete ja haprate süsinikkondriitideni.

Kondriitide struktuursete erinevuste ja mineraalse koostise järgi eristatakse neil palju alatüüpe. Petrooloogiline tüüp on tähistatud numbritega I - 7, mis näitab kondrite moonet ja kondriitide tekstuuride erinevusi.

mineraalne tüüp	petrooloogiline tüüp
Harilik	
Oliviin-bronsiit (H)	H3-H7
Oliviin-hüpersteen (L)	L3-L7
Amfoteriit (LL)	LL3-LL7
Enstatiitkondriit (E)	E4-E7
Süsinikkondriidid (C)	
Ivuna (I)	CI(1)
Mighei (M)	CM2
Vigarano (V)	CV3-CV5
Omans (O)	CO3-CO4

*(Ivuna meteoriiit langes Tansaania 1938. aastal;
Mighei meteoriiit langes Ukrainas 1889. aastal;
Vigarano meteoriiit langes Itaalias Emiliias 1910. aastal;
Omans meteoriiit langes Prantsusmaal Doubsis 1868. aastal)*

Kivimeteoriitides esineb kõige rohkem oliviini ja pürokseeni. Vastupidiselt maistele kivimitele sisaldavad need põhimassis metalliliste teradena veel nikkelraua sulamit, põhiliselt troiliiti ja magnetiiti. Troiliit on saanud oma nime 18. sajandi Itaalia meteoriitide uurija, jesuiitide preestri Domenico Troili järgi. Troiliiti on kerge eristada teistest raua-mineraalidest selle pronksivärvuse tõttu. Magnetiit on mustja klaasja sulamiskooriku peamine mineraal ja samal ajal tähtsaim mineraal ka süsinikkondriitides. Maakooses valdava osa moodustavad päevakivid on meteoriitides vähemtähtsa 5-10% lisandina. Maakooses sage kvarts esineb meteoriitides suhteliselt harva.

Kondriite jaotatakse raua sisalduse järgi kolme rühma ning tähistatakse: H (high), L (low), LL (low-low). H-tüüpi kondriitides on nikkelrauda keskmiselt 28% ja võrdses koguses oliviini ja bronsiiti. Neid kutsutakse oliviin-bronsiit kondriitideks. L-tüüpi kondriitides on nikkelrauda kuni 22% ja need sisaldavad rohkesti oliviini ja hüpersteeni. Neid kutsutakse oliviin-hüpersteen kondriitideks. Grupis LL on suurem osa rauast oksüdeerunud ja seda on seal alla 8%. Siin on oliviin väga raurikas. Seda väikest kondriitide rühma nimetatakse amfoteriitideks.

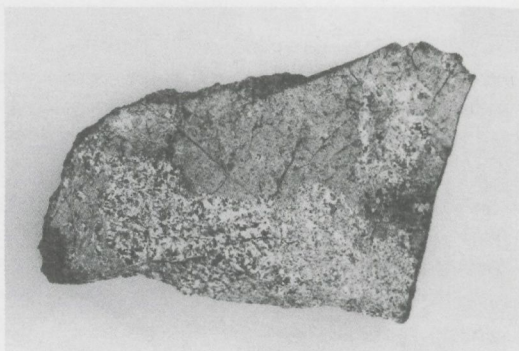
E-rühma kondriitide ehk enstatiitkondriitide põhikomponendi (40-60%) moodustavad enstatiit ja klinoenstatiit. Iseloomulik on ka kõrge kamsiidi (17-28%) ja troilliidi (7-15%) sisaldus. Lisandina esineb päevakive (5-10%). Maailmas on registreeritud ainult 24 enstatiitkondriidi leidu. Nende madal hapnikusisaldus viitab moodustumisele Päikesele lähemal, võimalik, et Merkuuri orbiidi sees.

Süsinikkondriite on eri mandritelt ja Antarktika jääkilbist leitud ligi kaheksakümmend. Neis leidub orgaanilisele ainele lähedasi ühendeid, eeskätt kõrgmolekulaarseid süsivesinikke, hapnikku sisaldavaid süsinikuühendeid ja aminohappeid. Iseloomuliku tumeda värvi annavad selle rühma meteoriiitele magnetiidi tugevalt pihustatud terad. Süsinikkondriidid sisaldavad rohkesti savimineraale ning nendega seotud vett (kuni 20%). Need mineraalid muudavadki meteoriidid haprateks ja need murenevad kergesti pulbriks. On tähelepanuväärne, et rohkem kui pooled süsinikkondriidid on leitud kohe pärast langemist.



Orgueilli kivimeteoriiit (süsinikkondriit), mis langes 14. mail 1864. a Prantsusmaal. G. Baranovi foto palast Eesti meteoriidikogus Tallinnas.

Mõnedel jämedateralistel kivimeteoriiitidel kondrid puuduvad ja neid nimetatakse akondriitideks. Mineraalne koostis ja struktuurilised iseärasused näitavad, et akondriidid on ilmselt magmalise tekkega, s.o tardunud silikaatsest sulamist. Enamik akondriite on keemiliselt sarnased basaltidele - seega aluseliste kivimitele. Tumedavärvuselised basaldid koosnevad sedavõrd väikestest kristallidest (peitekristallilised), et neid ei saa palja silmaga näha. Akondriitide suured kristallid viitavad sellele, et need jahtusid suhteliselt aeglaselt planeedi või asteroidi sees. Ilmselt ka meteoriiitide alkivimist



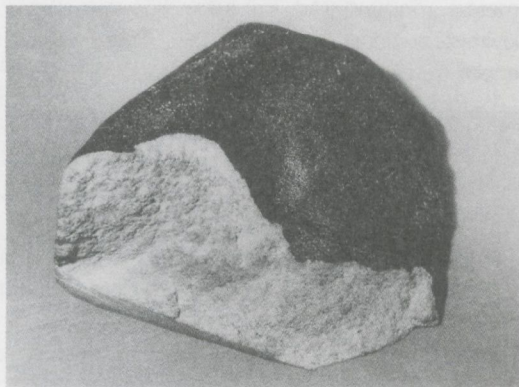
Millbillillie kivimeteoriiit (eukriit) leiti 1960. a Austraaliast. Pildil on 40,8 grammine plaat Eesti meteoriidikogust Tallinnas. G. Baranovi foto.

moodustunud magmas vajusid tihedad metallirikad erimid sügavamale ja moodustasid kunagise taevakeha tuuma. Kaltsiumi ja alumiiniumiga rikastunud basaltse voolud tõusid nagu Maalgi kõrgemale ja tardusid kooses. Selgelt eristuvad Ca-rikkad (angriit, nakhliit, howardiit, eukriit) ja Ca-vaesed akondriidid (aubriit, diogeniit, chassigniit).

Omapärased on akondriitide hulka kuuluvad ureilliidid, mis võivad sisaldada teemante. Esimest korda kirjeldati teemanti ureilliidis 1888. aastal vene teadlaste poolt.

Mõned basaldilised akondriidid (howardiidid) on arvatavasti pärit purunenud asteroidide pinnalt, koosnedes purunenud kristallidest, basaltse kivimi fragmentidest ning kondriitsest materjalist.

Teatakse 140 akondriiti, millest 13 meenutavad naabertaevakehade Kuu ja Marsi kivimeid. Viimaseid tuntakse Shergotty, Nakhla ja Chassigny meteoriiitide järgi SNC meteoriiitidena.



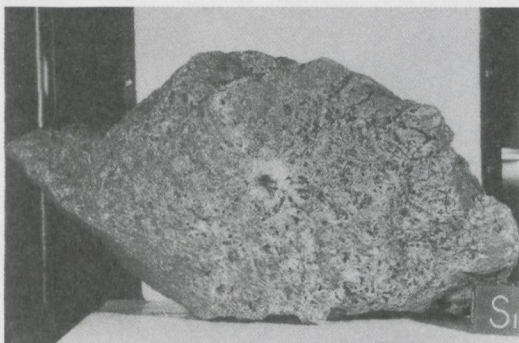
Byalistoki kivimeteoriiit (howardiit) langes Poolas 5. oktoobril 1827. a. R. Tiirmaa foto Eesti meteoriidikogu palast Tartus.

Vastavalt põhimineraalidele on akondriitide klassifikatsioon järgmine:

akondriidid	põhimineraal	tähis
Aubriit	enstatiit	AUB
Angriid	augiit	ACANOM
Ureiliit	oliviin-pigeoniit	AURE
Alagrupp HED		
Howardiit	eukriit-diogeniit	AHOW
Eukriit	anortiit-pigeoniit	AEUC
Diogeniit	hüpersteen	ADIO
Alagrupp SNC		
Shergotiit	plagioklass, pürokseenid	AEUC
Nakhlit	diopsiid-oliviin	ACANOM
Chassigniit	oliviin	ACANOM

Akondriidid Kuult

Kuu on esimene maaväline objekt, mida inimene on saanud vahetult uurida, esialgu kosmoselaeva ja hiljem, 1969. a juulis, inimese enese poolt. Kuus Apollo reisi Kuule (1969-1972) töid uurijatele 380 kg kivimeid. Kolm mehitamata Vene kosmoselaeva - Luna 16, 20 ja 24 - töid samuti kaasa kuupinnase proove. Kuu pind osutus kaetuks pureda ainega, mida nimetatakse regoliidiks. Selle on Kuu pinnale tekitanud sinna langenud pisimeteoriidid ja Päikeselt lähtuv päikesetuul. Regoliidikihi paksus ulatub mõnest meetrist kuni mitmekümne meetrini. Seda moodustavate osakeste keskmine läbimõõt on alla millimeetri, kuid leidub ka suuremaid. Regoliitide all paiknevad rabenemata kõvad kivimid on valdavalt tumedad basaldid ja anortosiidid. Viimased on helehallid ja koosnevad peamiselt päevakividest ja teistest kaltsiumit,



3,3 miljardit aastat vana basaldipala, mis toodi Maale Kuult Apollo 15 astronautide poolt. NASA foto.

alumiiniumi ja räni sisaldavatest mineraalidest.

Kuu kivimid on tekkinud 4400 - 2900 miljonit aastat tagasi. Mandrite anortosiidid on vanemad kui merede basaldid. Viimased esindavad Kuu viimast vulkaanilise tegevuse perioodi.

Kuu pinnal on rohkesti kraatreid, kuid Maale toodud proovides on meteoriitidest pärinevat materjali vähe. Kuna Kuul atmosfäär puudub, langevad isegi väikseimad mikrometeoriidid Kuu pinnale kosmilise kiirusega ning aurustuvad. Palju on andnud teavet meteoriitide langemisest Kuu pinnale Apollo astronautide poolt aastail 1969-1972 paigaldatud neli seismograafi. Need moodustavad 1100 km pikkuse kolmnurkse võrgu ja registreerivad isegi 50 grammise meteoriidi langemise. 1976. aastal analüüsisid Texase Ülikooli geofüüsikud 2,5 aastase vaatlusperioodi andmeid. 924 päeva jooksul registreeriti 815 meteoriitide lööki. Saadud signaalide jaotumine viitas enamiku meteoriitide langemise juhuslikkusele.

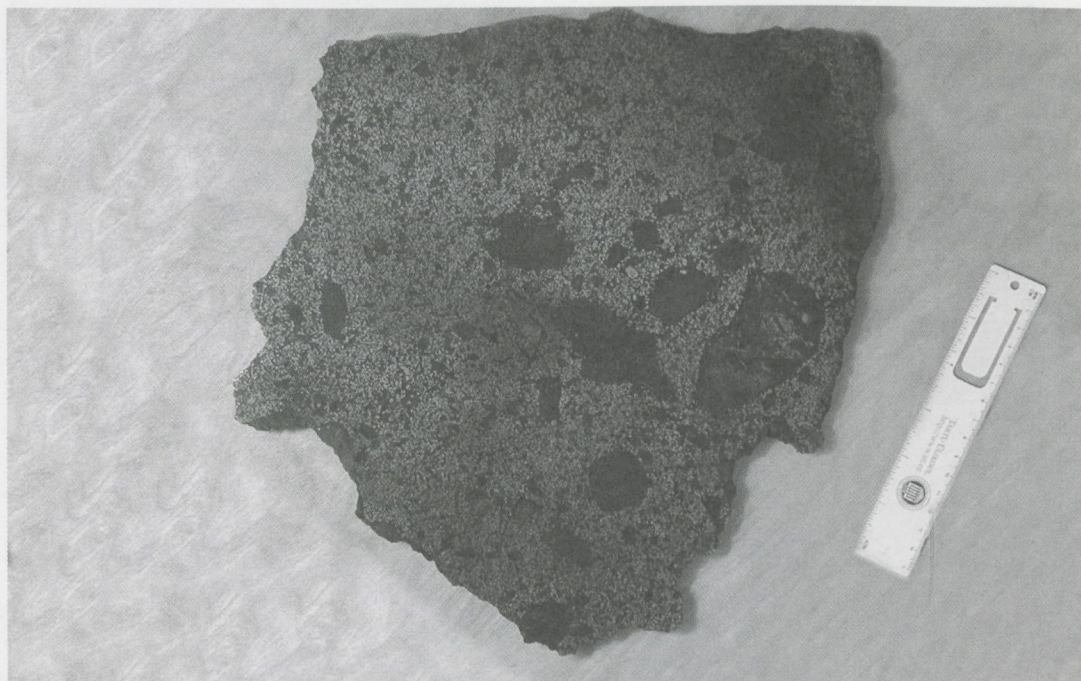
1979. a. leidis Jaapani uurimisrühm Antarktikas tõenäoliselt Kuult pärit meteoriidi. Hiljem leiti Antarktika eri osadest veel 11 sarnast meteoriiti ja Lääne-Austraaliast kaheteistkümnes. Uuemad leiud pärinevad Aafrika mandrilt. Oletatakse, et osa leitud meteoriitidest pärineb Kuu merede alalt ja teised Kuu mandritelt. Meteoriitide kokkupõrked Kuuga olid ilmselt sedavõrd ägedad, et osa materjalist paiskus Kuult välja.

Kuult pärinevad meteoriidid:

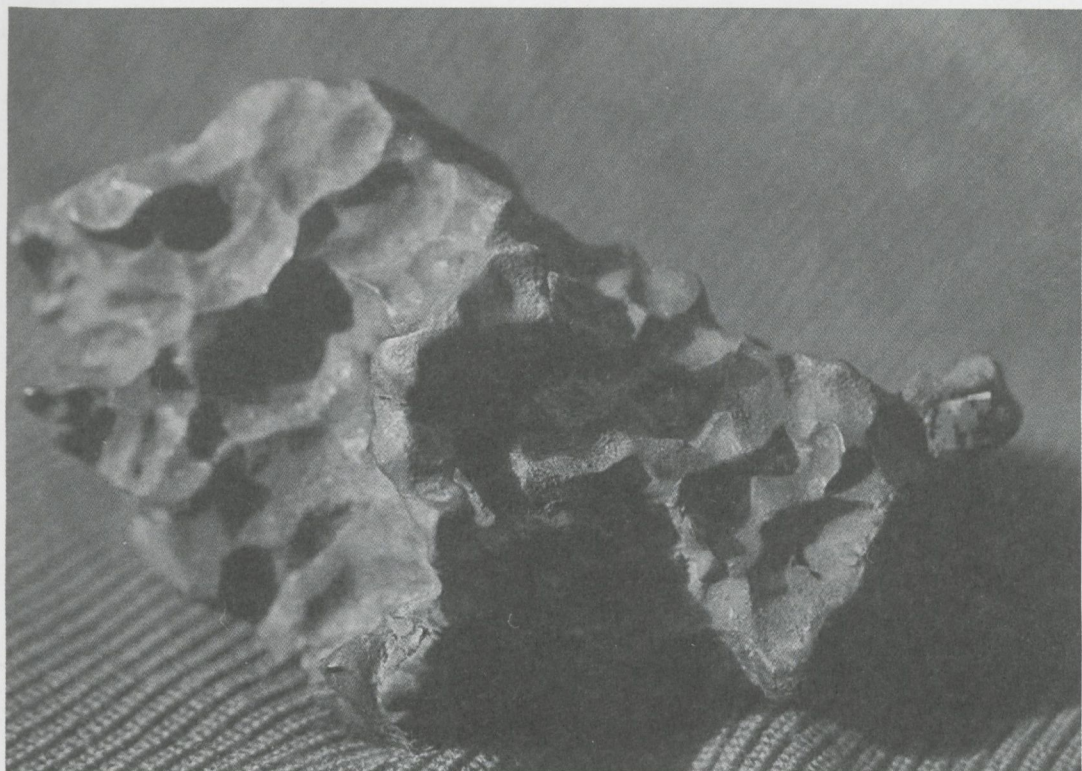
nr	tähis	leiukoht	kuupäev	mass(g)
1.	Y 791197	Yamato Mountains	20.11.79	52.4
2.	Y 793169	Yamato Mountains	08.12.79	6.1
3.	Y 793274	Yamato Mountains	03.01.81	8.7
4.	ALHA 81005	Allan Hills	18.01.82	31.4
5.	Y 82192	Yamato Mountains	13.01.83	36.7
	Y 82193	Yamato Mountains	13.01.83	27.0
	Y 86032	Yamato Mountains	09.12.86	648.4
6.	EET 87521	Elephant Moraine	20.12.87	30.7
7.	Asuka 881757	Nansen Ice Field	20.12.88	442.1
8.	MAC 88104	MacAlpine Hills	13.01.89	61.2
	MAC 88105	MacAlpine Hills	13.01.89	662.5
9.	Calalong Creek,	Austraalia	1960/91	19
10.	QUE 93069	Queen Alexandra Range	11.12.93	21.4
	QUE 94269	Queen Alexandra Range	1994	3.2
11.	QUE 94281	Queen Alexandra Range	1994	23.4
12.	Dar al Gani	Jufrah, Liibüa	23.03.97	513
	262 AL			
13.	DHOFAR 280	Omaan	14.04.01	251
	DHOFAR 287	Omaan	14.04.01	54



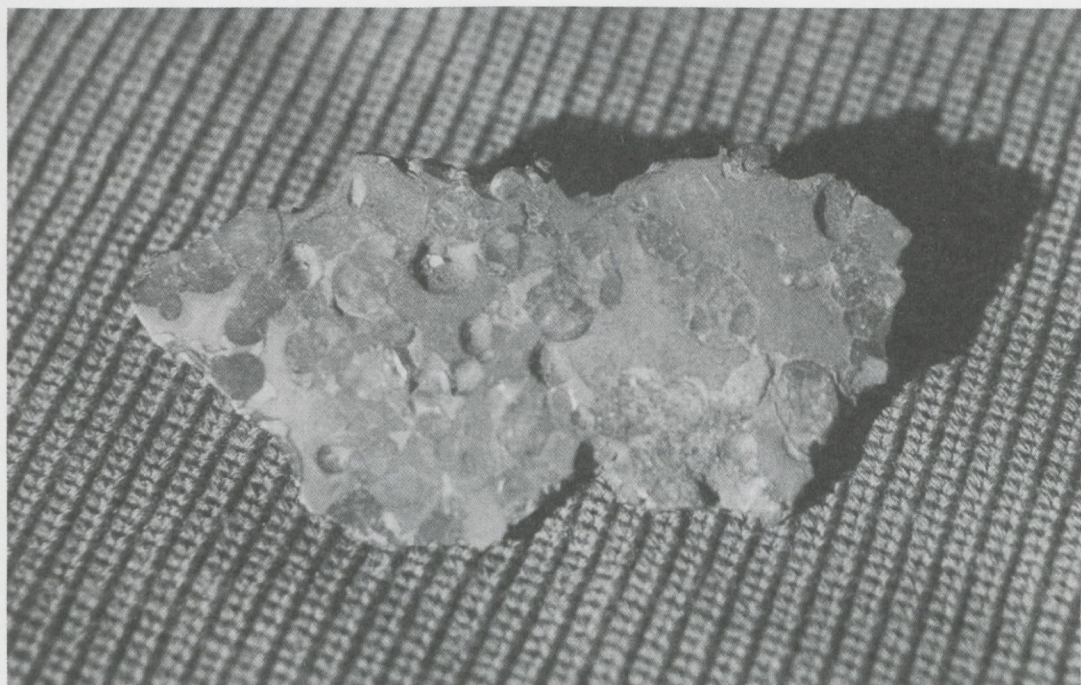
*Pilistvere-Aukamäe -kivimeteoriit (enstatiitkondriit). Langes 8.08.1863, Eesti.
M. Isakari fotod paladest Eesti meteoriidkogust Tartus.*



*Mincy- kivi-raudmeteoriit (mesosideriit). Leitud 1857, Missouri, USA.
M. Isakari fotod paladest Eesti meteoriidkogust Tartus.*



*Sihhote-Alin - raudmeteoriiit (oktaedriit). Langes 12.02.1947, Venemaa.
Eesti meteoriidikogust Tallinnas. G. Baranovi foto.*



*Brenham -kivi-raudmeteoriiit (pallasiit). Leitud 1882, Kansas, USA.
Eesti meteoriidikogust Tallinnas. G. Baranovi foto.*

Akondriidid Marsilt

Mars tekkis nagu Maagi protoplaneedina. Hiljem jahtudes tekkis sellele tahke koor, mis allus meteoriiitide intensiivsele pommitamisele. Mars on väga ebatasane planeet. Selle aktiivse vulkaanilise tegevuse tagajärjel tekkisid riftid, praod, vallid ja vulkaanikoonused. Minevikus on planeedi reljeefi aktiivselt kujundanud vesi.

Keemilistest elementidest saatis automaatjaam "Viking I" maandumispaiga pinnaseproovist teateid raua, räni, kaaliumi, alumiiniumi, titaani ja lämmastiku esinemise kohta.

1996. aasta augustis teatati muistse elu jälgede avastamisest Marsil. Avastuse teinud Ameerika teadlaste rühmal polnud seejuures vaja proovi hankimiseks kulutada sadu miljoneid dollareid, sest see oli juhuslikult ise Maale lennanud. Tegemist oli ühega kaheksast SNC meteoriidist, mis suure tõenäosusega arvatakse pärinevat Marsilt. Kartulisuurune 1,9 kg massiga meteoriid tähistusega ALH84001 oli Antarktikast leitud juba 1984. aastal, kuid selle võimalik Marsi päritolu selgus alles 1993. aastal. Kui teiste SNC meteoriidide vanus oli 1300 ja 200 miljoni aasta vahel, siis see oli tekkinud umbes 4500 miljonit aastat tagasi. Arvatakse, et 15 miljonit aastat tagasi paisati see meteoriidiplahvusega kosmosesse. Pärast pikka rännakut sattus ALH84001 13 000 aasta eest lõpuks Maa atmosfääri ja kukkus Antarktikasse. Meteoriiidi põhjalikku uurimist alustati 1994. aastal. Meteoriiidi pragudest leiti mineraalide osakesi, milliste moodustumist Maal seostatakse anaeroobsete bakterite tegevusega. Samal ajal avastati meteoriidist mikroskoopilised piklikud süvendid, mis sarnanevad Lõuna-Itaaliast leitud nanobakterite jäänustega. Teadlased on väitnud, et just nende tunnuste koosinemine on tugevaim argument muistse elu kasuks. Loomulikult pole leitud tõendid elu esinemise kohta Marsil absoluutselt kindlad, sest skeptikud kahtlustavad meteoriiidi saastumist maise elu jälgedega kas Antarktikas või siis juba kosmoses. Ka inglise teadlased on leidnud oletatavaid elu jälgi kahest Marsi päritoluga meteoriidist. Üks oli seesama ALH84001, teine aga Antarktikast 1979. aastal leitud kaheksakilone meteoriid EETA79001.

Enamik Maal leitud meteoriidide viitavad sellele, et nende asteroidsetel lähteallikatel lõppes vulkaa-

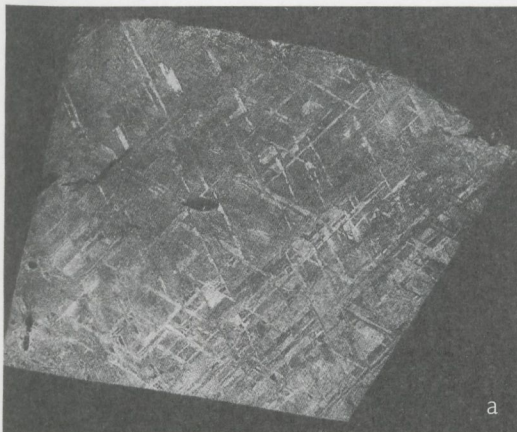
niline tegevus enam kui 4400 miljoni aasta eest. Isegi Kuu, mille läbimõõt on ligi 3500 km, oli "surnud" juba umbes 2900 miljonit aastat tagasi. Kuidas saavad SNC meteoriidid olla siis nii noored? See probleem on teadusel seni lahendamata.

Võimalik, et leitud erandlikud meteoriidid moodustusid 1300-200 miljonit aastat tagasi hiidmeteoriiidi löögil tekkinud sulamist kraatrite põhjas. Kui sulamine oleks olnud täielik, poleks info säilinud. Selline sulamine sai leida aset vaid väga suurte, mitmekümne kilomeetrise läbimõõduga meteoriidikraatrites. Ilmselt ei saanud sellised kraatrid tekkida väikestel asteroididel, sest viimased oleksid seejuures purunenud. Kui Antarktikast leitud meteoriidid kristalliseerusid vulkaaniliste kivimitena, siis sel juhul pidi nende lähtekeha olema ilmselt Kuust suurem ja veel hiljuti vulkaaniliselt piisavalt aktiivne. Välistades nende arutlustega vaadeldavate meteoriidide allikana Kuu ja asteroidid, jääbki viimase võimalusena üle Marss. Seda tõlgendust toetab SNC meteoriidides leitud lämmastik, mis on Maa õhus olevast lämmastikust raskem, aga sarnane sellega, mida leidub Marsi atmosfääris. Mõistagi on neis tõlgendustes veel paljugi diskuteeritavat.

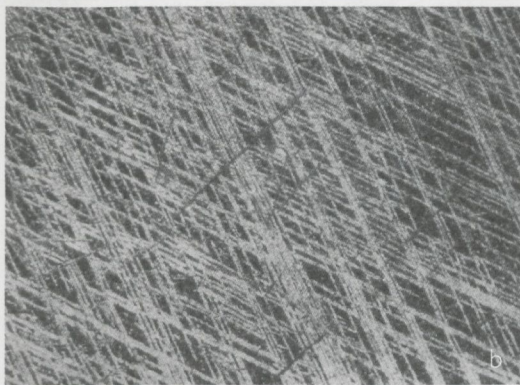
Raudmeteoriidid

Raudmeteoriidide keemilises koostises valdavad raud (79-94%) ja nikkel (5-19%). Raudmeteoriidides leitakse kahte tähtsat nikkelraua sulamit: kamsiiti ja taeniiti. Raudmeteoriidides esineb veel koobaltit, vaske, fosforit, väävlit ja süsinikku. Galliumi, germaaniumi, osmiumi ja iriidiumi nimetatakse siderofiilseteks elementideks, sest neil on omadus esineda koos eheda rauaga. Nende elementide sisalduse alusel eristataksegi raudmeteoriidide hulgas mitut keemilist gruppi, mida märgitakse vastavalt rooma numbritega I, II, III, IV.

Struktuuri järgi jaotatakse raudmeteoriidid kolme suurde rühma: heksaedriidid, oktaedriidid ja ataksiidid. Raudmeteoriidid koosnevad kas ainult kamsiidist, ainult taeniidist või siis mõlema segust. Raudmeteoriididele on iseloomulik omapärane kristalliline struktuur, mis ilmneb hästi nende lihvitud pinna söövitamisel lahjendatud lämmastikhappega.



a

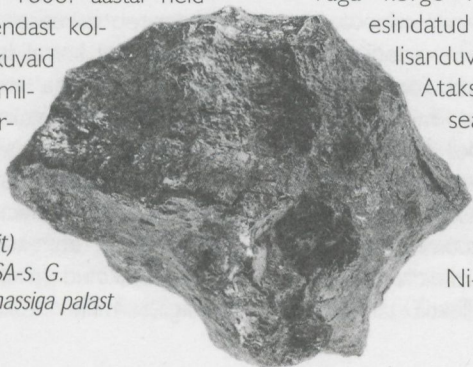


b

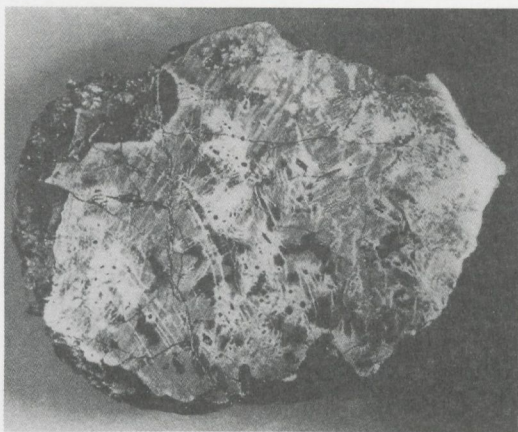
Raudmeteoriitide iseloomulikke struktuure:
a - Widmanstätteni figuurid oktaedriidis;
b - Neumanni jooned heksaedriidis. G. Baranovi fotod.

Heksaedriidid koosnevad suurtest kamsiidi kristallidest. Lämmastikhappega töödeldud lihvitud pinnal ilmnevad kitsad ristuvad, nn Neumanni jooned. Nikli sisaldus on neis väike, vaid 4-6%. Kõigist raudmeteoriitidest on heksaedriite umbes 12%.

Oktaedriidid moodustavad 80% tuntud raudmeteoriitidest. Nikli sisaldus on 7-13%. Söövitusel tekivad nende poleeritud pinnal selged Widmanstätteni figuurid (nimetatud krahv Alois von Widmanstätteni järgi, kes 1808. aastal neid kirjeldas), mis kujutavad endast kolmes erinevas suunas lõikuvaid Ni-rikka taeniidi võõtmeid, mille vahele jäävad tumedad kergesti söövituvad Ni-vaese



Odessa raudmeteoriit (oktaedriit)
leiti 1922. a Texase osariigis USA-s. G.
Baranovi foto 50,2 grammise massiga palast
Eesti meteoriidikogus Tallinnas.



Santa Catharina raudmeteoriit (ataksiit) leiti 1875. a
Brasiilias. G. Baranovi foto palast Eesti meteoriidikogus
Tallinnas.



Chinge raudmeteoriit (ataksiit) leiti 1913. a Tuvast.
G. Baranovi foto 845 grammise massiga palast Eesti
meteoriidikogus Tallinnas.

kamsiidi hulknurgad. Nikli sisalduse suurenemisega kasvab taeniidi hulk. Aktsessorsete mineraalidena esinevad šreibersiit, troiliit, koheniit, vahel ka grafiit ja teemant. 1891. aastal leiti Arizona raudmeteoriidist väike must teemant.

Ataksiidid sisaldavad kuni 12% niklit ja nende pinna söövitamisel kristallilist struktuuri ei teki. Ataksiidid koosnevad taeniidi ja kamsiidi peeneteralisest segust, mida nimetatakse plessiidiks.

Väga kõrge niklisaldusega ataksiidid on esindatud peamiselt taeniidiga, millele lisanduvad väikesed kamsiidi suletised.

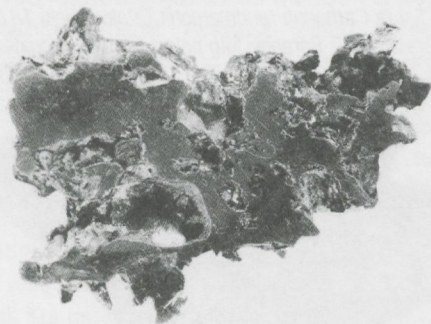
Ataksiite esineb raudmeteoriitide seas kõige harvemini, vaid 8%.

Kõik tuntud ataksiidid on leitud palju hiljem nende langeemisest Maale. Maailma suurim Hoba meteoriit on samuti Ni-rikas ataksiit.

Kivi-raudmeteoriidid

Kivi-raudmeteoriidid ehk segameteoriidid sisaldavad ligikaudu võrdsetes osades nikkelauda ja silikaatsete mineraalide oliviini, pürokseeni või plagioklassi suletisi.

Need suhteliselt haruldased (2860 meteoriidi kohta ainult 73) meteoriidid jaotatakse pallasitideks ja mesosideriitideks. Pallasiidi metalliline raud-nikli osa moodustab omapärase karkassi, mille poorides asetsevad silikaatide, peamiselt pürokseeni lisandiga oliviini kristallid.



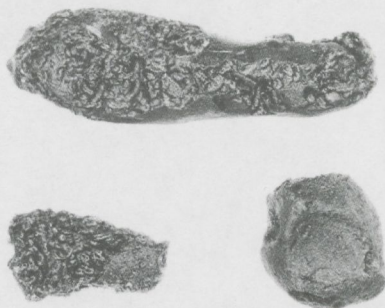
Marjalahti kiviraudmeteoriit (pallasit) langes 1. juunil 1902. a Karjalasse. G. Baranovi foto palast Eesti meteoriidikogus Tallinnas.

Mesosideriitides on pilt vastupidine: silikaatse karkassi poorid on täidetud metalliga.

On eristatud ka mesosideriitidega tihedalt seotud lodraniidid, mis sisaldavad raud-nikli eba-korrapärastes pesades võrdset bronsiiti ja oliviini. On teada ainult kaks sellist meteoriiti ja mõlemad need on leitud 1979. aastal Antarktikas Yamato Mountain'i lähedalt.

Tektiidid

Eri rühma moodustavad mustjad kuni rohelised klaasjad moodustised - tektiidid, milliseid nimetatakse ka klaasmeteoriitideks. Neil on selged sulamisjäljed, mis tekkisid, kui meteorokeha kosmilise kiirusega atmosfääri läbis. Ilmselt rebiti liikuva taevakeha pinnalt lahti hõõgkuumi ülessulanud osakesi, mis kiirel jahtumisel tardusidki klaasjateks moodustisteks - tektiitideks. Tektiit tähendabki



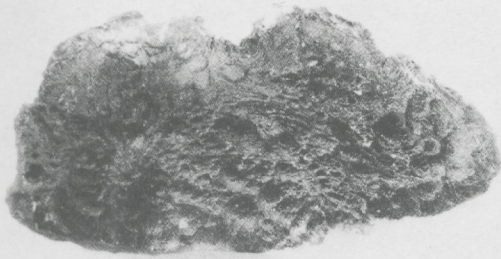
Hiinast leitud Dianbai tektiidid. G. Baranovi foto Eesti meteoriidikogu paladest Tallinnas.

kreeka keeles "sulama". Tektiitidel on väga omapärane, sageli voolujälgedega korrapäratu väliskuju.

Tektiite on leitud Maal peamiselt neljast piirkonnast, maapinnal või väikesest sügavusest. Üks neist on Kesk-Euroopas ning seal leitud tektiite nimetatakse moldaviitideks (Moldava jõe järgi). Moldaviite on leitud kümneid tuhandeid. Teine tektiitiväli on USA-s. Vaid mõnisada klaasmeteoriiti on leitud Elevandiluurannikult Aafrikas. Kagu-Aasia tektiitiväli haarab enda alla Indo-Hiina, Filipiinid ja Jaava ning ulatub Austraaliani. Neilt aladelt on leitud sadu tuhandeid tektiite. Seal leitud tektiite nimetatakse vastavalt leiukohale - indohiniidid, filipiniidid, austraaliidid jne.

Tektiitide päritolu on ebaselge. Esimesed seletused esitati möödunud sajandi algul kohe pärast esimesi leide. Neid loeti meteoriitideks, kuigi need oma keemilise koostise poolest ei sarnanenud meteoriitidega. Pigem olid need sarnased maa-pealsetele kivimitele. Seetõttu oletati, et meteoriidi plahvatus on sulatanud ka maiseid kivimeid ja paisanud need sulamistompudena õhku. Selle tekke vastu räägib aga tektiitide palju keerulisem kuju. On tõestatud, et tektiitides on kaks sulamisastet: esimesel korral sulasid need tekkimisel ja teisel korral sulas nende pind, kui need kosmilise kiirusega atmosfääri läbisid. Tektiitide kihulist ehitust seletatakse Maa lähedase meteoriidi plahvatusena, mis sulatas Maa pinnakihi.

Kahekümnenda sajandi 60ndate aastate teisel poolel väitsid ameerika teadlased D.R. Chapman ja J. O'Keefe, et tektiidid on pärit Kuult. Need olevat tekkinud meteoriidi põrkumisel Kuu pinnaga, mille tükid paiskunud kõrgele,



Moldaviit Nördlingen Riesi meteoriidikraatrist Saksamaal.
G. Baranovi foto palast Eesti meteoriidikogus Tallinnas.

eemaldunud Kuu gravitatsiooniväljast ja sattunud Maa atmosfääri. Nii saadi endastmõistetav seletus ka kahele sulamisfaasile. Hilisemad Kuu uuringud on näidanud, et see seletus ei pea paika.

Praegu püütakse tektiitide teket siduda mõne nende levila lähedal oleva meteoriidikraatriga. Nii näiteks Böömist leitud rohelised tektiidid - moldaviidid - on võib-olla seotud samavanuse Nördlingen Ries'i meteoriidikraatriga Saksamaal.

Elevandiluuranniku tektiidid viitavad seosele Bosumtwi meteoriidikraatriga. Paljud Põhja-Ameerika, Kagu-Aasia ja Austraalia ning ka India ookeani põhjast leitud tektiidid on üsna sarnased ja ühevanused, ligi 720 000 aastat, kuid nende



Irgziidid Zhamanshini meteoriidikraatrist Kasahstanis.
G. Baranovi foto Eesti meteoriidikogu paladest Tallinnas.

lähtekraater on seni avastamata. On oletatud, et see kraater võib asuda Antarktika igijää all.

Vastuvaidlematu seos meteoriidikraatriga tehti kindlaks Kasahstanis Zhamanshini meteoriidikraatrist kagusse jäävalt territooriumilt Irghizi jõe basseinis leitud erineva kujuga 2 mm kuni 3 cm läbimõõduga klaasjatel tektiitidel, mida nimetatakse selle järgi irgziitideks.

Niisiis, tektiitid on mitmesuguse koostisega, meteoriitidega tihedalt seotud moodustised, neid aga otseselt meteoriitideks pidada ei saa - pigem on need suure meteoriidiplahvatusega kaasnevaks nähtuseks.

Meteoriitide vanus

Meteoriitide vanuse määramisel tuleb eristada erinevaid etappe.

Esimene vanus, nn meteoriitse aine vanus, näitab meteoriitse aine tahkumist, st selle mineraalide kristalliseerumisest möödunud aega. Seda määratakse radioaktiivse plii, kaaliumi-argooni, rubiidiumi-strontsiumi või siis uraani-heeliumi meetodil. Saadud andmetel on peaaegu kõigi meteoriitide aine vanus 4,5...4,8 miljardit aastat. Umbes samasugune on Maa geoloogiline vanus. Samas suurusjärgus on ka asteroidide igä. See kõik kinnitab Päikesesüsteemi planeetide, nende kaaslaste ja

meteoriitide lähtekehade - asteroidide - materiaalset ja tekkeloolist ühtsust.

Isotoopkoostise põhjal võime määrata ka meteoriitide radiatsioonilise vanuse, s.o meteoriidi kosmilise kiirguse käes veedetud aja. See vanus on aine vanusest alati väiksem ning sõltub meteoriidi kosmilise kiirguse doosist. Tavaliselt selgitatakse selleks meteoriitides argooni, neoni ja heeliumi isotoopide suhted. Kiirgusest tekkinud isotoopide sisaldus on maksimaalne meteoriidi pinnakihis.

Kivimeteoriitide radiatsiooniliseks vanuseks on saadud 3...500 miljonit aastat, raudmeteoriitidel aga

100...1500 miljonit aastat. See vanus osutab meteoriidi lähtekeha lagunemise ajale, millest alates meteoriidi pind allus kosmilisele kiiritusele. Samuti peegeldub selles meteoriitide pinna erinev abrasiiooniaste kosmilise tolmu, gaasiosakeste ja väikese energiaga osakeste mõjule, millele vihjab kivi-meteoriitide kui vähema kulumiskindlusega kehade väiksem radiatsiooniline vanus.

Meteoriitide kolmandat vanust, nn maalist iga, hakatakse lugema nende jõudmisest Maale. Selle määramiseks on palju erinevaid meetodeid ning on vajalik eelkõige meteoriitide puhul, mille langemise aja kohta puuduvad otsesed andmed. Näiteks Eestis on välja pakutud meteoriitikeadlaste seas suurt huvi tekitanud kraatrite vanuse määramine soo- ja järvesetetes kuhjunud meteoriitse ainese alusel. Samuti saab vanust määrata kosmogeensete isotoopide sisalduse alusel. Maal on meteoriidi kosmiline kiiritus välistatud ja lühikese lagunemisperioodiga isotoopide sisaldus selles hakkab kiiresti kahanema. Näiteks määrati Texases Odessa meteoriidikraatris kogutud kildude ^{10}Be - ja ^{26}Al -sisalduse alusel nii meteoriidi enese kui ka meteoriidikraatri maaliseks vanuseks alla ühe miljoni aasta. Meteoriitide maaline iga võib ulatuda mõnekümne tuhande aastani, aga mõnedel Antarktikast leitud meteoriitidel isegi 750 000 aastani. On teada ka kaks "fossiilset" kivimeteoriiti Rootsist. Need, Ordoviitsiumi lubjakividest pärit Brunflo ja Österplan meteoriidid, langesid madalmerre vastavalt 450 ja

480 miljonit aastat tagasi. Nende maine vanus määrati neid sisaldavates setetes esinevate fossiilide vanuse järgi. 300 miljonit aastat vana 144 grammine Marjinka meteoriit leiti Donbassist kivisöerahnust.

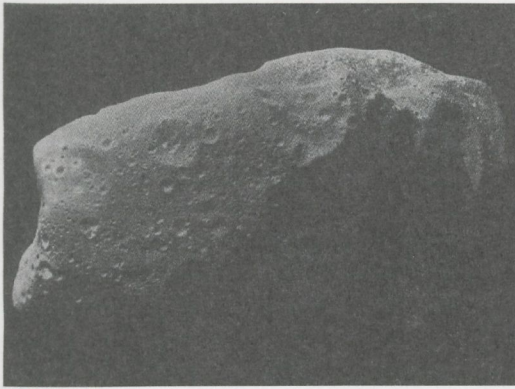
Üldiselt pakuvad aga suurimat uurimishuvi just verivärsked meteoriidid, sest neis võime leida mõne päeva jooksul lagunevaid kosmogeenseid isotoope. Kosmogeensed isotoobid annavad lisateavet nii meteoriitide kui ka kosmiliste kiirte kohta. Lühikese poolestusajaga isotoopide, nagu 35-ööpäevase poolestusajaga ^{37}Ar suhteline hulk kõneleb kosmiliste osakeste intensiivsusest Maa-lähedases ruumis, kuna kestvamate, näiteks 325-aastase poolestusajaga ^{39}Ar , isotoopide sisaldus peegeldab keskmist kiirituse intensiivsust taevakeha kogu lennuorbiidil. Väga pikaajaliste kosmogeensete isotoopide, näiteks mitme miljardi aastase poolestusajaga ^{40}K uurimine meteoriitides on lubanud väita üldjoontes kosmilise kiirguse konstantsust ajas. Siiski on registreeritud meteoriitide abil ka selle intensiivsuse muutusi, mida seostatakse supernoovade plahvatusega. Ilmekalt avalduvad meteoriitide ainese isotoopses koostises ka Päikese aktiivsusega seotud kosmilise kiirguse intensiivsuse kõikumised. Asjata ei nimetata meteoriite võtmeks kosmoseuurimise laborisse. Vene akadeemik A. Vinogradov (1895-1975) on öelnud: "Meteoriitide aines on talletatud kosmilised sündmused väga ulatusliku ajalõigu - nende olemasolu miljardite aastate vältel, alates planeedieelsest ajast kuni meie päevini".

Kust saabuavad meteoriidid?

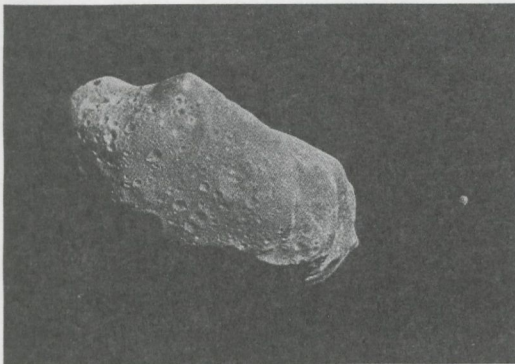
Meteoriidid ja asteroidid

On selgunud, et rohkem kui neljast tuhandest seniavastatud väikeplaneedist ehk asteroidist põhiline osa, ligi 98%, tiirleb Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Seda rööngakujulist piirkonda nimetatakse asteroidide vööks. Tiiru ümber

Päikese teevad need 3...9 aastaga. Erinevalt planeetidest on asteroidide orbiitide ekstsentrilisused ja kalded Maa orbiidi tasandi (ekliptika tasandi) suhtes suured. Kuid mitte kõik asteroidid ei liigu Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Esimese taolise asteroidina avastati 1873. aastal 132 Aethra, mille periheel jääb Marsi orbiidi sisse. 1898. aastal avastatud 433 Eros lähenes samal aastal Maale vaid



S-tüüpi asteroidi 951 Gaspra pind on kaetud enam kui 600 meteoriidkraatriga. Asteroidi mõõtmed olid 19x12x11 km. NASA foto "Galileolt" nähtuna.



Asteroid 243 Idal (mõõtmed 56x24x21 km) on 90 km kaugusel tiirlev kuu Dactyl. NASA foto.

22 miljoni kilomeetri kaugusele. Kõige lähemale on tulnud asteroid Hermes 1937. aastal, vaid 800 000 km kaugusele. Maale ohtlikult lähenevatest asteroididest sai eriti kuulsaks 1949. aastal avastatud Ikarus, mille järjekordsel lähenemisel Maale 1968. aastal ennustati kokkupõrget, mis aga õnneks toimumata jäi.

Marsist Maale lähemale tulevaid asteroide on nüüdseks teada üle saja ning neid jagatakse tuntuima esindaja järgi kolmeks tüübiks: Amori-, Apollo- ja Atenitüübiks.

Esimene asteroidide vööst kaugemal paiknev asteroid 588 Achilles avastati 1904. aastal. Selle orbiit langeb täpselt kokku Jupiteri omaga. Praeguseks on taolisi asteroide avastatud umbes 20 ning neid kutsutakse troojalasteks.

1977. aastal avastati asteroid 2060 Chiron, mis liigub Jupiterist veelgi kaugemal. Hiljem on leitud

teisigi selliseid. Need, Kentaureide rühmaks kutsutavad taevakehad sarnanevad rohkem komeetide kui asteroididega. Ilmselt on paljud neist veel avastamata.

Asteroidide peegeldusvõime on suuresti erinev. Eristatakse tumedaid, mis peegeldavad tagasi keskmiselt 3% neile langevast valgusest ja heledaid, millel on see parameeter 15%. Tumedate asteroidide pinna optilised omadused sarnanevad suure süsinikusaldusega meteoriididele. Seetõttu kutsutakse neid asteroide C-asteroidideks (lad. k. Carboneum - süsinik). Heledate asteroidide pinna optilised omadused vastavad aga tavalistele kivimeteoriididele ja neid kutsutakse S-asteroidideks (lad. k. Silex - räni). Mõned asteroidid peegeldavad ja polariseerivad valgust nagu metallid. Neid nimetatakse seetõttu M-asteroidideks. Suurem osa asteroididest, ligi 85%, kuulub C-tüüpi, S-tüüpi asteroide on 13%, M-tüüpi asteroide 2%.

Ruumiliselt ei paikne erinevat tüüpi asteroidid ühtlaselt. S-tüüpi asteroidid on koondunud asteroidide vöö Päikesepoolsesse ossa, C-asteroidid seevastu aga selle vöö kaugemasse ossa.

Kõige põhjalikumalt on jälgitud asteroid 4 Vesta, mis avastati Saksa astronoomi Heinrich Olbersi poolt 1807. aastal. See 526 km läbimõõduga asteroid on üks säravamaid taevas, aeg-ajalt nähtav ka palja silmaga. Peegeldusspektri hoolikas uurimine näitas selle muutusi pöörlemisperioodi jooksul. Need muutused on tingitud nii asteroidi pöörlemisperioodi kui ka selle pinna mineraalse koostise muutustest. Oma eksisteerimisaja vältel on Vesta ilmselt mitmel korral pörkunud kokku teiste kosmiliste kehadelega. Seda sündmust märgistab ka suur löögikraater selle ekvaatoril. Oletatakse, et 4 Vesta on akondriitide rühma kuuluvate eukriitide ja võimalik, et ka diogeniitide algkehaks.

On selge, et laialipillatud asteroidid on olnud Maale langenud meteoriidide lähtekehadeks. Raske on hinnata, kui palju õigelt teelt eksinud asteroide on maailma meteoriidide kollektsioonides esindatud. Lähtudes meteoriidide klassifikatsioonist, võib oletada, et vähemalt kolmteist, aga võib-olla isegi üle viiekümne.

Meteoriidide uurimine annab informatsiooni nende lähtekehade päritolu ja tekkeloo kohta. Paljud raudmeteoriidid näivad pärinevat asteroididele aluse pannud planeedi raudniklist

koosnevast tuumast ja sisaldavad tõendeid sulamisaja, tuumatekke ja jahtumiskiiruse kohta.

Meteoriitide uurimise alusel saame määrata planeetide tekke ja sulamise aja. Päikesesüsteem on vähemalt 4550 miljonit aastat vana ning asteroidid ja planeedid, sealhulgas Maa, tekkisid Päikesesüsteemi kujunemise algetapil. Me saame määrata asteroidi umbkaudse suuruse selle tuuma jahtumise kiiruse järgi. Suured objektid jahtuvad kauem kui väiksemad. Raudmeteoriidi jahtumise kiirust saab tavaliselt määrata selle niklisisalduse järgi. Enamiku raudmeteoriitide allikasteroididel oli metallituuma ümber tõenäoliselt kivikoorik, mis pidi pidurdama kuumuse kadu. Jahtumiskiiruste mõõdetud vahemik viitab sellele, et nende asteroidide läbimõõt oli mõnisada kilomeetrit nagu mitmel tänapäeval vaadeldaval asteroidilgi.

Meteoriidid ja komeedid

Komeedid on arvatavasti moodustunud samast gaasi- ja tolmpilvest, millest Päike ja planeedidki. Komeedil on tuum, pea ja saba. Komeedi tuuma võrreldakse "määrdundu lumepalliga", mis koosneb jääst, lumest ja tolmust. Kümnekonna kilomeetrise läbimõõduga komeetide tuumad on võrreldes teiste kosmiliste kehadega pisikesed. Mitte ühegi komeedi tuuma iseärasusi ei ole õnnestunud Maa pealt vaadelda. 1986. a pildistas kosmoselaev



Komeet Halley tuum, pildistatuna kosmoselaev "Giotto" poolt 14. märtsil 1986. NASA foto.

"Giotto" Halley komeedi tuuma. Selle pind on tume ja jääb mulje, nagu oleks tegu ületõrvatud jääkamakaga. Oletatakse, et tuum on kaetud koorikutaolise õhukese kihiga, mille pragudest paiskub välja gaasi ja tolmu. Komeedi pea ongi tuuma ümbritsev gaasipilv. See on tuumast palju suurem. Kui komeet on Päikesest kaugel, paistab pea sümmeetrilise laiguna. Päikesele lähenemisel muutub see ovaalseks ja hiljem ilmub saba. Saba on komeedil peaaegu alati suunatud Päikesest eemale. Komeedi saba osakestele mõjub tõukejõud, mis on tingitud valgusrõhust ja päikesetuulest.

Mõned komeedid tiirlevad ümber Päikese asteroididega sarnastel orbiitidel. Need lühiperioodilised komeedid erinevad asteroididest häguse väljanägemise poolest. Teised "perioodilised" komeedid nagu Halley tiirlevad rohkem ellipsitaolistel orbiitidel, mis ulatuvad kaugemate planeetideni. Enamik komeete aga näivad siiski tulevat veelgi kaugematelt Päikesesüsteemi äärealadelt, isegi Pluuto ja Neptuuni orbiitidest kaugemalt. Need on pikaperioodilised komeedid, millel kulub ümber Päikese tiiru tegemiseks miljoneid aastaid. Kuna ühtegi pole Maalt varem nähtud, tervitatakse igat neist uue komeedina. Ükski ei tundu olevat siiski Päikesesüsteemi väline ja arvatavasti tulevad komeedid pilvest, mis koosneb miljonitest komeetidest. Sellise pilve olemasolu pakkus välja Hollandi astronoom Jan Oort ja seda kutsutakse tema auks "Oorti pilveks". Oorti pilve pole nähtud ja selle olemasolu järeldatakse üksnes pikaperioodiliste komeetide liikumise järgi. Ameerika astronoom Gerard Kuiper arvas, et Oorti pilv on kettakujuline ja algab juba Pluuto kauguselt. Kokku peaks Oorti pilv koosnema mitmest miljardist objektist. Aeg-ajalt suunavad hiidplaneetide koosmõjust tingitud häired mõne neist planeetidevahelisse ruumi.

Komeetide päritolu üle vaieldakse juba pikka aega. Astronoomid usuvad, et need tekkisid tolmu, gaasi ja jää kondenseerumisel ühtseks kehaks. See võis juhtuda protosolaarse või tähtedevahelise pilve sees, millest tekkisid ka Päike ja planeedid. Pärast teket heideti komeedid tugevalt elliptilistele orbiitidele, mistõttu need veedavad enamiku ajast Päikesesüsteemi äärealadel, Oorti pilves.

Mis nende päritolu ka poleks, arvatakse üldiselt siiski, et need koosnevad kõige algelisemast ja vähem muutunud Päikesesüsteemi ainesest.

Väga oluline on komeetidelt proovide saamine. Maa atmosfääri sisenevate meteoroidide helen-duvate sabade radarjälgimised näitasid, et neist enamikul on komeedi-orbiidid. See omakorda sunnib arvama, et suur osa meie atmosfääri sat-tuvast tolmust on komeedi-lise päritoluga. Umbes pooled stratosfääris lennuaparaadiga kogutud tolmjatest mikrometeoritidest sisaldavad vett ja CO₂. Selline planeetidevaheline tolm sisaldab mitme haruldase kivimeteoroidi grupi mineraale, mis võivad samuti pärineda komeetidelt.

On võimalik, et ka Maal on komeedi-lis mater-jali. Vett sisaldavad mikrometeoroidid võivad pärineda komeetidelt nagu ka mõned vett-sisaldavad meteoroidid. Mida meil siiski ei ole, on üks korralik kamakas komeedi tuumast, mis annaks meile infot selle kohta, millest koosnevad äärealade planeetid. Sellise proovi Maale toomiseks oleks vaja saata kosmoseaparaat komeedile. Euroopa Kosmoseagentuuril ongi koostöös NASA-ga plaanis saata Rosetta automaatjaam ühele lühiperioo-dilisele komeedile ja tuua sealt puursüdamik Maale. Selguse saamine komeetide olemusest ei too aga arvatavasti olulisi korrektiivse meteoroidide tekke-lukku. Vähemalt meie ajal ei ole need jääst koosnevad kehad kunagi Maale jõudnud.

Tunguusi fenomen

Komeetide ainese Maa lähedasse ruumi sattumise tagajärgedest on andnud põhjust rääkida üsna mõistatuslikuks jäänud 1908. aasta Tunguusi katastroof. Selle omapärase nähtuse tõlgendamisel on mindud üpris fantastiliste versioonideni. Ajakirjandus on võimendanud neist just kõige pöörasemaid, pöörasemata erilist tähelepanu uurijate aastakümnete pikkuse tööga saavutatule. Mis siis toimus 30. juunil 1908. aastal?

Umbes kell 7 hommikul kohaliku (Krasnojarski) aja järgi ilmus Ida-Siberi taevasse silmipimestavalt ere tulekera, mis langes ida- kirde suunas Podkamennaja Tunguska jõgikonda umbes 65 km loodes praegusest Vanavara rajooni keskusest. Tulekera kadumise ajal kostis plahvatusetaoline mürin, mida kuuldi 1200 km raadiuses. Plahvatust saatev lööklainete seeria kutsus esile maapinna võnked, mida registreerisid seismograafid Irkutskis, Tbilisis ja Potsdamis. Plahvatusega kaasnesid ka

kohalikud geomagnetilised häired, milliseid regist-reeriti Irkutski observatooriumis. Eraldus palju soojust, tekkis suur metsapõleng. Taiga hävis 2150 ruutkilomeetrit.

Tunguusi katastroofiga seostatakse veel 1908. aasta suvel laialdaselt levinud anomaalseid geofüüsikalisi nähtusi - Maa atmosfääri ebaharilikku helendumist, mida jälgiti Ida-Siberist Londonini.

Kõigi nende nähtuste seletamine esmase hüpoteesiga - hiidmeteoroidi tungimisega Maa atmosfääri - on jäänud tänini otsese tõestuseta, sest antud piirkonnast pole leitud ei meteoroidi ega selle kraatrit. On kogutud küll pihustatud ainet - silikaat- ja magnetiitkerakesi (diameetriga valdavalt alla 100 μm) - mis omadustelt sarnanevad meteoroidi-tolmuga. Ehkki niisuguse pihustatud aine kontsent-ratsioon Tunguusi katastroofi piirkonnas ületab tunduvalt tavalise loodusliku fooni, ei saa siiski lõplikult öelda, et see sattus siia just selle kosmilise keha hävimisel. Otsese tõestusmaterjali puudu-mine ongi viinud uurijad Tunguusi katastroofi erinevatele seletustele.

Tänapäevaks on ekspeditsioonidel kogutud faktilise materjali, arvutus- ja modelleerimistööde ning 1908. a. arhiivandmete uuringute põhjal jõutud üsna üksmeelsete tulemusteni: võib väita, et Tunguusi katastroofi põhjustas keha massiga 1·10⁵...5·10⁵ tonni ning läbimõõduga üle 1 km, mis liikus kiirusega umbes 40 km/s asimuudil 275...295°. Plahvatuse, võibolla ka plahvatusetaolise killustumise kestel, mis vältas 0,2...0,3 sekundit, liikus keha edasi ligikaudu 18...20 km. Suurim energia eraldus 5 km kõrgusel maapinnast või isegi veidi kõrgemal.

Neidki võrdlemisi usaldusväärseid andmeid on erinevalt interpreteeritud. Paljude oletuste ja hüpoteeside seas võiks esile tõsta järgmisi:

- raudmeteoroidisadu (L. Kulik, 1922)
 - kivimeteoroidisadu (B. Vronski, 1959)
 - meteoroidiplahvatus (E. Krinov, 1950)
 - meteoroidi plahvatamine kuumenemise ja seda moodustava aine segunemise tõttu hapnikuga (K. Florenski, 1962)
 - komeedi tuuma plahvatus (F. I. W. Whipple, 1933; I. Astapovitš, 1935; L. Fessenkov, 1961).
- Fantastikasse kalduvatest hüpoteesidest väärivad märkimist järgmised:
- tuumaplahvatus (A. Zolotov, 1969)
 - tuumakütusel töötava tundmatu kosmoselaeva plahvatus (A. Kazantsev, 1958; F. Ziegel, 1961)

- antiainest koosneva meteoriidi plahvatus (C. Cowan, C. Atluri, F.W. Libby, 1965)
- "musta augu" läbitungimine Maast (A. Jackson, M.P. Ryan, 1973).

Ettekujutust Tunguusi kosmilisest kehast kui kraatri tekitanud meteoriidist peeti ainuõigeks kuni 1959. aastani. 1958. aastal organiseeriti katastroofi paika ekspeditsioon geokeemik K. Florenski juhtimisel, kelle töö tulemused näitasid, et mingit kraatrit nn Lõunasoos pole kunagi olnud: seevastu leiti oletatud plahvatuslehttris isegi püstiseisvaid puutüvesid. Ka ei leitud meteoriitset materjali. Sellega lükati ümber 1933. aastast püsinud hüpotees kraatritekitajast meteoriidist. Okstest puhtaks laastud ning tugevate põletusjälgedega, kuid siiski püstised puud (nn telegraafimets), viisid uurijad järeldusele, et mingit kokkupõrget maapinnaga ei olnud - plahvatus toimus õhus, kusjuures selle episenter oli arvatavasti Lõunasoo piirkonnas. Sellest saadik hakati arendama nn komeedihüpoteesi. Et Tunguusi kosmiline keha võis olla väike komeet, seda oletasid juba inglise astronoom F. Whipple 1933. aastal ja vene astronoom I. Astapovitš 1935. aastal. Eespool nimetatud anomaalset atmosfääri helendumist pärast plahvatust seletasid nad vähemalt 600 km kõrgusel pidurdunud komeedi sabaga, mis koosnes suurest hulgast pihustatud ainest.

Seda teooriat arendas edasi akadeemik V. Fessenkov. Nagu teame, saabus kosmiline keha kagust kell 7 hommikul, kui Päike asus idas. Pealtnägijad, kelle suunas keha liikus, väitsid: "Nägime, kuidas Päikese küljest eraldus tükk". Tähendab, langev keha pidi liikuma Päikese poolt tultes Maale vastu. Päikesesüsteemis võivad niiviisi Maa orbiidiga lõikuda ja Maaga põrkuda ainult komeedid. Asteroidide tiirlemise suund ümber Päikese ühtib planeetide tiirlemise suunaga ja nende langemine kirjeldatud suunas on vähetõenäoline.

Ka välitööd katastroofipaigas toetasid komeedihüpoteesi. Katastroofi vanusega turbakihis avastati omapärane kondensaat, mis koosnes mikrokoopilistest tilkadest ja magnetiidist. On täheldatud olulisi kõrvalekaldeid sellevanuselise turba koostises.

Seoses komeedihüpoteesiga tuleks pöörata tähelepanu ühele huvitavale faktile. 1910. aastal, kui Venemaa teaduslikes keskustes arvatavasti ei

teatud veel midagi Tunguusi katastroofist, ilmus St. Peterburis eestlasest üliõpilase Jaan Depmani raamat "Komeedid ja tähesaad", kus autor muuhulgas käsitles tollal laialdaselt diskuteeritud küsimust, mis juhtub siis, kui komeet põrkub kokku Maaga. Leheküljel 74 on sõna-sõnalt kirjutatud: "Igatahes ei ole meil nii kaua, kuni meie mõttelennu ohjad peos peame ja teaduse pinnale jääme, komeetidega kokku põrgates muud oodata, kui toredat tähesadu ja ehk iseäralist õrna kuma - öösist hämarikku, mida meil seni tundmata põhjusel - 1908. a kord tähele pandi". Seega oleks põhjust pidada J. Depmanit, hilisemat kauaaegset Leningradi Herzeni nim. Pedagoogilise Instituudi matemaatikaprofessorit, esimeseks, kes Tunguusi katastroofiga kaasnevaid anomaalseid atmosfäärinähtusi seostas komeedi langemisega.

Osa teadlasi väitsid aga, et mingit plahvatust ei toimunud ja kogu maapinnal nähtav purustus oli tingitud õhus hävinud komeedi ballistilisest lainest. Nad modelleerisid Tunguusi katastroofi "plahvatava nõõri" abil ning said mudelil plahvatuspiirkonnaga sarnaneva purustusvööndi.

Tunguusi taiga katastroofi ei saa lugeda tänapäeval veel lõplikult lahendatuks. Võimalus, et tegemist ongi unikaalse juhtumiga, mil just komeedi tuumaosa sisenes Maa atmosfääri, püsib visalt teadlaste kujutluses. Kuid ka omapärase hiidboliidi plahvatus ja pihustumine õhus enne maapinnale langemist ei ole välistatud.

Maaväline tolm

Niisiis meteoriitidena tuntud kehad ei ole ainukesed maailmaruumist Maale jõudnud kosmilise aine esindajad. Viimastel aastatel on rohked analüüsid, mõttmised ja arvutused näidanud, et maapinnale langeb aastas meteoriitide massi vähemalt kümnekordselt ületavas koguses maavälisest tolmust, mille allikad võivad olla erinevad. Maavälises tolmus eristatakse meteoriitset, meteorset ja kosmilist tolmust.

Meteoriitne tolm koosneb meteoriidi plahvatusel pihustunud tolmjaist meteoriidiosakestest. Mikrokoopilistele mõõtmetele vaatamata on neil säilinud meteoriidi tunnused - iseloomulik koostis ja mikrostruktuur. Puudub vaid sulamiskoorik. Sellist

tolmu leidub hulgaliselt meteoriidi plahvatuskraatrite ümbruse pinnases, mistõttu selle seos meteoriitidega on ilmne.

Meteorne tolmu koosneb mõnekümne- kuni mõnesajamikronise läbimõõduga magnetilistest kerakestest, mis on sujuvalt pihustunud langeva meteoriidi ülesulanud pinnalt ja õhus tardunud. Sellist materjali on leitud koos meteoriitse tolmu paljudes meteoriidikraatrites (Arizona, Sihhote-Alini, Kaali jt.) ja selle lähikonnas. Meteorset tolmu võib leida ka boliidi lennutrajektoori projektsioonil, mille piires boliidi lennu järel atmosfääris nähtava tolmu jälje kerajad osakesed pikkamööda maapinnale settivad. Need koosnevad enamasti magnetiidist, millele võib lisanduda silikaatset materjali.

Maavälise tolmu valdava massi moodustab aga siiski täpsemalt identifitseerimata kosmiline tolmu. See sarnaneb osaliselt meteoriitse, osalt aga meteorse tolmu ja pärineb võib-olla planeetidevahelisest ruumist. Kosmiline tolmu langeb

atmosfäärist maapinnale oma väikeste mõõtmete tõttu enam-vähem ühtlase kiirusega ja ühtlase pindalalise jaotusega. Seda tolmu on uurimiseks kogutud nii polaaralade jääst, kõrgmägedest, vanadest soolalademetest kui ka aeglaselt kujunevatest ookeani süvassetetest. Tänapäeval on atmosfääris ka rohkesti industriaalset tolmu, mis on kosmilisest ilma eriuuringuta raskesti eristatav. Seepärast on kosmilise tolmu kogumine ja uurimine lülitatud ka kosmoselendude programmi, saamaks tehistolmust vaba kosmilist tolmu.

Kosmilise tolmu hulga määramised erivanuselistes setendites on tuvastanud selle langemise pulsatsioonilise iseloomu: mõnekümne miljoni aastasele keskmisele perioodile järgneb mõne miljoni aastane tipp-periood. Kas need anomaaliad peegeldavad Maa kokkupõrkeid asteroididega või on anomaalselt suure tolmusisalduse korral tegemist hoopis Päikesesüsteemi kaugematest osadest saabunud tolmu, see ei ole veel teada.

Ebausk ja müüdid

Teateid taevakivide langemisest on teada juba vanas Süürias, Foiniikias ja mujal. Nende teadete autorid olid veendunud, et taevakivid on tähtede küljest pärinevad tükid, mis on saadetud Maale Jumala tahtel. Sel ajal loeti taevast jumalate elamuks ja seepärast osutati seal tulnud jumalasaadikutele suurt austust. Araablased löid legendi, nagu oleksid meteorid inglite ja deemonite vahelises võitluses heidetud tule- nooled. Leedulastel on muinasjutt, nagu oleks taevas võlur, kes ketrab kuldset kedrust, milles on üks lõng igale sündinud inimesele. Kui inimene sureb, siis tema niit katkeb ja katkenud osake langeb meteorina.

XII s. e.m.a. elanud Rooma väejuhi Pompiliuse vapikilp olevat olnud tehtud taevast kukkunud

rauast. Preestrid ennustasid, et selle ebahariliku rauast kilbi omanik võib vallutada kogu maailma. Kartes röövimist, laskis Pompilius teha veel üksteist sarnast kilpi, et röövlid ei oskaks eraldada tõelist teistest.

Vanad hiinlased, egiptlased, kreeklased ja roomlased olid meteoriitidest huvitatud ja on jätnud mitmeid ülestähendusi nende langemisest ja ka leitud meteoriitidest. Hiina suurde entsüklopeediasse on kirja pandud meteoriitide langemised kahe aastatuhande jooksul. Anaxagorase, Plutarchi, Liviuse ja teiste vanade kirjanike ülestähendustes leidub samuti teateid meteoriitide langemisest. Toogem ainult mõned näited. Umbes 625. a eKr sadas Rooma juures kivivihma. 465. a eKr kukkus üks kivi Traakias Egeuse jõe äärde. Umbes 204. a



Aastast 1628 pärinev Saksa gravüür kujutab taevaste legionide võitlust, mille käigus kahurikuulid langesid Maale meteoriitidena. Esiplaanil lamav talupoeg näib olevat pihta saanud, kuid tegelikult pole usaldusväärseid andmeid selle kohta, et langenud meteoriidid oleksid inimohvreid nõudnud.

eKr viidi üks juba varem Phrygias langenud kivi suure pidulikkusega Rooma.

Taevast langevatel kividel polnud mingit usutatavat teaduslikku seletust. Aristoteles (384-322 eKr.) oletas, et meteoriidid on Maa pinnalt lahti kistud maised osakesed, mis ühinesid pilvedes välgu kuumusel ning olles õhust raskemad, kukkusid kõuekividena alla. Aristoteles väitis, et kivid ei või kukkuda taevaste kivide sfäärist, sest see rikuks taevase täiuse doktriini. Anaxagoras (u. 500 - 428 eKr.) pidas meteoriite kivise tähe küljest kukkunud tükkideks. See oli juba üsna tööpärase seletus.

Möödusid sajandid, kuid taevakive seostati endiselt jumalatega. Kuid leidis ka rahvaid, kes suhtusid taevakividesse palju praktilisemalt. Kuivõrd osa meteoriite koosneb ehedast rauast, siis kasutasid inkad, atsteegid, eskimod ja teised seda töö- ja sõjariistade valmistamiseks.

Meteoriidid kui kultuseobjektid

Kummaline küll, kuid kauges minevikus ei osatud seostada tulekerasid ja maapinnale langenud meteoriite. Samas aga oli meteoriitide kummar-damine mõnedel ajaloolistel perioodidel tavaline. Pühade kivide, tõenäoliselt meteoriitide kujutised

on näiteks paljudel Vana-Kreeka ja -Rooma müntidel.

Kõige tuntum püha kivi asus Apollo templis Delphis. Kreeka mütoloogias oli Kronosel (Saturnil) - titaanil ja universumi valitsejal - murettekitav komme oma vastsündinud lapsi alla neelata, vältimaks talle ennustatud saatust, et ühel päeval haarab talt võimu keegi tema järglastest. Zeusi sündides pettis Kronose naine Rhea teda, lastes tal lapse asemel kivi alla neelata ja päästis sedasi lapse elu. Kui Zeus hiljem titaane võitis, sülgas Kronos kivi välja ja see kukkus maailma keskpunkti. Tempel, mis sinna lõpuks ehitati, muutus Vana Maailma kõige austatuma oraakli asukohaks. 180. a m.a.j. kirjutas Rooma Pausanias, et ta olevat seal seda kivi näinud: "Üks mitte eriti suur kivi, mida Delphi preestrid iga päev õliga võiaavad".

Paljude templite kohta väideti, et nendes on "taevaseid kive". Kahjuks ei ole tänapäeval neist mingeid tõendeid, välja arvatud vaid Meka püha kivi, mis asub Kaabas. Templi sein on müüritud väike punakasmust kivimeteoriit "Hadshar al Aswad", mille juurde rändavad igal aastal palverännakule tuhanded usklikud. Legendi järgi andis ingel Gabriel selle kivi Aabrahamile. See olnud kunagi valge ja omandanud oma mustja värvi inimeste pattude pärast.

Teadlased, kes seda kivi on uurinud, kinnitavad, et kivi on tõepoolest pealt must, kuid helehalli sisemusega. Must pealispind ongi harilikult sulamiskoorik, mis tekib meteoorkeha atmosfäärist läbimisel. Kivimeteoriitide sisemus on tavaliselt helehall - seetõttu kõik klapib. Mõned väidavad, et see kivi on ebaharilikult raske, mis on jällegi kooskõlas kivi meteoriitse päritoluga. On aga ka väidetud vastupidist, näiteks seda, et kivi ujub veepinnal. Nii segunevad "püha kivi" juures religioossed uskumused tõega ja neid eristada ei olegi nii lihtne.

Ensisheimi meteoriit

6. novembril 1492. a langes Elsassis väikeses Ensisheimi linnas Prantsusmaal, mis tollal oli Saksamaa osa, taevast 127 kg raskune kivi. See "jumala läkitus" aheldati kiires korras kohaliku kiriku sein külge, et see ei saaks taevasse tagasi lennata. Kivi kõrvale graveeriti järgmine sügavmõtteline lause: "Sellest kivist teavad paljud - palju, kõik -



Ensisheimi meteoriid, mis asub praegu Ensisheimi vana raekoja muuseumis.



Puuloige Ensisheimi meteoriiidi langemisest Saksamaal, mis on arvatavasti vanim meteoriiidi langemise kujutis. Originaal asub Tübingeni Ülikooli raamatukogus.

mõnda ja mitte keegi - küllaldaselt".

Saksa-Rooma keiser Maximilian (1459-1519), kes uuris seda taevakivi kolm nädalat hiljem, kasutas meteoriiidi langemist oma üleskutses jumala vihamärgina sõjakäiguks Prantsusmaa vastu, kes oli Rooma Impeeriumiga sõjajalal.

Ensisheimi meteoriid on läänepoolkera vanim nähtud langemine, millest on säilinud pala. Maailma vanim säilinud meteoriid langes Jaapanis Nogatas 19. mail 861. a.

Kahtlus ja uskumatus

Taevast langenud kivide olemus jäi siiski veel aastasadadeks mõistatuseks. Veelgi enam, 18. sajandil ei tunnistanud õpetlased varasemaid andmeid ning pidasid teateid taevakividest häbematuteks väljamõeldisteks. Usuti seletust, et meteoriidid tekivad metalliaurude kondenseerumisel õhus elektrilahenduse toimel või pikselöögist maasse. Boliide aga samastati kera-
välguga.

1790. aastal langes Prantsusmaal Barbotani linnas paljude inimeste nähes meteoriid. Seda nägi ka linnapea, kes selle sündmuse üles tähendas. Selle kohta kirjutas kuulus prantsuse õpetlane C. Berthollet: "Kui imelik, et kogu raenõukogu kannab

oma protokolliga muinasjutte, esitades neid kui tegelikult nähtut".

Neli aastat hiljem, 19. juuni 1794. a õhtu-poolikul, sadas taevast kivivihma Siena lähedal, Itaalia Tuscany provintsis. Kohalikud elanikud kogusid üle 200 pala. See meteoriidisadu kutsus esile avaliku arutelu Itaalia teadlaste hulgas. Suurem osa toonitasid, et kivid tekkisid "magmapilvede" tihenemisel või hoopis Vesuui mäe vulkaanilise tuha kontsentratsioonist. Aga vähemalt keegi ei salanud, et kivid olid sel päeval taevast kukkunud. Vaidlus käis vaid kivide päritolu, mitte nende olemasolu üle. Kivide tekkimise probleem jäi siiski pikaks ajaks lahendamata. Teaduslik skeptitsism

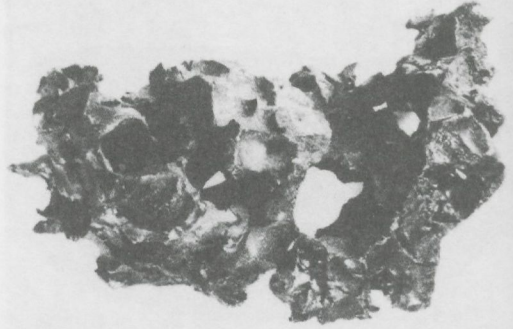
kestis kuni 18. sajandi lõpuni.

Kui aga 26. aprillil 1803. aastal langes Prantsusmaal Normandias L'Aigle'is maapinnale meteoriidisajuna korraga tuhandeid kive, oli ka toliaegne teadusmaailma autoriteet - Prantsuse Teaduste Akadeemia sunnitud tunnustama fakti, mida ta seni kategooriliselt oli eitanud. Pealtnägijad, nende seas mitmed kõrged ametiisikud, kinnitasid nagu ühest suust, et kivid langesid taevast. Sündmust hakkas hoolikalt uurima akadeemia professor J.B. Biot (1774-1862), kes kinnitaski sündmuse tõelisust. Biot oli esimene, kes kirjeldas meteoriidide langemisel tekkinud hajumisala elliptilist kuju. Pärast Biot' hoolikat ja põhjalikku L'Aigle langemise uuringut nõustusid Prantsuse teadlased, kuigi üsna vastumeelselt järeldusega, et kivid võivad tõepoolest taevaalotusest langeda.

1794. aastal ilmus Riias 63-leheküljeline saksakeelne raamat "Pallase poolt leitud ja teiste selletaoliste rauamasside päritolust". Selle autor oli Berliini Ülikooli professor ja Peterburi Teaduste Akadeemia välisliige tšehh Ernst Friedrich Chladni (1756-1827), kes väitis, et meteoriidid on pärit planeetidevahelisest ruumist, kus need on tekkinud suurte taevakehade (asteroidide) lagunemisel kas kokkupõrkel või siis sisejõududest tingitud plahvatusel. Chladni ise ei jälginud tulekerasid ja polnud näinud meteoriidide taevast kukkumas. Ta lihtsalt vaatas üle viimaste aastakümnete jooksul tehtud märkmed tulekerade ja meteoriidide langemise kohta. Ta märkas nendes teadetes jahmatavaid sarnasusi selle kohta, mis puudutas langemist. Tulekerad liikusid suurel kiirusel, mis viitas nende kosmilisele päritolule. Nende suuruse ja heleduse kasv atmosfääri alumistes kihtides ning langemise eelsed plahvatused viitasid sellele, et tulekerad ja meteoriidid on omavahel seotud ning et viimased on lihtsalt tulekerade põlemisjäänud.

Meteoriidiks pidas Chladni salapärase Pallase Raua leidu, mille langemist keegi ei olnud näinud. See eheda raua kamakas etendas E. Chladni seisukohtade kujunemisel olulist osa. Pallase Raua tükid olid ainsad meteoriidinäidised, mida E. Chladni enne ajaloolise traktaadi avaldamist oli oma silmaga näinud.

See 700-kilone meteoriid leiti Siberi taigas Jenissei kaldalt 1749. aastal ja sai laialdaselt tuntuks tänu vene akadeemikule P. Pallasele (1741-1811), kellele seda 1772. a Krasnojarski ümbrusesse teh-



Pallase Raud (pallasiit) leiti 1749. a Krasnojarskist Venemaal. G. Baranovi foto palast Eesti meteoriidikogus Tallinnas.

tud ekspeditsioonil tutvustas üks kohalik jahimees. Üle kahekümne aasta oli rahn lebanud kohaliku kasaka õuel, kes oli selle leidnud ja lootnud kohalike elanike jutu järgi taevast kukkunud kivi imettegevale mõjule. Poolteise meetrise läbimõõduga raudrahn oli peaaegu kerakujuline ja sarnanes hiiglasuurele käsnaale, kus puhta raua tühemikes olid ovaalsed, läbipaistva kollaka mineraali terad. Pealt oli rahn kaetud rauamullale sarnaneva koorikuga. 1777. a veeti rahn Peterburi, kus seda hakati hoolikalt uurima. Kui ilmus P. Pallase kirjeldus leiu kohta, hakatigi seda mõistatuslikku raua ja kivi segu nimetama Pallase Rauaks. Selle meteoriidid killud jõudsid paljudesse Euroopa mineraloogiamuuseumidesse ning neist said teadlaste uurimis- ja imetusobjektid. Ka Tartu ülikoolile 1803. a kingitud esimeses mineraalide kollektsioonis oli kolm Pallase Raua kildu.

Pallase Raud oli esimene leitud ja Marjalahti (Karjala-Soome) esimene pallasiit, mille langemist nähti (1. juuni 1902).

Chladni oletas esimesena meteoriidide pärinemist Päikesesüsteemist. Kuna ta tegi seda küllaltki tänapäevaste ettekujutuste tasemel, siis võib teda lugeda meteoriiditika kui teadusharu alusepanijaks. Termin "meteoriiditika" võttis kasutusele vene teadlane J. Simaško siiski märksa hiljem - 1887. aastal.

Esmalt püüdis meteoriidide konkreetse taevakehaga siduda prantsuse astronoom ja füüsik P. S. Laplace (1749-1827), kelle arvates meteoriidid olid Kuul toimunud vulkaanipursete produktid.

1803. a seostas saksa astronoom W. Olbers (1758-1840) meteoriididega, mida juba

sellal peeti Marsi ja Jupiteri orbiidi vahel kunagi tiirelnud planeedi kildudeks. Hiljem püüti meteoriite seostada ka komeetidega. Viimast seisukohta on toetanud mitmed juhtivad vene teadlased, nagu näiteks V. Vernadski (1863-1945) ja L. Kulik (1883-1942).

Vene teadlase S. Orlovi (1880-1954) arvates kujutas planeet, mille purunemisel tekkisid tuhanded kuni 1000 km läbimõõduga asteroidid, endast kunagi 3000 km raadiusega Marsi taolist taevakeha. See, tema poolt Phaetoniks nimetatud planeet, oli nagu Maagi mitmekihiline. Eri kihtidest koosnenud killustunud asteroid oli Orlovi järgi erineva koostisega meteoriitide lähtematerjaliks. Näiteks nii on raudmeteoriidid pärit Phaetoni tuumast, segameteoriidid - selle vahevöö alaosast,

kivimeteoriitide rühma kuuluvad kondriidid vahevöö ülaosast, akondriidid aga koorest.

Juba varajased keemilised analüüsid tõestasid meteoriitide kosmilist päritolu. Inglise keemik Edward Charles Howard näitas 1802. aastal, et Euroopa neljast eri osast leitud kivimeteoriidi keemiline koostis on ühesugune. See lubas omakorda oletada, et need pole pärit Maalt.

Kuivõrd taevast langes kaht tüüpi meteoriite: kivi- ja raudmeteoriite ja mõnikord ka nende kahe segu, siis algul arvati, et need pole omavahel seotud. Howard analüüsis meteoriitides leiduva raua erinevaid tüüpe ja leidis, et see on sulandus nikliga - Maa rauamaakides harvaesineva metalliga. Tänapäeval me teame, et meteoriitides esineb raud alati koos nikliga, mida on alati rohkesti.

Nähti, kuuldi, leiti

Huvitavaid meteoriidilangemisi Soomemaal

12. märtsil 1899. aastal võis jälgida Soomes, Põhja-Eestis ja teisteski Läänemeremaades umbes täiskuu suurust, kuid tunduvalt eredamat tulekera, mille taga oli pikk sinakasvalge, kohati punakas saba. Boliidi lendu saatsid kohin ja piksetaolised kargatused. Kosmiline keha langes Soome rannikul Porvoo linnast 7 km kagus asuva Bjurböle mõisa juures merre. Langedes murdis see 40 cm paksusesse jäässe 4 m laiuse augu ja vajus põhjamudasse. Et langemispaik oli täpselt teada, tehti sellesse kohta 7 m sügavusele mudasse palkidest raketis. Lõpuks leidis tuuker sealt purunenud meteoriidi tükid. Kõige suurem kild kaalus 80 kg. Üldse toodi merepõhjast välja 384 kg

meteoriidiainest. Bjurböle meteoriiit kuulub harilike kivimeteoriitide, kristalliliste kondriitide rühma. See on väga pehme ning pudeneb sõrmede vahel kergesti jämedaks jahuks. 1990. aasta maist on 834-grammine tükk Bjurböle meteoriidist ka Eesti meteoriidikogus.

Kaks Bjurböle küla elanikku, kelle maale meteoriiit langes, said 500 marka valuraha kalade kudemispäiga kahjustamise eest. Saadud raha loovutasid mehed küla kooli tarbeks.

Meie põhjanaabrite taevast oli aastatel 1899-1910 üsna rahutu. Peale eelpool kirjeldatud Bjurböle meteoriiidi langesid veel Huittise, Marjalahti ja Mikkelin meteoriidid ning alati leidis sündmusel ka tunnistajaid. Üldse on Soomes registreeritud viie meteoriiidi langemine.

16. detsembril 1813. a kella 10 paiku hommikul kuulsid kaks põllumeest Savitaipale vallas Saima kaldal Luotolahti küla lähedal äikesele sarnanevaid raksatusi. Nad nägid taevast kahte kiiresti liikuvat pilve, millest need hääled lähtusid.

Kui pilved kadusid, vaibus ka mürin. Paar tundi hiljem leidsid talupojad järve jääle laiail paiskunud mustjaid kive. Need, mis olid põrganud vastu jääd, olid purunenud, lumme kukkunud aga terveks jäänud. See meteoriidisadu sai maailmas tuntuks Luotolaxi nime all. Hilisemad uuringud näitasid, et leitu on akondriitide klassi kuuluv haruldane howardiit. Sääraseid kivimeteoriite on Maalt leitud vaid paarkümmend.

21. oktoobril 1901. aastal paugatas Lõuna-Soomes jälle: Huittise kirikuküla lähedale kukkus 14-kilogrammiline taevakeha. Langemispaiga lähedal kuulsid inimesed vinisevat heli, kuid keegi ei märganud midagi erilist. Paar päeva hiljem nägi üks talumees maas kummalist auku. Uudishimust kaevas ta seal ja leidis poole meetri sügavuselt savisest pinnasest kõva kivi. Seda kattis must sulamiskoorik meteoriitidele iseloomulike lohku - regmagüptidega.

Ei möödunud aastatki, kui 1. juunil 1902. a kella 22 paiku langes Laadogast loodes Marjalahti lähistele (praegu kuulub Venemaa koosseisu) Soome suuruselt teine meteoriit, seekord kivi-raudmeteoriit. Talumees nägi, kuidas meteoriit pörkas vastu rannakaljut ja purunes. Kogukaim tükk lendas 50 meetri kaugusele vette. Suurima leiu mass oli 23 kg, üldse leiti 45 kg kilde. Marjalahti meteoriit koosneb 80% nikkelraust ja 20% oliviinist ning kuulub pallasitide hulka. See oli maailmas teine pallasidi leid.

1919. aasta 12. juuli õhtul kella kaheksa paiku märgati Kagu-Soome taevas tulekera, mis kustus umbes 30 km kõrgusel. Mõned vaatlejad nägid tulekera enne kadumist kaheks lagunevat. Selle kadumise järel kuuldi paari kõva raksatust ja siis kõminat. Meteoriit pudenes Mikkeli asulast kümne kilomeetri kaugusel heinamaale. Heinalised, ehmatusest toibunud, läksid hääle tekitajat otsima. Peagi leiti lehter, mille põhjas oli meteoriit massiga 7 kg. Veidi hiljem leiti 2 km kaugusel veel teinegi, 10 kg raskune pala. Mikkeli meteoriit on tüüpiline kristalliline kondriit.

2. augustil 1971. a langes Turust 25 km lõuna poole pealtnägijate silme all meteoriit. Keskpäeval kuuldi Haverö saarel taevast piksesarnast häält, mis hiljem muutus vilinaks ja seejärel nähti sealt laskuvat tumedat keha, mis langes tugeva raskatusega kahekorruselise küüni kivikatusele. Taevakivi jättis katusesse 40 cm läbimõõduga augu,

tungis läbi 5 cm paksustest plankudest lae ja kukkus põrandal olevasse noodakasti. See oli 10 cm läbimõõduga, leidmisel veel soe must kivi. Nii õnnestunud leidu - otse taarasse langenud meteoriitkeha - tuleb ette haruharva. Selgus, et tegu oli haruldase kivimeteoriidi - ureiliidiga, millest on seni teada vaid viis leidu. Need on ainsad meteoriidid, millistest senini on leitud teemante. Samuti sisaldavad need ka nii palju rauda, et on tugevalt magnetilised.

Teateid Hollandi meteoriitidest

Huvitavad on ka Hollandi meteoriitide saatused. Sajandi jooksul on seal leitud 4 meteoriiti. Kolm neist kuuluvad harilike kondriitide rühma, üks on akondriit. Meteoriite hoitakse riigis kiivamalt kui Hollandi kuningliku perekonna juveele, sest neist ühtegi pole muuseumide eksponaatideks.

12. juunil 1840. aastal märkasid inimesed hirmuäratava kõmina saatel midagi pilvest langemas. Hetke pärast kukkus mõne meetri kaugusele turbalõikurist ligi kilogrammine kivi. Taevakivil oli musta sulamiskooriku all valkjashall sisemik. Analüüsid näitasid, et kaunis kosmosereisija oli amfoteriit, harvaesineva kivimeteoriidi esindaja. Meteoriiti tuntakse Udeni kui ka Noord-Brabanti nime all.

2. juunil 1843. aastal nähti "äikesekivi" purunemas õhus kaheks tükiks ja langevat maapinnale Utrecht provintsis. Üks neist, Blauwkapel, massiga 7 kg leiti ligi 5 km Utrecht linnast idas kohe pärast langemist. Mõned päevad hiljem leiti Gageldijk massiga 2,75 kg 35 km kauguselt linnast. Mõlemad palad kuuluvad harilike kondriitide rühma.

28. augustil 1925. aastal leiti Ellemeet'i küla lähedalt kohe pärast boliidi kadumist 970 ja 500 grammised akondriidid. Huvi nende leidude vastu oli väike ja 500 grammine jäeti maha lebama. Alles kahe aasta pärast hakati selle vastu huvi tundma, sest üleskorjatud meteoriit osutus haruldaseks diogeniidiks. Kosmoses rändas see võib-olla miljoneid aastaid, kuid Maal ei pidanud aastatki vastu: vihm, külm, päike ja tuul tegid oma töö ning pala oli lagunenud tolmuks.

Tuhanded inimesed Taanis, Saksamaal ja Madalmaades nägid 1990. aasta 7. aprilli varaõhtul taevas lendamas heledat täiskuu sarnast tulekera. Boliidi värvus muutus läbi atmosfääri liikudes kollasest oranzhini. Teekonda jälgiti kümme minutit. Müra, mis tavaliselt boliidi liikumisega kaasneb, ei kuulnud. Boliid lagunes enne maha kukkumist. Üks tükk sellest maandus väikeses Glanerbrugi linnas perekond Wichmanni maja kivikatusel, jättes sellesse augu. Majaesisel murult koguti kokku 800 grammi meteoriitset materjali. Majaelanikud viga ei saanud ja kindlustuskompanii maksis uue katuse ehitamise kulud.

Ukraina - meteoriitide meelispaik

Ukraina territooriumile, mille suurus on 603 000 km², on langenud või siit on leitud 38 meteoriiti. Nendest kolm on raud- ja 35 kivimeteoriiti. Esimene registreeritud meteoriit Zhigailovka langes 12. oktoobril 1787. aastal Harkovi kubermangu. Meteoriidi korjasid üles karjused, kes arvasid, et maha oli kukkunud must lind. Kuusteist aastat hoiti meteoriiti kohalikus apteegis, seejärel anti üle Harkovi ülikoolile.

Meteoriidisadusid on toimunud Ukrainas kolm: Knyaginya (9. juuni 1866), Zhovtnevyi Hutor (9. oktoober 1938) ja Krymka (21. jaanuar 1946).

Zhovtnevyi Hutori meteoriidisaju langemise üksikasju on põhjalikult uuritud. Paljude pealtnägijate kirjelduste järgi ilmus boliid öösel Veenusest heledamana. Mõne aja pärast oli nii valge kui täiskuu ajal, valgustades maad mitmekümne ruutkilomeetri ulatuses. Heleduse suurenemisega kasvasid ka boliidi mõõtmed. Tulesädemeid pilduv boliid oli kerakujuline ja selle tuum oli kollakaspunane. Esimesel plahvatusel eraldus boliidist kaks tükki, mis lendasid eri suundades ja kadusid. Allesjäänud boliid jätkas lendu samas suunas, kuid vahetult enne kadumist toimus teine plahvatus, mis lagundas selle mitmeks osaks. Boliid kustus, kuid taevasse jäi kümneks minutiks nõrgalt helenduv kollaka varjundiga udune jälg. Kogu boliidi nähtav lend

kestis 9 sekundit. Mõni sekund pärast boliidi kadumist kostus kolm püssipaukudele või äikesemürinale sarnast lõõki. Valgusmäng ja sellele järgnenud plahvatused olid nii tugevad, et paljud pealtnägijad sattusid paanikasse. Meteoriidisajust on leitud 13 pala kogumassiga 107 kilogrammi.

Krymka meteoriidisajust leiti 77 üksikpala kogumassiga 40 kilogrammi. Meteoriidi langemist saatsid nii valgus- kui ka heliefektid.

Berdyanski kivimeteoriit leiti 1843. aastal sküütide kurgaanist Priazovjast. Pikaajaline niiskuses viibimine oli põhjustanud meteoriidi täieliku oksüdeerumise.

Verhnjodniprovski meteoriiti (leitud 1869. või 1876. a) samastati väga pikka aega 400 kg-se Avgustinovka raudmeteoriidiga. Viimane leiti 1890. aastal ligi 80 km kaugusel Verhnjodniprovskist. Põhjalik keemiline uuring selgitas, et need kaks meteoriiti kuuluvad raudmeteoriitide erinevatesse alarühmadesse. On huvitav märkida, et tükk Verhnjodniprovski meteoriidist - 2,2 grammi - on olemas vaid Eesti meteoriidikogus ja ligi 100 g Viini rahvusmuuseumis, kuid Ukraina kogudes see puudub. Avgustinovkat leidub aga maailma paljudes meteoriidikogudes.

Kagarlyki kivimeteoriit on huvitav oma langemise aja poolest. See kahe kilogrammine meteoriit langes 30. juunil 1908. aastal, seega just samal päeval, kui toimus Tunguusi katastroof. Tehti ka katset neid kahte sündmust ühendada, kuid põhjalikud uuringud tõestasid sündmuste juhuslikku kokkusattumist.

Yurtuki kivimeteoriidi (2. aprill 1936) üks 600 grammine tükk läbis maja katuse ja maandus põõningule.

Ka Andrejevka meteoriit (7. august 1969) kukkus maja katusest läbi põõningule. Perenaisele näis, et kapp nõudega oli ümber kukkunud. Pool tundi hiljem leiti ümmarguse kuju ja musta pealispinnaga veel soe vähem kui kilone meteoriit.

Üheks unikaalsemaks on Marjinka raudmeteoriidi leid. Tavaliselt on meteoriidi leidmine suur juhus, aga Marjinka puhul lausa juhuste jada. 1976. aasta suvel saadeti Donetsk oblasti Artemovski linna geoloogiamuuseumile söekaevandusest suur söekamak. Kuna kamakas ei mahtunud riulile, see purustati. Kamaka seest avastati 144 grammine rauatükk. Muuseumi direktor arvas selle

olevat meteoriidi ning jättis muuseumi. 1981. aastal külastasid muuseumi ajakirjanikud ning kirjutasid sellest imelikust rauatükist "Komsomolskaja Pravdas". Kohe pärast artikli ilmumist saadeti rauatükk Ukraina Meteoriitika Komiteele detailseks mineraalseks ja keemiliseks uuringuks. Koostiselt ja struktuurilt vastas see täpselt oktaedriidile. Söekamakas ise pärines aga 285 - 300 miljoni aasta vanusest kihist. Marjinka meteoriit on vanuselt kolmas "fossiilne" meteoriit maailmas. Meteoriidi kildjas kuju viitab sellele, et see pärineb suuremast meteoriidist.

Ukraina meteoriitidest on langenud või leitud XVIII sajandil - 2, XIX sajandil - 16 ja XX sajandil - 20.

Lugusid meteoriitide langemistest

29. novembril 1933. aastal kella 13...15 vahel kohaliku aja järgi kukkus Argentinas Chajarí linna lähedale Entre Ríos provintsis taevakivi. Hetkel, mil kivi kukkus, tegi rentnik Juan Percara lõunauinakut. Läbi une kuulis ta äikesetaolist mürinat, millele järgnes järsk, maapinda värvistav mütsatus. Percara ei pööranud sellele erilist tähelepanu, aga naabrid olid näinud midagi üle nende pea liikumas. Nad otsisid seda eset, kuid edutult.

Mõned päevad hiljem, jalutades oma maja läheduses, märkas Percara väikest auku, mille ümber rohi oli kuivanud ja kollakaks tõmbunud. Kuna ta käega augu põhja ei ulatunud, kaevas ta niikaua, kuni jõudis pooleteise meetri sügavusel lebava 18 kilogrammise kivini. Ta saatis väikese tüki sellest kohalikku kaevandusnõukogusse, et teada saada selle väärtus. Kivi eksponeeriti uudishimulikele naabritele ka kohalikus poes, jaotades killukesi igaühele, kes seda soovis. Hiljem vahetas Percara kuulsa meteoriiduurija ja kollektsionääri Lorenzo O. Giacomelliga suurema osa meteoriidist (ligi 11 kg) kastanpruuni hobuse vastu. Pärast Giacomelli surma läks tema kollektsioon kahjuks kaduma.

1993. aasta oktoobrikuus külastasid Argentina Rahvusliku Muuseumi töötajad veel täie tervise juures olevat 84 aastast Don Juan Percarat, kes

kinkis neile 316 grammise tüki, mille ta oli löönud meteoriidist vahetult enne Giacomelliga vahetuskauba tegemist. Nii õnnestus üks tükk sellest meteoriidist teadusele päästa.

30. oktoobril 1949. aastal märkasid kolm meest Mongoolias, Gobi Altai mäeahelikus Adzhi-Bogdo lähedal Olii mäekurus õhtuäeavas liikuvat mitut tumedat objekti, mis jätsid enda järele roheka suitsusaba. Taevakivid kukkusid Olii mäekuru lõunapoolisel küljel olevale jalgrajale. Mehed korjasid neist mõned väikesed tükid üles ning tõid need teadlastele uurimiseks. Selgus, et tegu oli erilise varem tundmata koostisega kivimeteoriidiga. Üldse koguti ligi 1300 g palasid, millistele 1992. aastal lisandus veel üksikpala massiga 910 grammi.

9. juuni 1952. aasta õhtul nägid Alberta linna elanikud Kanadas kõuemürina saatel lendavat tulekera. Hetk hiljem tekkis 90 km Edmontonist põhjapool asuva Abee linna lähedal nisupõllule ligi 2 m sügavune auk. Augu põhjas lamas 107 kg-ne tumeda sulamiskoorikuga kaetud kivimeteoriit. Nii leiti suurim harvaesineva koostisega kivimeteoriit - enstatiitkondriit. Mitmed uurijad oletavad enstatiitkondriite pärinevat Merkuurilt.

14. septembril 1988. aastal nägid mõned inimesed liikumas ebaharilikku suitsujuga maha jätvat objekti üle taeva Quebrada de Humahuaca lähedal Argentina Jujuy provintsis. Nad olid vapustatud, nähes kuidas see tükkideks rebenes ja lekidest ümbritsetuna Maale langes. Helistati kohalikule lennuväeteenistusele. Lendurid said ülesande lennata Palca de Aparzo regioonis ning leida objekt. Midagi ebaharilikku ei leitud. Oli see UFO või satelliit? Otsinguid jätkati, küsitleti pealtnägijaid ja paluti neil sündmust kirjeldada. 1994. aasta jaanuari algul saabus uurijatele pakk, milles oli 10-grammine meteoriidi tükike. Nii leiti viiekümne seitsmes Argentina meteoriit - Palca de Aparzo.

17. mail 1990. aastal kell 23.20 kohaliku aja järgi langes Lõuna-Baškiirias 20 km Sterlitamakist läänes raudmeteoriit, mis tekitas just äsja küntud nisupõllule kraatri. Paljud elanikud nägid ereda boliidi liikumist lõunast põhja 450 nurga all horisondi suhtes. Pealtnägijate ütluse järgi boliid helendus kogu teekonna vältel kuni kokkupõrkeni maapinnaga, mille järel kostus mitu plahvatust. Kaks päeva hiljem avastatud kraater oli 4...4,5 m sügav ja seda ümbritses 60...70 cm kõrgune vall.

Radiaalkiirjalt välja heidetud kraatrisisene hele materjal eristus mustal mullal eriti selgelt.

Geoloogide uurimiserühm jõudis langemispaika kuus päeva hiljem. Kahjuks oli selleks ajaks kraatri vall hulgaliste uudishimulike ja meteoriidiotsijate poolt rikutud. Kraatri kaevamisel 8 m sügavuseni leiti kaks pala massiga 6,6 ja 3 kg. Kraatri ümbrusest koguti ligi kakskümmend väiksemat meteoriidikildu. Arvutuste järgi võis meteoriidi algne läbimõõt olla ligi meeter.

14. juunil 1994. aastal, mõned minutid enne päikeseloojangut langesid Kanada idaosas, Quebecis, St. Roberti kirikuküla lähedale karjamaale kivimeteoriidid. Meteoriidisaju tekitanud boliidi lendu nägid tuhanded inimesed New Yorgis, Vermontis, New Hampshires ja Ontarios. Pealtnägijate sõnul säilis suitsupilv pärast tulekera kadumist üle kahe minuti. Ka satelliit registreeris selle boliidi lennu. Saadud andmete põhjal arvutati kosmosekeha atmosfääri sisenemise kiiruseks 12 km/s ja esialgseks massiks enne atmosfääri jõudmist kuni 4000 kg.

7. jaanuaril 1996. a. liikus Jaapanis üle Saitama ja Ibaraki prefektuuri oranzhis sädemetevihus tulekera. Sündmus jäädvustati pealtnägijate poolt fotodel ja videolindil. Jaapani Geoloogiateenistuse andmetel registreeris seismomeeter Kantos langemise hetke. Meteorokeha jäänused leiti Tsukuba eeslinnast. Üldse koguti 800 grammi meteoriidipalasisid, neist suurim oli 177,5 grammi.

20. juunil 1996. aastal liikus üle Pilplia Kalani küla Rajasthani osariigis (India) õhtutaevas tavatult ere boliid, mille langemisega kaasnes hirmutav mürin, enne kui põllule langesid kaks 30 ja 12 kg - st taevakivi. Leid kuulub eriti harva esineva akondriitide - eukriitide - rühma. Selle grupi meteoriidid võivad pärineda asteroid Vestalt või selle sarnastelt kosmosekehadelt, milliseid kutsutakse vestoidideks.

15. veebruaril 1997. aastal kell 23.23 toimus meteoriidisadu Hiinas Shandongi provintsis Heze linna lähedal. Paljud hiinlased uskusid, et see meteoriidisadu ennustas Hiina Kommunistliku Partei juhi Deng Xiaopengi surma. Surm leidis tegelikult aset neli päeva hiljem. Tuhanded inimesed võtsid ette pika reisi, et saada müstilise taevakivi omanikuks. Suur osa paladest anti kohalikele ametnikele ja Kommunistliku Partei juhtidele. Keegi selles sajus viga ei saanud, aga kohalikud elanikud olid väga hirmunud

langemisega kaasnevast mürast, kuna nad arvasid, et oli toimunud maavärin. Üks meteoriit oli läbistanud talumehe majakatuse ja purustanud pliidil oleva poti.

Kunja-Urgenchi linna lähedal Turkmeenias langes 20. juunil 1998. aastal kell 17.25 kohaliku aja järgi suur meteoriit, tekitades 5...6 m läbimõõdu ja ligi 4 m sügavuse kraatri. Kraatri põhjast leiti ovaalse kujuga 60...80 cm läbimõõduga ligi 800 kg raskune kivimeteoriit. Meteoriidi langemisele eelnenud boliid jättis enda järele paksu suitsujälje, mis varjutas Päikese. Plahvatus toimus 10...15 km kõrgusel ja seda kuuldi 100 km raadiuses.

13. juuni 1998. aasta varahommikul nägid paljud inimesed USA lõunaosas suure suitsusaba ja kõva mürinaga üle New Mexico osariigi liikuvat boliidi. Toimus meteoriidisadu. Umbes 16 kg raskune pala kukkus Portalesi linnas hommikukohvi joova proua Nelda Wallace õue. Kuulnud ebaharilikku helinat ja plahvatust, läks ta õue vaatama ja nägi seal meteoriidi poolt tekitatud auku. Teine, 530 grammine pala, läbistas 6 km eemal elava farmeri küüni metallkatuse. Farmer leidis selle hilisõhtul. Kolmas, 20 kg raskune meteoriit, langes farmeri nisupõllule. Kuni 6 km pikkuselt ja 2 km laiuselt hajumisalalt korjati ligi 75 kg meteoriidipalasisid.

Lugusid meteoriitide leidmistest

Soomes on tänu laialt levinud maagjotsimise võistlusele leitud viis meteoriiti. Rahvast kutsutakse koguma huvitavaid ja ebatavalisi kive ning saatma neid uurimiseks geoloogiateenistusse või maakide kaevandamisega ja töötlemisega tegelevate Outokumpu ja Rautaruukki kompaniidesse. Põhiesmärgiks on muidugi maavarade leidmine, kuid samal ajal on peetud silmas ka meteoriitide leidmise võimalust. Parimaid leidjaid premeeritakse.

Paljusid meteoriite on leitud kas siis põllutöödel, metsatöödel või kuivenduskraave kaevates.

1913. aastal Varpaisjärvel sattus talumees sooniidul kaevates kummalisele kivile ja viis selle

koju. Valla kirikhärra kuulis kivist ja arvas selle olevat meteoriidi. Tä löi kivist 120-grammise tüki ja saatis geoloogiateenistusse Helsingisse. See oligi kivimeteoriit. Kohe saadeti uurijad kivi mõõtma ja pildistama, kuid valdaja ei tahtnud leiust loobuda ja nii ei saadudki meteoriiti muuseumi viia. 1948. aastal selgitas meteoriiduurija W. Wahl kivi edasise käekäigu. Tä otsis üles omaniku vanema venna, kes mäletas, et kivi oli lamanud üle kahekümne aasta kõõgi põrandal. Seal sattus see lõpuks talu lähedal asuvasse kivihunnikusse, kus mängivad lapsed ta puruks löid ja laiali kandsid. "Selle kivi saatus näitab veenvalt, kui tarbetu on austada meteoriidi leidja soovi säilitada seda tema kodus, selle asemel, et viia muuseumi," on kirjutanud W. Wahl. Kas pole õpetlik lugu?!

Harvaesinevate kivimeteoriitide amfoteriidide rühma kuulub 1963. aastal Põhja-Soomes maagiotsijate leitud 3-kilogrammiline maapinnal lebanud Salla meteoriit. Välispinna järgi võis oletada, et see on kukkumisel purunenud suurema meteoriidi tükk. Jätkati otsimist ja nii leiti ligi 7 kg selle meteoriidi kilde. Kõik need olid tugevasti porsunud pinnaga ja tõenäoliselt lamanud maas sadu aastaid.

1968. aasta maikuu leidsid metsamehed Oulujärvest põhja pool Kivesvaara kõrgendikul metsa istutades väikesest lehtritaolisest süvendist mustad, bituumeni lõhnaga kivimipalad. Kaks väikest tükki saadeti analüüsiks Soome Geoloogiateenistusse. Selgus, et leitu oli harvaesinev süsinikkondriit.

Eesti meteoriidikogus on palasid kaheksast Soome meteoriidist.

1983. aastal leidis farmer USA-s, ligikaudu kilomeetri kaugusel Richfieldist lõunas Kansases, põllul kaevates 40,8 kg raskuse kivi. Kivi tundus talle ebaharilikuna ja ta tõi selle koju, kuhu see jäi ligi kümneks aastaks. Lõpuks sai uudishimu võitu ning mees saatis tüki uuringuteks. Need viitasid harvaesinevale kivimeteoriidile - amfoteriidile. Seni oli selliseid maailmas leitud vaid viisteist.

5. augustil 1995. aastal leiti Argentinas ligi 25 km kaugusel Quiñihuau linnast Limay jõe äärest meteoriit massiga 280 kg. See harilike kivimeteoriitide rühma kuuluv meteoriit kanti kataloogi Rio Limay nime all. Seitse nädalat hiljem leiti samade meeste poolt 160 kg raskune kivimeteoriit Garabato linna lähedalt.

Meteoriit Old Woman

USA-s kuulub meteoriit seaduse järgi maaomanikule, kelle valduselt see leiti. Mõnikord on omandiõigus aga vaieldav, nagu näiteks meteoriidi "Old Woman" puhul.

1976. aasta veebruaris otsisid kaks kullaotsijat legendaarset kullakaevandust Old Woman'i mägedes Mohave'i kõrbes, mis asub Kalifornias San Bernardino maakonnas. Kullaotsijad olid just läbimas oma otsinguala viimast kanjoni, kui märkasid selle lõpus teiste rahnude seas kummalist, ligi meetrise läbimõõduga rauakamakast. Kuna kamakas kaalus üle kolme tonni, siis ei suutnud leidjad seda liigutada. Nad löid kivist killu ning suundusid Twentynine Palmi. Märtsis saatsid nad tükkese oma palast identifitseerimiseks Griffithi Observatooriumi Los Angelesis. Esimene vastus oli negatiivne. Hiljem saadeti pala ja fotod haruldasest kamakast Smithsoni Instituuti Washingtonis, kus kinnitati selle meteoriitset päritolu. Leidjad lootsid, et meteoriidi müügist saadav raha võimaldab neil parandada hiljuti üüritud veski varustust. Nad esitasid ka kaevandamisnõude, arvates, et see kaitseb nende leidu. Vastumeelselt näitasid nad teadlastele leiukohta. Kui meteoriitikud nägid räsitud roostevärvilist kamakat, taipasid nad kohe selle väärtust. Samal ajal lootsid kaks visa kullaotsijat leiu märkimisväärse tasu eest valitsusele või veelgi kõrgema hinna eest mõnele kollektsionäärile maha müüa. Meteoriitikud selgitasid aga neile, et õigus ei ole sellel, kes leidis, vaid sellel, kellele kuulub maa, millelt see leiti. Seega kuulus meteoriit USA valitsusele.

Vastavalt USA muististe seaduse tingimustele peetakse riigi maadelt leitud meteoriite teaduslikeks huviobjektideks.

Kullaotsijad tundsid, et neid oli petetud meteoriidi asukohta näitama. Nad üritasid meteoriiti minema viia, aga leiu suure massi ning raskesti läbitava maastiku tõttu ei olnud see mõeldav. Helikopteri üürimine oli aga liialt kallis. Üle aasta lebas vaidlusalune raudmeteoriit mägedes, samal ajal kui kullaotsijad pidasid Maakorraldusbüroo ja Smithsoni Instituudiga juriidilist lahingut. See kestis 1980. aastani, mil nad saavutasid võidu.

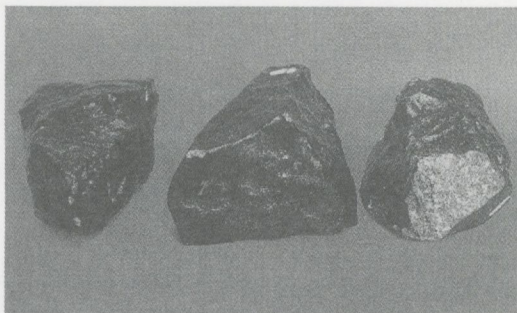
Kas meteoriidid on ohtlikud?

Kui palju meteoriite tabab inimesi või langeb hoonetele? Ka seda on püütud hinnata. Viimastest uurimustest järeldub, et USA ja Kanada territooriumil võib tabada meteoriiit inimest keskmiselt üks kord 180 aasta jooksul. Hoonetele langeb aga kuni üks meteoriiit aastas. Kogu maakera kohta võiks tulla üks inimese tabamus 10 aasta kohta ja hoonetele 16 tabamust aastas.

1987. aastal USA Meteoriiitika Ühingu 50-ndal aastapäeval tehtud ettekandest järeldus, et aastail 1932-1982 USA-s langenud 39 meteoriidist 20 tabas mingit ehitist; kolm oli tabanud autot, üks kukkunud basseini ja ühel juhul tabas meteoriiit inimest. See juhtus 30. novembril 1954. aastal Sylacaugas (Alabama osariik). Maja katuse ja lae läbistanud 3,9 kilogrammine kivimeteoriiit tabas raadiot ja pörkus sealt voodisse, kus proua E. Hulitt Hodges mitme teki all magas. Seetõttu pääses Mrs. Hodges ainult verevalumiga puusal.

Ajalooost on teada vähemalt kuus kindlat juhtumit, mil meteoriiit on tabanud inimest. On aga vihjeid, mille alusel võib arvata, et inimkond on kaotanud aegade jooksul meteoriidilöögist 50...70 inimest. Kahjuks on suurem osa nendest vahejuhtumitest halvasti dokumenteeritud ja seetõttu väheusutatavad. Hiina kroonikas on kirjeldatud, kuidas 14. jaanuaril 616. aastal toimunud meteoriidisadu tapnud kümme sõdalast, lõhkunud sõjavankreid ja muud varustust. 1650. aasta septembris kukkus umbes 2 cm läbimõõduga 8-grammine meteoriiit Santa Maria delle Pace'i kloostrisse Milaanos ja tappis frantsiskaani munga. Meteoriiit leiti mehe reiest. See oli vigastanud reiearterit. 1639. aastal surmanud taevakivid umbes kolmkümmend inimest Hiinas turul ja 1674. aastal kaks Rootsi meremeest laeva pardal. Usutatavam on juhtum 1725. aastast, mil reverend Joseph Wasse kirjeldab värvikalt meteoriidisadu, milles üks meteoriiit tapnud 60 aastase karjuse ja tema viis veist Mixbury lähedal. Meteoriiidi teised tükid rabanud veel inimesi jalust.

30. juunil 1874. aastal tabas Hiinas meteoriiit magavat last. 5. septembril 1907. aastal sai üks laps



Nakhla kivimeteoriidid 28. juunil 1911. a meteoriidisajust asuvad Egiptuse Geoloogiamuuseumis. Foto G. M. Naim.

meteoriiditabamuse Jaapanis.

1. mail 1860. aastal sadas alla ligi 30 taevakivi USA-s Ohio osariigis, kus nende ohvriks langes varss. Macau meteoriidisaju ajal Brasiilias 11. novembril 1836. aastal hukkusid mõned veised. 28. juunil 1911. aasta Nakhla meteoriidisajus Egiptuses tappis kivimeteoriiit koera.

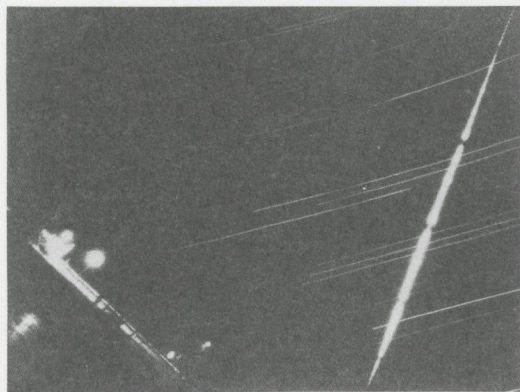
Hooneid tabanud meteoriidid leitakse tavaliselt hiljem. 1984. aasta detsembris tabas USA-s Glaxtonis Georgia osariigis Carutha Barnardini postkasti 1,5 kilone kivimeteoriiit. Otsesaadetus kosmosest!

1992. aasta 10. detsembri õhtul Jaapanis Honšiu saarel Mihonoseki linnas tungis Meiko ja Masaru Matsumoto kahekorruselise maja katusest läbi 6,5 kilogrammine kivimeteoriiit. Seda võib nüüd imetleda nende võõrastetoas.

Esimese autonoma maailmas sai meteoriiidi tabamuse Pontiac 29. septembril 1938. aastal Bendis, Illinois osariigis. Kui õhtul koju tulnud peremees läks garaazhist autot välja ajama, arvas ta esialgu, et rotid on tema autole liiga teinud. Hiljem selgus, et hommikul oli oma aias töötanud naabrinaine kuulnud tugevat raksatust, kui 1,8 kilogrammine meteoriiit läbi garaazhi katuse autosse tungis.

56 grammine meteoriiit läbistas 1973. aasta märtsikuus sõiduauto katuse San Juan Capistranos (Mehhiko).

9. oktoobril 1992. aastal kuulsid tudeng Michelle Knapp ja ta sõber Michael Aponte New Yorgi eeslinnas Peekskillis televiisorit vaadates väljast ootamatult müra. Kuna nad ei julgenud välja minna, siis helistasid nad kohe politseile, kes saabus minut hiljem. Politseinik avastas punase Chevy Malibu pakiruumist veel sooja, 11 kg



Peekskilli boliidi lend 9. oktoobril 1992. a lõppes autole maandumisega.

kaaluva pruuni sulamiskoorikuga kaetud kivi. Algu oli politseinik mõelnud, et tegemist on kuritõõga, kuid kohale kutsutud geoloog kinnitas kivi kosmilist päritolu. Paari tunni pärast oli hulgaliselt kohal nii kolleksionääre kui ka äritsejaid. Michelle müüs meteoriidi koos päevinäinud autoga 69 000 dollari eest. Ise oli ta selle auto ostnud vaid 100 dollariga! Peekskilli boliidi lendu nägid sajad inimesed Kentuckist New Yorgini.

Sajad inimesed nägid ka 18. veebruaril 1995. aastal kesköö paiku Jaapani mere kohal boliidi, mis maapinna lähedal neljaks lagunes. Üks osa sellest langes Neagari linnas maja ees seisva auto pakiruumi, kust autoomanik selle hommikul ka leidis. See oli harilik kondriit, kõige levinum kivimeteoriit, massiga 325 grammi.

Mõned inimesed on meteoriidi tabamusest pääsenud üle noatera. 14. juulil 1847. aastal langes Braunaus (Tšehhi) läbi maja katuse tuppa, kus magas kolm last, 17 kilone meteoriit. 31. augustil 1991. aastal kukkus 483 grammiline meteoriit

Noblesvilles, Indiana osariigis 13-aastasest lapsest vaid 2 meetri kaugusele.

Kuigi me teame, et meteoriitide langemine samasse paika on väga haruldane, siis väikese Wethersfieldi linna elanikud Connecticuti osariigis arvatast ei nõustu sellega. 8. aprillil 1971. aastal purustas 350 grammiline meteoriit maja katuse ja maandus elutoa põrandal, kust tuletõrjuja selle ka leidis. Üksteist aastat hiljem, 8. novembril 1982. aastal, purustas meteoriit massiga 2,7 kilogrammi teise selle linna maja katuse. Jälle kutsuti kohale tuletõrje ja sama tuletõrjuja leidis oma teise meteoriidi.

Meteoriidiotsija meelespea

Kui leiata maast meteoriidisarnase kivi, vaadake, kas sellel on järgmised omadused:

1. Kas kivi on raskem kui muud sama suurusega kivid?
2. Kas kivil on metalliosakesi? Seda saate kergesti kontrollida kivipinna hõõrumisel liivapaberiga. Metalliterad eralduvad läikivate punktidenä, millele nõelatorge jätab selge jälje. Rauasisaldus selgub väikese püsimagneeti abil. Kaua aega maapinnas lebanud raud on tavaliselt roostepruun.
3. Kas kivil on atmosfääri läbimisel tekkinud jälgi - sulamiskoorikut või selle jäänuseid, sulamislohe, voolujälgi? Kas kivi on siledapinnaliseks ümardunud?
4. Kas leiupaigas on märke sellest, et kivi on langenud ülalt - lohk või lehter, rikutud puud või taimed?
5. Kas kivi põhimassis on näha peeni ümmargusi teri või tumedaid sooni?

Mida rohkem saate jaatavaid vastuseid, seda tõenäolisem on leiu kosmiline päritolu. Kui kivi on väike, võite selle saata tervikuna põhjalikuks uurimiseks. Väga suure kivi puhul lõõge selle küljest paarisentimeetrine tükikene, pakkige hoolikalt, lisage leiukoht, aeg ja oma isikuandmed. Leid saatke aadressil: Eesti Teaduste Akadeemia Meteoriitika Komisjon, Geoloogia Instituut, Estonia pst. 7, Tallinn, 10143.

Tähearmid

II osa

Elnevalt oli juttu sellest, kuidas maapinnale jõuavad meteoriidid - väiksemad kosmilised kehad, mida Maa atmosfäär veel nende suure kiiruse tõttu endast läbipõletamata läbi laseb, sealjuures neid sedavõrd pidurdades, et need jäävad kuumadena maapinnale lebama, tekitades üksnes väikese lohu või sulades läbi lume ja jää. Väiksema kiirusega kosmosekülalised põlevad õhu tihedamates kihtides jäägitult, jättes endast mõne hetke vältel jälgitava valguse joone ja pisut püsivama suitsupilve (meteoorid, boliidid). Aga suurema kiirusega suured kosmosekehad, mida atmosfäär pidurdada ei suuda? Nemadki jõuavad maapinnani, kuid pihustuvad kokkupuutel maapinnaga silmapilkselt. Toimub võimas plahvatus, mis tekitab süvendi maapinnal - meteoriidikraatri. Meteoriidi ainet säilib vähe - seda võib leida üksnes väikeste kildude või plahvatusel sulanud kivimite või meteoriidi tilkade - kerakestena. Meteoriitse ainese peaaegu täielik haihtumine plahvatusel oli kaua aega põhjuseks, miks paljusid meteoriidikraatreid Maal keelduti nendena tunnistamast, vaid neis nähti eeskätt vulkaanide plahvatuslõõre. Mõne sellise kraatri päritolus kaheldakse tänini.

Ja ometigi on meteoriidikraatritel rida iseloomulikke tunnuseid, mille järgi võib neid eksimatult ära tunda isegi siis, kui tohutu võimsusega plahvatus on põhjustanud sügavate lõhede tekke maapõues ja neid kaudu kaasa toonud laava sissevoolu ja ehtsa vulkaani kujunemise.

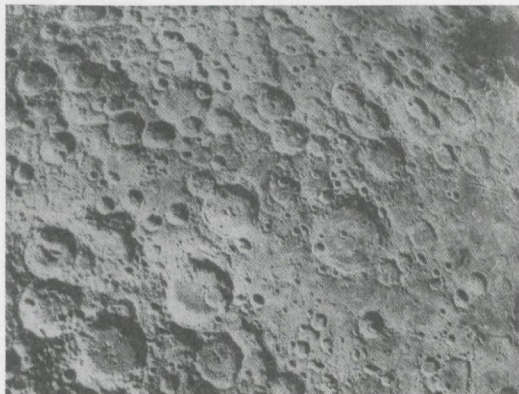
Meteoriidikraatrite iseloomulikud tunnused on enamjaolt hästi teada - need on olnud aluseks teaduslikule õpetusele meteoriidikraatrite ehitusest ja tekkest. Siinkohal tuleb märkida, et sõltuvalt plahvatusse tugevusest - st meteoriidi suurusest ja selle lõppkiirusest kokkupõrkel maapinnaga - on

meteoriidikraatrite tunnusjooned erinevad. Väikeste (läbimõõduga kuni 25 m) kraatrite puhul on valdavad mehaanilisele löögile iseloomulikud nähud. Keskmistele ja suurtele (üle kilomeetri) kraatritele on iseloomulikud võimsa termilise plahvatusse tunnused - suurte kivimimasside purustamine ja ülessulamine.

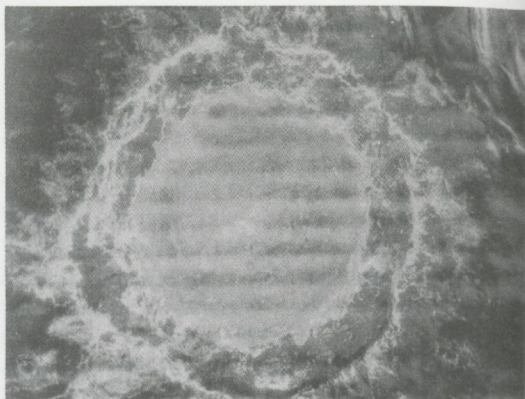
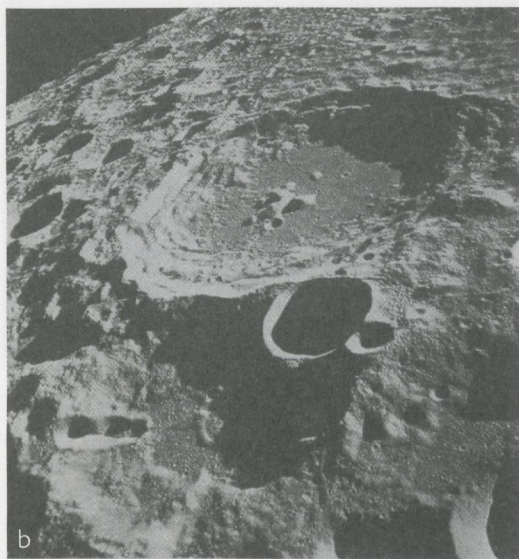
Tänu võrdleva planetoloogia meetoditele võimaldavad löögi- ja plahvatusstruktuurid anda ettekujutuse Maa varajasesest arengust. Sugugi tähtsusetu pole ka katastroofide ajaline ja ruumiline analüüs, mis võimaldab hinnata selle nähtuse ohtlikkust Maale ja inimkonnale.

Planeetide pommitamine

Suurendatud huvi ringstruktuuride vastu tekkis XX sajandi 70-ndatel aastatel tänu planeetidevaheliste automaatjaamade lendudel saadud fotodele Maarühma planeetide ja nende kaaslaste pinnal olevatest kraatritest.



Kuu pind on tihedalt kraatritega täkitud. NASA foto.



Veenuse suurim meteoriidikraater Mead, mille läbimõõt on 280 km. NASA foto.

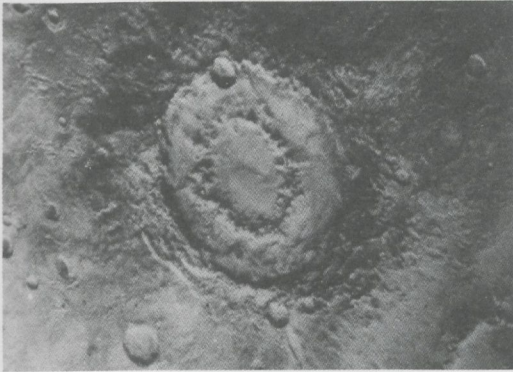
Kraatrid Kuul: a) nõgus kausikujuline lihtkraater; b) keerulise ehitusega kraater, mille keskel esineb keskkõrgendik, vallide siseküljel paiknevad aga terrassid. NASA fotod.

Maa-rühma planeedid (Merkuur, Veenus, Maa, Marss) erinevad oluliselt kaugematest (Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun ja Pluuto) planeetidest. Maa-rühma planeetide tihedus on suur, need pöörlevad ümber oma telje võrdlemisi aeglaselt. Kõigil neil on (või oli) gaasiline ümbris, kivimitest koosnev pinnakiht ja suure tihedusega tuum, mida Maal ja Veenusel ümbritseb veel vahevöö. Päikese lähedus ning suhteliselt väike mass on Maa-taolised planeedid jätnud vaeseks kergetest elementidest. Eriti kehtib see Merkuuri kohta, mis on praktiliselt kaotanud kogu atmosfääri. Vaatamata sellele, et Maa-tüüpi planeedid on paremini uuritud kui

teised, on nende siseehituse kohta siiski veel väga vähe teada.

Kraatrid Kuul, Merkuuril, Veenusel ja Marsil on laialt levinud reljeefivormid ning on tekkinud meteoriitidega pommitamise tagajärjel. Atmosfäärita taevakehadel on meteoriidikraatrid paremini säilinud ja nende ehitus selgelt näha.

Sajandeid on olnud teadlaste tähelepanu keskmes Kuu kraatrite probleem. Nende meteoriitse tekke hüpoteesi püstitas 1667. aastal füüsik R. Cook, kuid sellal ei leidnud see pooldajaid. Lõpliku tõestuse Kuu kraatrite meteoriitse tekke kohta andis Kuu geoloogilise ja tektoonilise kaardi koostamine juba kosmoseaparaatidelt saadud andmete abil. Kuu kraatrite läbimõõdud ulatuvad mõnest meetrist kuni mitmesaja kilomeetrini ja neid on seal tohtu palju. Ainuüksi Kuu nähtavalt poolelt on leitud umbes 17 000 üle nelja kilomeetrise läbimõõduga kraatri. Kiirustel 11...72 km/s liikuva meteoriidi kokkupõrge planeedi pinnaga realiseerub plahvatusena. Selle käigus väljaheidetava ainese mass võib ületada meteoriidi massi kuni 10 000 korda ja tekkinud kraatri läbimõõt meteoriidi oma 20 korda. Kraatrist väljapaisatud materjal võib levida tuhandetel ja miljonitel ruutkilomeetritel. Osa ainet aurustub, osa sulab ja osa võib kanduda tekkekohast väga kaugele. Nii võisid mõned killud Kuult jõuda ka Maale ja neid käsitletaksegi Kuult pärit meteoriitidena (vt. eespool). Kuu kraatrite kuju ja ehitus sõltub nende läbimõõdust, seega siis ka neid tekitanud meteoriidi suurusest. Väiksemad on tavaliselt nõgusa, kausikujulise süvendiga, suurematel on põhi keerulise



Elliptilise kujuga kraater vulkaani Ceraunius Tholuse jalamil ja Lowelli kraater Marsil võivad olla SNC meteoriidide allikaks. NASA fotod.

ehitusega. Vallide siseküljel on terrassid ja kraatri-põhja keskel kõrgendik või koguni mitu. Kui kraatri läbimõõt ületab 300 km, ei nimetata sellist ringstruktuuri enam kraatriks, vaid hoopis löögibasseiniks (ingl. k. impact basin). Kokku on viimatiuuritud moodustisi Kuul ligi 40. Lõunapooluse-Aitkeni basseini, Kuu suurim basseini, asub Kuu nähtamatul küljel ning selle läbimõõt on 2500 kilomeetrit ja sügavus kuni 13 kilomeetrit. See on ühtlasi ka Päikesesüsteemi suurim ja sügavaim teadaolev impaktstruktuur.

Geoloogiliselt vanematel ja heledamatel Kuu

"mandrialadel" on kraatrite tihedus tunduvalt suurem kui noorematel ja tumedamatel "merealadel". Üks nooremaid on 85 kilomeetrise läbimõõduga Tycho kraater, mis on eriti hästi näha täiskuu ajal. Siis paistavad ka kraatrist lähtuvad heledad kiired, milledest üks ulatub koguni 2000 km kaugusele teisele poole Vaikuse merd. Sinna maandus "Apollo 17" koos astronautidega, kes tõid kaasa pinnaseproove. Pinnaseproovide analüüs näitas, et Tycho kraatri vanus on 110 miljonit aastat.

Peaaegu atmosfäärita Merkuuri ilme sarnaneb sedavõrd Kuul nähtavaga, et isegi spetsialistid võivad neid fotodel segi ajada. Võrreldes Kuuga on Merkuuril palju vähem 20...50 kilomeetrise läbimõõduga kraatereid. Suurte kraatrite vallid on madalamad ja nende keskel esineb keskkõrgendikke sagedamini.

Meteoriidikraatrite olemasolu Marsil oletas Eestist pärinev astronoom Ernst Öpik juba 1950. aastal. Poolteist aastakümnet hiljem tõestasid seda kosmoseaparaadilt saadud Marsi pinna fotod. Tehtud ülesvõtetelt avastati 300 kraatrit läbimõõduga 3...176 kilomeetrit. Võrreldes Kuuga on Marsil väiksemaid kraatereid (diameetriga alla 4 km) tunduvalt vähem. Ka Marsi kaaslaste Phobuse ja Deimose pind on täis erinevas suuruses kraatereid, mis näitab nende intensiivset pommitamist meteoriididega.

Veenuse pinna uurimine radaritega näitas, et see on üldiselt tasane. Kraatrid on seal enamasti madalad ja nende sügavus ei ületa poolt kilomeetrit, kuigi läbimõõt võib ulatuda enam kui paarisaja kilomeetrini. Suuremal osal kraatritest on keskkõrgendik ja järsud nõlvad, mis näitab, et need on suhteliselt noored pinnavormid. Kuid leidub ka tugevalt kulutatud kraatereid.

Kõik need kraatrid Maa-rühma planeetidel annavad tunnistust meteoriidipommitamise suurest osast nende pinnamoe kujunemisel, kuigi ühegi suure meteoriidikraatri teket pole õnnestunud näha.

Kaugete hiidplaneetide pinnal toimuv on paksu atmosfääri ja kauguse tõttu veelgi enam varjatud. Oma tohutu massi tõttu peaksid need selliseid kehi nagu asteroidid ja komeedid rohkem külge tõmbama kui Maa. Seda näib kinnitavat komeedi Shoemaker-Levy 9 sattumine Jupiteri haardesse ja selle langemine planeedile uurijate silme all 1994. aasta juulis.

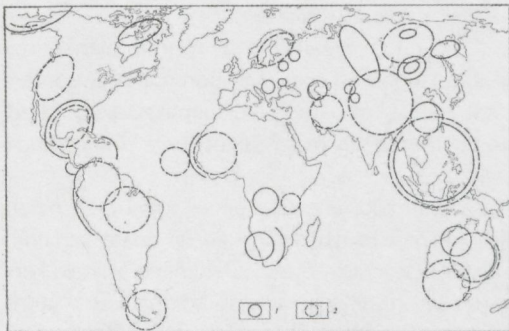
Jupiter on planeet, millel on kõige rohkem looduslikke kaaslasid. Automaatjaamade "Voyager" lendudest saadud pildid näitavad, et Jupiteri kuud on endised asteroidid, nagu arvatavasti Marsi kuudki. Jupiteri lähim kuu Amaltea osutus kaljurahnuks mõõtmetega 130...200 km, mille punakas pind on üle külvatud meteoriidikraatritega. Teine kuu Europa on kaetud 10...20 km paksuse pragulise jää kihiga. Praeguseks on Euroopal avastatud kaheksa suurt kraatrit läbimõõduga ligikaudu 20 kilomeetrit.

Piltidel, mis on tehtud Merkuurist suuremast kuust Ganymedesest, on näha lõhesid, mäeahelike ning Kuule tüüpilisi kraatreid. Kõige kraatririkkam on aga Kallisto pind.

Niisiis, meteoriidikraatrid on kogu Päikesesüsteemile omane nähtus. Seda tõsiasi ei tohi unustada ka Maa geoloogiliste struktuuride ja pinnamoe käsitlemisel.

Meteoriidikraatrid Maal

Maa pealispinna kosmiline sondeerimine koos maapealsete geoloogiliste uuringutega võimaldasid lühikese aja jooksul siingi leida arvukaid ringstruktuure, mis erinevad üksteisest tekkingimuste, vanuse ja suuruse poolest. Tänapäevastel kosmosefotodel nähtavate hiiglaslike ringvormide hulk Maal ületab vähemalt kolm korda kindlalt meteoriitse päritoluga struktuurideks identifitseeritud ringvormide arvu. Nende seas on kuni 4 tuhande kilomeetrise läbimõõduga ringe! Kujutades ette taevaruumis ringlevaid mitmesaja kilomeetrise läbimõõduga asteroide, ei olegi raske



Meteoriitse tekkega hiidstruktuuride paiknemine

O. Nortoni (1994) järgi: 1 - hiidstruktuurid (gigableimid) geofüüsikaliste andmete alusel.

2 - hiidstruktuurid (astronid) kosmiliste piltide alusel.



Maailma olulisemad impaktstruktuurid ja meteoriidikraatrid R.A.F. Grieve'i ja E. Shoemakeri (1995) järgi.

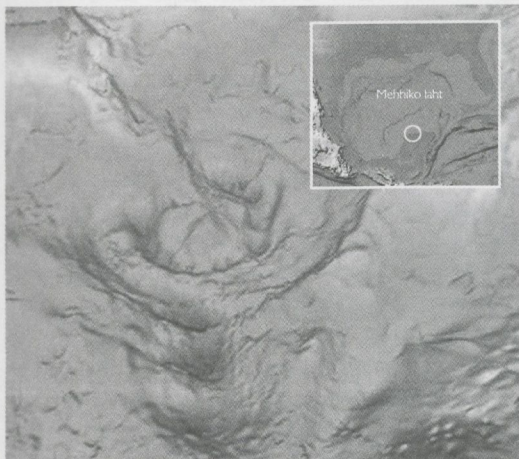
kujutleda, et need on kunagiste kokkupõrgete tunnistajad. Kuid igal juhul on saanud selgeks, et meteoriidipommitamine on avaldanud olulist mõju Maa kui planeedi arengule.

Oletatakse, et ligi kolmveerand tänaseks tuvastatud ringstruktuuridest on tekkinud Maal mitmesuguste geoloogiliste protsesside tulemusel viimase 3 miljardi aasta jooksul, ülejäänud 25% aga kujunesid vaieldamatult suurte meteoriitide langemisel Maale. Ringstruktuuride erinevad geneetilised tüübid - tektoonilised, vulkaanilised, metamorfseid või kosmogeensed - esinevad nii platvormidel kui ka kurrutuseladel. Maa geoloogilise ajaloo kestel aset leidnud kontinentide lagunemise käigus on terviklike ringstruktuuride eri osad sattunud mõnikord erinevatele kontinentidele.

Suuremate meteoriitide langemisel tekkinud struktuure nimetas Ameerika teadlane R. Dietz 1960. a. astrobleemideks, mis otseses tõlkes kreeka keelest tähendab "tähearmi". Need valdavalt Kvaternaari-eelsed meteoriidikraatrid on geoloogiliste protsesside tõttu sageli tugevasti kulutatud ja kaotanud kraatritele tüüpilise kuju. Astrobleemide nimetusel on praegu kahene tähendus: nendeks loetakse kas vanu meteoriidikraatreid või siis väga suure läbimõõduga ringstruktuure. Erialakirjanduses kasutatakse sellistest meteoriidikraatritest rääkides rohkem terminit "impaktkraater", viidates kraatritekke löögi-plahvatuslikule (impaktsele) põhjusele. Sealjuures on mõiste "kraater" kasutamine soovitatav juhul, kui selle algne morfostruktuur on säilinud, olgu siis kasvõi mattunult. Struktuuride puhul, mis on kraatritele iseloomulikud tunnused kulutusel kaotanud, eelistatakse terminit "impaktstruktuur" (impact tähendab inglise keeles

mõju või lööki). Meteoriiidi plahvatusel tekkinud iseloomulikke kivimeid nimetatakse vastavalt impaktiitideks. Suurte kokkupõrgete puhul on kivi- mid löögikohas sageli üles sulanud. Kõigest sellest tulenevalt on suuri ja väga vanu kraatreid tunduvalt raskem ära tunda kui väiksemaid ja nooremaid. Impaktkraatrid ja -struktuureid ja neis olevad impaktiidid ei sisalda tavaliselt löögikeha tükke, sest võimsal plahvatusel meteoriiit aurustub ja hävib. Detailsed geokeemilised ja mineraloogilised uurin- gud võivad siiski tuvastada hajunud meteoriiitset ainet. Väiksema meteoriiidiplahvatuse puhul säilib meteoriiitset ainet enam. Väikesed meteoriiid- kraatrid on ka selge väliskujuga ja enamasti noored morfostruktuurid, millede läbimõõt kõigub mõnest meetrist kuni mõnesaja kilo- meetrini. R. A. F. Griev'i ja P. B. Robertsoni järgi "elab" üle 20 km läbimõõduga kraater, kui see on kaitstud maapinnal toimuvate protsesside eest settekivimite kihtidega, ligi 600 miljonit aastat. Kümnekilomeetrise läbimõõduga kraatri eluiga on poole väiksem, pisemad kulutatakse geoloogiliste protsesside poolt üsna kiiresti.

Hiidmeteoriiitide langemisega geoloogilises minevikus seostatakse suuri muutusi Maa kliimas ja isegi liikide massilist väljasuremist. Populaarne on nn Kriidi-Tertsiaari üleminekuäegne katastroof ehk K/T hüpotees. Teatavasti kadusid sel ajalõigul - 65 miljonit aastat tagasi - dinosaurused ja hävis 90% Maa biomassist. Füüsik Luis Alvarez ja tema poeg Walter Alvarez leidsid 1980. aastal, et K/T vaheline



Chicxulubi meteoriidikraatri läbimõõt on 180...280 km ja sügavus kuni 1,1 km. Kraater tekkis arvatavasti 65 miljonit aastat tagasi. Fotol on gravitatsiooni- ja magnetvälja mõõtmiskontuurid.

kiht sisaldab 160 korda rohkem maakoos- haruldast plaatinarühma metalli iriidiumi, võrreldes varasemate ja hilisemate kihtidega. Kuna meteo- riitides on suhteliselt rohkesti iriidiumi, oletasid Alvarezd, et sel ajal langes Maale hiidmeteoriiit. Siitpeale seostatakse dinosaurusete kadumist Yuca- tani poolsaare lähikonnas Mehhiko lahes tekkinud Chicxulubi meteoriidikraatriga.

Maale kukkunud meteoriiit tekitas globaalse tolmupilve, mille jälgi võib leida kõrgeenenud iriidiu- misisalduse tõttu kõikide ookeanide ja maailma- merede setetes ning vastavates settekivimiteski. Samal ajal ujutas meri üle tohutud alad Ameerika mandril. Hiiglaslik tsunaami mõjutas ookeani põhja ja kandis seal peenikese muda laiali. Merepõhja jäid kulutuse jäljed ja maapinnale jämedama materjali kuhjatised. Tohtu plahvatus sulatas ja aurustas kivimeid ning hävitas elusolendeid, muutes mikroorganismide koosseisu maailmameredes, sest plahvatuse tagajärjel muutus ookeanivee tem- peratuur ja hapnikusisaldus. Ilmselt varjutasid tolm ja põlengute suits pikaks ajaks päikesevalguse, mis tõi kaasa temperatuuri katastroofilise languse ja hävingut elustikule. Suurem osa varasematest liikidest kadus, asendudes hiljem uute liikide ja rühmadega.

Käesoleval ajal on meie planeedil registreeritud üle 170 struktuuri, mille teke võib olla seotud kos- mosekeha langemisega. Igal aastal avastatakse veel 3-5 uut. Sealjuures umbes 130-l on kindlaks tehtud vaid meteoriidikraatritele iseloomulikud tunnused. Suurem osa neist paikneb vanadel platvormidel ning ainult 14 kurrutusvööndites. Üle poole kõikidest seda laadi struktuuridest on teada Ida- Euroopast ja Põhja-Ameerikast - see seletub nii nende alade geoloogilise ehituse iseärasustega kui ka parema geoloogilise uuritusega. Ilmselt oli impaktstruktuure Maal kunagi palju rohkem, kuid paljud neist on hävinud seoses mandrilaamade liikumise ja sellest tuleneva maakoore hävimise ja uue tekkega. Et kaks kolmandikku maakoorest asub ookeanide all, võiksime leida seal peidus olevaid kõige nooremaid tähearme, sest maakoore vanus ookeanide põhjas ulatub üksnes 150 miljoni aastani.

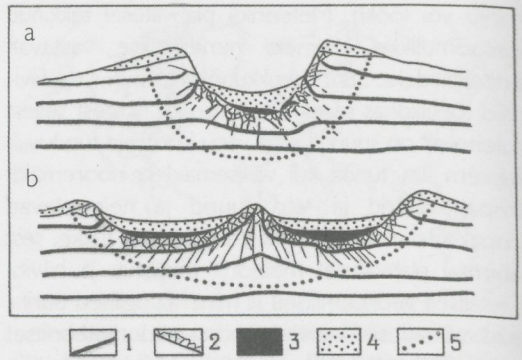
Maa varasemas ajaloos, kui sellel puudus kaitsekiht tiheda atmosfääri näol, oli meteo- riidipommitus ilmselt väga aktiivne ehk teisisõnu - selle pealispinnal toimus peamiselt eksogeenne

protsess. Kahjuks on selle perioodi jäljed hilisemate geoloogiliste sündmuste tõttu (tektoonilised liikumised, kivimite moone, erosioon) kustunud. Teadlaste arvates allus varajane Maa meteoriitsele pommitamisele eriti intensiivselt 4,5...3,5 miljardit aastat tagasi. Ka olid toleaeagsed meteoriidid nii suured, et sageli purustasid 3,8 miljardi aasta eest kujunema hakanud maakoore ja plahvatuskollete keskmest hakkas välja voolama koorealune magma. Seega muutusid tollased meteoriidikraatrid keeruka ehitusega struktuurideks, mille ühene tõlgendamine on väga raske. Mõnede teadlaste arvates ei saanud püsivat maakoort sellal intensiivse meteoriitse pommitamise tõttu õieti tekkidagi. Püsiv maakoore hakkas moodustuma alles hiljem, kui meteoriitide pommitamine jäi kujuneva atmosfääri tõttu harvemaks. Arvatakse siiski, et ka väljaspool Maad liikuva kosmilise aine hulk pidevalt kahanes ning hilisematel aegadel langes ülisuuri meteoriite Maale vaid mõnesaja miljoni aasta tagant.

Säilinud on kuni 2 miljardi aasta vanuseid impactstruktuure, mida on üsna raske ära tunda. Kanadas Suurjärvistu piirkonnas asuv kahesaja kilomeetrise läbimõõduga Sudbury kraater on kurrutuse käigus tundmatu seni deformeerunud ja selle pindmine osa on kulutatud. Seal asuvat vase-nikli maaki kasutati väga kaua, teadmata, et maagistumine leidis aset tähearmi sügavamates urbseks muudetud kihtides, kuhu maapõuest tõusvad kuumad lahused oma maagi talletasid. (Sudbury struktuurist on toodetud üle miljoni tonni niklit ja vaske).

Samalaadne kraater leiti ka Lõuna-Aafrikast Vredefortis. Impactstruktuuri algused mõõtmed määrati tema säilinud keskosa järgi - 100...130 kilomeetrit. Viimaste hinnangute järgi võib see olla kuni 250 kilomeetrit. Ka selle kraatri keskosas leidub löögil tekkinud sulanud kivimeid, täheledatakse mineraalide muutusi, kivimite purustusi ja ümberpaiknemist. Kraatriga seotud erisuguste kivimite rõngasvööndid on ümbritsetud normaalsete magmakivimitega. Vredeforti struktuuri tekkeküsimus ei ole sugugi üheselt lahendatud, sest mitmed geoloogid, ja seda mitte päris aluseta, peavad seda hoopis vulkaaniliseks.

Kraatrid jaotatakse löögi- ja plahvatuskraatri-teks, kus eristamise põhikriteeriumiks on kokkupõrkel vabaneva energia hulk. Tohtu energia eral-



Meteoriidikraatrite ehitus.

a - lihtne kraater; b - keeruline kraater.

1 - aluskivim, 2 - autohtoonne brets, 3 - allohtoonne brets, 4 - impactiidid, 5 - purustusvööndi piir.

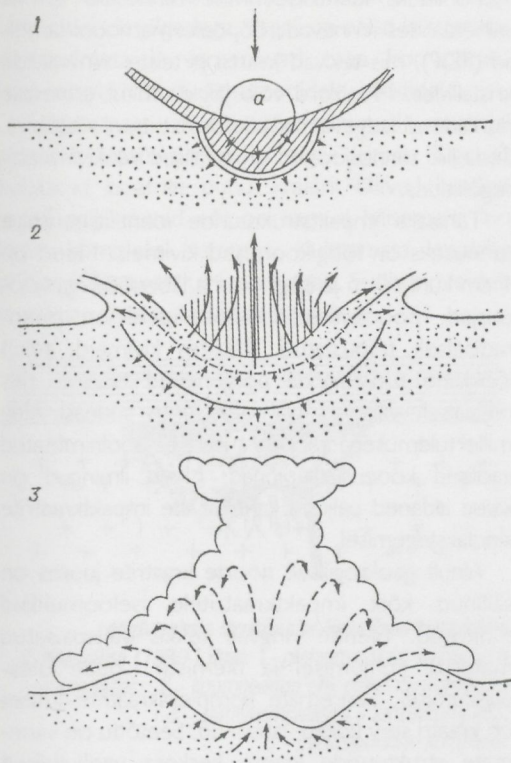
dumine väga lühikese ajahetke jooksul tuleneb eelkõige kosmilise keha kiirusest ($E=mv^2/2$). Teoreetiliselt on see 11...72 km/s. Kokkupõrkel muundub meteoriidi kineetiline energia ainsa hetkega mehaaniliseks (kokkusurumine ja purustamine) ja soojuseks (sulamine ja aurustumine). Kui aga meteoriidi kiirus mingil põhjusel on väike ja ka mass on väike, siis kokkupõrge realiseerub mehaanilise löögina ning tekib sellele vastav löögilehter. Meteoriit selles väikeses lehtris võib isegi säilida, kuid enamasti puruneb see kildudeks.

Suure kiiruse ja massi puhul toimub kokkupõrkel aga võimas plahvatus. Plahvatuskraatrid jagunevad vastavalt kraatri põhja kuju iseärasustele lihtsateks ja keerulisteks.

Lihtsate kraatrite puhul tekib maapinda vaid ringvalliga ümbritsetud kausitaoline nõgu. Lihtsad kraatrid on ümarjad ja nende sügavus on kuni kuuendik diameetrist. Kuid esineb ka nelinurkseid (Arizona), kuusnurkseid (Wolfe Creek) ja korrapäratuid (Henbury) kraatrid, olenevalt aluskivimite ehitusest, tektoonikast või hilisemast kulutusest.

Keerulistel kraatritel esineb süvendi keskel keskkõrgendik või rõngasnõgu, mis tekib kraatri keskosas pärast hetkelise kokkusurumisdeformatsiooni taastumist. Üleminek lihtsatelt keerulise matele kraatritele toimub Maal enamasti 2...7 km läbimõõdu juures. Kõvades magmakivimites on see 4...7 km, pehmemates settekivimites 2...2,5 km.

Kraatri moodustumisel eristatakse kolm faasi: kompressioon (surve), ekskavatsioon (kaeve) - tekib algkraater ja modifikatsioon (ümberkujunemine) -



Plahvatuskraatri kujunemine V. Masaitse (1980) järgi.

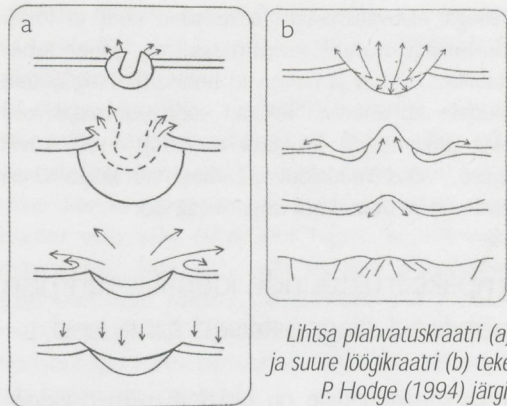
1 - kokkusurumine (kompresioon). 2 - õõnestus (ekskavatsioon). 3 - deformatsioon ja täitumine.

algkraatri ümberkujunemine.

Survefaas algab meteoriidi Maale jõudmisega. Meteoriit ja plahvatusalus surutakse kokku. Lööklaine rõhk survefaasil on nii suur, et kivimid muutuvad hetke jooksul plastiliseks või koguni vedelaks. Ülehelikiirusega leviva lööklaine järel tungib kokkusurutud materjal väiksema kiirusega samas suunas plahvatussentrist radiaalselt edasi.

Survefaasi ühes varajases staadiumis paisatakse meteoriidi esmase puutekoha pindmisest osast välja ülekuumenenud ja sulanud aine, nn ülikiired väljapaisked. Tänapäeval arvatakse, et osa tektiite on just selliselt tekkinud.

Surve- ja kaeefaas ei ole teineteisest ajaliselt eraldatavad. Ajal, kui seesmise võõndi kuumenenud ja kokkusurutud materjal välja paisatakse, liigub lööklaine aluses veel edasi. Tekib lehtrikujuline algkraater. Osa peenestatud, muljutud ja sulanud materjalist paisatakse kraatrist välja, osa materjalist jääb kraatri põhja.



Lihtsa plahvatuskraatri (a) ja suure löögikraatri (b) teke P. Hodge (1994) järgi.

Väikesed lihtsad kraatrid nagu Arizona kraater USA-s moodustuvad järgmiselt: plahvatuses tekivad lööklaine tungib läbi kivimite. Toimub kivimite kokkusurumine ja lööklainele järgneval hõrendusel nende sulamine ja purustamine. Külgedel ümbruskivim kergitatakse üles või paisatakse välja. Väljapaisatud materjal langeb osalt vallile, osalt ümbruskonda, osalt kraatrisüvendisse tagasi. Kraatrisüvikus moodustub koos kohale jäänud purustusproduktidega omataoline teravatüklise ehitusega setend - löögibretša lasund.

Suurte plahvatuskraatrite teket on raskem ette kujutada. Plahvatuses tekkinud lööklained mõjuvad kivimile eelkõige kokkupõrke punkti all. Kivimid purustatakse ning moodustub löögibretša. Kõrge temperatuuri tõttu sulatatakse osa kivimassist, mis tungib tekkinud pragudesse ja tühi-kutesse. Jahtudes moodustab see sulam laavadele sarnase klaasistunud kivimi, mis teebki mõnikord meteoriidikraatrite eristamise vulkaanilõõridest erakordselt raskeks. Kraatri põhjas tekivad kesk-kõrgendik moodustub kokkupõrke surve alanemisel tagasipõrkuvatest kivimitest, moodustades omapärase koonuse või suurte kraatrite puhul koguni täiendava rõngasstruktuuri. Lisaks suurele hulgale kivimifragmentidele, mis paiskuvad kraatri ümber õhku, liigub igasugune plahvatuses mõjuvõõndis paiknev aine ka lööklaine mõjul mööda maapinda, tekitades keerukaid deformatsioone ja lihkepindasid, luues aluse hilisemateks murranguteks. Kõik need protsessid väljenduvad tugevamini plahvatuskeskmes, vaibudes sellest ringikujuliselt kaugemale. Tekibki ringstruktuur, mis on jälgitav suurtest kõrgustest, näiteks kosmoseaparaatidelt.

Sellega plahvatuskraatri teke siiski veel ei lõpe. Ümberpaigutunud kivimassid on sageli ebastabiilses olekus ja hakkavad tihenema ning uutele oludele kohanema. Tekivad varingud, maalihked ning pikkamööda struktuur tasandub - selle süvik täitub, vallid madalduvad. Vanemad kraatrid on tavaliselt kulutatud või isegi mattunud.

Impaktstruktuuride identifitseerimise põhilised diagnostilised tunnused

Impaktstruktuuridele on omased mitmed iseloomulikud tunnused, mis tulenevad eelkirjeldatud protsesside koosmõjust ja mis veenvalt eristavad neid teistest sarnastest geoloogilistest objektidest.

Esmalt tuleb nimetada struktuuride põhi- parameetreid - sügavuse ja läbimõõdu - suhet, nn kraatriindeksit, mis väikestel kraatritel on lähedane üks kuuele. Kraatri mõõtmete suurenemisel see reeglipäraselt väheneb, ulatudes kümnete kilomeetrite pikkuse läbimõõduga kraatritel juba üks kolmekümnele kuni üks neljakümnele. Iseloomulik on deformatsioonide kustumine kraatri külgede ja põhja suunas. Nihutatud ja väljavisatud materjali leviku analüüs viitab tugeva tsentrifugaaljõu toimele, mistõttu kraatri külgedel lasuvad vanemad kivimid sageli nooremate peal.

Geofüüsikalised mõõdistamised näitavad, et erinevalt vulkaanilistest struktuuridest väheneb meteoriidkraatrites gravitatsiooniväli struktuuri tsentris. Seda iseloomulikku tunnust põhjustab purustatud ja väiksema tihedusega kivimite levik kraatri keskmes. Seetõttu tekib ka iseloomulik gravitatsioonivälja negatiivne anomaalia. Kõrvalekaldumisi esineb samuti magnetväljas. Gravitatsiooni- ja magnetvälja anomaaliad on valdavalt ümarja kujuga.

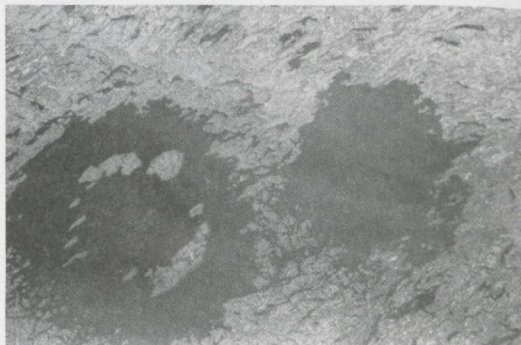
Eriti iseloomulikeks tunnusteks on impaktstruktuuridele aga faasilised muutused mineraalides. Neist on tähelepanu äratanud suurte rõhkude puhul kvartsist tekkivad uued mineraalid. 1960. aastal avastati Arizona meteoriidikraatris uus mineraal - koesiit, kvartsi tihedam erim. See on räni kõrge rõhu faas, mis moodustub 450...800°C temperatuuri ja 38 000 atmosfäärilise rõhu juures. Hiljem leiti veelgi tihedam kvartsi erim - stišoviit e. stipoveriit (moodustub 130 000 atmosfääri juures), milliseid saab määrata ainult röntgenanalüüsiga.

Põhiliseks identifitseerimise tunnuseks on ka mineraalides ilmnevad rööpdeformatsiooni lamellid (PDF), mis tekivad kvartsi ja teiste mineraalide kristallides. Mõnikord võib jälgida mitut erinevate nurkade all kulgevat rööpdeformatsiooni süsteemi. Seda liiki tunnused on tavalised kuukivimites - regoliitides.

Tähtsaks impaktstruktuuride identifitseerimise tunnuseks on löögikoonused kivimeis. Need on 1 cm kuni 10 m ja isegi enama läbimõõduga koonusjad moodustised, millede pind on peenradiaalselt triibustatud. Läbides kivimeid, tekib lööklaine survefrondil nõrgenenud tsoone, mis radiaalselt väljuvad plahvatussentri suunast ning mille tulemusena moodustuvad eelpoolnimetatud vaolised koonusjad pinnad. Need ilmingud on kaasa aidanud paljude kaheldavate impaktkraatrite kindlakstegemisel.

Ainult geoloogiliselt noorte kraatrite juures on säilinud kõik impaktkraatritele iseloomulikud tunnused. Nende ringvall tekkis väljapaisatud materjali kuhjumisel ja ülemiste kihtide ülespaisumisel. Suuremate komplekskraatrite juures on kraatri serv kokku varisenud. Seetõttu on vanemate struktuuride kraatri keskosa vaakujuliselt vajunud ning ümbritsetud tugevasti rikutud võõndist. Väga paljudes kraatrites esineb ringikujuline järv nagu näiteks Siljani struktuuris Rootsis, Manicouagan Kanadas, Sääksjärvi ja Karikkoselkä Soomes jt.

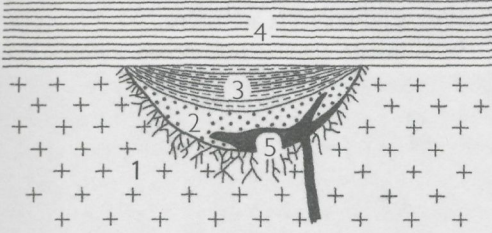
Plahvatuses tekkinud bretšad ja muud purdkivimid levivad nii kraatri sees kui ka ümber selle. Kraatreid ümbritsev väljapaiskematerjal on säilinud valdavalt geoloogiliselt noortes kraatrites. Suurtest pangastest ja peenemast purrust koosneva väljapaiskekihi paksus väheneb kiiresti kraatrist eemal-



32 ja 20 km läbimõõdudega Clearwater kraatrijärved Kanadas. NASA foto.

dudes. Kõik need bretsšad on tavaliselt ainult nõrga löögimoonde jälgedega. Sageli on need kihitamata, sorteerimata ja sarnanevad oma korrapäratu lasuvusega kivistunud moreenidele - tilliitidele.

Sügavamast osast väljapaiskunud materjal paigutub kraatri ümbruses sageli kiirjalt. Tugevalt kulutatud kraatrite puhul kraatrit täitvad bretsšad sageli paljanduvad või on kaetud hilisemate, nn katva kompleksi setetega. Kulutamata kraatrite põhjas (Clearwater, Manicouagan, Sudbury) leidub impaktiite märkimisväärses paksuses.



Löögikraatrite struktuurilis-kivimilised kompleksid

V. Masaitse (1980) järgi: 1- plahvatusaluse kivimid ehk aluskompleks; 2 - koptogeenne ehk plahvatuskompleks; 3 - täitevkompleks; 4 - kattekompleks; 5 - injektiooniline kompleks.

Meteoriidkraatris esinevate kivimite seas võib eristada:

1. Plahvatusaluse kivimid ehk aluskompleks. Selleks on kivimid, millesse on süüvinud kraater. Aluskivimite koostis ja nende primaarsed geoloogilised iseärasused (kõvadus, lõhenevus, lasumustingimused) mõjutavad tekkiva kraatri kuju ning järgnevate struktuur-litoloogiliste komplekside iseloomu.

2. Koptogeenne e. plahvatuskompleks - vahetult plahvatusel käigus tekkinud kivimid, impaktiidid, mis katavad pärast plahvatust kraatrisüvendi põhja, moodustades puistanguvalli ja väljapaiskematerjalist katte. Neid osaliselt ümbersulanud kivimeid aeti varem segi vulkaanipursete kivimitega ja seetõttu peeti neid sisaldavaid ringstruktuure ekslikult vulkaanilisteks.

3. Täitevkompleks - plahvatuskompleksi kivimite peale kraatrisüvikus kuhjunud setendid. Täitevkompleksis on

võimalik tõeliste vulkaaniliste kivimite esinemine. Laavavoolud on sel juhul põhjustatud plahvatuslöögist.

4. Kattekompleks - kraatristruktuuri katvad setendid. Veealuse plahvatusel puhul võib olla seotud täitevkompleksiga. Kattekompleksi settimine konserveerib kraatri, kuid sügavuses olev kraater võib selle struktuuris hiljem ka mõningal määral läbi "kumada", eriti kivimite tihenemise tulemusel nagu näiteks Kärkla kraatri puhul Hiiu maal. Platvormidel on täite- ja kattekompleks horisontaalkihiline, kurrutatud aladel võivad need olla hiljem deformeeritud.

5. Injektiooniline kompleks koosneb erinevatest magmakehadest, mis tungivad sügavusest hiljem alus- või plahvatuskompleksi purustatud kivimitesse, mõjutades neid ka hüdrotermaalselt ja metasomaatilisel.

Vahetult meteoriidilise plahvatusel tekkinud kivimid jaotuvad kahte gruppi:

Bretsšad on kivimid, kus nurgelised tükid on tsementeeritud sama kivimi peenpurustatud massiga. Neid on kahte tüüpi. Ümberpaigutamata, autohtoonne (kohapeal tekkinud) bretsša lamab kraatri põhjas ja on kohati purustatud kuni kivimjahuni. Selles esineb löögikoonuseid. Peale selle on kraatrit ümbritsevas materjalis allohtoonset (teisel tekkinud) bretsšat. See on plahvatusel ümberpaigutatud, õhku paiskunud või struktuuri nõlvadelt allapoole libisenud materjal. Kivimite tükide suurus varieerub suurtes piirides, samuti ka tükide vahele jääva tsementeeriva komponendi hulk ja lõimis.

Impaktiidid on kivimid, milles on täheldatavad plahvatusel toimunud sulamisilmingud. Eristatakse mitmeid tüüpe: sueviit - sorteerimata ja kulutamata tükidega bretsša, milles on 10...15% alul vedeldunud ja hiljem tahkunud klaasi. Paljandites on sueviidid pruunid, rohekad või hallid. Need sarnanevad vulkaanilistele tuffidele, kus valdab



Sueviit Kara impaktstruktuurist Venemaal. Kulutamata ja sorteerimata tükidega bretsšad on jälgitavad alul sulanud, hiljem tahkunud klaasid. G. Baranovi foto palast Eesti meteoriidkogus Tallinnas.

peenepurruline põhikivimi mass koos ümarate või klaasifaasi tükkidega, milles on aerodünaamilise töötamise jälgi. Klaasitükkide värvus varieerub lillast tumehallini.

Tagamiidid on jahtunud löögisulamid, mis moodustavad allohtoonsetes bretšades ja sueviitides sooni või kihitaolisi kehi. Suurtes ringstruktuurides on nende mõõtmed mõnest sentimeetrist kuni saja meetrini.

Maal on kaks klassikalist näidet mõistatuslikest kraatritest, mille päritolu üle vaieldi pikka aega.

Esimene, Arizona meteoriidikraater (USA-s) on geoloogiliselt noor - tekkinud vaid 49 000 aastat tagasi ja seetõttu väga hästi säilinud. Kraatri läbimõõt on 1200 m ja sügavus ligi 200 m. Kujult on see lähedane hulknurksele. Kraatri vall kõrgub 45 m üle ümbritseva, tasase Arizona kõrbepinna. Plahvatusel on settekivimite kihid vallis radiaalselt üles paisatud ning kohati on võimalik näha valli ääres ümberpööratud kihte.

Kraatrit peeti algul vulkaaniliseks, vaatamata sellele, et juba 1891. aastal oli selle ümbrusest leitud

raudmeteoriidi tükke. Meteoriiti nimetati lähema asustatud paiga nime järgi Canon Diablocks. Selle piirkonna vastu hakkas huvi tundma mäeinsener Daniel M. Barringer. Aastail 1902-1929 uuris ta kraatrit, mida sageli nimetataksegi Barringeri kraatriks. Ta oli veendunud, et kraatri tekitas kuni kilomeetrise läbimõõduga raudmeteoriit, mille peamass on mattunud kraatri põhja. Kraatri põhja puurimised ei andnud soovitud tulemusi - suurest rauamürakast ei olnud jälgegi. 1929. aastal osutas astronoom F. R. Moulton esimesena, et kraatri tekitanud meteoriit võis Maaga kosmilise kiirusega pörkumisel puruneda ja aurustuda.

1960. aastate algul selgitas Ameerika geofüüsik ja astronoom E. M. Shoemaker kraatrite tekke- mehhanismi ja geoloog E. Chao leidis kraatri liivakivist kaks uut mineraali, koesiidi ja stišoviidi, mis olid tekkinud kvartsist väga kõrgel rõhul. Selliste mineraalide avastamist peetakse eriti veenvaks tõendiks ja on üheks tähtsamaks meteoriidikraatrite diagnostiliseks tunnuseks.

Alates 1891. aastast on sellest meteoriidikraatrist ja selle ümbrusest kuni 7 km kaugusel kogutud 30 tonni meteoriidipalasisid. Kraatrit ümbritseva pinnase uurimine on näidanud, et see sisaldab suurel hulgal pihustatud meteoriitset ainet. Peale meteoriidiosakeste esineb veel tohutul hulgal tektiidilaadset impaktklaasi. Canon Diablo raudmeteoriidi söövitatud pinnal on selge Widmantsätteni struktuur ja see sisaldab suuri troilliidi- ja grafiidisuletisi. Mineraalidest esinevad meteoriidis šreibersiit ja koheniit. Mõnedest paladest on koos koheniidiga leitud musta teemanti. On avastatud ka löögisökist põhjustatud mineraalide muutusi.

Teine, 14,7 miljonit aastat vana 24 kilomeetrise läbimõõduga Ries'i (Nördlingen Ries) impakstruktuur Lõuna-Saksamaal on geoloogiliselt väga keeruka ehitusega.

Kraatrit ja selles leiduvaid omapäraseid kivimeid kirjeldati juba 1830. aastal, kuid kuna kraatrist ei leitud vulkaanilise tegevuse jälgi ega ka meteoriitset materjali, oli selle teke saksa geoloogidele suur mõistatus. Mõistatus lahenes alles 1960. aastate algul ja tänapäeval on Ries suurte impakstruktuuride üheks põhivormiks. Huvitav on siiski märkida, et eestlasest kooliõpetaja J. Kalkun-Kaljuvee oletas kirjandusallikate uurimise tulemusena juba 1919. aastal Riesi kraatri meteoriitset päritolu, millest ta kõneles Eesti õpetajate esimesel



Arizona ehk Barringeri meteoriidikraater USA-s on maailma tuntuim. NASA foto.



Riesi kraatris asub müüriga ümbritsetud keskaegne Nördlingeni linn.



Steinheimi impactstruktuur on sama vana kui Nördlingen Riesi struktuur - ligikaudu 15 milj. aastat. (Albrechti aerofotod)



Nördlingeni peakirik on ehitatud kokkupõrkel tekkinud kivist, mis on väliselt ilus ja silmatorkav. Reet Tiirmaa fotod.



Steinheimi impactstruktuur on unikaalne oma asukoha poolest. See asub maalilistes Svaabimaa Alpides Lõuna-Saksamaal ning on ümbritsetud laugete metsaste kõrgustikega. Steinheimi struktuur ilmestab seda madala reljeefiga mägist ala järsu ringikujulise lamedapõhjase nõona, asudes umbes 90 m ümbruskonnast allpool. Reet Tiirmaa foto.

kongressil.

Geograafiliselt on Ries suur ringitaoline süvend, mida ümbritseb madalatest mägedest koosnev vall, mis sulab kaugemal ühte ümberkaudsete Svaabimaa Alpidega. Basseini lamedat põhja iseloomustatakse kui "katelt".

Riesi impactstruktuuriga on seotud ka tektiitide -

moldaviitide - teke, neid leidub kuni 500 km kaugusel struktuurist.

Meteoriidikraatritest huvitatud inimesed peaksid külaskäigul Euroopasse kindlasti ära käima ka Ries'i meteoriidikraatris. See on suurepärase näide märkimisväärse vanusega hiiglasuurest kraatrist, milles esineb kauneid paljandeid. Nördlingenis asub meteoriitikaamuseum, kus on aukohal kuukivi, mis kingiti Ameerika astronautide poolt, kes enne Kuule laskumist õppisid Riesis tundma meteoriidikraatrite ehitust kuulsa geoloogi-meteoriitiku E. Shoemakeri juhtimisel.

Ries'i impactstruktuurist 40 km kaugusel asub 3,5 km läbimõõduga Steinheimi impactstruktuur. Selline lähedus ja sarnane vanus on viinud arvamusele, et need kujunesid samaaegselt kas kaksik-



Steinheimi impaktstruktuuri tutvustab huvitav õpperada, kus on olemas suured tähised ja struktuuri kirjeldus.

R. Tiirmaa foto

asteroidi või ühe asteroidi poolt, mis Maa atmosfääri sisenedes purunes kaheks tükiks. See

kujutab endast avarat põllustatud tasandikku, mida ümbritseb madal vall. Lisaks on avastatud kraatritest ida pool veel kümneid ringilaadseid vorme.

Struktuuri 200 meetrise läbimõõduga kesk-kõrgendiku paljandites on näha lubjakive, mergleid, savisid ning liivakive. Struktuuri põhi koosneb Tertsiaari ja Kvaternaari järvesetetest. Steinheimis leiti juba 1905. aastal löögikoonuseid, kuigi sel ajal ei mõistetud nende tähtsust. Enamus geoloogidest pidasid struktuuri krüptovulkaaniks. 1960- ja 1970-ndatel aastatel läbi viidud ulatuslikud puurimistööd näitasid struktuuri löögitekkelist päritolu. Kesk-kõrgendiku kihid on tugevasti kurrutatud ning on 30...60 kraadi all kaldu. Peale löögikoonuste esinemise on kvartsiterades leitud löögimoonde tunnuseid.

Maailma tuntumad impaktstruktuurid

Euroopa impaktstruktuurid

Jänisjärvi impaktstruktuur asub 25 km Laadoga järvest põhja pool. Esmakordselt oletati kosmo-geenset teket 1971. aastal. 1972. aastal alustatud välitöödel löögikoonuste leidmine ning hiljem mineraalide muutuste avastamine võimaldas seda hüpoteesi kinnitada. Jänisjärvi kulutatud struktuuri nõos asetseb järv, mille sügavus on 50 meetrit. Erinevalt väljavenitatud kujuga naaberjärvedest on Jänisjärvi ellipsitaoline. Geofüüsikaliste uuringute andmetel esineb järve keskel ringitaoline gravitatsioonivälja miinimum, mille läbimõõt on 10...14 km. Struktuuri keskosas on jälgitav magnetvälja pinge suurenemine, nähtavasti keskkõrgendiku olemasolu tõttu.

58

Morasko meteoriidikraatrid Poolas identifitseeriti 1957. aastal, kui varasemat mitme meteoriidi leidu selles piirkonnas seostati kaheksa, algselt glatsio-karsti lohkuks peetud süvendites. Esimene Morasko raudmeteoriitidest leiti Esimese Maailma-



Morasko meteoriidikraatrid Poolas identifitseeriti 1957. aastal. Meteoriite oli siit leitud, kuid neid ei seostatud glatsio-karsti lohkuks peetud süvenditega.

Euroopa impaktstruktuurid:

nimi	riik	max diam.	vanus	muu info
Azura	Hispaania	30 km	< 130 miljonit	kulutatud
Boltysh	Ukraina	25 km	88 miljonit	kergelt kulutatud, täielikult mattunud
Dellen	Rootsi	25 km	90 miljonit	kulutatud, järv
Dobele	Läti	4,5 km	300 miljonit	mattunud
Gardnos	Norra	5 km	~ 400 miljonit	tugevasti kulutatud, osaliselt kaetud
Gusev	Venemaa	3,5 km	65 miljonit	kulutatud
Ilumetsa	Eesti	80 m	6600 aastat	hästi säilinud
Iso-Naakkima	Soome	2 km	1,2 miljardit	mattunud
Ilynets	Ukraina	4,5 km	395 miljonit	kulutatud, osaliselt kaetud
Jänisjärvi	Venemaa	14 km	700 miljonit	kulutatud, järv
Kaali	Eesti	110 m	7500 aastat	hästi säilinud
Kaluuga	Venemaa	15 km	380 miljonit	mattunud
Kamensk	Venemaa	25 km	65 miljonit	kulutatud ja mattunud
Karikkoselkä	Soome	1,4 km	vanus teadmata	järv
Karla	Venemaa	12 km	10 miljonit	kulutatud, osaliselt täitunud
Kärdla	Eesti	4 km	455 miljonit	mattunud
Kursk	Venemaa	5,5 km	250 miljonit	mattunud
Lappjärvi	Soome	17 km	77 miljonit	kulutatud, osaliselt järv
Logoisk	Valgevene	17 km	40 miljonit	
Lumparn	Soome	10 km	1 000 miljonit	kulutatud, mattunud
Mien	Rootsi	9 km	121 miljonit	kulutatud, osaliselt järvena
Misarai	Leedu	5 km	395 miljonit	mattunud
Mishina Gora	Venemaa	4 km	< 360 miljonit	kulutatud ja mattunud
Morasko	Poola	100 m	10 000 aastat	hästi säilinud
Neugrund	Eesti	7 km	550 miljonit	mere põhjas
Obolon	Ukraina	15 km	215 miljonit	mattunud
Puchezh-Katunki	Venemaa	80 km	220 miljonit	kulutatud, valdavalt mattunud
Ries	Saksamaa	24 km	15 miljonit	kulutatud, täielikult avatud
Rochechouart	Prantsusmaa	23 km	186 miljonit	tugevasti kulutatud
Rotmistrovka	Ukraina	2,7 km	140 miljonit	mattunud
Sääksjärvi	Soome	5 km	514 miljonit	kulutatud, järv
Siljan	Rootsi	55 km	368 miljonit	kulutatud, osaliselt järv
Söderfjärden	Saksamaa	6 km	550 miljonit	kulutatud, avatud
Steinheim	Saksamaa	3,4 km	15 miljonit	kulutatud, osaliselt paljastatud
Suvasvesi	Soome	5 km	vanus teadmata	järved
Ternovka	Venemaa	12 km	330 miljonit	kulutatud
Vepriaj	Leedu	8 km	160 miljonit	mattunud
Zapadnaya	Ukraina	4 km	115 miljonit	mattunud
Zeleny Gai	Ukraina	2,5 km	> 140 miljonit	mattunud

sõja ajal 1914. aastal kaeviku kaevamisel. Nüüdseks on leitud ühtekokku peaaegu 20 meteoriti, enamasti talumaadelt. Suurim on massiga kuni 78 kg. Seitse kraatrit asuvad pöögimetsas ja kuues esinevad madalad järved. Kaheksas kraater asub

peagrupid ühe kilomeetri kaugusel ja seda on raske ära tunda, kuna see on põlluharimise käigus kaotanud esialgse kuju. Oletatavasti oli seal veel teisigi kraatreid, mis on põllupidamise tõttu hävinenud.

Impaktstruktuurid Rootsis

1919. aastal oletas Uppsala ülikooli geoloogiprofessor A.G. Högbom, et Mieni ja Delleni "vulkaanijärved" Rootsis võivad olla meteoriidikraatrid. Mõte oli julge ja oma ajast ees, ning jäi unustusse viiekümneks aastaks. Rootsis alustati kraatrite uuringuid 1960-ndate aastate algul professor Frans Wickmanni juhatusel. Praegu teatakse Rootsis juba üheksat impaktstruktuuri: Lockne, Åvikebukten, Dellen, Siljan, Bjökö, Tvären, Granby, Hummeln ja Mien. Neist suurim on Siljan läbimõõduga 55 kilomeetrit.

Lisaks neile alustati praeguseks veel oletatava Upplandi impaktstruktuuri uurimist Kesk-Rootsis. Esialgsete andmete põhjal ulatub struktuuri läbimõõt 320 km ja sügavus 1,2 km ning vanus 1,3...1,8 miljardi aastani. Struktuuri kesk-kõrgendiku läbimõõt on kuni 60 km. Struktuur on sügavalt erodeeritud ja muutunud, kuid geofüüsikalised (magnetomeetria ja seisoommeetria) mõõdistamised lubavad seda struktuuri vaadelda löögistruktuurina. Kivimites on leitud löögimetamorfismi tunnuseid.

Kasutades Eesti geoloogide kogemusi väikekraatrite uurimisel, tehti Rootsis 1995. aastal kindlaks esimene meteoriitse tekkega väikekraater Tor, mille läbimõõt on 39...40 meetrit ja sügavus kuni viis meetrit. Kraatrit ümbritseb osaliselt kulutatud vall kõrgusega kuni 2,5 m. See ligi kahe tuhande aastane kraater on hästi säilinud.

Siljani impaktstruktuuri läbimõõt on 55 km. Sellel on keeruline ehitus, koosnedes ringitaolisest nõost ning keskkõrgendikust, mille läbimõõt on 25...28 km.

Nõos esineb järvede süsteem, suurim neist on Siljani järv sügavusega 125 meetrit. Struktuuri keskkõrgendiku jämedateralistes graniitides on leitud kuni poole meetri kõrguseid löögikoonuseid.

Ka seismoloogilised andmed ja puurimised näitasid keskkõrgendiku ning ümbritseva ringvalli olemasolu. Identifitseeritud on šokimetamorfismi tunnused (mineraalide muutused) ja kaardistatud impaktiitid ning bretšad nii struktuuris endas kui ka mõned kilomeetrid väljaspool valli.

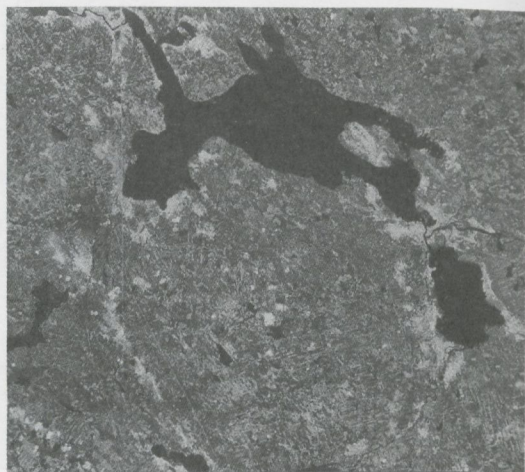
Struktuuri on kuulsaks teinud asjaolu, et see on olnud ulatusliku geoloogilise ja majandusliku



Tori meteoriidikraater Rootsi loodeosas. Kraatri läbimõõt on ligi 40 m. R. Tiirmaa foto.



Tori kraatri uurimise osalised (vasakult): professorid Herbert Henkel ja Åke Fleetwood Rootsi Kuninglikust Tehnikaülikoolist, professor Leif Eriksson Uppsala Ülikoolist ja Reet Tiirmaa TTÜ Geoloogia Instituudist. G. Blomquisti foto.



Siljani järvenõgu on tõenäoliselt meteoriitse päritoluga. Kraatri läbimõõt on 55 km. NASA foto.



*Delleni impaktstruktuur Rootsis on 90 miljonit aastat vana.
R. Tiirmaa foto.*

õnnemängu allikaks. 1970-ndate aastate lõpus tuli astrofüüsik Thomas Gold välja ideega, et graniidi all võib siin esineda looduslik gaas, mis imbus läbi Maa vahevöö, kuhu see võis olla kuhjunud Maa moodustumise ajal. Ta arvas, et puuraugu rajamine läbi Siljani struktuuri võiks olla kõige kergemaks ligipääsuks gaasivarudele. Rootsi Energiakomitee võttis asja tõsiselt ning alustas 1987. aastal puurimist. Kaasa löid nii riiklikud kui erainvestorid. Kompanii Anathema Oil arvamuse kohaselt võis Siljani all leiduda kokku 800 miljardit kuupmeetrit looduslikku gaasi väärtusega umbes 40 miljardit USA dollarit. 1989. aastaks oli puurimine jõudnud 6800 m sügavusele, kuid gaasist ei olnud mingit märki. Projekt peatati.

Delleni impaktstruktuur läbimõõduga kuni 15 km ja sügavusega umbes 350 meetrit on 90 miljonit aastat vana. Struktuuris on kaks järve, Norra Dellen ja Sodra Dellen. Struktuuri on uuritud geofüüsikaliste meetodidega, mis näitab impaktiitide - delleniitide - esinemist struktuuri keskkõrgendiku ümbruses ligi 500 m paksuse kihina. On leitud ka mineraalide muutusi.

121 miljonit aastat vana Mieni impaktstruktuuri läbimõõt on 9 km. See oli pikka aega tuntud just tänu omapärase rüoliidile sarnase kivimi tõttu, mida kutsuti ka "Mien-rüoliidiks". Seda leiti Ramso järves asuval saarel. Kuigi suurem osa geolooge uskus selle olevat vulkaanilise tekkega, oletas geoloog A.G. Høgbom juba 1910. aastal kivimi teket löögil. Küsimus lahendati 1965. aastal, kui kivimist leiti koosiiti.

Mien-rüoliit on löögil sulanud kivim, mis sisaldab palju õõnsusi. Mõned neist on täidetud kuni 3 cm läbimõõduga rauarikaste kera-kestega.

Impaktstruktuurid Soomes

Soomes teatakse kaheksat meteoriitse tekkega löögikraatrit: Lappajärvi, Sääksjärvi, Söderfjärden, Lumparn, Iso-Naakkima, Suvasvesi, Karikkoselkä ja Saarijärvi. Tõenäoliselt lisandub sellele nimistule varsti Paasivesi ja Kalotfjärden. Viiel Soome kraatril teatakse ka vanust, noorim neist on Lappajärvi (77 miljonit aastat) ja vanim Iso-Naakkima (ligi 1,2 miljardit aastat).

Lappajärvi impaktstruktuurile pöörati tähelepanu juba 19. sajandil, kui seal leiiti laavasarnast kivimit, mida 1900. aastal nimetati kärnaidiks ja oletati, et see tekkis vulkaani purskel. 1967. aastal tutvus professor Th. G. Sahama Saksamaal Ries'i meteoriidikraatriga ning oletas ka Lappajärvi meteoriitset teket. 1976. aastal kaitses Soome geoloog Martti Lehtinen oma doktoriväitekirja, milles ta näitas, et siin on kõik impaktstruktuurile omased tunnused: löögist deformeerunud ja koostiselt muutunud kivimid, muutused mineraalides ja koosiidi olemasolu. Lappajärvi struktuur on Soomes üks paremini uuritud ja tuntuim kraater. Geofüüsikaliste tööde alusel võib väita, et Lappajärvi struktuuri algne läbimõõt oli 17 km. Kogu lohu läbimõõt on praegu ligi 24 km. Lappajärvi struktuuri keskkõrgendik koosneb kärnaidist ja sueviidist, mida ümbritseb rõngakujuline



Soome suurtes meteoriidikraatrites on järved

- 1- Lappajärvi;
- 2- Sääksjärvi;
- 3a - Karikkoselkä.
- 3b - löögikoonus Karikkoselkä kraatri vallis.

R. Tiirmaa fotod.

vaond. Kivimites on kõrgenenud nikli, koobalti, kroomi ja iriidiumi sisaldus.

Sääksjärvi impaktstruktuurile pöörati tähelepanu juba 1960-ndatel aastatel tänu laavataolistele ahaati sisaldavatele kivikamakatele. Algul arvati need olevad tekkinud vulkaanipurske tagajärjel. Geofüüsikalised uuringud ja puursüdamike eripärane koostis (sueviidid, impaktlaava ja bretša) viitasid plahvatuskraatritele. Impaktlaavas ja sueviitides on kõrgenenud iriidiumi, nikli, koobalti ning kroomi sisaldus. Kraatri läbimõõt on ligi 5 km ja vanus ligi 514 miljonit aastat.

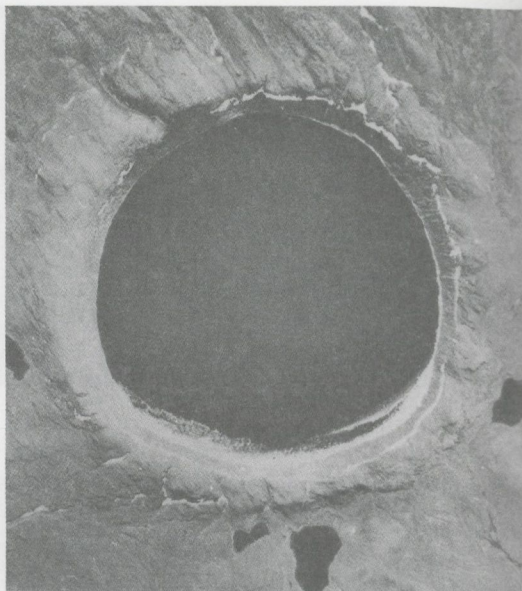
1995. aastal kontrolliti vihjete alusel Kesksoomes olevat erandlikult ümarjat kausjat Karikkoselkä järve, mille läbimõõt on ligi 1400 m ja suurim sügavus 25,5 meetrit. Karikkoselkä kaldakivimid on lõhutud ja neis esinevad väga ilusad orienteeritud löögikoonused ja nihkepinnad. 1996. aastal leiti kvartsis ja biotiidis šokimoonde tunnuseid. Ka esimeste geofüüsikaliste uuringute tulemused annavad alust käsitleda Karikkoselkä struktuuri meteoriiditekkeliseks.

Suvasvesi struktuuris on kaks ümarjat järve: Kukkariselkä (läbimõõt 4 km) ja lõunapoolsem, Haapaselkä (läbimõõt 5 km). Suvasvesi võib olla harvaesinev kaksikkraater nagu seda on Clearwater Lakes Kanadas. Meteoriitset teket tõestavad geofüüsikalised uuringud (magnetomeetriselised häired) ja mineraalsed muutused.

Söderfjärdeni impaktstruktuur asub Vaasa linnast 8 km lõunas ja on peaaegu ringikujuline 6 km läbimõõduga tasandik, mida ümbritsevad kõrgendikud ulatuvad 20...40 m üle merepinna. Alles sajand tagasi oli see tasandik merelaht. Kiire maapinna kerkimine tõstis selle praegusele tasemele. Kuivendustööd muutsid ala tähtsaks põllumajanduspiirkonnaks. Struktuur eristub eriti hästi aerofotodel. Geofüüsikaliste andmete põhjal on struktuuri sügavus 400...500 m.

Impaktstruktuurid Kanadas

Kõige enam on tuntud tähearme Kanadas. Esimeste kraatrite leidmiste järel 1950. aastal alustati süstemaatiliselt ümarjate vormidega struktuuride



New Quebeci kraater läbimõõduga 3,4 km on kausikujuline. NASA foto.

otsinguid aerofotode järgi. Käesoleval ajal tuntakse kahtkümmend kuut meteoriidi kokkupõrkel tekkinud kraatrit, neist kaheksa on leitud Quebeci provintsis. Vanim ja suurim on Sudbury - 2,1 miljardit aastat, noorim on aga New Quebec - 1,4 miljonit aastat.

Viimane on esimene avastatud impaktstruktuur Kanadas. Avastati see sõjalennukilt 1943. aastal ja samastati löögikraatriga juba samal aastal. See on lihtne kausja kujuga vähe kulutatud kraater. Jääaegsed setted on seda liustiku kulutuse eest kaitsnud. Kraatrijärve sügavus on 250 meetrit, vall ulatub ümbritsevast alast 100 m kõrgemale. 1962. aastal tehtud gravitatsioonivälja kaart kinnitas kraatri meteoriitset päritolu. 1966. aastal leiti lõpuks ka impaktiite ja muutusi kvartsis ning päevakivides.

Charlevoix on üks ebaharilikumatest löögikraatritest Kanadas. Struktuur on tekkinud suure meteoriidi kukkumisel hiiglasuurde kurrutusvööndisse, mis moodustab St. Lawrence'i oru. Seetõttu on säilinud ainult pool kraatrit. Oletatakse, et suur osa löögil moodustunud sulakivimist voolas St. Lawrence'i süvendisse, mis eksisteeris juba kokkupõrke ajal. Charlevoix'i impaktstruktuuri kuju on sellise suuruse ja kulutusastmega löögikraatritele tüüpiline. Eksisteerib väikese mäe kujuline keskkõrgendik, mida nimetatakse Mont des

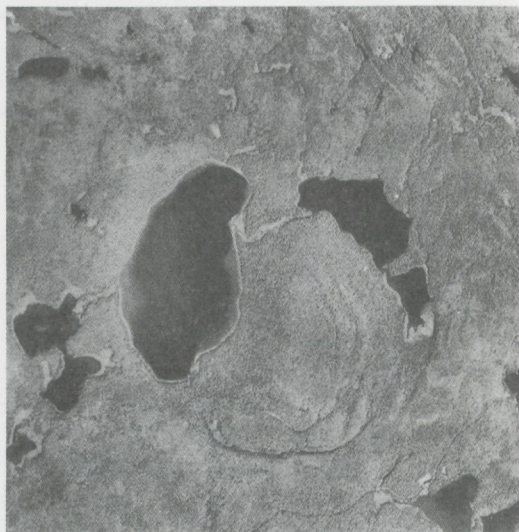
Kanada impaktstruktuurid:

nimi	osariik	max diam.	vanus	muu info
Brent	Ontario	3,8 km	450 miljonit	osaliselt nähtav
Carswell	Saskatchewan	39 km	115 miljonit	osaliselt nähtav
Charlevoix	Quebec	54 km	357 miljonit	osaliselt nähtav
Clearwater Lake (East)	Quebec	20 km	290 miljonit	osaliselt nähtav
Clearwater Lake (West)	Quebec	32 km	290 miljonit	osaliselt nähtav
Deep Bay	Saskatchewan	10 km	150 miljonit	kulutatud
Eagle Butte	Alberta	19 km	< 65 miljonit	kulutatud
Gow Lake	Saskatchewan	4 km	<250 miljonit	sügavalt erodeeritud
Haughton	Kanada Arktika	20,5 km	21 miljonit	
Holleford	Ontario	2,3 km	550 miljonit	osaliselt nähtav
Ile Rouleau	Quebec	4 km	< 300 miljonit	kulutatud, osaliselt nähtav
Lac Couture	Quebec	8 km	430 miljonit	osaliselt nähtav
Lac La Moinerie	Quebec	8 km	400 miljonit	sügavalt erodeeritud
Manicouagan	Quebec	100 km	212 miljonit	osaliselt nähtav
Mistastin Lake	Quebec	28 km	38 miljonit	kulutatud
Montagnais	Nova Scotia	45 km	52 miljonit	mattunud
New Quebec	Quebec	3,4 km	1,4 miljonit	osaliselt kulutatud
Nicholson Lake	Põhja-Kanada	12,5 km	<400 miljonit	sügavalt erodeeritud
Pilot Lake	Põhja-Kanada	6 km	445 miljonit	tugevalt erodeeritud
Presquile	Quebec	12 km	<500 miljonit	kulutatud
Saint Martin	Manitoba	40 km	220 miljonit	kulutatud ja enamasti mattunud
Slate Islands	Ontario	30 km	<350 miljonit	erodeeritud osaliselt mattunud
Steen River	Alberta	25 km	95 miljonit	mattunud
Sudbury	Ontario	200 km	2100 miljonit	osaliselt nähtav, moonutatud
Wanapitei Lake	Ontario	8 km	37 miljonit	osaliselt nähtav
West Hawk Lake	Manitoba	3,2 km	100 miljonit	osaliselt nähtav, järv

Eboulements. Seda ümbritseb poolringikujuline süvend. Löögitekkelise päritolu kohta on palju tõendeid: mitmes kohas on leitud löögikoonuseid, esineb bretšat ja löögist tulenevaid kvartsimuutusi. Charlevoix'i struktuur on üks väheseid suurtest struktuuridest, mis asuvad asustatud alal, kus teed võimaldavad struktuurile kerge ligipääsu. Seal on mitu küla, saar, kaks väikest jõge ja suurejooneline osa St. Lawrence'i jõe kaldajoonest.

Brenti löögikraater avastati õhujõudude poolt 1951. aastal. Selle läbimõõt on 3,8 km, kujult on see kausjas ja ulatub kuni 870 m sügavuseni. Bretša ja impaktiitide paksus ulatub siin 610 meetrini. Nõos esineb kaks järve (Gilmour ja Tecumseh). Kraater on tugevasti kulutatud, mistõttu kraatrivall on säilinud katkendlikult.

Üks suuremaid impaktstruktuure Kanadas on Manicouagan ja astronautide sõnul kosmosest nähtuna üks kõige silmatorkavamaid Maa vorme.



Brenti meteoriidikraatri läbimõõt on 3,8 km ja selles on kaks järve. NASA foto.



Manicouagani impaktstruktuuri keskkõrgendik on ümbritsevast alast 500 m kõrgem. NASA foto.

Struktuur avastati 1966. aastal. Osa kraatrist moodustab Manicouagani järve. Manicouagani struktuuri keskel esineb hiiglasuur tugevasti kulutatud keskkõrgendik, mis tõuseb ümbruskonnast 500 m kõrgemale. Struktuur sisaldab 100 m paksuses impaktiite. On avastatud löögikoonuseid.

Wanapitei Lake'i struktuuri läbimõõt on 8 km ja vanus 37 miljonit aastat. See asub Kanada suurmast ja vanimast Sudbury impaktstruktuurist kirdes. Wanapitei järv on torbikujäätise kujuline, kusjuures jäätiseosa tähistab originaalkraatri põhjapoolset poolringi, torbik aga on glatsiaalselt moodustunud järve lõunasuunaline pikendus. 1972. aastal tõestati geofüüsikaliste uuringutega struktuuri impaktiitne päritolu. Hilisemad geoloogilised uuringud avastasid selles spetsiifilisi kivimeid ning muutusi kvartsis ja päevakivides.

Mistastin Lake asub Labradori sisemaal. Elliptiline, 28 km diameetrise valliga ümbritsetud vorm kõrgub 150 m üle järvepinna. Keset järve esineb tähelepanuväärne kaarjas saar, mis ulatub üle veepinna 120 meetrit. Lisaks tüüpilisele ringstruktuurile on siin avastatud impaktiite ja mineraalide muutusi. Mistastin Lake'i vanus on 38 miljonit aastat ja on tugevasti kulutatud.

Ringikujuline impaktstruktuuri Gow Lake läbimõõt on 4 km. Tä on võimsaim keskkõrgendikuga struktuur Kanadas. See ulatub 1,5 km laiuse saarena (Calder Island) järvest 35 m kõrgemale. Vee sügavus saare ümber on ligi 30 meetrit, kuid negatiivne gravitatsioonianomaalia viitab, et struktuur on tunduvalt sügavam.

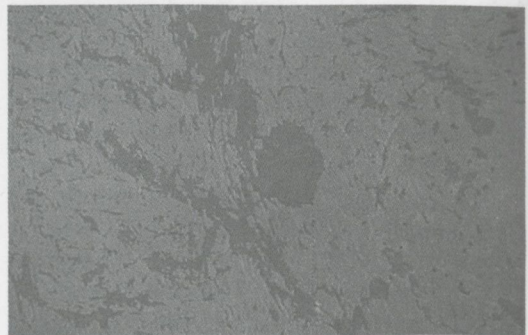
Haughtoni impaktstruktuur on tuntud ka kui Haughton Dome. See asub Devoni saarel, Kanada Arktikas. Struktuur avastati juba 1950. aastal, kuid

meteoriidne päritolu tõestati alles 1975. aastal, kui leiti löögikoonused. Struktuuri keskkõrgendikku ümbritseb tasandikuline ala ja ebaregulaarne tugevasti kulutatud vall. Peale löögikoonuste esineb koesiiti.

Sada miljonit aastat vana West Hawk Lake'i (Manitoba) kraatri läbimõõt on 3,2 km ja see on väga sarnane Brent'i struktuuriga, kuid erinevalt sellest on täidetud kogu ulatuses veega. Järve rannajoon on tugevasti kulutatud ja ebakorrapärane, moodustades abajaid ja lahtesid. Madalad ümbritsevad mäed võivad olla kraatrivalli jäänused. Järvevee sügavus on 100 m, impaktbretša paksus 350 m. Ka geofüüsikalised uuringud tõestavad struktuuri meteoriidset iseloomu.

Hollefordi impaktstruktuur avastati 1955. aastal aerofotode järgi, kus oli hästi näha ümarja kujuga kraater ja seda ümbritsev järskude sisenõlvadega vall. Kui teadlased külastasid esmakordselt kraatri-laadset vormi, siis selgus, et see ei olnud sugugi nii sümmeetriline kui aerofotol paistis. Kraatri läbimõõt oli 2,3 km ja seda läbis org, mis juhtis kraatris olevast soost vee naabruses asuvasse Knowltoni järve. Vall ulatus ümbritsevast alast 15...25 m kõrgemale. Hilisemad geofüüsikalised uuringud ja puurimistööd näitasid, et kraater oli tekkinud madalas Ordoviitsiumi meres.

Deep Bay on tähelepanuväärne ümarjas vorm Reindeeri järves Põhja-Saskatchewanis. Peajärv on 250 km pikk ja kitsas (keskmiselt 30 m) ning täis saari. Deep Bay asub järve lõunatipus, on ringitaoline, keskmiselt 200 m sügav ning saarteta. Esmakordselt kirjeldati kummalist Deep Bay'd 1943. aastal, kuid alles 1957. aastal oletati selle meteoriidset päritolu. Geoloogilised ja geofüüsikalised uuringud on näidanud, et selle kulutatud struktuuri esialgne läbimõõt oli 10 km ja sügavus ligi 1000 meetrit.



10 km läbimõõduga Deep Bay meteoriidkraater. NASA foto

Impaktstruktuurid Ameerika Ühendriikides

Havilandi meteoriidikraater Kansases tehti kindlaks 1925. aastal. Brenhami meteoriidid (kirjanduses nimetatakse ka Kiowa County meteoriitideks) leidis kohalik kauboi siit esmakordselt 1886. aastal. Kuna Kansase selles osas on preeria pinnas kivimitest puhas, siis leitud "veidrad kivid", nagu kauboi neid nimetas, olid silmatorkavad. Ta ei suutnud neid lähimasse linna viia ja peitis kitsasse mäekurusse. Varsti ta haigestus, kuid avaldas surivoodil veidrate kivide asukoha sõbrale. Kivid leiti ja toimetati Greensburgi. Kuigi võis arvata leiu suurt väärtust, kasutati üht massiga ligi 20 kg heinakuhja mahavajutamiseks ja massiga 50 kg kivi jäeti tänavale Greensburgi ühe kinnisarafirma kontori

ette.

1890. aastaks oli leitud juba palju meteoriite ja teadlasi kutsuti neid identifitseerima. Ühes farmis, mis kuulus Kimberley'de perekonnale, oli sedavõrd palju meteoriite, et see sai ümbruskonnas tuntuks meteoriidifarmina. Järgnevatel aastatel leiti veel meteoriite, kui need sattusid atrade, niidumasinate, kultivaatorite ning teiste põllutöömasinate ette. Ühe meteoriidi paljastas välk, kui see lõi maasse väikesel kõrgendikul, loopides pori meteoriidi ümber laiali. Teine üsna suur tükk leiti august, mille seed olid kaevanud traataia alla.

Brenhami meteoriite leitakse tänaseni. Uus farmiomani Robert Peck leidis 1968. aastal 60 kg-se meteoriidi, kui kaevas kuivenduskraavi ning 40 kg-ne kamakas leiti 1972. aastal ligi kolme km kaugusel Havilandi kraatrist. Kõige suurem meteoriit massiga 500 kg leiti 1948. aastal kraatrist lääne pool ja see on välja pandud Greensburgi muuseumis. See meteoriidikamakas on kõige suurem teadaolev ja kindlaks tehtud pallasit (kivi-

Ameerika Ühendriikide impaktstruktuurid:

nimi	osariik	max diam.	vanus	muu info
Arizona ehk Barringer	1,2 km	49 000	hästi säilinud	kraater
Beaverhead	Montana	15 km	~600 miljonit	kulutatud, osaliselt paljastatud
Bee Bluff	Texas	2,4 km	<40 miljonit	osaliselt nähtav
Calvin	Michigan	7 km	460 miljonit	mattunud
Crooked Creek	Missouri	7 km	320 miljonit	osaliselt nähtav
Decaturville	Missouri	6 km	<300 miljonit	osaliselt nähtav
Des Plaines	Illinois	8 km	<280 miljonit	mattunud
Flynn Creek	Tennessee	3,6 km	360 miljonit	osaliselt mattunud
Glasford	Illinois	4 km	<430 miljonit	mattunud
Glover Bluff	Wisconsin	10 km	<500 miljonit	osaliselt mattunud
Haviland	Kansas	17 m	< 1000	hästi säilinud
Hico	Texas	9 km	<60 miljonit	osaliselt mattunud
Kentland	Indiana	13 km	< 300 miljonit	osaliselt mattunud
Manson	Iowa		35 km	74 miljonit, mattunud
Marquez Dome	Texas	15 km	58 miljonit	osaliselt mattunud
Middlesboro	Kentucky	6 km	<300 miljonit	osaliselt mattunud
Odessa	Texas	170 m	<5000	hästi säilinud kraatrid
Red Wing	North Dakota	9 km	200 miljonit	mattunud
Serpent Mound	Ohio	6 km	<320 miljonit	osaliselt mattunud
Sierra Madera	Texas	13 km	< 100 miljonit	osaliselt mattunud
Sythylemenkat Lake	Alaska	12 km	10 000 (?)	hästi säilinud
Upheaval	Utah	5 km	65 miljonit	kulutatud, osaliselt mattunud
Versailles	Kentucky	1,5 km	400 miljonit	osaliselt mattunud
Wells Creek	Tennessee	14 km	~200 miljonit	mattunud



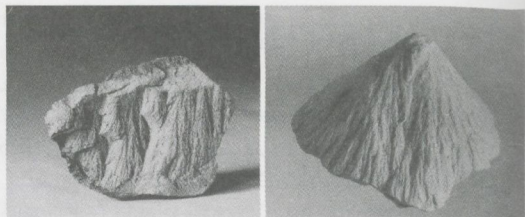
500 kilogrammine Brenhami meteorii toimetati 1949. aastal Greensburgi muuseumi. Muuseumi fotoarhiivist.

raudmeteoriiit) maailmas.

Nagu öeldud, avastati Havilandi kraater alles 1925. aastal, kui H.H. Nininger külastas Kimberley farmi, et meteoriiite ära viia. Nininger tundis kraatri ära selle omapärase ilme järgi, mis oli ümbrusest sügavam ja valliga ümbritsetud. Et pärast vihma püsis vesi selles kauem kui piisonite püherduskohtades, oli see lohk loomade lemmikjoogipaigaks. Kimberley'de kirjeldusest sai Nininger teada, et minevikus oli vall olnud palju kõrgem ja kraater tunduvalt sügavam. Niningeri mõõtmised näitasid, et elliptilise kujuga kraatri läbimõõt oli kuni 17 meetrit. 1933. aastal alustatud kaevetööde käigus leiti umbes 30 cm sügavuselt ja 40 cm paksusest kihist meteoriiitset materjali. Suurim sügavus, kust leiti meteoriiiditükk massiga 39 kg, oli 2,9 m.

Üldse on sellest piirkonnast kogutud üle 1000 kilogrammi meteoriiitset materjali. Ka Eesti meteoriiitide kogus on ligikaudu 800 grammi Brenhami meteoriiidi palasid.

Suurim Odessa meteoriiidkraatritest, läbimõõduga 170 m ja sügavusega kuni 6 meetrit, leiti kohaliku rantšoomaniku poolt 1892. aastal. Kraatrite meteoriiitne päritolu tõestati 1922. aastal, kui



Sierra Madera impaktstruktuuri löögikoonused. Palad Eesti meteoriiidkogust Tallinnas. G. Baranovi foto.

kraatrivallist leiti tohtul hulgal raudmeteoriiite, millistest suurima mass oli ligi 150 kg. 1939. aasta geoloogilise kaardistamise käigus avastati siin veel kolm väiksemat kõrvalkraatrit. Neist suurima läbimõõt oli 25 meetrit ja see asus vaid 25 m peakraatrist eemal. Väiksemad, läbimõõduga vaid 3 m, leiti 70 meetri kaugusel. Kõigist neist leiti meteoriiite. Meteoriiidi peamassi otsinguteks kaevati peakraatrisse 50 meetri sügavune šaht. Meteoriiiti ei leitud, kuid kraatri looduslik ilme rikuti. 1963. aastal ostis grupp entusiaste peakraatri ümbritseva ala, korrastas selle ning ehitas siia väikese muuseumi.

Sierra Madera struktuuril on maase ulatuva süveni asemel mäeaheliku kuju. Keset tasast maastikku kerkivad Sierra Madera puudega kaetud künkad (Sierra Madera tähendab "puudega kaetud mäed"). Ringikujuline ahelik ulatub ligikaudu 250 m tasandikust kõrgemale ja 500 m kõrgemale seda ümbritseva basseini madalaimast kohast. Tipp on 1402 meetrit üle merepinna. Six-Shooter Draw jõesäng asub ringsüveni lääneküljel ja murrab edelas ning kirdes läbi välimise üleskerkinud valli.

Sierra Madera avastati 1920. aastal ja seda peeti algul oma ebahariliku geoloogilise ehituse tõttu krüptovulkaaniliseks kupliks. Puurimised kuni 4000 meetri sügavusele ei näidanud vulkaaniliste kivimite olemasolu. 1960. aastal tehtud uuringute käigus avastati suurel hulgal löögikoonuseid, mis viitasid löögikraatritele.

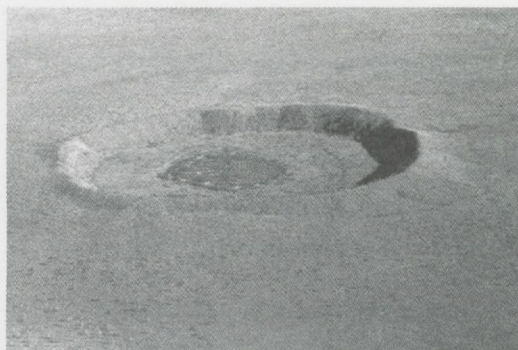
Anomaalse gravitatsioonivälja kaardid kinnitasid Sierra Madera impaktstruktuuriiks.

Väikest Upheaval Dome impaktstruktuuri Canyonlands'i Rahvusparkis õpiti tundma 1927. aastal ja seda vaadeldi kui soolakuplit või krüptovulkaanilist struktuuri. 1984. aastaks oli tõestatud struktuuri kosmiline päritolu. Uuringud näitasid, et kraatri esialgne läbimõõt ulatus 10 km-ni ja seal esines ka keskkõrgendik.

Austraalia meteoriidikraatrid ja impaktstruktuurid

Kraatriterikas on ka Austraalia, kus 1930. aastast alates on leitud kakskümmend üks kraatrit. Kraatrite esinemine raskesti ligipäasetavatel aladel on raskendanud nende uurimist. Suurim kraatritest on 160 km läbimõõduga kuni 600 miljonit aastat vana Acramani meteoriidikraater Lõuna-Austraalias. Tuntuim vanimastest, 1685 miljonit aastat vana, 28 km läbimõõduga Teague Ring struktuur (nüüd nimetatud Shoemaker impaktstruktuuriks), asub Lääne-Austraalias. Selles esineb 10 km-se läbimõõduga keskkõrgendik. Kosmilist päritolu tunnustavad löögikoonused, muutused mineraalides ja impaktiitide esinemine paljandites.

Üks kauneimad ja tuntumaid on Wolfe Creeki kraater, mis asetseb Lääne-Austraalias keset kõrbe. See avastati 1937. aastal lennukilt, kuid kraatri



Ligi kilomeetrise läbimõõduga Wolfe Creeki kraater Lääne-Austraalias. NASA foto.

uuringuid alustati alles 1948. aastal. Kraatri ümbrusest on leitud oksüdeerunud rauapalasisid, mis on pärit kraatrit tekitanud meteoriidist. Wolfe Creeki kraatri läbimõõt on 880 meetrit. Kraatrit ümbritseva valli kõrgus ulatub 35 meetrini ja puurimistega on kindlaks tehtud, et kraatri tõeline sügavus on 150 meetrit.

Henbury meteoriidikraatrite väli koosneb üheistkümnest 6...157 meetrise läbimõõduga

Austraalia impaktstruktuurid:

nimi	max diam.	vanus	muu info
Acraman	160 km	600 miljonit	tugevasti kulutatud
Boxhole	185 m	5000	hästi säilinud
Connolly	9 km	60 miljonit	kulutatud, osaliselt mattunud
Dalgaranga	20 m	25 000 aastat	nähtav
Darwini kraater	1 km	730 000	nõrgalt kulutatud
Fiery Creek Dome	30 km	1,7 miljardit	kulutatud
Goat Paddock	5 km	55 miljonit	kulutatud
Gosses Bluff	22 km	142 miljonit	tugevasti kulutatud
Henbury	157 m	5000 aastat	nähtavad
Kelly West	10 km	550 miljonit	tugevasti kulutatud
Lawn Hill	20 km	540 miljonit	kulutatud
Liverpool	1,6 km	150 miljonit	osaliselt mattunud
Mt. Toondina	3 km	100 miljonit	kulutatud
Piccanniny	7 km	360 miljonit	tugevasti kulutatud
Spider	13 km	üle 700 miljonit	kulutatud
Strangways	26 km	540 miljonit	tugevasti kulutatud
Teague Ring	28 km	1685 miljonit	kulutatud, osaliselt vaadeldav
Tookoonooka	55 km	128 miljonit	mattunud
Veevers	70 meetrit	1 miljon	suhteliselt hästi säilinud
Wolfe Creek	880 m	300 000 aastat	hästi vaadeldav
Yallalie	15 km	tekkeageg teadmata	mattunud

kraatrist, kusjuures suurim võib olla kaksikkraater. Sellele viitab kraatri ellipsitaoline kuju. Henbury kraatritest ja nende ümbrusest on kogutud ligi 3 tonni meteoriiitrauda. Meteoriidid on tänu Kesk-Austraalia ariidsele kliimale hästi säilinud.

Üksik Gosses Bluff kraater asub tasandikul, kust see kerkib järskude nõlvadega ringikujulise lavamaena. 1960-ndatel aastatel läbi viidud geoloogilised uuringud näitasid, et Gosses Bluffi silmatorkav ring on tugevasti kulutatud löögistruktuuri seesmine osa. Ring kujutab endast kerkinud keskosa jäänuseid, selle pehmematest kivimitest koosnev keskosa on kulutatud. Peaaegu kogu ülejäänud osa struktuurist on samuti kadunud, ainult mõningaid jäänuseid võib leida kaugel väljaspool mäestikuringi. On avastatud impaktstruktuuridele iseloomulikud mineraalide muutused. Rohkesti leidub löögikoonuseid.



*Gosses Bluff'i efektne meteoriidikraater.
Foto Yann Arthus-Bertrand.*

Aasia impaktstruktuurid

El'gytgyni ideaalselt ringikujuline impaktstruktuur läbimõõduga 18 km asub Ida-Siberis soises künklikus tundras. See on osaliselt täitunud järvega, mille sügavus küünib 160 meetrini. Vall on osadeks tükeldunud ja kõrgub ligi 450 m üle järve pinna. Kraatri ümbrus koosneb Ülem-Kriidi vulkaanilistest kivimitest, millel lasuvad Kvaternaari setted. Kraatrit ümbritsev vall on kulutatud.

Suure sügavuse ja isoleerituse tõttu on El'gytgyni kraater huvipakkuv ihtüoloogidele. 1970- ja 1980-ndatel aastatel leiti siin mitmed uued läheliste alamliigid ning 1985. aastal avastati uude pere-

konda kuuluv kala. Rahvapärased kutsuti seda pikauimeliseks hõrnaks. See kala veedab enamuse ajast sügavas vees, tulles ülespoole toitu neelama jõgede suudmete läheduses soojemas vees. 1990. aasta uuringud näitasid, et pikauimeline hõrnas on hõrnastest kõige primitiivsem ja on kraatri külmas vees hästi kodunenud.

Lonari kraatrijärv on ainus suhteliselt noor basaltsesse aluskorda tekkinud meteoriidikraater. Et Kuu kraatrid on tekkinud samuti basaltidesse, on Lonari kraater heaks võrdluseks. Kraater on 150 m sügav ja valli kõrgus on 20 meetrit. Järv on madal ja soolaseveeline.

Olgugi et Lonari kraater on silmnähtavalt noor, pidas suurem osa geoloogidest seda kuni 1970. aastani vulkaaniliseks vormiks, vaatamata faktile, et vulkaanilise tegevuse tõttu tekkinud basaltse laava voolud India selles osas lakkasid juba 60 miljonit aastat tagasi. Puurimine, geofüüsikalised uuringud ja mikrotektiitidele sarnaste tumedate klaasjate kerakeste leiud tõestasid kindlalt kraatri meteoritset päritolu. Kraatri vallist põhja poole asuv väike madal ala läbimõõduga 300 meetrit võib olla kõrvalkraater.

Popigai impaktstruktuur on Venemaal leitudest noorim ja suurim. 1946. aastal tehti kindlaks Kesk-Siberi kiltmaa põhjaosas Popigai jõe basseinis ringitaoline madalik diameetriga ligi 75 km, mida hakati nimetama Popigai nõoks. 1970. aastal suvel viidi vene tuntud meteoritiku V. Masaitise poolt läbi põhjalikud välitööd. Kogutud materjal andis aluse vaadelda nõgu kui iidset meteoriidikraatrit. Popigai impaktstruktuur koosneb kahest eri lehtrist, mis on paigutatud teineteise sisse. Sisemise lehtri läbimõõt on 75 km ja see kattub enam-vähem nõo põhjaga, eriti läänes ja lõunas. Välimise lehtri läbimõõt on ligi 100 km. Selle piirid väljenduvad eriti hästi kraatri lääne- ja lõunaserval. Kirdes ja idas on nõo põhi suhteliselt lame ja tugevasti soostunud. Läänes ja edelas on põhi veidi tõstetud ja liigestatud reljeefiga.

Popigai impaktstruktuur on 300 meetrit sügav ja täidetud Kvaternaari ladestu konglomeraatide ja liivakividega. Keskkõrgendiku läbimõõt on 45 km ja kõrgub 2 km üle ümbritseva maa-ala. Keskkõrgendik on moodustunud gneisjast bretšast ja ümbritsetud sueviitidega, mida siin nimetatakse tagamiitideks. Sueviitide paksus on kohati kuni 2 km.

Aasia impaktstruktuurid:

nimi	riik	max diam.	vanus	muu info
Beyenchime-Salaatin	Venemaa	7,5 km	65 miljonit	kulutatud
Bigach	Kazahstan	7 km	6 miljonit	osaliselt mattunud
Chiyl	Kazahstan	3 km	46 miljonit	kulutatud
El'gygytgy	Venemaa	18 km	3,5 miljonit	osaliselt järv, kohati kulutatud
Kara	Venemaa	65 km	73 miljonit	osaliselt mattunud
Kar-Kul	Tadžikistan	45 km	225 miljonit	osaliselt nähtav
Logancha	Venemaa	20 km	50 miljonit	tugevasti kulutatud
Lonar	India	1,8 km	50 000	väga hästi säilinud, osaliselt järv
Macha	Venemaa	300 m	7 000	värske
Popigai	Venemaa	100 km	35 miljonit	osaliselt kulutatud
Ragozinka	Venemaa	9 km	55 miljonit	kulutatud
Shunak	Kazahstan	3,1 km	12 miljonit	kulutatud
Sihhote Alin	Venemaa	119 m	tekis 1947. a.	hästi säilinud
Sobolev	Venemaa	50 km	200 aastat	hästi säilinud
Tabun-Khara-Obo	Mongoolia	1,3 km	120 miljonit	täitunud, kohati kulutatud
Ust-Kara	Venemaa	25 km	73 miljonit	vee all
Wabar	Saudi Araabia	1000 m	6000	värske, hästi säilinud
Zhamanshin	Kazahstan	13,5 km	900 000	kulutatud, nähtav

Sihhote Alini meteoriidisadu toimus 12. veebruaril 1947. aastal. Väike raudasteroid tungis Maa atmosfääri kiirusega üle 14 km/s. Purunenud kosmiline keha tekitas maapinnal 122 kraatrit, mis on suuremad kui 0,5 meetrit ja ligi 383 löögilehtrit. Meteoriidikraatrid levivad elliptilisel 1,6 km² suurusel väljal. Oma panuse kraatrite geoloogilise ehituse uuringutesse andsid ka Eesti geoloogid Ago Aaloe juhtimisel aastatel 1967-1973. Meteoriidi langemise 40. aastapäevale pühendatud ekspeditsioonist 1987. aastal võttis osa rühm Eesti Teaduste Akadeemia Meteoriitika Komisjoni liikmeid akadeemik Anto Raukase juhtimisel.

Sobolevi meteoriidikraater on tuntud kraatritest üks nooremaid. Kraater on asümmeetriline: tema idavall on kulutatud ja palju madalam kui läänevall. Kraatri meteoriitne päritolu on tõestatud bretšast leitud magnetiidkerakeste kõrge niklisisalduse alusel. On leitud ka silikaatseid kerakesi.

Ust-Kara on Kara kraatri põhjapoolsem osa, mis jääb osaliselt Kara mere alla. Kraater paljandub kohati rannikul Kara jõe suudmes, eriti mõõna ajal.

Wabari kraatrite väli asub Saudi-Araabia lõunaosas Rub'Al-Khali kõrbes, mis on üks maha-jätumaid kohti meie planeedil. Wabari kraatrite avastamine oli romantiline. Legendid jutustasid

suurest ja iidsest linnast Araabia "Tühjas Kvartalis" ("Empty Quarter"), linnast, kus olnud tohutult rikkusi ja valitsenud ohjeldamatu käitumine. Linna hävitas vihane jumal, kes nuhtles seda löögiga taevast. Legendi kohaselt jäid järele ainult majaseinte madalad varemed ja veider kaamelisuurune raudkuju. Seda lugu on jutustatud H. St. J. Philby raamatus "The Empty Quarter", kes 1932. aastal läks neid muinasloolisi varemeid otsima. Varemtes linna asemel leidis ta kahe meteoriidikraatri vallid, kaamelisuuruse kuju asemel aga küülikusuuruse raudmeteoriidi. Järgmistel päevadel saadi vihjeid, et teised kraatrid on peidetud liikuva liiva alla. Leiti rohkesti meteoriite ning halli kobrulist impaktklaasi. Paljud väikesed klaashelmed, "al'Ad'i pärlid", olid aseaineks kadunud linna Wabari töötatud kalliskividele.

Wabari kraatrite geoloogiast ei ole kuigi palju teada. Ollakse isegi eri arvamusel kraatrite arvu kohta. Kuigi Philby leidis kaks kraatrit, on 1961. aastal tehtud aerofotol näha neist ainult üks, teine on ilmselt tuiskliivaga kaetud. Teadmised löögi kohta pärinevad peamiselt Wabari klaasist ja meteoriitidest. Wabari klaas sisaldab palju rauanikli kerakesi, mis pärinevad sulanud meteoriidist. On leitud ka koesiiti. Kraatrid tekitas raudmeteoriit.

Aafrika impaktstruktuurid

Amguid on oma ehituselt lihtne plahvatuskraater ja geoloogiliselt sarnane Arizona kraatritele USA-s. Peaaegu ringikujulise valli kõrgus on 30 m ning see koosneb kosmilise keha löögist ülespaikunud Alam-Devoni liivakividest. On leitud kvartsi löögimoondelisi muutusi.

Aouelloul on tüüpiline väikekraater, mis on tähelepanuväärne nii oma nooruse kui ka tektiidilaadsete impaktklaasi leidude poolest nii kraatris kui ka väljaspool seda. Aouellouli klaas on kibrulise struktuuriga ja keemiliselt lähedane piirkonna liivakiviga. Väikesed raua-, nikli- ja koobaltsisalduste suurenemised näitavad, et Aouellouli klaas on saastunud meteoritse materjaliga. Aouellouli klaasi omapära ja kraatri suhteliselt väike sügavus arvatakse olevat tingitud löögist väikese nurga all.

Tähelepanuväärseks sündmuseks oli 1973. aastal kõrge impaktklaasi fragmentide tihedusega alalt leitud väikese kivimeteoriiidi leid. Meteoriiidi vanuseks saadi ainult 300 000 aastat, mis on kümnendik oletatavast kraatri vanusest.

Üks kaugemal asuv meteoriiit võib olla müütiline Chinguetti meteoriiit, mille varased Adrari kõrbe uurijad tõid kaasa hiiglaslikust majasuurusest massist lahti murtud tükina. Hilisemate otsingute käigus aga ei õnnestunud oletatavasti 105 tonni kaalunud Chinguetti meteoriiiti leida. Meteoriiidi avastajad oletasid, et

see oli mattunud liikuva liiva alla. Kuigi on ebatõenäoline, et selline suur meteoriiit võis maaga kokku põrgates jääda üheks tükiks, loodavad meteoriiidiotsijad ikkagi, et Chinguetti raudmeteoriiit kunagi uuesti leitakse.

Bosumtwi ringikujuline kraatrijärv Gaanas asub varjatuna dzhunglisarnases metsas. Selle 250...300 m kõrgune vall on hästi säilinud ja kraatriga seondub rohkesti tektiite. Ivory Coast'i rannikuala tektiitide tekkimist samastatakse Bosumtwi sündmusega nagu moldaviite Ries'i kraatri tekkimisega. Nüüd, miljoneid aastaid hiljem, leitakse nõõbitaolisi tektiite maapinnal ja mikroskoopilisi tektiite ka ookeanisetetes.

Bosumtwi kraatrijärve läbimõõt on 10,5 km ja maksimaalne sügavus on 80 meetrit. Impaktiitkivimites on leitud nikkelraua kerakesi ja tektiitides on kõrge niklisisaldus, mis viitab, et kraatri tekitas raudmeteoriiit. Selle läbimõõt võis olla 300 m ning mass miljoneid tonne.

BP ja Oasis impaktstruktuurid Liibüas on saanud oma nime naftakompaniide järgi. Mõlemal struktuuril on tugevasti kulutatud keskkõrgendik. On täheldatud mineraalide muutusi liivakivides. On võimalik, et mõlemad kraatrid tekkisid üheaegselt ning on ka esile kutsunud mõistatuslike Liibüa kõrbeklaaside tekkimise. Kujult on need sarnased Darwini Klaasile.

Pretoria Salt Pan on kauni valliga hästisäilinud kraater, milles asub soolajärv. Kraatri sügavus on 120 meetrit, valli kõrgus 60 meetrit. Kraatri meteoriiitne päritolu tõestati geofüüsikaliste tööde ja mineraloogiliste uuringutega 1989. aastal.

Aafrika impaktstruktuurid:

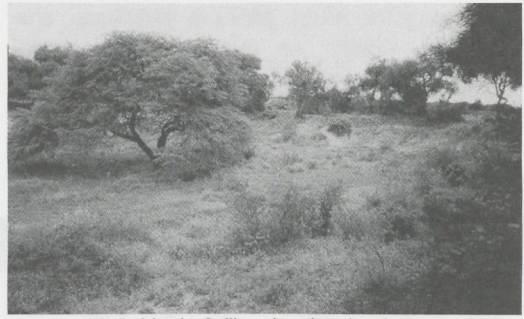
nimi	riik	max diam.	vanus	muu info
Amguid	Alzheeria	450 m	100 000	värske, nähtav
Aouelloul	Mauritaania	400 m	3,1 miljonit	reljeefis nähtav
Bosumtwi	Gaana	10,5 km	1,3 miljonit	täitunud veega
BP Struktuur	Liibüa	2,8 km	< 120 miljonit	sügavalt erodeeritud
Oasis	Liibüa	11,5 km	120 miljonit	sügavalt erodeeritud
Ouarkziz	Alzheeria	3,5 km	70 miljonit	erodeeritud nähtav
Pretoria Salt Pan	LAV	1,1 km	200 000	kulutatud, paljastatud
Roter Kamm	Namiibia	2,5 km	3,7 miljonit	kulutatud, täidetud liivaga
Talemzane	Alzheeria	1,75 km	3 miljonit	kohati kulutatud
Tenoumei	Mauritaania	1,9 km	2,5 miljonit	kulutatud
Tin Bider	Alzheeria	6 km	70 miljonit	sügavalt kulutatud
Vredefort	LAV	200 km	2,1 miljardit	tugevalt kulutatud

Ladina Ameerika impaktstruktuurid

Campo del Cielo meteoriidikraatrid Põhja-Argentiinas on tuntud juba ammu. Vastavalt vanale pärimusele kukkus taevast suur kivi, mis peegeldub ka selle koha rahvapärases nimes - Piguem Nonralta (Taevapõld), mida konkistadoorid tõlkisid hispaania keelde "Campo del Cielo". Legendaarset hiiglaslikku meteoriiti nimetati ühe hispaanlase poolt Meson de Fierro'ks, kes tõi kaasa selle tükke esimeselt ekspeditsioonilt 1576. aastal. Hiiglasliku Meson de Fierro leiukoha asupaika ei teata ja see on pikka aega olnud aaretejahtijate objektiks. Väiksemaid, kuni mõne tuhande kilogrammise massiga meteoriite on Campo del Cielost leitud ning need asuvad paljudes muuseumides ja kollektsioonides.

Campo del Cielo meteoriidikraatrite kitsal, 17 km pikkusel ellipsikujulisel väljal esineb 12 kraatrit. Suurima läbimõõtu on 115 m ja väikseima ligi 20 m. Ühele kraatritest on antud 1783. a. toimunud ekspeditsiooni juhi M. Rubin de Cellise nimi, kes otsis kuulsat Meson de Fierro meteoriiti. Suurimas, "Laguna Negra" kraatris on järv, mille sügavus on vaid kaks meetrit. Selle uurimisel 1923. aastal leiti kraatri setetest koera kivistunud lõualuu, mis võis kuuluda praegu väga piiratud alal Kolumbias elava metsiku koera eellasele. Huvitav on märkida, et see imetaja elutses praeguse Argentina alal vähem kui 5800 aastat tagasi, aga käesoleval ajal on see liik tundmatu.

Chicxulubi impaktstruktuuri avastamine Mehhikos toimus mõnevõrra tagurpidi. Kui tavaliselt löögikraatrite puhul leitakse esmalt kraater ning seejärel identifitseeritakse väljapaisatud materjal, nn



M. Rubin de Cellise nime kandev Campa del Cielo meteoriidikraater.

puistang, siis Chicxulubi struktuuri puhul identifitseeriti puistang 10 aastat enne kraatri leidmist. Kosmilise löögi tulemusel tekkinuna sisaldas see rohkesti iriidiumi. Et puistang oli tekkinud löögi tagajärjel, seda tõestasid tektiitide sarnased löögisulami terad ja löögist mõjutatud kvartsiterad. See puistangu kiht esineb Põhja-Ameerika idaosas ning Kariibi meres, samal ajal kui õhuke iriidiumirikas kiht esineb K/T piirikihis kogu maailmas. Tektiitklaasi keemiline koostis viitab, et meteoriit langes kusagil rannajoone lähedal. Seda oletust kinnitavad tsunaami jäljed, mille hiiglaslikud lained kuhjasid setteid Põhja- ja Lõuna-Ameerika vahelistele paleorandadele. Kõik need sündmused toimusid ligikaudu 65 miljonit aastat tagasi.

Chicxulubi kraater identifitseeriti 1990. aastal, kui üks puistangu uurijatest sai teada maa-alusest ringikujulisest struktuurist Yucatani poolsaarel, mis avastati puurimistööde käigus Mehhiko riikliku naftakompanii poolt. Puursüdamike uurimisel saadi veenvaid tõendeid löögistruktuuri esinemise kohta: leiti löögi toimetel sulanud kivimeid ja löögibretšat. Ilmnes, et sulanud kivimite koostis oli sarnane tektiitse klaasi omale. Kraatri vanus määrati 1992.

Lõuna-Ameerika impaktstruktuurid:

nimi	riik	max diam.	vanus	muu info
Araguainha Dome	Brasiilia	40 km	<249 miljonit	kulutatud
Campo Del Cielo kraatrid	Argentina	115 m	<4000	nõrgalt kulutatud
Chicxulub	Mehhiko	180 km	65 miljonit	mattunud
Monturaqui	Tšiili	460 m	1 miljon	kohati kulutatud
Riachao Ring	Brasiilia	4 km	200 miljonit	kulutatud
Rio Cuarto kraatrid	Argentina	4,5 km	<10 000	nõrgalt kulutatud
Serra Da Cangalha	Brasiilia	1,2 km	<300 miljonit	osaliselt nähtav
Vargeao Dome	Brasiilia	12 km	<70 miljonit	kulutatud

aastal puursüdamikest pärineva löögiklaasi analüüsimisel. Kraater on mattunud umbes kilomeetripaksuse settekihi alla. Siiski on võimalik külastada kraatrit kohas, mis asub Yucatani poolsaare loodenurgas, Merida linnas ja selle lähikonnas.

Tähelepanuväärseid Rio Cuarto kraatreid märkas esmakordselt 1990. aastal lendur. Ta nägi tasases Põhja-Argentina keskosa pampas kummaliselt reastunud süvendeid. Pampa kuni 30 m paksune pinnakiht moodustus jääajal põhjast Andidest ja lõunast Patagooniast liustiku sulamisvete poolt kohale kantud tolmust ja liivast. Pampat võib kujutada hiiglasuure hästi rehitsetud lillepeenrana, kus meteoriidi "jalajäljed" on hästi märgatavad.

Järgmisel aastal läbi viidud uuringud näitasid, et need 30 km pikkusel alal paiknevad süvendid moodustasid vähemalt üheteistkümnest piklikust meteoriidikraatrist koosneva seeria. Suurim kraater on 4,5 km pikk ja 1,1 km lai. Ligi 11 km lõuna pool on kaks väiksemat 3,5 km pikad ja 0,7 km laiad kraatrid. Neist ligi 10 km lõunasse asuvad 6 veelgi väiksemat kraatrit. Kõik need on kirde-edela suunaliselt paralleelsed. Kraatrite vallid on tasandikust 3...7 m kõrgemal ja suuremate kraatrite põhjad umbes 10 m vallist allpool. Kõige suuremate süvendite vallid on murrutatud ning neid ei ole põllumajanduslikult haritud. Väiksematel struktuuridel on nähtavad kuivenduskraavidega tekitatud rikked. Kraatreid võis olla oma paarkümmend, kuid need on põllutööde käigus nähtavasti hävinenud. Et tõestada kraatrite meteoriitset päritolu, koguti vallist pinnaseproove. Ühest proovist leiti väike kivimeteoriit ja klaasjäid šlakitükke.



Kaks kõrvuti asetsevat Rio Cuarto meteoriidikraatrit.

Kraatrivälja morfoloogia meenutab laboratooriumis tehtud katseid suure kiirusega riivavate löögikehadega. Modelleerimine lubab oletada, et Rio Cuarto kraatrid moodustusid madala nurga all (vähem kui 7°) langenud umbes 150 meetrise läbimõõduga asteroidi löögil. Asteroid lähenes kirdest ja ilmselt purunes tükkideks, kusjuures kõige suurem tükk uuristas esimese vao ning väiksemad tükid kaevasid seejärel väiksemaid vagusid ahelikku mööda lõuna poole. Võimalik, et algselt eksisteeris vaid üks suur meteoroorkeha, mis maaga kokku pörkudes lagunes kaheks tükiks. Need paisati seejärel rikošetina eemale, kus need moodustasid uusi kraatreid. Arvutuste järgi võis asteroidi mass olla 3...30 miljonit tonni ja vabanenud energia kokkupõrkel võrdne 350 trotüülekivalendiga. Kahtlemata oli kokkupõrge vähem kui 10 000 aastat tagasi kiviajal elanud inimestele ehmata. Praegu tahetaksegi uurida indiaanlaste müüte ja legende, kus jumalate viha on sageli korduv teema. See võiks viidata kraatrite tekke ajale ja meteoriidi langemise omapärale.

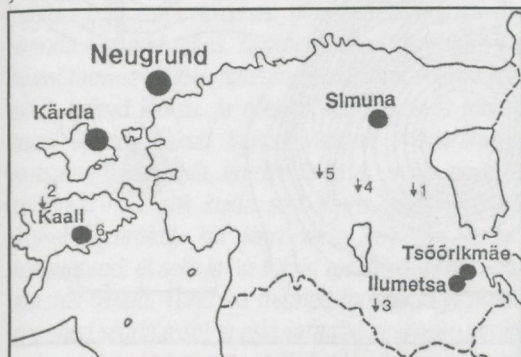
Meteoriidid ja meteoriidikraatrid Eestis

III osa

Meteoritika on Eestis tegelenud nii geoloogid, astronoomid kui ka asjaarmastajad ning nende töid on koordineerinud Eesti Teaduste Akadeemia Meteoritika Komisjon, mille baasasutus on TTÜ Geoloogia Instituut.

Eestisse langenud taevakivide uurimine algas 1821. aastal, kui Kaiavere külla Põhja-Tartumaal langes inimpeasuurune kivimeteorit. Kokku on Eestis andmeid viie meteoridi langemise kohta, kuid neist on leitud ja kollektsiooni talletatud vaid neli. Kui võrrelda kõiki Maale langenud ja registreeritud meteorite Eesti pindalaga, siis kuulume meteoritide lemmikpiirkondade hulka. Ümberarvutatuna 100 000 km² kohta on Eesti maailma esiridades.

Tänu leidude sattumisele haritud inimeste kätte, jõudsid need valdavalt ka kollektsioonidesse. Lisaks



Eesti meteoriidikraatrid ja meteoriidid: 1 - Kaiavere; 2 - Kaande=Oesel; 3 - ligaste; 4 - Pilstvere; 5 - Tännassilma; 6 - Kaali.

sellele on langemise asjaolud avaldatud tolaeages kirjatosnas ning sealjuures sedavõrd üksikasjaliselt ja haaravalt kirja panduna, et võimaldavad veel tänasel päevalgi teha olulisi järeldusi langemise asjaolude (suund, kiirus, suurus jne.) kohta. Tänu meteoritide kohta ajalehtedes avaldatud teadetele oli ka rahva üldine teadmiste tase sellel alal mainimisväärselt kõrge ja küllalt tihedasti asustatud territooriumil jäid ebatavalised loodusnähtused päevasel ajal harva märkamatuks.

Mida siis andmestik Eesti meteoritide kohta võimaldab öelda? Esiteks seda, et nende seas valdavad suhteliselt laialt levinud kivimeteoriidid, mis on igati kooskõlas viimaste esinemissagedusega maailmaruumis. Kõige enam on pakkunud huvi Pilstvere meteoriidisajust pärinev haruldane kivimeteorit - enstatitkondriit ja 1855. aastal langenud ligaste meteorit, mida viimaste uuringute alusel tuleb pidada tektiidiks.

Meteoritideleideude kõrval pakuvad suurt huvi ka Eesti meteoriidikraatrid. Nende seas on kaks meteoriidikraatrite rühma - Kaali ja Ilumetsa - ning neli üksikvormi. Kokku on registreeritud 17 meteoriidikraatrit peetavat struktuuri. Suuruselt on need valdavalt väikevormid alates 8,5 m (Simuna) kuni 110 m (Kaali peakraater) läbimõõduga. Kärda meteoriidikraatri läbimõõt on 4 ja Neugrund kraatri läbimõõt ligikaudu 7 kilomeetrit.

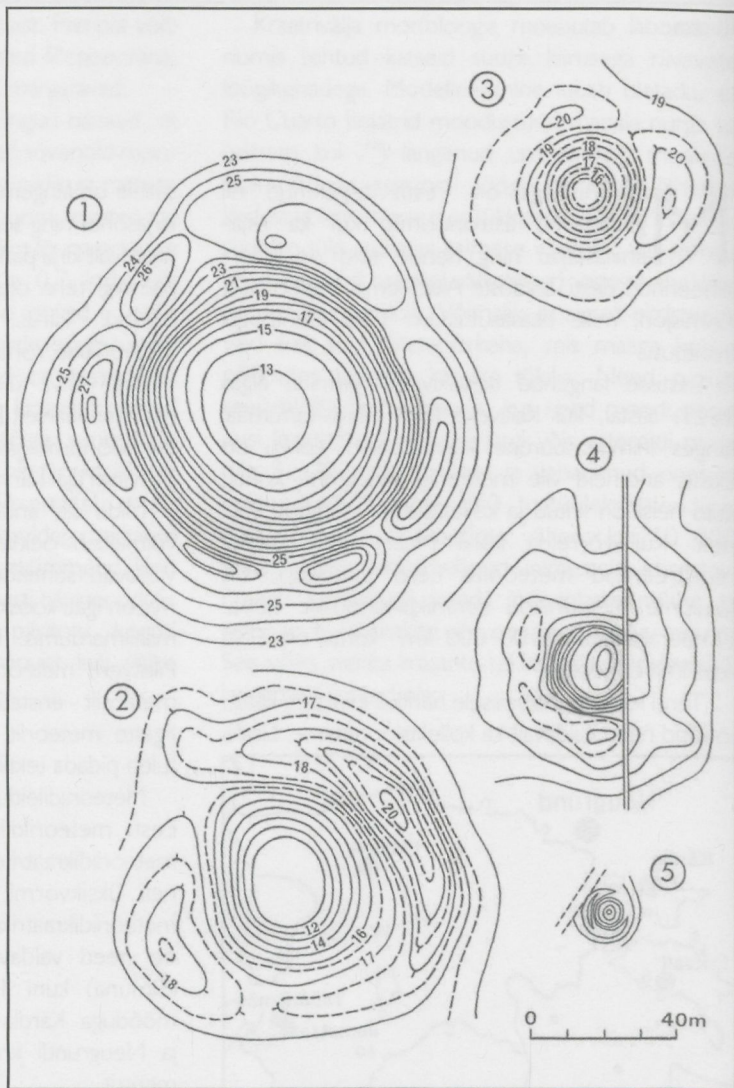
Tänu aktiivsele propagandatööle on meteoritika komisjoni kraatrite tööühmal tulnud teha mitmeid ekspertiise ja väljasõite loodusesõprade

poolt teatatud lohkvormide identifitseerimiseks. Ja kuigi valdav osa neist pole osutunud meteoriidikraatriteks, oleme sattunud paljudele huvipakkuvatele objektidele. Just niiviisi on leitud Tsõõrikmäe ja Simuna kraatrid. Oleme uurinud ka huvitavat Karuauku Tõrva lähistel ja gruppi omapäraseid termokarstilisi ringvorme Otepää kõrgustiku jalamil Paluperas ning maalilise Rooni järve tekkelugu. Õpetlik oli Pärnu tsiviillendurite väljakutse varakevadisele põllule ootamatult tekkinud kraatri juurde, mis osutus kahjuks küll sapööride poolt lõhatud mürsu lehtriks. Samalaadset juhtumit uuriti alles hiljuti ka Kose-Uuemõisa lähistel. Ja lõpuks ei saa märkimata jätta ka "ufooloogilist survet" ja seda eelkõige paljudele teadaoleva ja mõistuspärase kontrolli alt väljuma kippuva "Merivälja objekti" puhul.

Mida saab Eesti meteoriidikraatrite uurimine anda "suurele" teadusele? Üsna paljugi! Eskätt Kaali meteoriidikraatrite uurimise rikkalik kogemus - on ju see objekt kujunenud teistelegi maadele lausa etaloniks lihtsa geoloogilise ehitusega väikekraatrite seas. Teiseks muidugi Kärkla - üks paremini säilinud ja uuritud Vana-aegkonna aegseid šelfimere meteoriidikraatreid maailmas. Suurt rahvusvahelist huvi on äratanud 1997. a Osmussaare lähedal merepõhjas avastatud Neugrundi meteoriidikraater.

Väikekraatrite ehituse detailsele ja komplekssele uurimisele panid aluse Ivan Reinwaldi ja Ago Aaloe tööd. Löögijäljed kraatri põhjas, sümmeetria-nähud ja nende klassifitseerimine - need on realselt arvestatavad tulemused. Vajalik oleks veel uurida suhteliselt hästisäilinud meteoriidikraatrite tasandumismehhanismi,

ainese ümberpaiknemist kraatrist vallidesse, plahvatusaluse pinna deformatsioone jne. Need ja mitmed muud detailid annaksid olulise panuse meteoriidikraatrite diagnostikasse - diagnostikal enesel on aga otsene rakendus teaduslikel ekspertiisidel, eriti rahutu reljefiga aladel. Selles valdkonnas oleme saanud ka tunnustuse: Eesti meteoriitikud on osalenud mitmete problemaatiliste väikevormide meteoriitse päritolu identifitseerimisel Venemaal, Soomes ja Rootsis.



Mõnede Eesti meteoriidikraatrite võrdlev suurus E. Pirruse (1995) järgi.

1 - Kaali peakraater (100 m); 2 - Ilumetsa Põrguhaud (76 m); 3 - Ilumetsa Sügavhaud (47 m); 4 - Tsõõrikmägi (40 m); 5 - Simuna (8,5 m);

Eesti meteoriidid

Kaiavere meteoriit

Kaiavere meteoriidi (58°35'N 26°41'E) langemisest saatis teate Otto Wilhelm Masingule Kõrenduse õpetaja Kaarel Reinwald (1792-1860) ehk Kõrendo Karel, Masingu kirjasaatja. See teade ilmus ajalehe "Marahwa Näddala-Leht" 33. numbris 17. augustil 1821. aastal:

Teadused: Sadeti Kaiavere vallast, Maarja kihhelkonnas, Tarto-maal, se kirri meie kätte, mis siinsamas luggeda anname:

"Nejandamal Juli ku päwal, kello seitse, õhto ajal, nähti üht tullepalli taeva al, mis kui nool sure wurrisemise ja wuhhisemisega hommiko poolt õhto pole lendis, ja raske wihmasaddo läbbi, mis temma tullist lendamist rammotumaks teggi, vimaks Lokko Kaarli, ühhe Kaiawere mets-tallomehhe välja peäle, liggid 250 sammu maad temma ellomajast mahhalanges, ja hirmsa rakumisega lõhki ja purruks läks. Temma surus, purruks läinud tükkidega ühtekokko arwata, olli kui ühhe sure mehhe pea; mitmekõrroline ja walwakad suhkro karwa. Karja lapsed, kes seal liggidal ollid karja hoidmas, ning nendasammoti üks wanna ellatand mees, nimmega Mart, kohkusid, kui kiwwi taevast näggid mahhatullewad; lambad, mis seal ollid, heitsid jooksu, ja olleksid pea wannadki tõurad laiali läinud. Läksid lapsed varmalt koddorahwast kutsuma, et sedda immet vadata; agga need ei teädnud mis, ehk kuidas sest imme asjast arwata. Tõisel hommikul, kui karri varra väljaläks, leidsid karjalapsed, et selle kiwwi tükkid veel alles sojad käega katstes ollivad. Tullid siis mitmed mõistlikud ja ausad mehhed sedda asset ja asja watama, ning õiete järrele kulama, kas kõik nenda tõssi, kuidas rägitud; mil visil, kuis ja kuidas kõik olnud ja sündinud. Nimmetame agga neist, kes seal käinud, Maarja kõstrid, C.

Woiwodt, ja temma vannemad poega, Carl Gustav Woiwodt; Carl Tornius, Kõrendo Karel, Rätsepa Jaan, kes 72 aastad wanna, ja weel mitmed muud mõistlikud ja auuväärt innimesed, kes kõik omma silmiga näggid, ja omma kättega katsusid, mis kui immetäht taevast olli tulnud. Sedda sawad nemmad issi kui ustawad, ausad ja mõistlikud mehhed omma suga tunnistama, et tõemõda kõik nenda olnud, kuidas üllemal sest asjast olleme nimmetanud. On sedda sure tänno ja kido wäärt heaks arwata, et Näddala-Leht No 2 meile, kes teadmatad ja rummalad marahwas olleme, parajad õppetust andnud, ja sesugguste tullepallide pärrast sedda kulutanud, mis meil tännini teadmata olnud. Kui sedda head õppetust meile, egga meie kõhta polleks juhtunud, ei siis kegi egga se kõigemõistlikumki meie seast, sest asjast, mis nüüd omma silmiga olleme näinud, olleks õskand õiged arru ehk märkust sadda.

Tänname siis Jummalad selle eest, et ta meie päwil kõigesugguste õpetusega meile on appi jõudmas, ja meid nenda hawalt rummaluse ja äbbausko sõlmist lahti päästmas.

Kõrrendust sel 26. Julil 1821. Karel"

Samal aastal tehakse "Marahwa Näddala-Lehe" 43. numbris veel kord juttu Kaiavere meteoriidist. Maarja kihelkonna koolmeistri Kaarel Reinwaldi teatel langenud meteoriit suure põllukivi peale, mistõttu purunenudki. Inimesed olevat killud kokku korjanud. Ühe tüki oli saanud ka Otto Wilhelm Masing, "nenda kui ka Maarjagi õppetaja, kes sedda, mis ta ennesele wõtnud, teaduse kirjaga Tarto, sure koli kunstkambri tõutas läkkitada".

Kuid kahjuks lubadust ellu ei viidud ja meteoriit Tartu ülikooli ei jõudnud. Praeguses Eesti meteoriidikogus sellest kilde pole ning ka varem ülikoolile kuulunud kollektsiooni kataloogides ei ole Kaiavere meteoriiti nimetatud.

Kaande = Oesel

Kaande meteoriiidisadu, meteoriiidikirjanduses tuntud ka Oeseli nime all, leidis aset 1 I. mail (29. aprillil) 1855. aastal Saaremaa looderannikul Merise külas Kaanda talu maal (58°30'N 23°00'E). See oli esimene meteoriiit Eestis, mille langemisest on meieni jõudnud nii pealtnägijate kirjeldused kui ka võimalus meteoriiiditükke kohe pärast juhtumit leida ning peatselt ka uurida. Tänapäeval Merise küla enam ei eksisteeri ja Kaanda talustki on säilinud vaid mõned õunapuud.

Kaks kuud hiljem saabusid sündmuskohale Loodusuurijate Seltsi liikmed keemik A. Goebel, geoloog Fr. Schmidt ja koduloouurija A. Sass uurimaks meteoriiidi langemise üksikasju. Uuringu tulemused ilmusid põhjaliku ülevaatenähtena trükis 1856. aastal. Pealtnägijate - nii talupoegade kui ka Mustjala ja Pidula mõisnike - jutustuste järgi võib tollast meteoriiidisadu küllaltki täpselt ette kujutada.

Kõige lähemalt nägi meteoriiidi langemist 30-aastane Jaan Melow Kaandast: "Reedel, 29. aprillil, umbes kell 2 päeval istusin oma maja lähedal pingil. Puhus tugev idatuul, taevas oli selge ja päike paistis. Äkki kostis idast vali äikesesarnane mürin, mis kuulus kuus korda. Pärast iga mürinat kostis õhus vilina moodi heli ja merre ulatus must triip. Seitsmenda mürina ajal, mis oli tugevam kui kõik eelmised, kukkus midagi suure jõuga maapinnale. Enne seda kuulsin läheduses tugevat vilinat ja arvasin, et tegemist on ülelendava kahurikuuliga. Jooksnud mere kaldale, kuhu kuul võis olla langenud, leidsingi 1 jala läbimõõduga kivi, mis oli jätnud maapinda $\frac{3}{4}$ küünra sügavuse lohu, läbimõõt umbes poolteist jalga (meetermõõdustikku ümberarvestatult on J. Melowi andmed järgmised: kivi läbimõõt 30 cm, lohu läbimõõt umbes 45 cm ja sügavus 40 cm).

Kivi oli väljastpoolt mustaks põlenud ja sellest oli ära tulnud mitu väiksemat tükki. Kahest küljest oli kivi tasane ja määrdunud kollast värvi. Hiljem löid lapsed kivi vähehaaval katki, seest oli see sinaka tooniga. Pärast vihma ilmusid sinna roosteplekid". Saksa keele vahendusel esitatud Jaan Melowi värvika kirjelduse järgi võis oletada, et mustad triibud, mida oli nähtud mere kohal eelnenud kuuekordse mürina ajal, pidid olema merre

langenud meteoriiitide trajektoorid. Samal ajal olevat ka J. Melowi naaber Ado Sepp mürinat kuulnud, mida ta pärast kinnitas.

36-aastane Mare Sepp Mustjala mõisa juurde kuuluvast Selgase külast (Pidula lähedal) seletas, et kell kaks päeval olevat ta peavalu tõttu õues kaevu lähedale pikali heitnud. Täiesti selge taeva ja päikesepaistelise ilmaga kuulnud ta kolm korda äikesemürinat. Neljandal korral olnud mürin nii tugev, et kõik kaevu raudosad krigisenud. Samal ajal tundis ta maapinna rappumist, mis takistanud tal kohe püsti tõusmast. Tema arvas, et midagi kukkus kaevu.

Mürinat ja vilinat oli kuulnud nii Ninase ja Irruse külas (Mustjala mõisast umbes 9 km kaugusel Pidula suunas) kui ka Kugalepas. Seda väitsid paljud küsitlud.

Pidula mõisnik Eduard v. Tolli tähelepanekute järgi kukkus meteoriiit pärastlõunal kella 3 ja 4 vahel. Õhtupoolikul, umbes kella 6-7 paiku, sõitis ta poeg Richardiga mereranda (umbes 8 km Kaandast), kus töötasid mõned tema laeva-puusepad. Nad kõik olid kuulnud tugevat müra ja sellega kaasnenud vilinat, mis oli hirmu peale ajanud. Algul arvanud nad tegemist olevat kahuripaukudega, sest sellal Läänemerele seilanud Inglise ja Prantsuse laevadel olnud selline signa-liseerimine sageli tavaks. Et merel laevu aga seekord ei nähtud, siis oldi tõsisel segaduses.

Pealtnägijate kirjeldustes erines mõnevõrra kellaeg. Et talupojad määrasid tagantjärele aega põhiliselt umbkaudu, meenutades päikese seisu, siis võib E. v. Tolli andmeid ehk õigemaks pidada. Paljude teiste hulgas andsid teateid ka kohalik vaimulik ja politseiametnik, kes olid asja pisut omal käel uurinud, pidades seda ametikohustuste hulka kuuluvaks.

Tunnistajate seletuste põhjal järeldas A. Goebel, et toimus meteoriiidisadu, mis võis hõlmata umbes 400 ruutkilomeetri suuruse maa-ala. Maapinnale jõudnud suurim taevakivi pidi tükkide välimuse ja tekitatud süvendi järgi olema algselt korrapärase püramiidi kujuline ja tema massiks võis hinnata 28,5 kg. Nähtavasti purunes meteoriiit võrdlemisi madalal, suuremate tükkide langemiskoha lähedal, sest vastasel korral oleks heli kuulnud ka Kaandast eemal. Kaanda leid kuulub harilike kivimeteoriiitide klassi ja sisaldab sellele tüübile iseloomulikke kuni 0,25-millimeetrise läbimõõduga oliviin-hüpers-

teenseid kerakesi - kondreid.

Suurim meteoriiditükk massiga 3,5 kg oli leitustest ilusaim. Põhimass oli puhas, veidi tume, sinakashall, suhteliselt väheste roosteplekkidega. Musta koorikuga kaetud väliskülgedel olid korrapäratud lainjad süvendid ja lamedad kõrgendikud. Hiljem sattus see pala krahv Perovski erakogusse St. Peterburis ja selle edasine saatus pole teada. Ka teised tükid olid kaetud musta sulamiskoorikuga, milles esinesid iseloomulikud süvendid - regma-glüptid. Kõik eksemplarid olid suuremal või vähemal määral niiskusest kahjustatud, murdepindadel esines arvukaid roosteplekke ja põhimass oli omandanud rooste määrdunud kollakashalli värvuse. Eesti meteoriidikogus säilitatakse Kaande leiust kaht tükki, mis kaaluvad 758 ja 458 g ja umbes 100 g peent puru. Välismaale vahetusega sattunud materjalist ülevaade puudub. Moskva ja Peterburi kollektsioonides on Kaande meteoriidist tükke umbes 200 g.

Meteoriidi täpsemal uurimisel selgus, et must koorik on 0,5...0,75 mm paks, väga kõva, peente korrapäratute lõhekeste ja mati vaheläikega. See sisaldab metallilise raua terakesi. Põhimass on heledamates tükkides tihe ja kõva, tumedavärvilistes tükkides veidi mure. Värvus ei ole kõikjal olnud ühtlane, enamasti helesinakashall, kohati tumesinakashall, enamikul tükkidest on roosteplekid, sageli niiskusest määrdunud välimusega. Värske murdepinna uurimisel selgus, et põhimassis esineb hulgaliselt erineva suurusega hõbevalgeid metallilisi terakesi niklit sisaldavast rauast. Metalliosiste eraldamine kivimist on väga kerge, need on tugevasti magnetilised ja venitavad. Nende kõvadus on märkimisväärne - läätse suuruse tera tagumisel raudplaadil vajus tera plaati, terasplaadil tagudes jättis viimasele nõrga jälje. Selline taotud ja poleeritud leheke näitas pärast lahjendatud lämmastikhappega mõjutamist pinnal väga korrapäratud joonist - Widmanstätteni kujundeid. Metallilised täpikesed ja terad põhimassis on läikivkollakat värvi ja nende mõõtmed ulatuvad harva hernetera mõõtmeteni. Need on lehtjad, kristallilised, pudedad, mittemagnetilised, tihedalt kivimiollusega läbikasvanud, õhus kergesti muutuvad ja rauahüdroksüüdi korraga kattuvad. Kuigi need sisaldavad veidi nikkelrauda, on need mittemagnetilised. Analüüsandmete põhjal võib väita, et keskmiselt on 15,6 % magnetilisi ja 84,4 % mittemagnetilisi osakesi.

ligaste

ligaste meteoriidi langemise koht asub Väike-Emajõe lähteallika lähisel künklikul Lõuna-Eesti maastikul. Sündmus toimus 17. mail 1855. aastal Valga linnast kirdes paikneva ligaste mõisa maal (57°50'N 26°16'E). C. Grewingku ja C. Schmidt uuringute põhjal võib toimunut kirjeldada järgmiselt: "Leitsakulisel pärastlõunal kella 6 paiku istus prl Beckmann ligaste elumaja suurtrepil. Pr Bornwasser oli eeskojas, temast mitte kaugel ja triikis. Äkki nägi esimene hoovis asuvate pärnade vahel 15...20 sammu kaugusel ja 1...1,5 m kõrgusel maapinnast suurt, mõõdult raskesti määratletavat helendavat valgust ja kuulis samal ajal nii koledat kõrgatust, et ta mõlema käega näo kattis ja kummardudes ootama jäi, mis tuleb. Pr Bornwasser laskis hirmustes triikraual kukkuda ja tundis, et tal kõrgatusest kõrvad luku läksid.

Samal ajal oli ligaste mõisaomanik hr Fr. Schultz hobustega umbes ühe versta kaugusel majast ühel küllalt kõrgel asuval ja head ülevaadet võimaldaval põllul ja vestles töölisega, kes äestas. Kuuldus ootamatu plahvatus, kuigi taevas oli pilvitu. Hobused muutusid rahutuks, kuid lasid end jälle rahustada, kuivõrd rohkemat midagi ei järgnenud. Imestunult ratsutas hr Schultz kiiresti koju. Siin kuulis ta apteekrilt hr L. Bornwasserilt, et temagi oli märganud suure tulise kuuli laskumist. Härra L. Bornwasser pidas seda meteoorki, mitte välguks. Kuivõrd hr Bornwasser teadis, et seal, kus meteoori nähakse, ka mõnikord meteoriidid maapinnale langevad, siis otsis ta viimaseid. Ta leidis ühe pärna lähedal, mis vastas sellele kohale, kus prl Beckmann meteoori nägi ja mille kooses värske marrastus näha oli, lahtiselt murus just nagu mingi asja lõhenemisel laiali paisatud arvukalt omapäraseid kivimikehi. Nendest korjati üles kaks väikest peotäit, millest viit massiga 35,53 grammi hiljem kirjeldati. Kaks suuremat tükki olid kuubikujulised, küljepikkusega ligi sentimeeter. Ülejäänud tükid olid kiulukujulised või ümarjad. Nende värvus varieerus tumepruuni, tuhkhalli ja pruunikaspunaseni. Kõik tükid olid peenkavernoossed, mulliderikkad ja laavataolise struktuuriga. Kõige suurema tüki tumehall siseosa oli kaetud pruunikaspunase koorikuga, millel esines värskeid murdepindu. Väiksemad tükid olid pimsilaadsed või kaetud

sileda klaasja läikiva ja sileda koorikuga. Nende seas oli tükk, mille läbimõõt oli 33x17 mm. See sarnanes nn Vesuuvi pisaraga."

Pärast põhjalikke uuringuid oletasid mineraloog C. Grewing ja keemik C. Schmidt 1864. aastal ligaste leiu maist päritolu. 1960. aastal määras ameerika teadlane J. A. O'Keefe ligaste leiu tekstiitide hulka ja aastaid hiljem eristas ta kivimeteoriitide hulgas uue rühma - igastiit.

1985. aasta Briti Muuseumi meteoriitide nimistus on ligaste leid kantud tekstiitide hulka ja klassifitseeritud kui moldaviit.

Tänaseks on ligaste meteoriidist Eesti kollekt-sioonis säilinud vaid kaks šlakitaolist tükki massiga 0,21 ja 0,35 g.

Pilistvere meteoriiit

8. augustil 1863. aastal toimus meteoriidisadu Pilist- veres, Põltsamaa lähedal (58°40'N, 25°44'E). Rahvusvaheline huvi Pilistvere meteoriiidi vastu on tohutu suur, sest see kuulub üliharuldaste kivi- meteoriitide - enstatiitkondriitide - rühma. Nähti langemas kaheksat meteoriiiti, kuid seni on leitud vaid neli (Aukamäe, Kurla, Wahhe ja Saviaugu 1). Hoolikad otsimised Põllenikko ja Takki talu ümb- rusest ning Saviaugu ja Kõnnu Mädasoos ei ole andnud loodetud tulemusi. C. Grewingku ja C. Schmidt uuringute põhjal võib meteoriitide langemise ajal toimunut kirjeldada järgmiselt:

1. Aukamäe meteoriiit

Meteoriiidi langemist nägid 500 meetri kauguselt rukkipoollul töötanud noorperemees Andres Pak ja pooleteramees Hans Matzi. Nad kuulsid meteoriiidi langemisega seonduvat müra: korduvat kõminat, trummilaadset mürinat ja sisinat. Täevas nähti musta jutti, mis oli jälgitav kuni maapinnani. Kivi maan- dumisel maapind vappus. Pealtnägijad ei julgenud algul tekkinud auku siiski lähemalt uurida. Nelja tunni pärast julgesid Andres ja tema uudishimulik õde auku lähemalt vaadata. Meteoriiit lebas augu põhjas, millest oli välja paisatud turvast, savi ja kive. Meteoriiit oli nii kõvasti maapinnas kinni, et alles kangiga õnnestus kivi august välja kangutada. Andres viis kivi parun Richard Victingshoffile, kes kinkis selle Tartu ülikoolile. Aukamäe põllule kukkunud kivi mass oli 10 741 grammi.

2. Kurla meteoriiit

Selle meteoriiidi langemist nägid vennad Johann (Juhan) ja Andreas (Andres) Steinbergid, kes töötasid sel hetkel põllul. Nad kuulsid samasugust lärmi nagu kuuldi Aukamäe meteoriiidi langemisel. Nad nägid, kuidas must ese rehe kivikatusele langes. Tares olnud inimesed kuulsid samuti müra ja ehmatuse tõttu jooksid talli sellesse osasse, kus nägid auku katuses ja suitsupilve sigala osas olevas laes, mis oli kaetud puukattega. Algul nad kartsid tulekahju, kuid siis rahunesid, arvates selle olevat külma välgu. Õhtul kuulsid nad Pilistvere taevakivist. Järgmisel päeval asus seda taevakivi otsima A. Mickwitz, kes selle sealaudast ka leidis. Meteoriiidi mass oli 3950 grammi.

Põllenikko

Siin nägi meteoriiidi kukkumist talunaine Marie (Mai) Ilves, kes seisis sel momendil elumaja ees. Ta kuulis eelpool kirjeldatud müra ja lärmi ning nägi musta eset õhust maapinnale kukkumas. Hoolimata hoolikast otsimisest meteoriiiti ei leitud.

3. Wahhe

Talunaine Katherine (Trina) Kipper tegi just heina, kui kuulis hirmsat müra. Hirrunult jooksis ta koju, kus ta kuulis teistelt taevakivide kukkumisest. Kolm päeva hiljem leidis ta selle põllul olevast august. 19. augustil viis ta selle pastor E. Mickwitzile. Viimane andis kivi A. Keyserlingile, kes andis selle Tartu ülikoolile. Seda leidu pole kogus pärast 1897. a registreeritud.

4. Takki

Talunaine Magdalena (Madli) Sein kuulis nagu äikese mürinat, siis nagu vingumist ja nägi musta eset matsuga langevat Takki majast lõuna pool asuvale kartulipoollule. Taevakivi ennast ei leitud.

5. Saviaugu

Seitse talupoega ja järelevaataja kuulsid kahte kumedit kahurilaskude laadset heli põhjast ja kolmandat loodest. Seejärel nägid nad suitsu- pilvega saadetud kahte kukkuvat eset. Leiti ainult üks pala, mida säilitatakse Eesti meteoriiidikogus Tartus.

Kokkuvõtteks võib öelda, et talumeeste sõnus väljenduvad ilmekalt meteoriiidi langemisele kaasnevad nähtused: "...esiti käis suur põmm, siis natuke vahet, siis jälle kolm või neli kaunis head mürtsu ja ühtlasi ikka nagu kiunumine ja vingumine".

Kabala kooliõpetaja oli sama mürinat kuulnud ja

pidanud seda kivilaskmiseks, sest Kabala mõisas oli juba mitu nädalat enne seda kive purustatud. Ta väljendas oma kuulmist järgmiselt: "Kui käis esimene põmm, mõtlesin, et kivilaskja on kahekordse laengu sisse pannud, aga siis tuli kolm pauku järsku üksteise järele ja ma panin imeks, et ta mõistis neid nii hästi seada. Aga siis tuli kui trummi hää! ja viimaks vingumine ja vurin nagu mesilastest, kes peret heidavad".

Pilistvere kivi meteoriid on tuntud enstatiitkondriidina EL6, kus 6 näitab petrooloogilist tüüpi ja L väikest nikkelraua sisaldust. Pilistvere meteoriidis valdavad pürokseeni rühma mineraalid: ortoensatiit, klinoensatiit ja diopsiid, neist on ortoensatiiti 50...60%. Selle mineraali terade suurus kõigub 0,1...0,6 mm. Klinoensatiidi terad on väiksemad, kuni 0,2 mm. Tunduvalt vähem esineb Pilistvere meteoriidis plagioklassi, mille terade suurus on keskmiselt 0,1 mm. Silikaatsetes mineraalides on täheldatud struktuuri muutusi. Metalliline faas on esindatud kamsiidiga, mille terade suurus on 0,1...0,2 mm ja väiksem. Sageli on kamsiidit assotsiatsioonid troilliidi ja šreibersiidiga, harvem grafiidiga. Troilliidi terade suurus on tavaliselt kuni 150 µm.

Selle rühma meteoriidide keemiline ja mineraalne koostis erineb tugevalt harilike kondriitide ja süsinikkondriitide omast, mis viitab nende erandlikele tekketingimustele. Kuna on teada ainult 24 selle rühma meteoriidit, siis on nende uurimisele pööratud suurt tähelepanu.

Pilistvere meteoriididest on Eesti meteoriidikogus Tartus hoiul: Pilistvere-Aukamäe - 10,3 kg; Kurla - 1019,4 g; Saviangu - 158,8 g. Teadmata on Wahhe meteoriidid saatus. Viimati on meteoriid registreeritud F. Loewinson-Lessingu kataloogis 1897. a.

Tännassilma meteoriid

Tännassilma meteoriidilangemisest sai G. v. Schilling teada 1872. aasta suvel, kui ta oli käimas Särevere ja Alakülas. See oli toimunud 16/28 juunil 1872. aastal Sikkensaare talu lähedal (58°44,2'N 25°31,9'E), umbes 51,2 km kaugusel

Pilistvere meteoriidilangemisest.

Sikkensaare taluperemehe jutustuse järgi oli meteoriid langenud enne jaanipäeva lõunaajal, mil ta oli umbes 300 meetri kaugusel langemisest. Kostus tugev kohin, mida kuulsid ka teised talupojad. Sellele järgnes kaks kahuripaukudele sarnast kargatust ja siis tume mütsatus, nagu oleks raske asi maha visatud. Inimesed vaatasid, kas pole äikesepilve, kuid kogu taevast oli ühtlase heleda pilvistusega kaetud. Teine talupoeg, kes ka mitte väga kaugel ei olnud, märkas Kärevere pool taevast väikest pilve, mis nagu suitsupilv taevast selgelt eraldus, kuid varsti kadus. Lähemal küsitlusel, kui kõrgel see pilv taevast oli, näitas ta kohta, mis asus horisondist umbes 48-50° kõrgemal. Keegi inimestest ei näinud meteoriidilangemas, aga kõik olid ühel meelel selles, et müra algas Kärevere poolt, s.o kagu pool, mille järgi võib arvata, et liikumine toimus kagust loodesse. Mõne päeva pärast nägi küsitluse talupoeg heinaniitmisel, et maapind oli ühest kohast nagu segi pööratud ja seal paiknes ka auk. See ärgitas inimesi sellel kohal kaevama ja nii kaevast nad maa seest välja musta kivi, mille kuju meenutas tõmpi keeglit. Kivi oli umbes kolme jala sügavusele maa sisse tunginud. Pealtnägijate jutu järgi oli kivi umbes ühe jala kõrgune ja peaaegu samasuguse läbimõõduga. Kuna inimestel edasine huvi kivi vastu puudus, siis asetasi nad selle langemiskoha lähedale põllukivile, kus see seisis mõnda aega tervena. Ringihulkunud mustlased kuulsid kivist, löid selle katki ja võtsid tükid kaasa.

Selleks, et seda meteoriidit teadusele lähemalt kirjeldada, oli vaja kindlaks teha, kas mitte mõnda tükki ei ole mustlaste lõhkumisest järele jäänud. Hoolika otsimise ja küsitluse tulemusena selgus, et mõned tükid leiduvadki Tännassilmast 10 versta kaugusel asuva kõrtsmiku käes, kes need mustlastelt ostis lootuses, et taevast kukkunud kivid võivad olla kaitsevahendiks loomade haiguste vastu. Algul tahtis kõrtsmik nende eest tasu, kuid hiljem andis kolm tükki G. v. Schillingule. Edasiste järelepärimiste tulemusena selgus, et üks tükk peab olema ka veel Sikkensaare peremehe valduses. Viimane eitas seda kaua, kuid selle kindel olemasolu tema käes oli ühest teatest teada. Mõne kuu pärast tunnistas ta mõisahärrale leiust ja loovutas tüki. Peale nende nelja tüki loovutati A. Schillingule kolm tükki lisaks ja tal õnnestus kogutud

tükkidest meteoriidi esialgne kiilukujuline kuju taastada ja ligilähedaselt määrata ka mass. See võis olla ligi 28,5 kilogrammi. Kuju oli võimalik hästi taastada seetõttu, et kolm kõige suuremat tükki üksteisega hästi sobisid. Tännassilma meteoriit oli kaetud mullakarva kuni musta õhukese sulamiskoorikuga. Tema pind oli kare, kohati kipras või korrapäratute mügaratega ja vaid ühes kohas täiesti tasane, sile ja läikiv. Meteoriidi valkjashallis peeneteralises põhimassis esinevad väikesed pruunikas-kollakad kuni kollakasrohelist oliviini kondrid ning leidub ka üksikuid mustjashalli kuni halli värvusega ümarjaid pürokseeni teri diameetriga 0,5...2,0

mm, mis annavad meteoriidile mandlikivi väljanägemise.

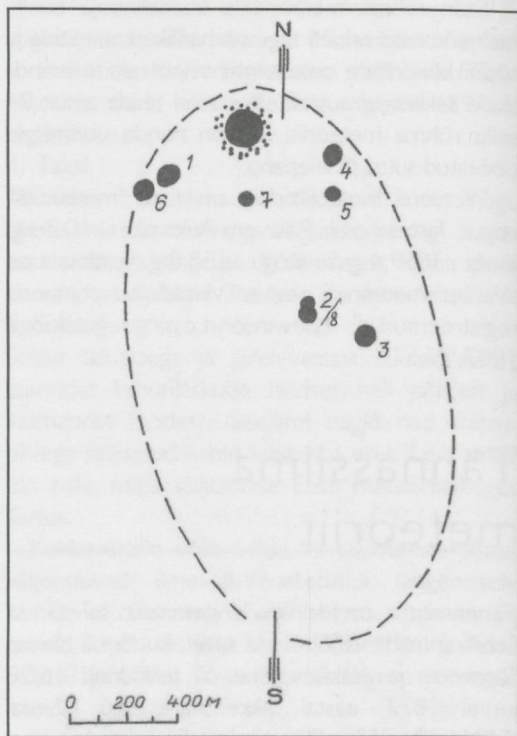
Tännassilma meteoriit on oliviin-pürokseenne kondriit (L4). Eesti meteoriidikogus olev 2747 g massiga meteoriidipala on eksponeeritud Tartu Ülikooli Geoloogiamuuseumis. 3,5 kg raskune pala asub Viini Rahvusmuuseumis, 3,7 kg-se massiga pala Tallinna Loodusmuuseumis, kilogrammise massiga pala Washingtoni Loodusajaloomuuseumis ja 456 g massiga pala Budapesti Loodusmuuseumis. Väiksemaid tükke on Briti Loodusmuuseumis ja mitmes erakogus.

Eesti meteoriidikraatrid

Kaali meteoriidikraatrid

Suure meteorokeha langemine Saaremaale jättis meile ainulaadse loodusmälestise - Kaali kraatritevälja (57°24'N 22°40'E), kus ruutkilomeetrisel alal paikneb 9 meteoriidikraatrit.

Esimesed teadaolevad kirjalikud andmed Kaali mõisa pargis asuvast ümarjast järvekesest on 1796. aastast, kuid kraatri esimese põhjalikuma kirjelduse andis arst ja innukas muistisuurija J. von Luce oma 1827. aastal ilmunud Saaremaa loodust ja ajalugu käsitlevas töös. Kirjeldades kraatri ümbruses ja nõos laialipaisatud paerahne, pidas ta endastmõistetavaks kraatri kujunemist "maa-aluse tule plahvatusel". Selles ei kahelnud ka 1837. a. E. Hofman, kes esimese geoloogina täpselt kirjeldas kraatri ehitust. Ta kirjutab, et Kaali kraater meenutab hämmastavalt Eifeli platool tuntud maare - vulkaanide plahvatuslehtreid ning kraatrinõlvadel kallutatud dolomiidikihid viitavad altpoolt üles suunatud plahvatusel. Olid ju sel ajal loodusteadlastele hästi



Meteoriidikraatrite asend Kaali meteoriidi hajumisalal.

tuntud vulkaanipursetel tekkinud kraatrinõod.

Plahvatusliku tekke seisukohta kordas oma töödes W.V. Qualen, eeldades vee, auru, gaasi ja muda äkilist purskumist Kaali kraatri piirkonnas. 1849. aasta töös andis ta ka Kaali kraatri esimese skemaatilise põhiplaani ja oletatava läbilõike. Gaasiplahvate hüpoteesi poole pöörduti veel hiljemgi. O. Linstowi 1919. a. töös antakse küllaltki põhjalik Kaali peakraatri ja esimest korda ka nelja väikekraatri kirjeldus ning esitatakse kraatri ümbruse skeem. Purset põhjustanud gaasiallikaks pidas ta Põhja-Eestis tuntud orgaanikarikast savikivimit - diktüoneemakilta, mis selles piirkonnas arvati lasuvat 200 m sügavuses.

Kaali kraatri purskelise tekke seisukoht ei rahuldanud aga Eesti aluspõhja geoloogilist ehitust uurinud geolooge. Nad otsisid Kaali kraatrite tekke seletamiseks teisi, eeskätt lubjakivide endi ehituses peituvaid põhjusi ja oletasid, et tegemist võib olla kas lubjakivide vahel oleva savi väljauhtumisega või lihtsalt lubjakivilõhedest tingitud karstilangatusega. Lähedane sellele oli ka soolatektoonika kontseptsioon. Et lubjakivide ja dolomiitidega võivad vahelduda ka kipsi- ja kivisoolalasadid, on üldtuntud tõsiasi. Need lahustuvad põhjavete toimel lubjakividest ja dolomiitidest võrratult paremini, seetõttu on koopad, lõhevööndid ja karstijärvedega langatuslehtid nende kivimite levikualadele väga omased. Seal kujunevad ka iseloomulikud kerkestruktuurid - soolakuplid. Ühe niisuguse soolakupli lae sissevarisemisel võiski kujuneda Kaali kraatrilise sarnane moodustus - kõrge vall väikese veesilma ümber. Soolatektoonikat Kaalis pidasid tõenäoliseks Eesti mäeameti juhataja

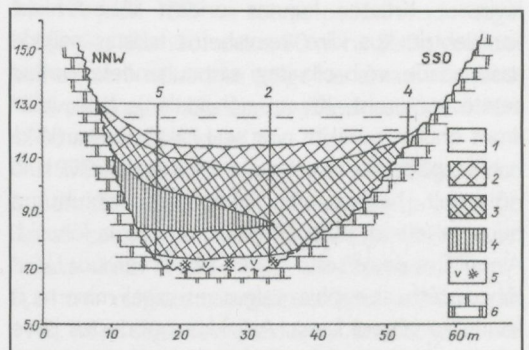
Juhan Kark ja Riia Polütehnilise Instituudi geoloogiaprofessor E. Kraus. See seisukoht ahvatles Eesti Vabariigi majandusmehi soolalademete avastamisele. 1927. a. sügisel saadetigi mäeinsener Ivan Reinwald Saaremaale seda selgitama. Juba oma esimese välitöö järel jõudis I. Reinwald seisukohale, et Kaalis kipsi- ja soolalademeid ei leidu, kuid jõudis kraatrite geoloogilise ehituse põhjal otsusele, et Kaali kraatrid tekkisid meteoriiidi kokkupõrkel maapinnaga. Teda toetasid selles idees hilisem akadeemik Artur Luha ja kraatreid 1927. aastal külastanud maailmakuulus laamtektoonika looja Alfred Wegener. Siinkohal ei saa märkimata jätta geoloogiast ja mineraloogiast huvitunud Tallinna kooliõpetajat Juhan Kalkun-Kaljuveed, kes avaldas

samasuguse seisukoha juba 1919. aastal esimesel Eesti õpetajate kongressil. Selgelt väljendas ta Kaali kraatri meteoriiitse tekke seisukoha oma üldgeoloogia õpikus koolidele 1922. aastal. Kaali kraatrite meteoriiitse tekke suutis I. Reinwald tõestada alles 1937. a., kui ta leidis kõrvalkraatritest nr. 2 ja 5 esimesed raudmeteoriiidi killud. Mikrokeemilise analüüsi järgi sisaldasid Kaali meteoriiiti 91% rauda, ligi 8% niklit ja vähesel määral veel koobaltit, vaske, germaaniumit ja iriidiumi. Kaali meteoriiiti on küllalt tavaline raudmeteoriiit - jämedastruktuuriline oktaedriit. Sellel on tüüpiline Widmanstätteni struktuur ja see sisaldab raudmeteoriiitidele omaiseid mineraale nagu šreibersiiti, kamsiiti ja taeniiti. Seetõttu on uurijate huvi Kaali meteoriiidi koostise vastu suhteliselt tagasihoidlik, kuid enam tähelepanu pälvis langemisprotsessi dünaamika ja kraatrite morfoloogia, praegu ka mikrometeoriiitide tüpologia.

Kaali ümbrus kujutab endast moreenset meretasandikku, kus savika põhimoreeni paksus on ligikaudu meeter. Selle all lamavad Ülem-Siluri Paadla lademe mikrokihilised dolomiidid.

Kaali meteoriiidkraatrid on kujunenud niisiis kahekihilise "märklauda" - nii savikasse põhimoreeni kui ka lamavatesse dolomiitidesse. Seetõttu on kraatrid täitunud omapärase materjaliga, mis on kujunenud plahvatusel purustatud dolomiidi mitmesuguse suurusega osade segunemisel põhimoreeni ja mullaga.

Meteoriiidilöögi vastu võtnud aluspõhi oli oma



Kaali järviku põhjasetete profiil L. Saarse (1991) järgi:

- 1 - vesi;
- 2 - üksikute puidujäänustega vähetihenenud savikas karbonaatne sapropeel;
- 3 - rohkete puidujäänustega tihenenud savikas karbonaatne sapropeel;
- 4 - madalsooturvas;
- 5 - samblavahekihtidega savikas karbonaatne sapropeel;
- 6 - purustatud dolomiit.

omadustelt üsna ühtlane, olles esindatud peamiselt savivaeste, suhteliselt kõvade dolomiidikihtidega, milles esineb palju poore ja tühikuid. Need andsid plahvatusese kaasnenud lööklaine ajal kivimile küllaltki suure elastsuse, vältides suuri purustusi isegi peakraatri vahetus läheduses, eriti kraatri-põhjust sügavamal. Selged löögideformatsioonid kajastuvad kivimite struktuuris üksnes kraatri sisenõlval, kus lööklainest põhjustatud surve aluspõhjakivimitele oli suurim ja lõhestunud plok-kide nihkumine horisontaalsuunas kõige soodsam. Mujal kraatri läheduses on jälgitav vaid kivim-plokkide suurem lõhestatus, mis plahvatus-keskmest eemaldudes läheb sujuvalt üle ümbrit-sevaks normaalväljaks.

Kaali meteoriidi langemisolustikku taastades tuleb meeles pidada, et Saaremaa polnud sellal kaugelki veel tänapäevaste piirjoontega. Läänemere veetaseme muutused koos maakoore suhtelise kerkimisega seal (umbes 2 mm aastas) on viimase 11 000 aasta jooksul kujundanud väikesest seljandikust Lääne-Saaremaa kõrgustiku kohal tänase Saaremaa. Sellest annab tunnistust vanade rannamoodustiste paiknemine eri kõrgustel.

Meteoriidi oletatava langemise ajaks oli suurem osa nüüdisaegselt Saaremaast juba üle merepinna, vaid madal Ida-Saaremaa ning teised rannalähe-dased alad olid veel merega kaetud. Kaali piirkond oli siiski sellal merele tunduvalt lähemal kui praegu, kujutades endast lauget rannikutasandikku. Pärast plahvatust kattis kraatrivälja kraatritest väljapaisatud kivirusu. Kraater kujutas endast lõhederikast karstlehitrit, kus kiire veevahetus takistas paljude aastasadade, võib-olla isegi aastatuhandete jooksul setete kuhjumist. Kraatri nõlvadele ja kaldavallile ilmus õhuke mullakiht ning seal hakkas kasvama ka rohi ja põõsastik. Peakraater oli algselt kuiv, kuid nõlvadelt hakkas sinna kanduma allauhutud mineraalseteid, mis hakkasid ummistama lõhesid. Aleuriitliiva peale settis õhuke kiht järvemuda, kuid lõhede tõttu aluspõhjas valgus vesi sageli minema ja kandis ka setteid kaasa. Ajapikku moodustus järve põhja turbakiht, mis kattus lepa- ja kasevõsaga ning maapinnale ladestus pikkamööda puulehtedest ja puidust kõdukiht. Niiskel Sub-Atlantilisel kliima-perioodil täitus nõgu veega ja kujunes järvik. See toimus umbes 2100...2500 a tagasi.

Kaali kraatrite tekkeaja probleemi on püütud korduvalt lahendada, kuid kahjuks pole ühesele

tulemusele jõutud. Esimesena püüdis Kaali kraatrite vanust määrata O. Linstow 1919. aastal, kes oli arvamusel, et need on tekkinud 4000...8000. a. tagasi toimunud maa-aluste gaaside purske tagajärjel. Ta luges kraatreid Joldiamere staadiumist nooremaks. Soolatektoonika seisukohast lähtudes luges E. Kraus 1928. aastal Kaali kraatrite vanuseks enam kui 12 000 aastat.

Lähtudes kraatrite geoloogilisest ehitusest ning tundes selle piirkonna geoloogilist arengulugu, võib kindlalt väita, et kraatrid ei saa olla vanemad Kaali piirkonna üle merepinna kerkimisest, sest nii kraatrites kui ka nende vallidel puuduvad mere-setted ning murrutuse jäljed. Seetõttu oletas I. Reinwald 1928. a kraatrite suurimaks vanuseks 5000. aastat, kuid tal olid Kaali piirkonna moodus-tumise kohta ebaõiged andmed. Lähedasele seisukohale kraatrite tekkeajas jõudis ka A. Aaloe 1959. aastal. Leidnud väikekraatrite täitematerjalist maismaatigude jäänuseid, arvas ta, et kraatrid on tekkinud üsna pea pärast Litoriaanimere Kaali ümbrusest taandumist - seega ligikaudu 4000...5000 a tagasi. Nüüdseks on selgunud, et see piirkond vabanes vee alt juba vähemalt 8000 aastat tagasi ja kui I. Reinwaldil ja A. Aaloele oleksid kasutada olnud praegused teadmised Läänemere arengu kohta, oleksid nad kraatrite suurimaks vanuseks pakkunud 8000 aastat.

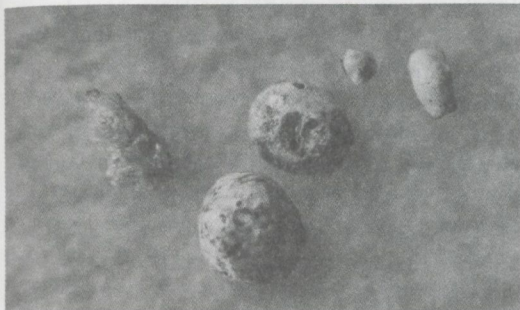
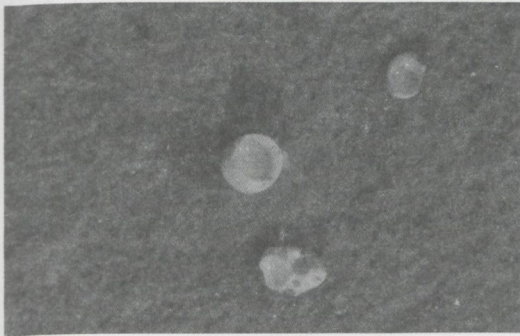
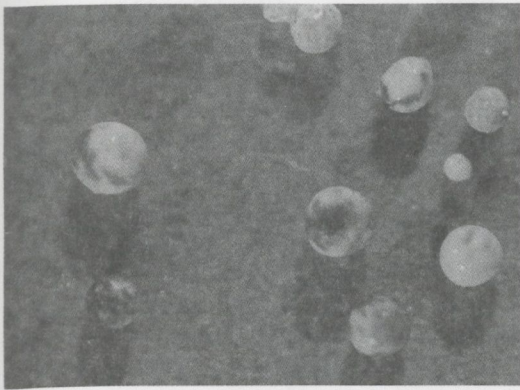
1961. a. leidis A. Aaloe kraatrist nr 2 ja 5 puu-sõejäänuseid, mille radiosüsiniku meetodil ana-lüüsimisel saadi nende väikekraatrite vanuseks 2800 ± 100 a. Kuid sõestunud puutükid kraatrites ei pea tingimata pärinema meteoriidi langemisajast, vaid võivad olla märksa hilisemad ja seotud inimtegevusega. Kuivõrd väikekraatrid on löögi-kraatrid, siis seal tulekahju ei saanudki tekkida.

1979. a õnnestus Kaali järviku puurimisel läbida orgaanilised setted enam-vähem kogu läbilõike ulatuses ja õietolmuanalüüsi andmete alusel määras Helgi Kessel alumiste setete vanuseks 2800...3700 aastat. Kaali järviku setete täiendav uurimine palünoloogia ja radiosüsiniku meetoditega Leili Saarse juhitud rühma poolt andis kraatri põhja-setete vanuseks ligikaudu 4000 aastat, mille alusel saab väita, et see arv on ka kraatrite minimaal-vanuseks.

Kaali peakraatri tekkimisel paiskus plahvatusel õhku rohkesti ülessulanud maist ainek, klaasjaid tektiidiiladseid mikroimpaktiite, mis langesid merre,

ümbruskonna soodesse ja järvedesse. 1995. aastal alustati Kaalist ligi 10 km loodes paikneva Piila raba turbakihtide uurimist, et leida mikroimpaktiite sisaldavat kihti. See leiti 3,10 m sügavusel, kust võetud turbaproovi vanuseks saadi 7500...7600 aastat. Järgnevatel aastatel võeti proove veel Saaremaa lääneosast Pitkasoost, loodes Pelisoost ja Kõivasoost Hiiumaal. Kõikidest leiti samavanuseline turbakiht silikaatsete kerakestega, mis lubas Anto Raukase juhitud rühmal oletada, et kraatrid on tekkinud 7500-7600 aastat tagasi.

2000. a avaldasid taani teadlased oma uuringu tulemused Piila soost 1,20 cm sügavusest turba-kihist võetud proovi kõrgendatud iriidiumisisalduse



Silikaatkerakesed Saaremaa soodest. G. Baranovi foto.

kohta. Selle kihi vanuseks määrati umbes 2400 a.. Taani teadlaste arvates võis meteoriiit langeda seega ajavahemikus 400...370 aastat eKr, seega umbes samal ajal, kui oletas A. Aaloe 1961. aastal. Samadele tulemustele tuli ka Siim Veski juhitud töögrupp, kes määras kraatrite vanuseks 2800 aastat.

Vaidlused Kaali meteoriidi langemisaja üle ei ole seega veel lõppenud. Uute meetodite kasutuselevõtt aitab seda lähemas tulevikus kindlasti veelgi täpsustada, kuid igal juhul on see toimunud ajal, mil Saaremaa oli juba inimeste poolt asustatud. Juhul, kui meteoriiit langes umbes 7500 aastat tagasi, siis sellest ajajärgust pärinevad Saaremaa vanima kiviaegse inimasustuse jäljed Mustjala kihelkonnas Võhma ja Pahapilli küla maadel. 1997. a läbiviidud arheoloogiliste kaevamiste tulemusel ilmnis, et seal on elatud juba ca 7800. a tagasi ehk 5800 eKr. Ligikaudu 7500 aasta vanusest mattunud turbast Reos leidis Reet Tiirmaa üksikuid mikroimpaktiite. Kõigi seni saadud tulemuste erapooletul analüüsil saab väita, et kraatrid tekkisid vähemalt 4000 aastat tagasi. Nooremast vanust välistavad arvukad radiosüsiniku dateeringud peakraatris.

Vaatlused näitavad, et Kaali järvik ja ümbruse kuni 20 m sügavused kaevud saavad vee Paadla lademe lähelistest dolomiitidest, kus vesi on vabapinnaline. See veelade toitub oma avamusalal maapinda imbuvatest sademetest, mistõttu kevadine lumesulamine ning sügiseseid kestvad vihmad tõstavad kiiresti järviku veetaset. Nii oli see näiteks 11.-17. juulil 1997. a suurte paduvihmade aegu, kui järviku läbimõõt ulatus 80 m-ni. Sellist veetaset polnud seni näinud ka kõige vanemad inimesed. Kaali peakraatri külastatavus tõusis neil päevil kuni 1000 inimeseni päevas!

1979. aastal koostati H. Kesseli poolt läbi viidud puurimiste alusel Kaali põhjasetete profiil, mis jaotub setete iseloomu, koostise ja tekke alusel neljaks kihiks. Need on ülalt alla järgmised:

0...4 m - rohkete taimejäänustega järvemuda, mis 1,4...1,6 m sügavusel sisaldab subfossiilsete limuste kodasid, ülemises osas on järvemuda tihenemata ja püsib liikuva hõljumina;

4...4,5 m - puu- ja lehtsamblaturvas;

4,5...5,5 m - aleuriitne järvemuda, milles võrreldes lasuva järvemudaga on taimejäänuseid vähem;

5,5...5,8 m - väga väikese huumusesisaldusega aleuriitliiv.



Kaali peakraater. R. Tiirmaa foto.

Kaali peakraater on põhiplaani peaaegu ümmargune, tema läbimõõt valli harjalt on 105...110 m. Kraatri keskmine sügavus valli harjalt kuni järviku põhjas oleva mudakihini on 16 m, järvesette maksimaalne paksus 5,8 m. Seega oli kraatri algsügavus vähemalt 22 m.

Kraatrit ümbritseva valli ebaühtlane kõrgus on osaliselt seletatav inimtegevusega, kuid põhiliselt vastab siiski plahvatusel kujunenud vormile. Valli ülemine osa koosneb kraatrist plahvatusel väljapaisatud materjalist ja 25...90° nurga all kergitatud dolomiidikihtidest, mis kohati on isegi ülekallutatud asendis.

Ülestõstetud kihikompleksi paksus on keskmiselt 10 m ning see on lõhestatud üheksaks eraldi nihkunud kuni 50 m laiuseks plokiks. Aastatuhandete kestel on nende plokkide pinnad sööbinud konarlikuks. Dolomiidiplokkide all esineb kuni 6 m paksuse läätseplahtidel pulbristunud dolomiiti - valkjashalli dolomiidijahu, mis sisaldab suuremaid või väiksemaid dolomiiditükke.

Kraatri põhjas lasub kõikjal tugevasti purustatud



Plahvatusel ülespaisatud dolomiidikihid peakraatri vallis. R. Tiirmaa foto.

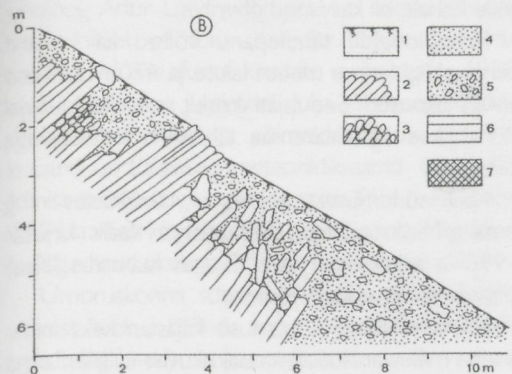
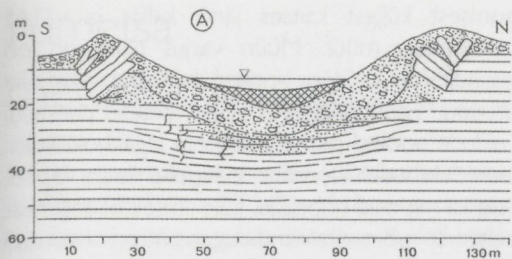
ja ümberpaigutatud 8...10 m paksune nn dolomiitbretša kiht. Geofüüsikaliste meetoditega on kindlaks tehtud, et esialgsesse lasuvusse jäänud dolomiidikihid on kraatri piires kuni 40...50 m sügavuseni tugevasti lõhestunud. Purustatud kivimite võõndi kontuur maapinnal ületab rohkem kui kahekordselt nähtava kraatri mõõtmed.

Et peakraater tekkis just kõvadesse dolomiitidesse, säilitas see läbi aastatuhandete oma põhikuju ja vormi ning ei inimkäsi ega looduslikud tegurid pole seda märkimisväärselt suutnud rikkuda. See on Kaali peakraatri üks tähelepanuväärsemaid omadusi, mis teeb selle teiste samasuguste, kuid enamasti pehmemas pinnases kujunenud vormide seas ainulaadseks.

Kaali peakraater on tüüpiline plahvatuskraater. Suure meteoriidikeha pörkumisel vastu kõvu kivimeid toimus võimas plahvatus, ülekuumenenud kosmiline aine pihustus silmapilkselt ja hajus tõusvas tolmusambas. Seetõttu ei säilinud peakraatri piires ka suuremaid meteoriidikihte. Kõik Kaalist leitud meteoriidikihtid on seotud väiksemate kõrvalkraatritega, kus kokkupörkel maapinnaga toimus meteoriidi mehhaaniline killustumine.

Peakraatrist 300 m edelas asetseb keset harivat põllumaad väikekraater nr 1. Seda ümbritseb korrapärane puudesalu, mis juba eemalt tähelepanu äratav. Väikekraatritest on see suurim: läbimõõt 39 m, sügavus 4 m. Vall on vaevumärgatav ja varjatud aegade jooksul põldudelt koristatud ja kraatrisse kuhjatud suurte rändkividega.

Kraatrid 2 ja 8 moodustavad omapärase kaksiku - need on kahe iseseisva meteoriidikeha löögijäljed, mis paiknevad sedavõrd lähestikku, et



Geoloogiline läbilõige peakraatrist A. Aaloe (1963) järgi:

A - ülehitus; B - purustatud ja deformeeritud dolomiidiplokid valli siseküljel;

1 - huumus;

2 - ülespaisatud dolomiit; 3 - purustatud dolomiit;

4 - dolomiidijahu; 5 - täitematerjal;

6 - dolomiit; 7 - järvemuda.

moodustavad ühtse, veidi keerukama lohk-vormi. See asub peakraatrist 850 m lõunakagus. Juba I. Reinwald käsitas seda kraatrit (tema järgi nr 2) kahe meteoriiditüki lähestikusel lange-misel kujunenud liitvormina. Alates 1975. aastast hakkas A. Aaloe seal eristama eraldi põhjapoolset osa, tähistades selle numbriga 2 ja lõunapoolset osa numbriga 8. Kraatri 2 läbimõõt on 27 m ja sügavus 2 m, kraater nr 8 - vastavalt 36 m ja 3,5 m. Esimesed kaevamised tegi seal I. Reinwald 1927. aastal, kuid alles 1937. a. leidis ta sealt esimesed 28 meteoriidikildu kogumassiga 102, 4 g. Struktuuri ümbritsev ringvall on reljeefis vaevumärgatav.

Kaksikkraatrist 250 m ida pool paikneb looduslikult kõige paremini säilinud kraater nr 3. Kraatri laugel põhjal ei kasva puid ega võsa, ainult pervel kasvab sarapuupõõsaid. Kraatri läbimõõt on 33 ja sügavus 3,5 m. Kevaditi koguneb kraatri põhja vesi, kuid suveks see kaob. Detailse magnetomeetrilise mõõdistamisega on selgunud, et kraatris ja sellest väljaspool esinevad kohati nõrgad lokaalsed

anomaaliad. Sellest võis järeldada, et kraatris suuri meteorittraua masse ei leidu. Kontrollimisel ühe sellise mikroanomaalia piirkonnas koguti 2 m² suuruse läbilõikega šurfi 201 g meteoriidikilde läbimõõduga 1...5 mm, kujuures kildude põhimass asetses 0,5...1 m sügavusel.

Kaali järvikust 300 m idas, Kaalist Kõljalassee viiva tee ääres asub kraater nr 4, mille esialgne ilme on korduvate kaevetööde ja hilisema rändrahnude kokkulükkamise tõttu tugevasti moonutatud. I. Reinwaldi kirjelduse andmetel oli kraater kausjas ja ovaalse põhiplaani-ga. Selle läbimõõt oli 14...20 m. Kraatri lääneservas asetses põhi 1,25, idaservas 0,5 m sügavusel. Kraatri põhjas avastas ta deformeerunud aluspõhjakihitides lehtritaolise löögijälje. Lehtritaoline süvend oli kolmnurga kujuline ja ümardunud nurkadega. Meteoriiidi löögijälj on hilisemate kaevete toimel laienenud ja tasandunud. Meteoriidikildude leviku uurimisel on selgunud, et suurim kildude kontsentratsioon esineb vahetult kraatri tõelisel põhjal 3...4 m kaugusel meteoriiidi löögijäljest.

Kraater nr 5 asub kraater nr 4-st 170 m lõuna pool ja on tänaseks kaevetööde tõttu tublisti moonutatud. 1937. a kaevamistel I. Reinwaldi kogutud andmete põhjal oli 0,9 m sügavune kraater algselt lameda kausitaolise kujuga. Kraatri piirjoon oli ebakorrapärane ja ellipsilähedane, selle pikim, enam-vähem põhja-lõunasuunaline telg oli 13 m, lühem 11,5 m. Kohati võis jälgida katkendlikku 1,2 m laiust ja 0,35 m kõrgust ringvalli, pigem küll selle katkeid kraatri pervel.

Kraatri põhjalikke uurimistöid alustati A. Aaloe juhtimisel 1955. a. Kaevamisel avati esmakordselt kogu kraatri põhi. Selgus, et kraater oli tekkinud 1,2 m paksuses põhimoreenis ja selle all lamavates paksukihilistes dolomiitides, millesse see ulatub 1,5...1,6 m sügavuseni. Seega on kraatri tegelik sügavus 2,7...2,8 m, kui aga sellele lisame ka põhjas asuva meteoriiidi löögijälje, siis saame sügavuseks koguni 2,9...3,0 m. Aluspõhja ulatuva kraatriosa serv on astmeline, seal võib eristada kolme suuremat astet, mis kohati jagunevad omakorda väiksemateks astmeteks. Kraatri põhjas lainja dolomiidikihi pealispinnal esinev poolsõõrjas lehtrikujuline löögijälj paikneb ekstsentriliselt kraatri läänepoolses osas. Lohu läbimõõt on põhja-lõuna suunas 60 cm, ida-lääne suunas 52 cm, sügavus 22 cm. Kraater on tekkinud väikese mattunud aluspõhjalise 2 m

kõrguse astangu piirkonnas. Astang kulgeb idast läände ja läbib kraatrit 1...1,5 m meteoriidil löögijäljest lõuna pool. Kaevetöödel on kogutud 717 grammi meteoriidikilde. Sealt on leitud ka seni suurim Kaali meteoriidikild, mille mass oli roostekihist puhastamata kujul 38,4 g.

Kraater nr 6 avastati Masa-Putla maantee servas juba 1927. a, kuid oletati, et tegemist on vana kruusaaguga. Ka suhteliselt väikese sügavuse tõttu hoiduti seda kraatrite hulka lugemast. 1963. a tehtud proovikaevamistel koguti sealt 150 g meteoriidikilde. Kraatri kuju on moonunud nii tee-ehituse kui ka kaevetööde tõttu.

Kraatri nr 7 avastas A. Aaloe 1965. aastal, kui ta märkas endise Kaali mõisa lauda varemete lähedal korrapäratu rööpküliliku kujulist lohku. Vanemad inimesed teadsid rääkida, et seal oli olnud mõisa virtsahoidla. Tähelepanu äratas lohu keskel olev suur kausikujuline, mõneti kraatrit meenutav süvend. Kontrollkaevamisel koguti hulgaliselt meteoriidikilde ning õpiti tundma kraatri geoloogilist ehitust. Hilisemate magnetomeetriste mõõdistamiste käigus täheldati üksikuid mikroanomaaliaid, mis aga võisid olla seotud inimtegevusel pinnasesse sattunud tehismetalliga. Ühte sellist kontrolliti kaevetöödega ja sealt leiti 40 cm läbimõõduga okastraadipundar. Elumajade lähedus on kahtlemata selle kraatri uurimist pidurdav tegur - olmeprahi sattumine sinna välistab detailsed geofüüsikalised uuringud. Kraatri välisilme on geoloogiliste kaevetööde tõttu tugevasti moonutatud.

Just Kaali väikeste kõrvalkraatrite uurimine on andnud meteoriidisaju kohta olulist lisainformatsiooni, mida polnud võimalik hankida peakraatrist, kus meteoriidil langemisel toimunud plahvatusel hävisid paljud meteoriidiga seotud detailid. Kuid samal ajal on tekkinud oht - kõrvalkraatrid on märksa kergemini inimtegevusega haavatavad ja paljud neist on juba kaotanud oma algse ilme. Vallide tasandamine põlluharimistöödel, põldudelt korjatud kivide kuhjamine kraatritesse ja ka geoloogide ulatuslikud kaevamised on jätnud märgatavaid jälgi kraatrite morfoloogiasse. Seetõttu peatati 1981. a Eesti TA Meteoriiitika Komisjoni otsusega kõrvalkraatrites nr 1 ja 3 edasised uurimistööd kaevamismeetodil.

Esimesed arheoloogilised leiud Kaali peakraatri idavallilt pärinevad 1976. aastast. 1978. aastal alustati Kaalis avastatud linnuse kaevamist. See asub kraatrivalli välisõlva kirdeosas, kus seda järve-

poolsest küljest kaitses järsk kallas ja väljast poolsõõrjas müür. Müüri varjus paiknesid eri tasanditel terrassidena hooned, mille põrandad olid sillutatud paeplaatidega ja seinu toetasid paekivid. Leidude poolest jäid linnuse kihid tagasihoidlikuks. Savinõukildude vanuseks loeti pronksiaja lõppu. Leiti ka mitmeid hõbeasju, kuid ilmselt oli tegemist peitvara või ohvriandidega, mis ohverdati tõenäoliselt ajal, kui linnus oli juba maha jäetud ja selle kohale oli kasvanud ohvrihiis.

Arheoloogide tähelepanu köitsid ka kraatrit piiranud ligi kolme meetri laiuse ja 470 m pikkuse kiviaia jäänused. See rajati ilmselt varajasel rauaajal Püha järve kui Saaremaa tähtsaima kultusepaiga kaitseks.

Kaali sündmusest ajaloos ja rahvaluules ning oma arheoloogilistest kaevamistest Kaalis kirjutas 1996. a arheoloog Vello Lõugas raamatus "Kaali kraatriväljal Phaetonit otsimas".

Võimalusi Kaali sündmuse kajastamiseks inimkonna mälus analüüsib kaasakiskuvalt L. Meri oma raamatutes "Hõbevalge" (1976) ja "Hõbevalgem" (1983). Ta sõlmib huvitavaks tervikuks nii varasemad kui ka oma mõttearendused ja igal Kaali külastajal oleks kasulik neid raamatuid lugeda.

Seoses Kaali meteoriidikraatrite intensiivse uurimisega ning arvestades nende teaduslikku tähtsust, on pidevalt tähelepanu all olnud ka Kaali kraatrite kaitse. 1959. a. loodi Eesti NSV Ministrite Nõukogu määrusega nr. 119 Kaali riiklik geoloogiline kaitseala. 1978. a. laiendati Kaali maastikulist kaitseala 50 hektarini. Kaali meteoriidikraatrid on tuntud meeldejäáva turismiobjektina. Vaevalt on ükski Saaremaale suunduvatest arvukatest ekskursionidest jätnud tutvumata selle vana maalilise pargi rüppe peitunud järvekesega. Suviti pole haruldased sellised päevad, mil Kaali peakraatrit külastab 15...20 matkagrupperi ja ekskursionid.

Üheks suuremaks eelseisvaks ülesandeks tuleb lugeda Kaali meteoriiitkamuseumi loomist, mis ulatuslikumalt kui praegune väike paviljon pakuks asjaomast informatsiooni. See muuseum võiks anda ülevaate Kaali meteoriidikraatrite uurijate I. Reinwaldi ja A. Aaloe tööst ja saavutustest, selle kaudu võiks toimuda kraatrite edasine uurimine ja kaitsemeetmete korraldamine ning suunamine, sellele on võimalik anda ka laiem loodusteaduslik funktsioon.

Ilumetsa meteoriidkraatrid

Esmakordselt märgati sügavaid kraatriladseid lohke Ilumetsas (57°57'N 27°24'E) 1938. a geoloogilise kaardistamise käigus tollase üliõpilase Rudolf Halliku poolt. Samal aastal alustati nende teaduslikku uurimist geoloog Artur Luha juhtimisel, kes oletas lohude meteoriietset päritolu. Kahjuks tööd sõja tõttu katkesid. Uuesti alustati kraatrite uurimist alles 1956. aastal Ago Aaloe juhtimisel. Juba esimesed välitööd olid tulemusrikkad ja võimaldasid tuvastada, et kraatrid on tüüpilised meteoriidkraatrid. Eesti NSV Ministrite Nõukogu määrusega nr. 56 4. veebruarist 1964. a võeti kõige põhjalikumalt uuritud Põrguhaud ja Sügavhaud üksikobjektidena riikliku kaitse alla.

Ümbruskonna soistes metsades on veel mitu väikest lohku. Mõnda neist (Kuradihaud, Tondihaud, Inglihaud) on uuritud, kuid nende meteoriietne päritolu pole veel selge. Praeguseks on need lohud maastikul raskesti leitavad sookuivenduse ja metsaraide tõttu.

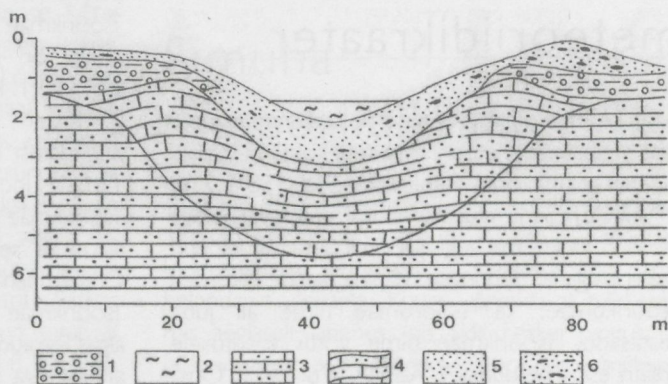
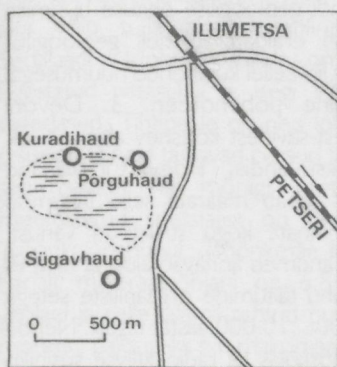
Ilumetsa ümbruse aluspõhja moodustavad Kesk-Devoni Burtneki lademe punakad või valkjaskollased nõrgalt tsementeerunud liivakivid. Neid katab tavaliselt 1...2 m paksune pruuni liivsavika põhimoreeni kiht, millel omakorda lasub paiguti kuni mõne meetri paksuselt turvast, kohati ka liiva. Reljeef on veidi lainjas. Mõne kilomeetri kaugusel esineb väheldasi mõhnastikke. Silmatorkavamaid pinnavorme on kraatritest lõuna poole jääv maapinda lõikuv Rebasemäe oja org oma allikatega.



Ilumetsa Põrguhaud. R. Tiirmaa foto.

Ilumetsa kraatrid ulatuvad läbi pinnakatte aluspõhja.

Suurim kraatritest on Põrguhaud. Kraatri läbimõõt valli harjalt on kuni 80 m, sügavus 12,5 m. Kraatri põhja katab keskosas kuni 2,5 m paksune turbakiht. Ümbritseva valli kõrgus ulatub meetrist kuni 4,5 meetrini. Põrguhaia piires on Devoni liivakivid plahvatuslaine poolt pihustatud lahtiseks liivaks. Kraatri külgmises osas on aluspõhja- ja pinnakattekihid järsult üles painutatud ja moodustavad kurru, mis omakorda on läbitud lõhedest ja väikestest murrangutest. Sageli on need lõhed täitunud põhimoreeniga. Ka põhimoreenis on tihti liivaga täitunud lõhesid. Kraatrivalli koostisse kuulub peale ülespainutatud kihtide ka neil lasuv kraatrist plahvatuslaine poolt väljapaisatud liiva ja põhimoreeni segu. Sageli on see väga peenelt läätiseliselt põimunud, moodustades omapärase tekstuuri. Kohati leidub vallis ka Devoni liivakivi lõhestunud ja pudedaks muutunud tükke. Samasugusest, kuid väiksema põhimoreeni sisaldusega liivast koosneb ka kraatri põhi. Seal moodustab kuni 8 m



Ilumetsa meteoriidkraatrite asend ja Põrguhaia geoloogiline läbilõige A. Aaloe (1979) järgi:

1 - põhimoreen; 2 - turvas; 3 - Devoni liivakivi; 4 - dislotseeritud Devoni liivakivi; 5 - liiv; 6 - põhimoreeniga segunenud liiv.

paksuse lasundi plahvatusel kraatrist väljapaisatud ja tagasilangenud liiv, osalt ka hiljem vallit ja kraatri nõlvadelt varisenud materjal. Sügavamal lamavad kuni 20 m sügavuseni purustatud Devoni liivakivid.

Kujult samalaadne on ka Sügavhaud, mille läbimõõt valli harjalt on keskmiselt 50 m ja sügavus 4,5 m. Vall on kraatri lääneperval vaevumärgatav, kuid idas tõuseb 1,5 m kõrguseni. Kraatri geoloogiline ehitus on lähedane Põrguhauale.

Kuradihaua, mis asub siirdesoo serval, umbes 400 m Põrguhauast läänes, on raske leida. Selle läbimõõt on keskmiselt 24 m. See on vaevalt meetri sügavune ja selle ümber on tugevasti tasandunud vaevumärgatava valli katkendid. Kuradihauast lääne- edelas olev Tondihaud on 20 m laiune ja kuni 1,5 m sügavune täielikult turbaga täitunud lohk.

Nagu kõikide meteoriidikraatrite, nii ka Ilumetsa puhul on vajalik selgitada kraatrite tekkeae. Seda on tehtud mitmeid kordi erinevate autorite poolt. A. Aaloe pakkus 60-ndate aastate algul H. Kesseli tehtud palünoloogilise analüüsi alusel nende vanuseks vähemalt 2000 aastat. 1970. a. algul määrati Põrguhaua vanus radiosüsiniku ja palünoloogilise meetodi abil. Kompleksmäärangud andsid küllalt ühese tulemuse: organogeensed setted Põrguhauas hakkasid ladestuma Kesk-Holotseeni keskel ligikaudu 6000 aastat tagasi atlantilisel kliimastaadiumil. 1995. aastal hakati akadeemik Anto Raukase juhtimisel otsima Meenikunno raba setetest mikroimpaktiite. Need leiti 6600 aasta vanusest kihist, see on ka tõenäoline kraatrite vanus.

Tsõõrikmäe meteoriidikraater

Eesti TA Meteoritika Komisjonile laekunud teadete seas oletatavate meteoriidikraatrite kohta jäi sõelale huvitav pinnavorm Räpina lähedal (58°9,2'N; 27°27,8'E). Seda madalal künkal paiknevat veega täitunud lohku, mis aeg-ajalt on kasutamist leidnud linaleopaigana, tunnevad Räpina kandi inimesed Tsõõrikmäe, ka Tsõõrumäe nime all juba aastasadu. Tsõõrikmäe nime võttis kasutusele kraatri esimene uurija A. Aaloe 1976. aastal. Oma uuringute põhjal täheldas ta Tsõõrikmäe struktuuri suurt sarnasust Ilumetsa kraatritega. Ta pidas

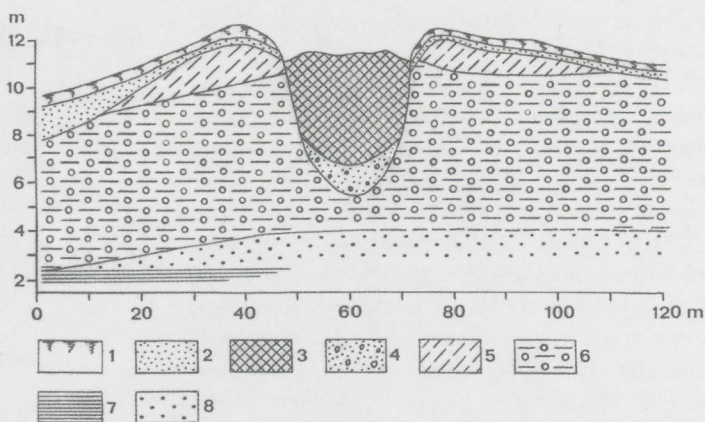
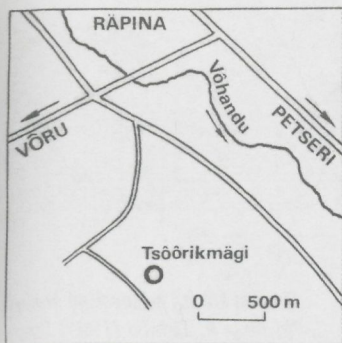


Tsõõrikmäe kraater. R. Tiirmaa foto.

Tsõõrikmäe meteoriitset päritolu väga tõenäoliseks, arvestades ka võimalust, et Tsõõrikmägi ja 15 km lõuna pool paiknevad Ilumetsa kraatrid on ehk tekkinud koguni üheaegselt.

1981. a jätkati selle huvitava struktuuri uurimist geoloog Enn Pirruse juhtimisel. Uurimistööde käigus looditi ja plaanistati struktuur ning selle lähikond, puuriti läbi kraatri põhja turbalasund, tehti sellest vanusemäärangud, kaevati varasema uurimiskraavi pikendusel läbi kraavivall, koguti ja analüüsiti kivimaterjali ning tehti geoloogilisi vaatlusi ümbruskonnas.

Tsõõrikmäe ringstruktuur on vaevumärgatav kõrgendik tiheda tamme-pihlaka-vaarika alusrindega männikus. Tsõõrikmäe keskel paikneb järsunõlvaline ümar lohk, mida ümbritseb korrapärase ringina pidev vall, mille kõrgus veepinna suhtes on enamasti vaid 1,0...1,2 m, ulatudes ainult lõuna pool 1,4 meetrini. Lohu idaküljel on vall kuivenduskraavi kaevamisega hävitatud. Ringvalli läbimõõt on 38...40 m, selle hari on lai, enamasti 5...10 m ja väljapoole aeglaselt madalduv. Tsõõrikmäe süvendi geoloogilise ehituse uurimise põhjal on selgesti eraldatavad neli geoloogilist setendit: 1. Kattev liiv sellel kujunenud huumusega. 2. Pruun tüüpiline põhimoreen. 3. Devoni pudedatest liivadest-savidest koosnev aluspõhi. 4. Turbalasund lohksüvendis. Pidev turbalasund Tsõõrikmäe lohkus lubab määrata selle täitumise algust ja seega hinnata kogu struktuuri vanust. Öietolmuanalüüsi andmed annavad alust arvata, et Tsõõrikmäe sulglohu täitumine orgaaniliste setega algas ligikaudu 9000...10 000 aastat tagasi. Nende andmetega on kooskõlas ka radioaktiivse süsiniku dateeringud, mis andsid 3,40...3,50 m sügavusel vanuse 8390 ± 120 aastat ja süvendi põhjas



Tsõõrikmäe meteoriidikraatri asend ja geoloogiline ehitus R. Tiirmaa (1996) järgi:

1 - muld; 2 - liiv; 3 - turvas; 4 - savi-liivasegune aleuroliit, oletatav varinguline süvenditääde; 5 - moreeniga sarnanev vallipuuistang; 6 - moreen; 7 - Devoni kirju aluspõhjasavi; 8 - Devoni liivakivi.

9320±100 aastat. Arvestades, et süvendi mineraalse täitumise aeg enne orgaanikarikka järvemuda ladestumist oli tõenäoliselt lühike, võib Tsõõrikmäe tekitanud protsessi kõige tõenäolisemaks vanuseks arvata 9300...9500 aastat.

Tsõõrikmäe süvendilohu vanuse ühtelangemine eri meetodite järgi annab olulise pidepunkti struktuuri tekke kohta. Esiteks langeb täiesti ära inimteke. Teiseks ei saanud Tsõõrikmäe kraater kujuneda üheaegselt Ilumetsa kraatritega.

Asukoht üksikvormina laugel moreenitasandikul, kogu struktuuri kuju, eriti ringvall ise, tehtud massidearvutused, mõned kivimaterjali näitajad, struktuuri tehnogeenset tekkeviisi välistav vanus - see kõik viitab looduslikule plahvatuslikule vormile. Siinsetes geoloogilistes tingimustes jäävad kõrvale nii vulkaaniline protsess kui ka gaasipurse. Siiski pole õige kõrvale jätta konkureerivaid hüpoteese. Kõne alla võib tulla glatsiokarstiline langatusvorm. Sedalaadi sulglohud - sõllid - on eriti Lõuna-Eesti liigestatud maastikul ja isegi Vooremaal küllaltki sagedased. Tihti peale on neis lohkudes arenenud pisisood ja neid täidavad paksud turbalasadundid. Mis seal salata, nii mõnigi meteoriidiskeptiliselt meelestatud spetsialist on vihjanud sõllile ka Tsõõrikmäe puhul. Tsõõrikmäe lohu sügavus valli harjalt mineraalpõhjani on 6,5 meetrit. Samas vallilael ja selle jalamil tehtud puuraugud annavad moreeni paksuseks siin maksimaalselt 4,8...5,5 m, selle all on juba Devoni aluspõhi. Kuidas sel juhul seletada augu kujunemist moreeni jääpanga sulamisnähtusena? Glatsiokarstiline sulglohk eeldaks

tunduvalt paksemad Kvaternaari setteid. Ka paiknevad termokarstilohud enamasti hulganisti koos.

Kui nüüd võrrelda Tsõõrikmäe kraatrit Ilumetsa meteoriidikraatritega, siis detailsed loodimisplaanid toovad esile nende suure sarnasuse.

Tsõõrikmäe on võetud kaitstavate loodusobjektide nimistusse. Seni on seda kaitsnud vähetuntus ja raske leitavus maastikul. Siin tuleb hoiduda igasugustest kaeve- ja kuivendustöödest. Inimene on juba niigi siia jälgi jätnud: idapiiril on kuivenduskraav oma puistanguvulliga ja nelinurkne kaevand, kust on ammutatud ehituspinnast.

Kraatrisüvendi looduslikku ilmet on muutnud ka kunagine linaleotamine. Üldiselt on Tsõõrikmäe looduslik ilme siiski üsna hästi säilinud.

Simuna meteoriidikraater

1. juunil 1937. a olid need Kirde-Eesti elanikud, kes juhtusid hämarikus veel õues viibima, omapärase loodusnähtuse tunnustajateks. Idataevas võis näha helendavat, peaaegu Kuuga võrreldavat tulekera, mis aeglaselt lähenes, siis äkki justkui peatus ja hõbevalgeks suitsupilveks moodus, millega kaasnes pikse moodi mürin. Pilvest eraldusid silmapiirini ulatuvad mustjad suitsuribad, mis pikkamisi haihtusid, jäädes siiski umbes poole tunni

kestel nähtavaks. Pilveke ise püsis taevas kaks tundi. Viru bolliidi - nimetagem seda niimoodi - hele lend oli jälgitav mitu minutit väga suurel maa-alal Ida-Eestis. Vaatlejad E. Vendelin Tartust ja P. Block Petseris määrasid selle asukoha taevavõlvil üsna täpselt. Nii et Viru bolliidi liikumistee põhi-paraameetrid on teada.

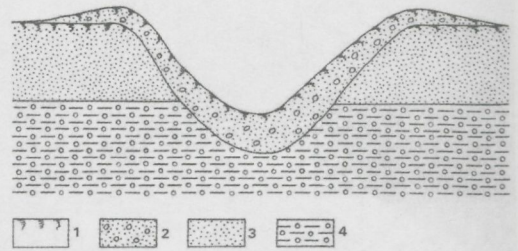
Tartu Ülikooli Tähetorni noor astronoom, hilisem akadeemik Aksel Kipper sõitis kuuldu põhjal asja kohapeale selgitama. Liikudes ringi bussiga, juhuautodel ja jalgsi, küsitles ta elanikkonda, leidis pealtnägijaid ja võttis neilt seletusi. Sündmuse kirjeldused seostas A. Kipper maapealsete objektidega ja koondas ühtsesse asimuutaalsüsteemi. Haaravalt on ta jutustanud sellest oma artiklites "Eesti Loodus" 1937. a neljandas numbris ja tähetorni 1938. aasta kalendris.

Nende kirjapanekute põhjal teame, et meteoroorkeha sisenes Maa atmosfääri Suure Vankri ja Ilvese tähtkuju piirilt, täpsemalt määramata kiirusega maapinna suhtes umbes 60° nurga all, liikudes idakirdest edelaläände asimuudiga 259°. Jõudnud tihedatesse õhukihtidesse, plahvatas see umbes 28 km kõrgusel Viru-Roela asulast veidi ida pool, muutudes õhtupäikese kiirte poolt valgustatud pilvekeseks.

Kuna plahvatus toimus kõrgel, võisid killud maapinnal hajuda väga suurele territooriumile. Võimalus nii väikest eset leida oli juba siis imepisi. Et tookord ka ajalehes avaldatud üleskutse jäi suurema vastukajata, otsustati otsingud lõpetada. Näis, et Viru bolliid muutub ajalooks, jätmata maapinnal kindlakstehtud jälge.

Ja ometi oli aastakümneid hiljem põhjust uurimist taas alustada. 1984. aasta sügisel saabus TA Meteoriiitika Komisjonile kiri, milles koduloouuriija Heino Ross kutsus Simuna lähedale Orguse külla oma kunagisse kodupaika vaatama üht omapärast süvendit, mis tema arvates võis olla kraater (59°2,3'N; 26°22,7'E). Et Simuna ümbrus on rikas karstivormidest, mis jätavad maapinnale just koonilisi lohkusid, tekitas see teade umbusku. Siiski, nagu ikka, tuli asja kohapeal kontrollida. Karstispetsialist Ü. Heinsalu kinnitas, et see pole karstilehter. Sama kinnitasid ka 1986. aastal tehtud kaevetööd. Lehtri geoloogiline eripära ei jätnud kahtluse kübetki, et tegemist on plahvatusel jälgiga.

Lehtri läbimõõt on valliharjalt 8,5 m, sügavus 1,9 m. Vall süvendi ümber on vaevumärgatav ja



Simuna kraatri geoloogiline ehitus
E. Pirruse ja R. Tiirmaa (1991) järgi:

1 - humus; 2 - täitematerjal; 3 - liiv; 4 - moreen.

madal (20...25 cm), kuid selgelt ringikujuline ning pidev. Selle alt ilmus kõikjal nähtavale alles lõplikult lagunemata mullakiht, millele süvendist pärit materjal on ladestunud. Et lehter tekkis selgelt kahekihilisse pinnasesse, peal 1,1 m pudedat liiva, all kivirikas savikas moreen, siis on materjali jaotuspilt vallis igati loomulik: mattunud mullakihi peal leavad suuremad kivid ja veerised, valli ülaosa moodustab peen liiv. Niisugune jaotus on plahvatusel tüüpiline. Et lehtrit oli kasutatud olmeprahi, sealhulgas vanametalli peitmiseks, oli raske võimalikku meteoriiitset ainet otsida magneti ja miiniotsijaga.

Kas Simuna kraater üldse on seostatav Viru bolliidiga, kas pole see lihtsalt sõja jälg? See kahtlus püsis visalt, kuni saadi lisaandmeid augu võimaliku tekkeaja kohta. Kolm naaberküla eakat elanikku, keda küsitleti, mäletasid selgesti, et 1938. aastal, kui nemad siiakanti asusid ja seal metsatukas loomi karjatasid, oli kraater olemas. Tollal olevat süvend asunud lehtpuupõõsastikus keset tihedat kuuse-noorendikku. Praegu kasvavad kraatri ümber ühtlased umbes 40...50 aasta vanused kuused, samal ajal kui mõnikümmend meetrit eemal on ka tunduvalt vanemaid kuusehiiglast. Veel mäletas H. Ross selgesti kraatri südamikus kasvanud kõveratüvelist remmelgat, mille otsas nad lastena olid ronimas käinud. Selle remmelga käänd tuli välja kaevetöödel ja sellel võis loendada 38 aastaringi. Ka see, et kõrgeim valliosa paikneb läänes, on kooskõlas süvendi tekitanud keha langemisega idast. Pommiplahvatusel vastu räägib ka pommikildude või nende roostetamispeade puudumine nii kraatrivallis, süvendis kui ka lähikonnas.

Järelikult tuleb ikkagi lähtuda Viru bolliidist. Selles otsingus võib leida rohkesti pidepunkte. Kaardil,



Simuna kraater. R. Tiirmaa foto.

mille koostas A. Kipper, on väheste pealtnägijate arvamuse järgi tõenäoline langemisaik Simunast umbes 10 km põhjaloodes, kuid nagu ta ise märkib, on need andmed ebatäpsed. Tähelepanu väärib, et vaatleja Simunast andis suitsuviiru langemisele täpselt sama suuna, millel paikneb kraater.

Pealtnägija Ü. Tähiste, kes 14-aastase poisina hilisõhtul hobust tuues väikese hõõguvpunase taevakeha kukkumist nägi, näitas langemisaika, mis oli Simunast 15 km põhja pool, ligikaudu A. Kipperi kaardil näidatud piirkonnas, ehkki oletatust veidike lääne pool. Seni on siin meteoriidi otsingud jäänud tulemusteta.

Senise andmestiku põhjal võib oletada, et Viru bolidi tükid jõudsid maapinnale meteoriidisajuna.

Simuna kraatri puhul tekitab hämmeldust üks asjaolu: miks ei tajunud plahvatust ega sellega kaasnevat maapinna vappumist Orguse küla elanikud? Nende elumajad asusid ju vaid 300...400 m eemal metsaserval. Tõsi, oli hiline kellaaeg, 21.05, pealegi kaasnes langemisega valgusähvatus moodi helendus ja kauge mürin, mille taustal võis löök maapinnale täheldamata jääda. Võib-olla midagi ka tunti ja tajuti, kuid teave sellest A. Kipperini ei jõudnud. Igal juhul on kraatri mõõtmed tõenduseks, et sinna langenud meteoriit ei saanud terveks jääda, see pidi lõõgist pihustuma ja killunema. Et lehtrit ennast kohe ei märganud, on seletatav sellega, et ta asus tihedas kuuse-noorendikus ja teedest eemal.

Viru bolidiga seotu pole veel lõplikult lahendatud. Vahest on meie seas veel inimesi, kes kõnealusel sündmused on läbi elanud ja nende meenutustest oleks suur abi.

Kärdla meteoriidikraater

Geoloogilisel kaardistamisel 1968. aastal avastati Hiiumaal aluskorra kerge Palukülas. Hilisemate puurimiste käigus leiti selle kerkega sarnane struktuur ka Lõpes ja Tubalas ning nendevaheline üle 100 m sügavune alang. Hilisem geofüüsikaline kaardistamine selgitas, et Paluküla, Tubala ja Lõpe kerge asuvad positiivsete magnet- ja gravitatsiooni-anomaaliate rõngas, nendevaheline alang aga keske ümara miinimumi alal. Saadud kaardipilt meenutas kraatrit. Väljaspool rõngast muid kerkeid ei avastatud. Esialgu oletati, et tegemist on vulkaanilise vormiga. Viisteist aastat pingsat tööd (1968-1983) ja 160 puuraugu materjali läbitöötamine viis Geoloogiateenistuse geoloogid-kaardistajad Kalle Suuroja juhtimisel äratundmisele, et maapõues peituvat, esialgselt Paluküla kerkeks nimetatud kraatritaolise struktuuri puhul on tegemist meteoriidikraatriga. Hiiumaa pealinna kagupiiril asuv ringstruktuur sai nimeks Kärdla meteoriidikraater (58°59'N; 22°40'E).

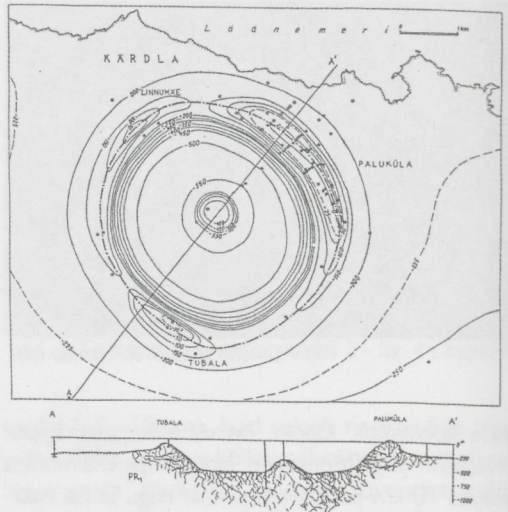
Kraatri teke

Kärdla meteoriidikraater tekkis Vanaaegkonna Ordoviitsiumi ajastul, ligi 455 miljonit aastat tagasi, toleaegses madalmeres toimunud meteoriidiplahvatusel. Eestimaa koht madalmeres (kuni 50 m sügavuses) asus tollal Baltika nime kandval mandrilaamal kusagil lõunapoolkeral, tänapäevase Uus-Meremaa kandis. Meteoriit läbis vähem kui



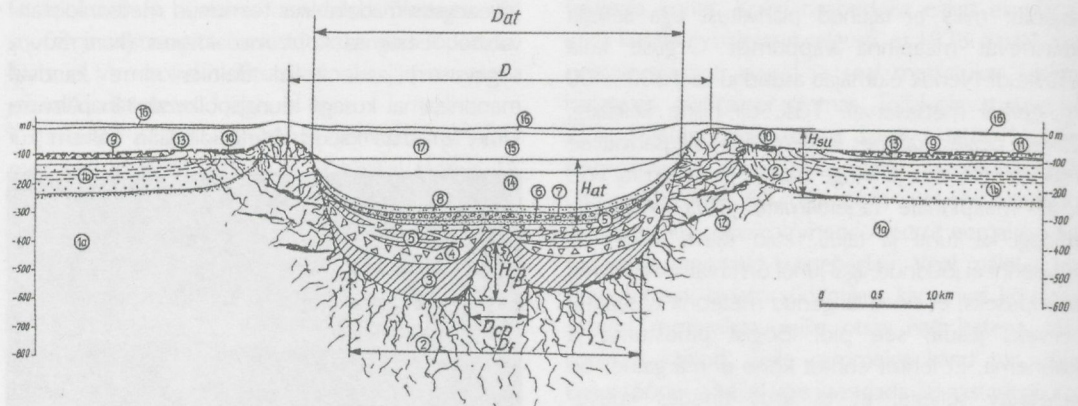
Kraatrisivik Soovälja kohal asub uudismaal. T. Saadre foto.

kümnendiku sekundiga poolesaja meetri paksuse veekihi ja merepõhja katvate settekivimite kuni 200 meetri paksuse lasundi ning plahvatas siis ligi 300 m sügavuses, kristalse aluskorra ülaosas. Plahvatus käigus vabaneva energiahulga poolest võis see plahvatus olla võrdne 8000 Hirošimale heidetud aatomipommi omaga. Energiatulv põhjustas nii meteoriidi kui ka sellega lähedases kontaktis olnud kivimite ja vee aurustumise. Kivimeis kiirusega kuni mitu kilomeetrit sekundis leviv lööklaine mitte üksnes ei purustanud neid, vaid viis ka kivimimassi enda liikvele. Plahvatussentrist paraboolsel trajektooriga eemalduv aluse aine ehk nn kraatrit tekitav voolus moodustaski kümnekonna sekundiga esmase ebapüsiva, kuni kolme kilomeetrise läbimõõduga ja enam kui poole kilomeetri sügavuse kausikujulise algkraatri. Samal ajal kerkis plahvatuskohalt üles tulekera, milles olid pöörases keeristormis ühinenud nii hõõgvel aurud, sulakivimi piisad kui ka pihustatud kivimid. Kerkivast tulekerast maha jäänud hõrendus ühelt poolt ja lugematutest lähedest läbistatud algkraatri järskude sisenõlvade ebapüsivus teisalt olid tegurid, mis päästsid valla äsja tekkinud süvikusse sööstva rusuvoolu. Siit ka selle vooluse käigus tekkinud kivimite nimetus - sööstubretšad. Neid kogunes kraatri põhja kohati 150 meetri jagu. Kõige selle tulemusel suurenes kraatrisüviku läbimõõt kolmelt kolme ja poole kilomeetrit.



Kärda kraatri kristalse aluskorra pealispind peegeldab hästi kraatri iseärasusi. Kriips-punktijoon - kraatri ringvalli hari; ringid - puuraugud (Suuroja, 2001).

Olgu rõhk kui suur tahes, ükski materjal ei lase end lõpmatuseni kokku suruda ja nii asusid siingi taluvuse piirini kokkusurutud kivimid vasturünnakule. Kõige suurem oli rõhk kraatri põhja keskosas ja samas olid materjalil seal ka kõige piiratumad liikumisvõimalused. Elastse tagasilöögi toimele kerkis just sinna suurematele meteoriidikraatritele omane keskkõrgendik, mis Kärda



Kärda kraatri läbilõige ja põhilised parameetrid (Suuroja, 2001). Ülikõrgendus 2 korda.

- 1 - impaktiidi mõjutamata kivimid; a) kristalne aluskord, b) aluspõhja settekivimid; 2 - aluse lähelised ja deformeeritud kivimid; 3 - kraatri põhja impaktbretšad; 4 - tagasisööstu pangasbretšad; 5 - impaktbretša läätset; 6 - väljapaiske tagasilangenud materjal; 7 - tsunaami konglomeraadid; 8 - turbitiidid; 9 - interferentsivööndi lubjakivibretšad; 10 - väljapaiske impaktbretšad; 11 - väljapaiske materjal; 12 - impaktbretšade sooned; 13 - impaktijärgne kulutuspeind; 14 - täitva kompleksi karbonaatkivimid; 15 - katva kompleksi karbonaatkivimid; 16 - kvaternaarsed setted; 17 - aluse tase.
 D - kraatri läbimõõt; Dat - kraatri läbimõõt aluse tasemel; Dcp - keskerke läbimõõt; Df - põhja läbimõõt; Hat - kraatri sügavuse aluse tasemelt; Hcp - keskerke kõrgus; Hsu - ringvalli struktuurse (stratigraafilise) kerke kõrgus.

puhul on enam kui saja meetri kõrgune ja rohkem kui poole kilomeetrise läbimõõduga. Ka kristalse aluskorra tugevasti lõhestatud kivimitest koosneva ja kohati kuni 250 meetri kõrguse ringvalli aluse kerkimine on mingil moel seotud sama protsessiga. Kaugeneva ja jõudu kaotava lööklaine poolt liikvele lükatud aluskorda katvad settekivimid purustati kraatrist 6...7 km raadiuses kuni tulevase ringmurrangu jooneni välja.

Ka teine pilv ehk nn tolmukardin, kus olid segunenud plahvatussega purustatud ja kraatrist välja paisatud kivimitükid tolmukübemest kuni rahnudeni, levis plahvatuskohast igas suunas, lükates enda ees seinana taanduvat merd. Nii vesi, taevast alla sadanud kivimipuru kui ka kraatrilähedase merepõhja purustatud kivimid ühinesid selles hiiidlaines kohutavaks mudavooluks, mis murdis ringvalli kolm kuni kilomeetri laiust ava.

Kraatri kuju

Üsna korrapärase kujuga kraatri läbimõõt on ringvalli harjal ligi 4 km. Ringvall on maetud Kvaternaari setete ja Ülem- ning Kesk-Ordoviitsiumi lubjakivide alla. Üle Paluküla - Lõpe kulgev vallitaoline 10...15 meetri kõrgune seljandik ja väiksemad aluspõhjakõiviku kühmud märgivad umbes 15...150 m sügavusel nende all kulgevat kraatri ringvalli. Põllumaaks kuivendatud soine tasandik Tubala ja Paluküla vahel asub kraatrisüviku kohal. Kõige selgemalt joonistub kraater välja kristalsete kivimite reljeefis: kohati kuni 250 m kõrgune ja 1 km laiune lainja harjaga ringvall ümbritseb 3,5-km läbimõõduga ja 400...500 m sügavust lamedavõitu kraatrisüvikut. Kristalsete kivimite pind on hõlpsasti määratav geofüüsikaliste meetoditega.

Siiski ei kajasta see pind kuigi täpselt kraatritekke dünaamikat. Kraatri tegelikku kuju iseloomustab järgmine struktuuripind: kraatrisüvikus purustatud, kuid oluliselt liigutamata aluskorrakivimite pealispind, ringvalli harjal valli pressitud purustatud kristalsete ja settekivimite pealispind, ringvalli välisõlval dislotseeritud plahvatusseelsete settekivimite pealispind ja kraatri lähemas ümbruses Kukruse lademe pind. Kukruse lademe laest kraatri ümbruses on valli hari 90 m kõrgemal (Paluküla), süviku põhi aga 360 m madalamal. Need on kraatri kõrgusparameetrid selle mattumise ajal Kesk-Ordoviitsiumi lõpul, pärast ligikaudu 5...10 miljonit aastat väldanud valli harja kulumist.

Kraatri siseehitus

Kärdla meteoriidikraater on tüüpiline impaktstruktuur ja siin on jälgitavad neli kraatrite struktuurilis-litoloogilist kompleksi.

1. Aluskompleks: plahvatusseelset sette-, tard- ja moondekivimid kraatri põhjas, ringvallil ja selle nõlvadel, mis pole üldse või on ringvalli kuhjudes paigalt nihkunud. Ringvalli lael Palukülas on purustusvööndist välja jõudmata puurimistega läbitud 222 m aluskorrakivimeid.

2. Löögikompleks on esindatud plahvatusbretšaga, s.o purustatud, ümberpaiskunud ja hiljem tsementeerunud materjaliga. Löögikompleksi paksus kraatrisüvikus küünib 100 meetrini. Ringvallil ja kraatri ümbruses on selle kompleksi kivimid kulu- tatud, säilinud osa paksus valli nõlvadel küünib 30...40 ja valli taga 10 meetrini. Löögikompleksi bretšad on väga eriilmelised. Kui kraatrisüvikus valdavad pihustunud kristalse aluskorra tard- ja moondekivimid, siis kraatri välisõlvadel valdavad bretšades settekivimid: leidub lubja- ja liivakivi tükke.

3. Kesk-Ordoviitsiumis täitus kraater kiiresti setetega. Sellesse täitvasse kompleksi kuuluvad nii nõlvadelt uhutud materjal kui ka merepäritoluga terrigeensed ja karbonaatsed kivimid. Täitva kompleksi 225-meetrisest kogupaksusest langeb 60 m kraatrinõlvadelt süviku põhja uhutud ja seal kõvastunud konglobretšadele, mis koosnevad Eelkambriumi kristalsete kivimite ja Kambriumi liivakivide ning savide purrust.

4. Esimesed kogu struktuuri katvad kihid on Kesk-Ordoviitsiumi peitkristalsed lubjakivid. Kogu katva kompleksi paksus kraatrisüvikus ulatub 130 meetrini, ringvalli lael on neid kohati vaid 15 meetrit. Piiri täitvate ja katvate kivimite vahel on ebamäärane.

1984. aasta puuraugu K-18 puurimisel avastati meteoriidikraatritele omane keskkerge, kust kunagi ammutati Kärdla nime kandnud mineraalvett. Praegu on majanduslikel põhjustel vee väljapumpamisest loobutud. Enam kui poolekilomeetrise läbimõõdu ja sajakonna meetri kõrgune kristalse aluskorra kivimitest koosnev keskkerge jääb selle koha peal ligi 400 meetri sügavusele. Sügaval maapõues asuva keskkerke mõju reljeefis ei ole märgatav, küll aga avaldub see juba selgemalt aluspõhja pealispinna reljeefis ja kraatrit täitvate kivimite lasuvuses, mis keskkerke kohal ülespoole kummuvad.

Kärdla meteoriidikraatri uurimiseks puuriti aastatel 1989-1990 Eesti sügavaim puurauk -



Soovälja lagedal Palukülas asub Eesti sügavaim puurauk (815.2 m). T. Saadre foto.

Soovälja ehk K-1, mille sügavus on 815,2 meetrit. Kraatri põhja kivimitest võetud kivimiproovide analüüsandmete põhjal tehtud arvestused näitasid, et meteoriidiplahvuse mõju võib siinkohal ulatuda kuni kilomeetrini kraatri põhjast, mis omakorda jääb maapinnast kuni 530 meetri sügavusele. Piir kraatri põhja ja kraatrit täitvate bretšade vahel on puuraugus üleminekuline ja alles 590 meetrist sügavamal on see selgesti tajutat.

Kui kristalse aluskorra kivimitest 4-kilomeetrise läbimõõduga ringvall piiritleb Kärda meteoriidikraatrit, siis üle Sääre poolsaare poolkaarjalt loodesse kulgevat ringmurrangut piiritlevad meteoriidiplahvusest rikkumata aluspõhja settekiivid. Eriti selgesti võib merealuse ringmurrangu kulgu jälgida kosmosefotodelt. Ringmurrang on ellipsikujuline. Selle läbimõõt on loodest kagusse 12 km ja edelast kirdesse 15 km. Ringmurrangu uuringud alles jätkuvad, kuid selle seos Kärda kraatriga on ilmne.



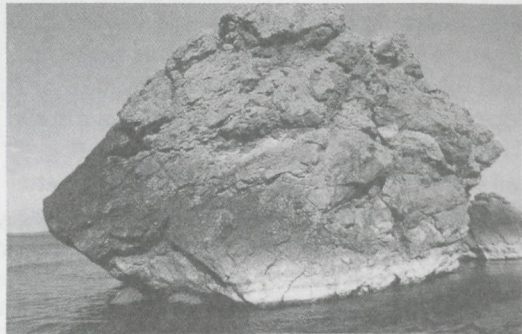
Ringmurrangu välimisel tiival paljanduvad lubjakivid otse merepõhjas. S. Suuroja foto.

Neugrundi meteoriidikraater

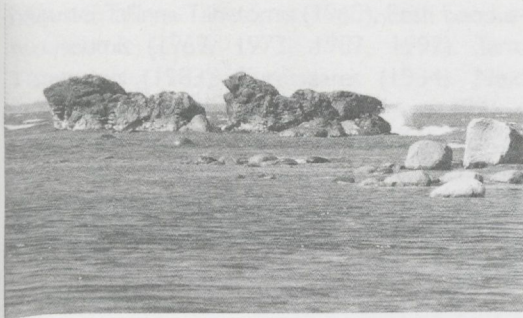
1994. aastal läbi viidud Loode-Eesti suuremõotkavalisel geoloogilisel kaardistamisel uurisid geoloogid Kalle Suuroja ja Tõnis Saadre sadakonda omapäraselt bretšarahnu (nn gneissbretšat), milliseid märkis juba oma Osmussaare geoloogiat käsitlevas töös 1927. aastal Armin Öpik. Temalt pärineb ka termin "gneissbretša". Nende kivimiline sarnasus Kärda meteoriidikraatri ringvalli kristalse aluskorra bretšastunud kivimitega lubas teha oletusi, et ka Loode-Eesti gneissbretšad võiksid pärineda mõnelt nende levikualalt põhja poole jäävalt impaktstruktuurilt. Geoloogide huviobjektiks sai Soome lahe suudme lõunaosas, Osmussaare ja Suur-Pakri saare vahel asuv Neugrundi madal, millel on omapärane ringstruktuur. Selle madala ringikujulise moreeni põndaku tekkehüpoteesi polnud seni veel keegi välja pakkunud.

1996. a suvel Eesti-Rootsi ühisekspeditsiooni käigus uurimislaeval "Strombus" uuriti T. Flodeni juhtimisel Neugrundi struktuuri seisreaktiivse pidevsondeerimisega. Selgus, et Neugrundi struktuur (59°20'N; 23°31'E) on mitmeringne struktuur, mis koosneb tuumikust ehk Neugrundi madalast, ringsüvikust, ringvallist ja välisest alamikust.

Struktuuri keskosa moodustab ligi 4-km läbimõõduga Neugrundi madal, mille kohal vee sügavus kõigub 1...20 m piires ning mis kerkib ümbritsevast merepõhjust 40...80 m kõrgemale. Madala aluspõhjakaks on horisontaalkihiline kõva lubiliivakivi. Võib arvata, et Loode- ja Lääne-Eesti



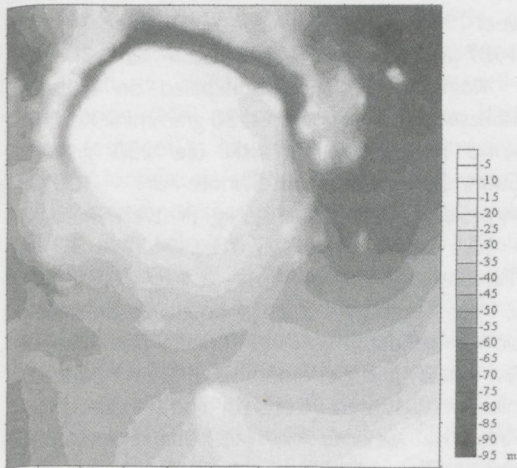
Loode-Eesti suurim hiidrahn Toomanina Suurkivi on neugrundbretša - meteoriidiplahvusel bretšastunud migmatiidistunud amfiboliit. T. Saadre foto.



"Merelõvide" nime all tuntud hiidrahnud Toomanina lähedal meres on samuti neugrundbretšad. T. Saadre foto.

ning Saaremaa idaosa rannikult leitud eriterise lubiliivakivi koostisega rändkivid pärinevad just sellest lasundist. Struktuuri keskosa ümbritseb ringikujuliselt kanjonitaoline, kuni 80 m sügav ja 100...500 m lai erosiooniline süvik, mis kontsentriilselt järgib kraatripõhjust üles tõstetud pehmemate kivimite avamusvööd.

Ringsüvikut ümbritseb väljastpoolt valli harjalt mõõdetuna ligi 7 km-se läbimõõduga ja enam kui 150 m kõrgune ringvall, mille laius jalamilt (ümbrisala aluspõhja tasemelt) on ligi 1 ja harjalt ligi pool kilomeetrit. Mere sügavus valli kohal kõigub vahemikus 20...35 m. Ringvalli pealispind on tugevasti liigendatud ja lõheline ning kaetud sellest lahtikistud pangastega. Viimaseid leidub nii keskosa kohal kui ka struktuuri lähemas ümbruses, alates Osmussaarest ja Loode-Eesti rannikust kuni Ida-Saaremaani ja lähtealast enam kui 170 km kaugusele jääva Ruhnu saareni.



Neugrundil madala ringstruktuuri nüüdismorfoloogia ja gneissbretšade levik rannikul (Suuroja, jt, 1996)

Ringvalli ümbritseb väljastpoolt kuni paari kilomeetri laiune ja 10...20 m sügavune lame nõgu, milles esineb üksikuid järsunõlvalisi kuni kümnekonna meetri sügavusi voolunõvasid. Nõo kohal ulatub katvate Kvaternaari ladestu setete paksus 20...30 meetrini. Nõost kaugemal tänapäevase merepõhja reljeefis olulisi pinnavorme, mida võiks Neugrundil struktuuriga siduda, ei täheldatud, kuid aluspõhjativimite fikseeriti muutusi, mis viitavad seostele struktuuriga.

Otsustades Neugrundil struktuuri kuhu ja löögimoonde (šokimetamorfismi) ilmingute järgi, on siin tegu impaktstruktuuriga - tõenäolise meteoriidikraatriga. Kivimitega on avastatud ka löögikoonuseid meenutavat lõhelistust ning mineraalseid muutusi.

Aastail 1998-1999 korraldas Eesti Geoloogiateenistus koostöös Eesti Meremuuseumiga uurimisläheväl "Mare" koos ekspeditsiooni Neugrundil impaktstruktuuri piirkonda, mille käigus toodi meresügavusest kivimiproovid, mis tõestasid struktuuri meteoritset päritolu. Sukeldumistega selgitati ka kraatri ehituse üksikasju. Näiteks leiti, et kraatri lähedal merepõhjas asuvad mõnekümne meetri kõrgused ja mitmesaja meetrise läbimõõduga künkad koosnevad kraatri ringvallile väga sarnase koostisega kivimist, neugrundbretšast. Need kraatri ringvallist 1...3 km kaugusel asuvad hiidpangased on siia paisanud tõenäoliselt kraatrit tekitanud meteoriidiplahvatus. Selgus ka, et mingi osa Loode-Eestis näha olevaist neugrundbretša koostisega hiidrahnudest ei pärine ainult Neugrundil kraatri ringvallist, vaid just neist hiidpangastest. Sinna, kus need rändkivid nüüd asuvad, on neid loomulikult kandnud mandriliustik.

Merepõhja seisilise pidevsondeerimise diagrammid näitavad selgesti, et meteoriidiplahvatusel mõjusfaar ei piirdu Neugrundil puhul mitte üksnes 7 kilomeetrise läbimõõduga ringvalliga ümbritsetud alaga, vaid see küünib 21 kilomeetrini, st kraatrit ümbritseva ringmurrangu jooneni. Kärddlas kraatris täheldatud seaduspärasused kehtivad ka Neugrundil puhul. Kui Kärddla kraatris ümbritses 4 kilomeetrise läbimõõduga kraatrivalliga piiratud ala 12...15 kilomeetrise läbimõõduga ringmurrang, siis Neugrundil on need arvud vastavalt 7 ja 21 kilomeetrit. Mõlemal juhul on sisemise ja välimise kraatri suhe ligikaudu üks kolmele. Sarnast suhet täheldatakse mitmetes lähedastes tingimustes moodustunud meteoriidikraatris.

Eesti meteoriidikogu

Mie vabariigi tähtsamate kultuuriväärtuste hulka kuulub kahtlemata ka Eesti meteoriidikogu, millest suurem osa on eksponeeritud Tartu Ülikooli Geoloogiamuuseumis ja ülejäänud paiknevad TTÜ Geoloogia Instituudi fondis Tallinnas. Eesti meteoriidikollektsioonis on esindatud 225 meteoriiti.

Kogu tekkimisel mängis suurt osa soodsate juhuste kokkulangemine. Nii talletati juba 19. sajandi algul kõik Eestisse ja Lätimaale langenud meteoriidid Tartu ülikoolis. Esimesed meteoriidinäidised osteti Tartu ülikoolile koos mineraalide erakoguga 1803. a Need olid kolm kildu 1749. a Jenissei kaldal leitud kuulsast Pallase Rauast. Kuni 1863. aastani kasvas kogu põhiliselt kingituste ja ostude varal. Nii tõi Tartu üliõpilane, hilisem professor E. Hoffmann O. E. Kotzebue juhtimisel 1823. - 1826. a tehtud ümbermaailmareisilt kaasa meremeeste silme all 27. septembril 1825 langenud Honolulu meteoriidi. Et Lätis oma teaduskeskus puudus, saadeti seal 12. juulil 1820. a langenud Lixna, 2. juunil 1863. a langenud Buschhoffi (nüüd Birza) ja 12. aprillil 1864. a langenud Nerfti kivimeteoriidid Tartu ülikoolile.

Seejärel hakkas Geoloogia Muuseumi meteoriitide arv teadusliku meteoriidivahetuse käigus kiiresti kasvama. Kui 1863. a avaldatud esimeses kataloogis oli vaid 6 nimetust, siis 1882. aastaks oli see kasvanud juba 131-ni. Eriti innukalt tegutses kollektsiooni täiendamisega mineraloogiaprofessor C. Grewingk. Sajandi lõpul kasvutempo mõnevõrra aeglustus. Professor F. Loewinson-Lessing 1897. aasta kataloogis oli 167 meteoriiti, mis kaalusid kokku ligikaudu 60 kg. XX sajandi algul koguga tegelemine hoopis soikus. Uut elavnemist meteoriitide vahetusse töid 1937. aastal Ivan Reinwaldi poolt Kaalist leitud 30 raudmeteoriidi

kildu, mis andsid võimaluse saata materjali uurin-guteks teistesegi keskustesse - Londoni, Moskvasse, Washingtoni ja New Yorki. Meteoriidikogu anti 30. juulil 1948. a üle ENSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudile.

Oluliseks kogu arengus võib pidada 1952. aastat, mil vahetati hulk meteoriite NSVL TA Meteoriitide Komiteega. Kahel järgmisel aastal anti Geoloogia Instituudi kogule üle 13 toleaegele Nõukogude Liidu territooriumile kukkunud meteoriiti. Tänu samale vahetusele rikastus kogu Canon Diablo (Arizona) piirkonda langenud materjaliga. Lisa andsid ka Eesti geoloogide ekspeditsioonid Sihhote-Alini ja Chinge langemispaikadele. Hiljem jätkus meteoriitide vahetus USA ja Soomega.

Kollektsiooni kohta on koostatud ja avaldatud mitmeid katalooge. 1955. a ilmus akadeemik K. Orviku poolt koostatud kataloog, kus oli 172 nimetust. Meteoriidikogu kataloogid on ilmunud veel 1963 (autorid A. Aaloe ja H. Nestor), 1983, 1987 ja 1996 (autor R. Tiirmaa).

Kogus olevad meteoriidipalad on enamasti väikesed, mõnest grammist 30 grammini. Kümme-kond neist kaaluvad siiski üle 250 grammi. Suurimad näidised on Sihhote-Alini - 100 kg, Agpaliliik (Cape York) - 13.5 kg, Pilistvere-Aukamäe - 10,5 kg, Alfianello - 7,0 kg, Nerft - 3,3 kg, Tännassilma - 2,7 kg, Mincy - 2.7 kg, Forest City - 2.1 kg, Henbury - 2.2 kg. Koostiselt on kollektsioonis esindatud kõik meteoriitide põhirühmad - kivi-, raud- ja segameteoriidid. Hästi on esindatud olulisemad suured meteoriidisajud (Pultusk, Mocs, Knjahinya, Sihhote-Alini jne.). Ka eksponaatide geograafiline päritolu on avar: kogus on leide kõikidelt mandritelt, välja arvatud Antarktika.

Meteoriidikogu on tutvustatud meteoriidi-

näitustel Tallinna Tähetornis (1960), Eesti Loodusmuuseumis (1967, 1973, 1987, 1997), Tartu Tähetornis (1983), Kuressaares (1984). Neid näitusi külastas kokku üle 10 000 inimese. 1996. a suvel eksponeeriti Vaasa (Soome) "Wasalandia" kivimuuseumis näituse ühe osana meteoriite Eesti kogust, mida käis vaatamas tuhandeid inimesi. Näituse materjale tutvustati ka ajakirjanduses ("Vasabladet", "Ilkka", "Pohjalainen") ja kohalikus televisioonis.

1992. a tutvus meteoriidikoguga ülemaailmselt tunnustatud taani meteoriitik professor V. F. Buchwald, kes andis kogule kõrge hinnangu. Ta kinkis meteoriitikakomisjonile hulgaliselt Lääne-Euroopa ja Ameerika erialast kirjandust, sealhulgas oma kuulsa 3-osalise käsiraamatu raudmeteoriitidest ja kolm Cape Yorki (Gröönimaa) meteoriiti (104, 304 ja 13 500 g).

Suurt rõhku on pandud meteoriitide koostise ja füüsikaliste omaduste tundmaõppimisele. Eesti meteoriitide kogus olevate palade kohta on ilmunud rida artikleid ka vene ja välismaa teadlastelt.

Meteoriidikogu on tutvustatud ajakirjades "Eesti Loodus", "Horisont", "Impact!", "Meteorite!" ning ajakirjanduses, raadios ja televisioonis.

Kahjuks on meteoriidikogu arengus olnud ka tagasilööke. 1981. a revideerimisel avastati nelja meteoriidi puudumine, mis on seletatav Ago Aaloe surmaga, kes ilmselt oli need deponeerinud erinevatesse vaatekogudesse, mille kohta andmeid aga ei teinud. Suurim kaotus toimus seoses Piiistvere-Kurla meteoriidi vargusega Tartu geoloogiamuuseumist 1995. a mais. Septembris 1997. a toimus kohus, kus neljale vargusest osavõtjale määrati tingimisi karistus ja nõuti sisse rahaline hüvitus.

Eesti Teaduste Akadeemia

Meteoriitika Komisjon

Eesti NSV TA Presiidiumi 21. juuli 1954. a otsusega asutati Eesti NSV TA Geoloogia Instituudi juurde viieliikmeline meteoriitikakomisjon (MK) eesotsas akadeemikute Karl Orviku (esimees) ja Aksel Kipperiga (aseesimees). Kuigi MK loomise ajendiks oli Üleliidulise VI meteoriitikakonverentsi soovitus, oli selleks ka vajadus jätkata ülemaailmselt tuntuks saanud Kaali meteoriidikraatrite ja 1938. a Ilumetsas avastatud problemaatiliste lohkvormide uurimist. MK põhiülesandeks seati korraldada ning juhtida Eesti meteoriidikraatrite ja meteoriitide uuringuid ning populariseerida meteoriitika-alaseid teadmisi.

1977. a MK koosseisu täiendati ja ENSV TA Presiidiumi otsusega viidi see Keemia-, Geoloogia- ja Bioloogiateaduste Osakonna juurde. Baas-instituudiks jäi endiselt Geoloogia Instituut ning

peaülesandeks meteoriitika-alase töö koordineerimine.

9. aprillil 1981. a MK liikmete arvu suurendati kuueteistkümnele, kes esindasid kaheksat asutust arheoloogia, füüsika, botaanika, astronoomia ja geoloogia valdkonnast. Uueks esimeheks kinnitati ENSV TA korrespondentliige, hiljem akadeemik Anto Raukas.

1993. a leiti, et komisjoni koosseis on uues majandusolukorras liialt suur ja seda vähendati kümnele. MK jätkas tegevust traditsioonilistes suundades, keskendudes peamiselt Läänemere-maade suurte impaktstruktuuride komplekssele uurimisele, Eestist pärinevate meteoriitse aine analüüsile, meteoriitide kogu täiendamisele ja kõigi meteoriitikaga seonduvate teadete registreerimisele.

1998. aastal moodustati seitsmeliikmeline Kaali Nõukogu ning 1999. a viidi läbi Kaali meteoriitika-muuseumi arhitektuurivõistlus, kokku laekus 46 tööd.

MK liikmetest on nüüdseks meie seast lahkunud:

Ago Aaloe (1927-1980), geoloogia-mineraloogiakandidaat, MK liige 1957-1980, NSVL TA Meteoriitika Komitee Teadusliku Nõukogu liige 1979-1980

Heino Eelsalu (1930-1998), füüsika-matemaatika-kandidaat, matemaatik, MK aseesimees (1995-1998)

Aksel Kipper (1907-1984), akadeemik, astronoom, MK aseesimees 1954-1979

Vello Lõugas (1937-1997), ajalookandidaat, arheoloog, MK liige 1977-1987

Karl Orviku (1903-1981), akadeemik, geoloog, MK esimees 1954-1981

Evald Pobul (1915-1995), geoloogia-mineraloogiakandidaat, geofüüsik, MK teadussekretär 1954-1984

Herbert Viiding (1929-1988), geoloogia-mineraloogiakandidaat, MK aseesimees 1979-1988

Charles Willmann (1923-1992), füüsika-matemaatikakandidaat, astronoom, MK liige 1977-1980

Teaduslik uurimistöö

MK töö esimesel perioodil 1955-1980 oli eriti viljakas Ago Aaloe tegevus. Ta selgitas Kaali ja Ilumetsa meteoriidikraatrite geoloogilist ehitust ning sai uusi andmeid kraatreid täitvate setete kohta. Meteoriittraua otsinguil magnetit kasutades õnnestus koguda tähelepanuväärne hulk meteoriitset materjali, avastati meteoriidi plahvatuskraatrite põhitunnus - löögikoonused peakraatris ning tehti kindlaks meteoriitse aine levik ja jaotumus kraatrites ning kraatriveäljal. Geofüüsikaliste meetodite abil tuvastati E. Pobuli poolt laialdane ja iseloomuliku kujuga purustusvöönd kraatrite ümber. A. Aaloe poolt avastati kaks uut kraatrit Kaalis ning võeti arvele problemaatiline Tsõõrikmäe lohkvorm Räpina lähedal. Detailselt asuti uurima Paluküla struktuuri, mis nüüd on tuntud Kärkla meteoriidikraatrina. Suur töö tehti ära meteo-

riidikraatrite kaitse abinõude väljatöötamisel ja kaitse propageerimisel. Ehitati näitusepaviljonid Kaalis ja Ilumetsas ning kujundati neis nägusad ekspositsioonid.

Kuivõrd Kaalis olid hästi uuritud meteoriidikraatrid, saabus siia alatasa juhtivaid meteoriitikuid Moskvast, Kiievist ja mujalt. Saaremaal korraldati mitu meteoriitika-alast nõupidamist ja meteoriitikakool.

Real aastatel (1968-73 ja 1975) juhtis Ago Aaloe geoloogiarühma töid Sihhote-Alini meteoriidisaju alal. Eesti geoloogide poolt uuriti 14 kraatri geoloogilist ehitust, koostati topograafilised plaanid ning koguti ligi 1,5 tonni meteoriittrauda. Uute meteoriidikraatrite väljaselgitamisel võttis A. Aaloe konsultandina osa ekspeditsioonidest Aserbaidzhaani, Kasahstani, Venemaale, Lätisse ja mujale. Teda assisteeris Ülo Kestlane, kes hiljem iseseisvalt uuris mitmeid endise NSV Liidu meteoriidikraatreid.

Teenete eest meteoriitika alal püstitati Ago Aaloele ja Ivan Reinwaldile Kaali 1984. aastal ühine mälestuskivi.

Alates 1981. aastast eristub MK tegevuses kolm suuremat tööloiku:

1. Uurimistööd Kaali kraatriveäljal:

Selgitati meteoriitse hajusaine sisalduse ja leviku seaduspärasused Kaali kraatrites, nende ümbruses ning kraatritega piirneval alal Saaremaal, Muhus ja Lääne-Eestis. Uurimistöö tulemusi kõrvutati Moskva Riikliku Ülikooli geofüüsika kateedri poolt läbi viidud magnetomeetriliste uuringute tulemustega. Koostöös Valgevene, Prantsusmaa ja Ungari teadlastega uuriti Kaali meteoriidi pihustunud ainet skaneeriva elektronmikroskoobi ja mikrosondi abil, mis võimaldas esile tuua rohkeid morfoloogilisi erimeid.

1995. a käivitus A. Raukase ettepanekul Rahvusvahelise Geokorrelatsiooni Programmi (IGCP) projekt "Extraterrestrial spherulites - a new tool for global correlation". Selle raames toimus akadeemik A. Raukase juhtimisel Kaali meteoriidi langemisaja selgitamine Saare- ja Hiiumaa soodest võetud turbaproovide analüüsi alusel. Alustati ka Ilumetsa meteoriidikraatrite naabruses oleva Meenikunno raba turbaproovide analüüsi. Töö tulemused andsid Kaali kraatrite vanuseks ligikaudu 7600 aastat, mis on tunduvalt vanem varasematest

oletustest ning Ilumetsa meteoriidikraatrite vanuseks 6600 aastat.

2. Uurimistööd Eesti teistel meteoriidikraatritel

Väikesemõõtmelised meteoriidikraatrid on maapinnal episoodiliseks nähtuseks, kuna need on kujunenud peamiselt pudedas pinnakattes ja tasanduvad seetõttu kiiresti. Nende identifitseerimine on meteoriidilangemiste statistika seisukohast väga oluline ja seetõttu vajavad kraatristruktuuride diagnostikakriteeriumid täiustamist. Lisaks Kaali ja Ilumetsa kraatritele uuriti Tsõõrikmäe ja Simuna väikekraatrit ning mitmete problemaatiliste lohkvormide (Palupera, Pärnu ja Valga ümbruses) morfoloogiat. Geoloogia-mineraloogiadoktor E. Pirruse poolt töötati välja väikekraatrite diagnostika põhitunnused.

Eesti kogemusi kasutati Rootsis Tor'i väikekraatri uuringutel, millest R. Tiirmaa võttis osa konsultandina. Töö tulemused on ilmunud aruandena ja ette kantud Stockholmi Kuninglikus Tehnikaülikoolis ja mitmetel rahvusvahelistel nõupidamistel.

Suurte plahvatuskraatrite uuring on praegu geoloogias Maa lito- ja biosfääri kujunemiskäigu uurimisel väga aktuaalne. Juba 80-ndatest aastatest alustati põhjalikult Kärkla meteoriidikraatri uurimist Hiiumaal. Kalle Suuroja uuris Kärkla ringstruktuuri kajastumist nüüdisreljeefis seoses erineva tihenemisega vallil ja kraatri keskosas ning mineraalseid muutusi ümbritsevates kivimites. Jaak Nõlvak dateeris mikrofauna põhjal kraatri vanuse.

Aastail 1993-1995 sponsoreeris Euroopa Teadusfond projekti "Plahvatuskraatrid ja Maa evolutsioon". Professor Väino Puura juhtimisel üldistati andmeid kokku 25 Fennoskandia ja Baltimaade meteoriidikraatri struktuuri ja stratigraafia kohta ning uuriti Kärkla meteoriidikraatri löögimoondel muutunud kivimeid.

Soome-Eesti meteoriidikraatrite ühisuuringu raames on Jüri Plado uurinud Soome impaktiitide füüsikalisi omadusi ja teinud Kärkla kraatri geoloogilis-geofüüsikalist modelleerimist. Töö tulemusena valmis doktoritöö "Gravity and magnetic signatures of meteorite impact structures", mida ta kaitses 2000. aastal.

Kalle Suuroja ja Tõnis Saadre selgitasid Loode-Eesti rannikumeres ja Osmussaarel rändkividena esinevate gneissbretšade levikut, mille alusel 1997. aastal oletati seitsme kilomeetrise läbimõõduga

550 miljoni aasta vanuse impaktstruktuuri esinemist Soome lahe suudmes Neugrundi madala piirkonnas. 1998. aastal jätkus kraatri uurimine uurimislaevaga "Mare". Mereekspeditsiooni käigus selgitati struktuuri ehitus, proovimaterjalide alusel saadi uut teavet struktuuri meteoriitse päritolu tõestuseks.

3. Muu tegevus

MK üheks ülesandeks oli varem kogu Nõukogude Liidu problemaatiliste väikekraatrite kontroll. Selle tööloigus viidi Ülo Kestlase poolt läbi ekspertiise Lätis, Vene NFSV Moskva, Ivanovo ja Tambovi oblastis ning Burjaadi ANSV-s. Meteoriidikraatrina võeti arvele Muldai struktuur (Burjaadi ANSV). Korduvalt võeti osa Tšinge (Tuva) ja Sihhote-Alini meteoriidikraatrite uuringutest, kust toodi tõhusat lisa Geoloogia Instituudi meteoriidikogule.

Astrofüüsik Heino Eelsalu teostas uuringuid meteoriidikraatrite vanusestatistika alal, Charles Willmann uuris meteoriitse tolmu hajumust kosmoses seoses helkivate ööpilvedega, Mihkel Jõeveer kogus teateid haruldaste atmosfäärinähtuste arhiivi "Boliid".

Eesti TA MK oli koos Geoloogia Instituudi ja NSVL TA Geokeemia ja Analüütilise Keemia Instituudiga XX Üleliidulise meteoriitikakonverentsi korraldajaks Tallinnas (1987), milles osales 150 teadlast. MK liikmed esinesid konverentsil seitsme ettekandega. MK on organiseerinud rahvusvahelisi nõupidamisi (Pärnu 1991, Pärnu 1992, Tallinn 1996, Tallinn-Laulasmaa 1997) ning komisjoni liikmed on võtnud osa mitmetest üleliidulistest meteoriitikakonverentsidest ja paljudest rahvusvahelistest nõupidamistest.

MK liikmeid Enn Pirrust ja Reet Tiirmaad autasustati NSVL Rahvamajandusenäituse hõbe- ja pronksmedaliga töö "Võrdlev planetoloogia ja maaväline aine" eest.

Traditsiooniks on saanud vabariiklike meteoriitikapäevade korraldamine (Tartus 1983, Kingissepas 1984, Tõraveres 1985, Tallinnas 1986, Kärklas 1990, Tornimäe ja Kaali koolides (1988, 1990, 1997), mille raames esineti loengutega ja korraldati meteoriitide näitusi.

Meteoriidikraatritega seotud uuringute tulemused kajastuvad arvukates teadusartiklites ja -ettekannetes, sealhulgas vabariiklikel meteoriitikapäevadel (Tõravere 1985, Tallinn 1986),

üleliidulistel meteoriitikakonverentsidel (Tšernogalovkas 1984, Miassis 1985, Tallinnas 1987) ja rahvusvahelistel nõupidamistel (Soome 1990, 2000; Taani 1992; Rootsi 1994; Saksamaa 1995; Inglismaa 1997; Ungari 1998; Itaalia 1999; Austria 2000; Hispaania ja Norra 2001), Rahvusvahelisel

Geoloogiakongressil Hiinas (1998) ja INQUA kongressil.

On koostatud uus "Eesti meteoriitide kataloog" (1987, 1996) ja "Eesti meteoriitika bibliograafia" (1987).

Eriala sõnaseletus

akondriit (*acondrite*) - kivimeteoriit, mille mineraalne koostis ja struktuurilised iseärasused näitavad magmalist teket ning millel puudub iseloomulik kondriitne tekstuur, st puuduvad kivimeteoriitidele iseloomulikud väikesed kerakesed - kondrid.

amfoteriit (*amphoterite*) - vähese (kuni 8%) rauasisaldusega kondriitne kivimeteoriit.

angriit (*angrite*) - tundmatu tekkega akondriit. Leitud Angra dos Reis meteoriit ja kaks väikest alla 10 g meteoriiti Antarktikast. Koosneb pürokseenist ja Ca-rikkast oliiviinist ning mõnikord anortiidist.

anortiit (*anorthite*) - kaltsiumirikas plagioklass, $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$.

asteroidid (*asteroids*) - Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel tiirlevad väikeplaneedid.

asteroidide vöö (*asteroid belt*) - piirkond Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel, kus tiirleb 98% kõigist avastatud väikeplaneetidest.

astrobleem (*astrobleme*) - väga suure läbimõõduga ringstruktuur, millest meteoriitset ainet ei ole leitud ja mille meteoriitsele päritolule viitavad üksnes kivid - bretša ja impaktiidid ning mineraalsed muutused.

astronoomiline ühik (*astronomical unit*) - a.ü. on pikkusühik, mis vastab Maa keskmisele kaugusele Päikesest (ca 150 000 000 km) ja seda rakendatakse kauguste mõõtmisel peamiselt Päikesesüsteemis.

ataksiit (*ataxite*) - kuni 12% Ni sisaldusega raudmeteoriit, milles puudub raudmeteoriitidele omane kristalliline struktuur.

aubriit (*aubrite*) - magmalise tekkega akondriit, mille põhimineraaliks on enstatiit; kutsutakse ka enstatiitkondriidiks.

australiidid (*australites*) - Austraalias leitud tektiidid.

basalt (*basalt*) - maakooses tihti esinev peenete-

raline tihe tume purskekivim, mis koosneb aluselise plagioklassist, pürokseenist, oliiviinist ja vulkaanilisest klaasist.

basaltakondriidid (*basaltic achondrites*) - akondriitide suurim rühm, mida tuntakse ka HED-tüüpi meteoriitidena (eukriidid, diogeniidid ja howardiid). boliid (*bolite*) - suur meteorokeha, mis oma heleduselt ületab Veenuse.

bretša (*breccia*) - nurgelistest mineraali- või kivimütükkidest koosnev purdkivim.

bronsiit (*bronzite*) - magneesiumirikas ortopürokseen (Mg, Fe) SiO_3 ; kivimeteoriitide põhimineraal.

chassigniit või šassigniit (*chassignite*) - harvaesinev akondriit, mille põhimineraaliks on oliivin. Üks SNC-rühma meteoriite.

diogeniit (*diogenite*) - magmalise tekkega akondriit, mille põhimineraalideks on hüpersteen ja bronsiit. enstatiit (*enstatite*) - magneesiumirikas ortopürokseen ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$).

enstatiitkondriit (*enstatite chondrite*) - kondriitne kivimeteoriit, mis sisaldab pürokseeni (enstatiiti) ja rauda.

E-kondriit (*E-chondrite*) - enstatiitkondriit.

eukriit (*eucrite*) - kõige levinum magmalise tekkega akondriit, koostiselt sarnane nii Maa kui ka Kuu basaltidele.

fragment (*fragment*) - tükk suuremast meteoriidist, tavaliselt teravnurkne.

gneiss (*gneiss*) - happeline vöölise või kildalise tekstuurgiga moondekivim.

hajumisala (*strewn field*) - meteoriidisaju liikumisteega määratletud meteoriitide elliptiline hajumisala.

hajumisellips (*distribution ellipse*) - meteoriidisajul tekkinud üksikmeteoriitide ellipsikujuline hajumisala, kust võib leida kümneid, sadu või isegi

tuhandeid meteoriite. Suurema massiga meteoriidid langevad tavaliselt hajumisellipsi etteotsa.

harilik kondriit (*ordinary chondrite*) - kivimeteoriitide rühma põhiline meteoriidi tüüp. Eraldatakse E, H, L ja LL-kondriite.

heksaedriit (*hexahedrite*) - vähem kui 6% niklit sisaldav raudmeteoriit. Selle lihvitud pindadel ilmnevad sageli kitsad ristuvad jooned - nn Neumanni jooned.

howardiit (*howardite*) - eukriidi ja diogeniidi fragmentidest koosnev bretsšastunud akondriit. Arvatakse, et need on algplaneedi pinnatükid.

H-kondriit (*H-chondrite*) - kõrge rauasisaldusega tavaline kondriitne kivimeteoriit.

hüpersteen (*hypersthene*) - magneesiumirikas ortopürokseen ($(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$). Kondriitsete kivimeteoriitide põhimineraal.

impaktiidid (*impactites*) - meteoriidiplahvatusel tekkinud bretsšad ja sellelaadsed kivimid.

individuaalmeteoriit (*individual*) - ühes tükis Maale jõudnud meteoriit.

kamasiit (*kamacite*) - raudmeteoriitidele iseloomulik nikkel-raua sulam, milles on kuni 7,5% niklit. kivimeteoriit (*stone or stony meteorite*) - kivimiline meteoriit, mis jaguneb kondriitideks ja akondriitideks.

klinoenstatiid (*klinoenstatite*) - oluline kivimit moodustav pürokseenide rühma kuuluv mineraal ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_3$).

kondriit (*chondrite*) - harilik kivimeteoriit, mille põhimassis esineb rohkesti väikesi hõbedaselt läikivaid kerakesi - kondreid.

kondrid (*chondrules*) - kondriitsetes kivimeteoriitides esinevad väikesed kerakesed (läbimõõduga tavaliselt kuni millimeeter), primaarse kosmilise aine tombukesed.

koesiit (*coesite*) - haruldane kõrgrõhulise kvartsi erim, mida esineb põhiliselt suuremates meteoriidikraatrites.

koheniit (*cohenite*) - aktsessoorne ehk täiendav mineraal raudmeteoriitides ($(\text{Fe,Ni,Co})_3\text{C}$).

komeet (*comet*) - "pikajuukseline täht", piklikel orbiitidel liikuv Päikese-lähedastel orbiidilõikudel udulaiguna nähtav Päikesesüsteemi väikekeha.

kosmiline tolm (*cosmic dust*) - mikroskoopilised silikaatsed raua osakesed, mis pärinevad komeetide sabast või tekkinud asteroidide kokkupõrkel.

Kriidi-Tertsiaari piir (*Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary*) - iriidiumirikas kiht Kriidi ja Tertsiaari piiril,

mis tekkis umbes 65 miljonit aastat tagasi toimunud hiidmeteoriidi plahvatusel. Iriidium on maakooses haruldane element, aga suhteliselt rohkesti esineb teda asteroidides ja komeetides.

L-kondriit (*L-chondrite*) - kuni 22% nikkel-rauda ja rohkesti oliviini sisaldav kondriitne kivimeteoriit.

LL-kondriit (*LL-chondrite*) - alla 8% rauda sisaldav kivimeteoriit.

lodraniit (*lodranite*) - väga harva esinev kivi-raudmeteoriit, kus nikkel-rauaga võrdselt on bronsiiti ja oliviini. Tihedalt seotud mesosideriididega.

löögikoonus ehk väristuskoonus (*shatter cone*) - koonilised lõhed kivimeis, millede põhjustajaks on meteoriidi plahvatusel tekkinud lööklaine.

löögimoone ehk -metamorfism (*shock metamorphism*) - meteoriidiplahvatusel tingitud muutused kivimeis ja mineraalides, mis eriti hästi ilmnevad kvartsis.

löögišokk (*impact shock*) - löögi toime meteoriidi kokkupõrkel maapinnaga. Sageli nähtav kvartsi ja teiste mineraalide kristallides paralleelsete lineaarsete muustritena.

löökk (*impact*) - erinevate kehade võimas kokkupõrge meteoriidikraatri moodustumise hetkel.

magma (*igneous*) - sügaval maakooses moodustuv hõõguvtuline silikaatne sulam, mille olulisimad koostisühendid on oksiidid, vesi ja gaasid.

magmakivim vt tardkivim

magnetiit (*magnetite*) - tugevasti magnetiline rauamineraal (Fe_3O_4), mida esineb süsinikkondriitides ja teiste meteoriitide sulamiskoorikus.

mesosideriid (*mesosiderite*) - kiviraudmeteoriidid, milles silikaatse karkassi poorid on täidetud metalli (nikkel-raua) sulamiga.

metall (*metal*) - üldistatud termin meteoriitides, sageli esineva nikkel-raua sulami kamasiidi või tainiidi kohta.

meteeor (*meteor*) - nähtus, mille põhjustajaks on planeetidevahelisest ruumist Maa atmosfääri sattunud meteeorkeha.

meteeorivool (*meteor stream*) - ühise päritolu ja lähedaste liikumisteedega meteeorkehade parv ehk vool.

meteeorkeha e meteoroid (*meteoroid*) - planeetidevahelises ruumis liikuv tahke keha, mis võib sattuda Maa atmosfääri ja meteoriidina maapinnale langeda. Nende läbimõõt on 10^{-5} - 10^4 m, millest väiksemad osad moodustavad kosmilise tolmu.

meteoriidikraater (*meteorite crater*) - suuremate

kosmiliste kehade kokkupõrkel maapinnaga tekkinud kausikujuline ringvalliga ümbritsetud süvend.

meteoriidi langemine (*meteorite fall*) - meteoriit, mille langemist on nähtud ja mis järgnevalt ka leitakse.

meteoriidileid (*meteorite find*) - juhuslikult leitud meteoriit, mille langemisaeg pole teada.

meteoriit (*meteorite*) - planeetidevahelisest ruumist Maale langenud tahke keha, meteorokeha jääk.

meteoriitik (*meteoriticist*) - meteoriitide ja meteoriidikraatrite uurija.

meteoriitika (*meteoritics*) - õpetus meteoriitidest.

oldaviit (*oldavite*) - läbipaistev roheline või pruun tektiit, leitakse Tšehhist ja Austriast.

montmorillonit (*montmorillonite*) - savimineraal $[(Al, Mg)_3(OH)_4Si_4O_{10}]$

moone e metamorfism (*metamorphism*) - kivimite keemilise ning mineraalse koostise, ehituse ja tekstuuriga muutumine temperatuuri ja rõhu toimel.

nakhlit (*nakhlite*) - harvaesinev akondriit, mis koosneb peamiselt augiidist; SNC-tüüpi meteoriit.

Neumanni jooned (*Neumann lines*) - kitsad ristuvad sirgjooned nikkel-raua sulamis - kamsiidis. Leitakse heksaedriitides.

oktaedriit (*octahedrite*) - raudmeteoriit, milles nikli sisaldus on 7 kuni 13% .

oliviin (*olivine*) - rohekas silikaatne mineraal, kivi- ja kiviraudmeteoriitide oluline koostismineraal ($Mg, Fe)_2 SiO_4$).

Oorti pilv (*Oort cloud*) - hüpoteetiline Päikesesüsteemi ümbris, mille moodustavad komeedid ning oletatakse, et see ulatub umbes 150 000 korda kaugemale, kui on Maa kaugus Päikesest.

pallasit (*pallasite*) - kivi-raudmeteoriit, milles esineb ligikaudu võrdsetes osades nikkel-rauda ja oliviini ning pürokseeni. Metall moodustab karkassi, mille poorides asetsevad silikaatsed mineraalid.

petroloogiline tüüp (*petrologic type*) - skaalat kasutatakse kondriitsete meteoriitide tekstuuride näitamiseks (tähistatakse numbritega).

plagioklass (*plagioclase*) - päevakivide rühma kuuluv kivimit moodustav mineraal. Plagioklassid moodustavad naatrium- ja kaltsiumpäevakivide isomorfse rea albiidist $Na[AlSi_3O_8]$ anortiidini $Ca[Al_2Si_2O_8]$.

planaarlamellid e planaarsed elemendid (*planar deformation features - PDF*) - löögimoonde kõrge rõhu tõttu tekkinud paralleelsed lineaarsed vööndid kvartsi, koesiidi ja teiste mineraalide kristallides.

protoplaneet (*protoplanet*) - algplaneet

puistang (*ejecta*) - meteoriidikraatrist väljapaisatud materjal.

päevakivid (*feldspars*) - alumosilikaatide hulka kuuluv oluline kivimeid moodustav mineraalide rühm, vana nimetus põldpaod.

pürokseenid (*pyroxenes*) - kivimeteoriitides esineva silikaatsete mineraalide rühma (enstaatiit, bronsiit, hüpersteen, augiit) üldnimetus.

radiant (*radiant point*) - taevsfääri punkt, millest kõik ühte meteorivoolu kuuluvad meteoroidid näevad (perspektiivinähtuste tõttu) lähtuvat.

raudmeteoriit (*iron meteorite*) - meteoriit, mille koostises valdavad raud (79-94%) ja nikkel (5,5-18,8%).

regmaglyptid (*regmaglypts*) - madalad sulamislohuksed või süvendid meteoriidi välispinnal ja mis on tekkinud mineraalide sulamisel meteorokeha läbimisel Maa atmosfääris.

serpentiin (*serpentine*) - süsinikkondriitides sageli esinev rohekas mineraal $(Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8)$.

stišoviit (*stishovite*) - meteoriidi löögil kõrge rõhu tingimustes tekkinud kvartsi erim.

sueviit (*suevite*) - 10-15% sulamit sisaldav impaktbretš.

sulamiskoorik (*fusion crust*) - atmosfääri läbimisel meteorokeha pinnal tekkinud ülesulanud tume õhuke kiht.

SNC meteoriidid (*SNC meteorites*) - harvaesinevad akondriidid, mis võivad pärineda Marsilt; SNC on lühend meteoriitide šergotiidi, nakhlidi ja chassigniidid nimedest.

sulam (*melt*) - termin meteoriidiplahvatusel tekkinud sulami kohta.

süsinikkondriit (*carbonaceous chondrite*) - kondriitne kivimeteoriit, mis sisaldab orgaanilisele ainele lähedasi ühendeid, hapnikku sisaldavaid süsinikuühendeid ja isegi aminohappeid.

šergotiit (*shergottite*) - üks haruldastest SNC-tüüpi akondriitidest, mille basaltse põhimassi põhimineraalid on plagioklass ja pürokseen. Leitud on ainult 5 šergotiiti.

šreibersit (*schreibersite*) - ainult raudmeteoriitides esinev aktsessoorne mineraal $[(Fe, Ni, Co)_3P]$.

taeniit (*taenite*) - raudmeteoriitides sageli esinev, vähemalt 20% nikli sisaldusega nikkel-raua sulam.

tard- e magmakivim (*igneous rock*) - kivim, mis on tekkinud maakoore ülemisse ossa tunginud magma jahtumisel ja kristalliseerumisel.

tektiit (*tectite*) - "klaasmeteoriit", mitmesuguse

koostisega selgete sulamisjälgedega moodustis, mis on tihedalt seotud suurte meteoriidiplahvatustega. troiliit (*troilite*) - meteoriidides esinev pronksivärviline rauamineraal (FeS), mis on oma koostiselt lähedane mäisele pürroitiinile. ureiliit (*ureilite*) - harvaesinev akondriit, mis sisaldab

süsinikurikas täitematerjalis-maatriksis pürokseeni kristalle.

Widmanstätteni muster (*Widmanstätten figure*) - kolmes erinevas suunas lõikuva niklirikka taeniidi vöötmed, mille vahele jäävad niklivaese kamsiidi tumedad hulknurgad.

Kirjandus

- Aaloe A. 1958. Kaalijärve meteoriidikraatri nr. 5 uurimisest 1955. aastal. ENSV TA Geol. Inst. Uurimused. II, 105-117.
- Aaloe A. 1963. Kaali meteoriidikraatrite uurimise ajaloost. ENSV TA Geol. Inst. Uurimused. XI, 25-34 (vene keeles).
- Aaloe A. 1979. Meteoriidikraatrid Ilumetsas. Eesti Loodus, 12, 756-761.
- Aaloe A. 1981. Erinevused Kaali kraatrite vanuse määramises. Eesti Loodus, 4, 236-237.
- Buchwald V.F. 1975. Handbook of Iron Meteorites. University of California Press, Berkeley, Los Angeles. London, 1418 p.
- Goebel A. 1854-1857. Untersuchung eines am 11 Mai (29. April) 1855 auf Oesel niedergefallenen Meteorsteins. Arch.Naturk. Liv-, Ehst- u. Kurl., 1854-1857. Ser.I, Bd.I- S. 447-482.
- Czegka W. & Tiirmaa R. 1998. Das holozäne Meteoritenkraterfeld von Kaali auf Saaremaa (Ösel), Estland. Aufschluss, 49, 16 Abb, 233-252.
- Grewing C. 1874. Über einen Meteoritenfall, der am 16/28. June 1872, im Kreise Jerwen Estlands, auf dem Gute Allenküll bei dem zum Dorfe Tennasilma gehörigen Gesinde Sikkensaare statthatte. S.B. Naturf. Ges. Dorpat., 1874. Bd.3. S.390-391.
- Grewing C. & Schmidt C. 1864. Ueber die Meteoritenfälle von Pillistfer, Buschoff und Igast in Liv- und Kurland. Arch. Naturk. Liv-, Ehst- und Kurl., 1864. Ser.I, Bd.3- S.421-556..
- Grieve R. A.F. 1990. Impact cratering on the Earth. Scientific American 262, 66-73.
- Grieve R. A.F. & Shoemaker E. 1994. The record of Past Impacts on Earth. 56 P.
- Henkel H., Tiirmaa R., Fleetwood A. & Blomquist G. 1996. Tor - en meteoritnedslagskrater i Härjedalen, bildad efter istiden. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. 59 P.
- Hodge P. 1994. Meteorite craters and impact structures of the Earth. Cambridge, 124 P.
- Jones P. J. & Lim B. 2000. Extraterrestrial impacts and wildfires. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 164, 57-66.
- Jõeveer M. & Tõnnisson T. 1977. Tulekera Eestimaa talvetaevas. Eesti Loodus, 2, 71-80; 3, 138-143.
- Kalkun J. 1922. Üldine geoloogia. Tallinn, 124 lk.
- Kessel H. 1981. Kui vanad on Kaali järviku põhjasetted? Eesti Loodus, 4, 231-235.
- Kipper A. 1937. 1937. aasta 1. juuni meteoriidist. Eesti Loodus, 4, 150-155.
- Kraus E., Meyer R. & Wegener A. 1928. Untersuchungen über den Krater von Sall auf Ösel. Gerlands Beitr. Geophys., Bd. 20, Heft 3/4., S. 312-378.
- Kross J. 1975. Taevakivi. Tallinn, 216 lk.
- Lehtinen M., Nurmi P. & Rämö T. 1998. 3000 vuosimiljoonaa Suomen Kallioperä. Jyväskylä, 327-340.
- Lõugas V. 1996. Kaali kraatriväljal Phaetonit otsimas. Tallinn, 174 lk.
- Masaitis V. L. 1980. Astrobleemide geoloogia. Leningrad, 231 lk. (vene keeles)
- Mason B. 1971. Handbook of elemental abundance in meteorites. New York., 555 p.
- Meri L. 1976. Hõbevalge. Tallinn, 486 lk.
- Meri L. 1983. Hõbevalgem. Tallinn, 215 lk.
- Meteorite! 1995-2000. Ed. J. Schiff. Pallasite Press, Takapuna, Auckland, New Zealand
- Norton O. R. 1994. Rocks from Space. Meteorites and Meteorite Hunters. Montana, 445 P.
- Oja H. 1978. Tulipalloja taivaalla. Helsinki, 206 lk.

- O'Keefe J.A. & Lowman P. D. 1961. New investigation of the Igest "meteorite". *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, 25, 2, 158.
- Pesonen L.J. 1996. The impact cratering record of Fennoscandia. *Earth, Moon and Planets* 72, 377-393.
- Pirrus E. & Tiirmaa R. 1984. Tsõõrikmägi - ka meteoriidikraater? *Eesti Loodus*, 9, 566-571; 10, 638-642.
- Pirrus E. & Tiirmaa R. 1991. Kas Virumaa boliid jõudis Maale? *Eesti Loodus*, 4, 210-214.
- Puura V., Lindstöm M., Flodén T., Pipping F., Motuza G., Lehtinen M., Suuroja K. & Murnieks A. 1994. Structure and stratigraphy of meteorite craters in Fennoscandia and the Baltic region: a first outlook. In: *Proc. Est. Acad. Sci. Geol.* 43, 2, 93-108.
- Puura V. & Suuroja K. 1984. Kärkla kraater - maapõue varjatud unikum. *Eesti Loodus*, 8, 553-565.
- Raukas A. 1997. An attempt to use micro-impactites in establishing the age of impact events on the example of the Kaali crater field (Estonia). *Sphaerula. Inter. Journ of IGCP 384. Impact and Extraterrestrial Sphaerules: New Tools for Global Correlation*, 1997, vol. 1, 1, 32-41.
- Raukas A., Pirrus R., Rajamäe R. & Tiirmaa R. 1999. Tracing the age of the catastrophic impact event in sedimentary sequences around the Kaali meteorite craters on the Island of Saaremaa, Estonia. - In: *Environment and Cultural History of the Eastern Baltic Region. Journal of the European Network of Scientific and Technical Cooperation for Cultural Heritage*, PACT 57 Rixensart, 435-453.
- Raukas A., Tiirmaa R., Kaup E. & Kimmel K. 2001. The age of the Ilumetsa meteorite craters in Southeast Estonia. *Meteoritics & Planetary Science* 36, 1507-1514.
- Rasmussen K.L., Aaby B. & Gwozdz R. 2000. The age of the Kaalijärv meteorite craters. *Meteorit. & Planetary Science* 35, 1067-1071.
- Reinwaldt I. 1928. Bericht über Geologische Untersuchungen am Kaalijärv (Krater von Sall) auf Ösel. Mit Beiträgen von A. Luha. *Loodusuurijate Seltsi aruanded*. Kd.35, 30-70; Tartu Ülikooli Geol. Inst. Toim., 1928, 11, 42 lk.
- Reinwald I. 1938. The finding of meteoritic iron in Estonian craters. A long search richly rewarded. *The sky Magazine of Cosmic News*, 2, 6-7.
- Saarse L., Rajamäe R., Heinsalu A. & Vassiljev J. 1991. The biostratigraphy of sediments deposited in the Lake Kaali meteorite impact structure, Saaremaa Island, Estonia. In: *Bulletin of Geological Society of Finland*, 63, 2, p. 129-139.
- Schilling G. 1873. Mittheilungen über den am 16/28 Juni 1872 Mittags, beim Dorfe Tennesilm, im Kirchspiel Turgel des Kreises Jerwen in Ehistland niedergefallenen Steinmeteoriten. Sonder-abdruck aus dem Archiv. - 1873- B. VIII, Ser. I. P.1-21; *Arch. Naturkunde Liv-, Ehst- und Kurlands*. 1882. B.IX. Heft II, S.95-114.
- Spencer L.J. 1938. The Kaali järv meteorite from the Estonian craters. *Min. Magazine, London*, 1938, vol. XXV, 161, 75-80.
- Shymanovich S., Kolosova T., Raukas A. & Tiirmaa R. 1993. Extraterrestrial spherules in the surroundings of Kaali meteorite craters (Saaremaa Island, Estonia). In: *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 42, 3, 127-133.
- Suuroja K. 1996. Neugrund - võti Soome lahe suudmeala lõunaosa geoloogia juurde. *Eesti Geoloogia Selts. Soome lahe probleemid*. (11. detsembri 1996. a toimunud konverentsi teesid)
- Suuroja K. 1998. Neugrundi meteoriidikraater. *Loodus*, november, 16-20.
- Suuroja K. 2001. Kärkla meteoriidikraater. Tallinn, 34 lk.
- Suuroja K. & Saadre T. 1995. Loode-Eesti gneissbretšad senitundmatu impaktstruktuuri tunnistajana. *Eesti Geoloogiakeskuse Toimetised*, 5/1, 26-28.
- Suuroja K., Suuroja S. & Puurmann T. 1997. Neugrundi struktuur kui impaktkraater. *Eesti Geoloogia Seltsi Bülletään*, 2/96, lk. 32-41.
- Tiirmaa R. 1984. Kaande - meteoriiditikas põlistatud kohanimi. *Eesti Loodus*, 8, 497-498.
- Tiirmaa R. 1984. Taevakivid klaasi taga ja laegastes. *Eesti Loodus*, 8, 490-495.
- Tiirmaa, R. 1994. Kaali meteoriid. Tallinn. Eesti TA Geoloogia Instituut. 125 lk
- Tiirmaa R. 1996. Catalogue of meteorites in the Estonian meteorite collection. Tallinn, 1996, 32 p.
- Tiirmaa R. 1997. Meteorite craters. In: *Geology and mineral resources of Estonia* (A. Raukas & A. Teedumäe, eds.). Academy Publishers, Tallinn, 378-383.
- Tiirmaa R. & Raukas A. 1996. Searching for extra-

terrestrial and explosion material around the Kaali craters (Saaremaa Island, Estonia) and the time of impact. Meteoritics & Planetary Science. 59th Annual Meteoritical Society Meeting Humboldt-University, July 22-26, 1996, Berlin, 31, A143.
 Veski, S., Heinsalu A., Kirsimäe K., Poska A. & Saarse L. 2001. Ecological catastrophe in

connection with the impact of the Kaali meteorite about 800-400 B.C. on the island of Saaremaa, Estonia. Meteoritics & Planetary Science 36, 1367-1375
 Veskimäe R. 1997. Universum. Tallinn, 384 lk.

108	108	108	108
107	107	107	107
106	106	106	106
105	105	105	105
104	104	104	104
103	103	103	103
102	102	102	102
101	101	101	101
100	100	100	100
99	99	99	99
98	98	98	98
97	97	97	97
96	96	96	96
95	95	95	95
94	94	94	94
93	93	93	93
92	92	92	92
91	91	91	91
90	90	90	90
89	89	89	89
88	88	88	88
87	87	87	87
86	86	86	86
85	85	85	85
84	84	84	84
83	83	83	83
82	82	82	82
81	81	81	81
80	80	80	80
79	79	79	79
78	78	78	78
77	77	77	77
76	76	76	76
75	75	75	75
74	74	74	74
73	73	73	73
72	72	72	72
71	71	71	71
70	70	70	70
69	69	69	69
68	68	68	68
67	67	67	67
66	66	66	66
65	65	65	65
64	64	64	64
63	63	63	63
62	62	62	62
61	61	61	61
60	60	60	60
59	59	59	59
58	58	58	58
57	57	57	57
56	56	56	56
55	55	55	55
54	54	54	54
53	53	53	53
52	52	52	52
51	51	51	51
50	50	50	50
49	49	49	49
48	48	48	48
47	47	47	47
46	46	46	46
45	45	45	45
44	44	44	44
43	43	43	43
42	42	42	42
41	41	41	41
40	40	40	40
39	39	39	39
38	38	38	38
37	37	37	37
36	36	36	36
35	35	35	35
34	34	34	34
33	33	33	33
32	32	32	32
31	31	31	31
30	30	30	30
29	29	29	29
28	28	28	28
27	27	27	27
26	26	26	26
25	25	25	25
24	24	24	24
23	23	23	23
22	22	22	22
21	21	21	21
20	20	20	20
19	19	19	19
18	18	18	18
17	17	17	17
16	16	16	16
15	15	15	15
14	14	14	14
13	13	13	13
12	12	12	12
11	11	11	11
10	10	10	10
9	9	9	9
8	8	8	8
7	7	7	7
6	6	6	6
5	5	5	5
4	4	4	4
3	3	3	3
2	2	2	2
1	1	1	1

Sisujuht

Saateks	5	Teine osa.	
Esimene osa.		Tähearmid	47
Meteoorid, meteorivoolud ja boliidid	6	Planeetide pommitamine	47
Balti boliid	9	Meteoriidikraatrid Maal	50
Boliidivaatleja meelespea	9	Maailma suurimad impaktstruktuurid	58
Meteoriidid	11	Euroopa impaktstruktuurid	58
Suurimad tervikuna säilinud meteoriidid	12	Kanada impaktstruktuurid	62
Meteoriidisajud	13	Ameerika Ühendriikide impaktstruktuurid	65
Leiud ja langemised	18	Austraalia impaktstruktuurid	67
Meteoriitide leiud Antarktikast	19	Aasia impaktstruktuurid	68
Meteoriitide koostis	20	Aafrika impaktstruktuurid	70
Kivimeteoriidid - kondriidid ja akondriidid	21	Ladina-Ameerika impaktstruktuurid	71
Akondriidid Kuult	24	Kolmas osa.	
Akondriidid Marsilt	26	Meteoriidid ja meteoriidikraatrid Eestis	73
Raudmeteoriidid	26	Meteoriidid	75
Kivi-raudmeteoriidid	28	Kaiavere	75
Tektiidid	28	Kaande ehk Oesel	76
Meteoriitide vanus	29	Iigaste	77
Kust saabuvad meteoriidid?	30	Pilistvere	78
Meteoriidid ja asteroidid	30	Tännassilma	79
Meteoriidid ja komeetid	32	Meteoriidikraatrid	80
Tunguusi fenomen	33	Kaali	80
Maaväline tolm	34	Ilumetsa	87
Ebask ja müüdid	35	Tööõrikmäe	88
Meteoriidid kui kultuseobjektid	36	Simuna	89
Ensisheimi meteoriit	36	Kärdla	91
Kahtlus ja uskumatus	37	Neugrund	94
Nähti, kuuldi, leiti	39	Eesti meteoriidikogu	96
Huvitavaid meteoriidilangemisi Soomemaal	39	Eesti Teaduste Akadeemia Meteoriitika	
Teateid Hollandi meteoriitidest	40	Komisjon	97
Ukraina - meteoriitide meelispaik	41	Eriala sõnaseletused	101
Lugusid meteoriitide langemistest	42	Kirjandus	105
Lugusid meteoriitide leidmistest	43	Sisujuht	108
Kas meteoriidid on ohtlikud?	45		
Meteoriidiotsija meelespea	46		



Kosmos on lõpmatu ja sealt tuleb aina uusi üllatusi. Varem tekitas komeetide ilmumine ja taevakehade mahalangemine inimestesse õudust. Nüüd on teadlased iga meteoriidi langemise ja leiu üle õnnelikud, sest need annavad väärtuslikku teavet maailmaruumi ja teiste taevakehade ehituse kohta.

REET TIIRMAA

(sünd. 1942)

*TTÜ Geoloogia Instituudi juhtivinsener.
Eesti TA Meteoriiitika Komisjoni teadussekretär*





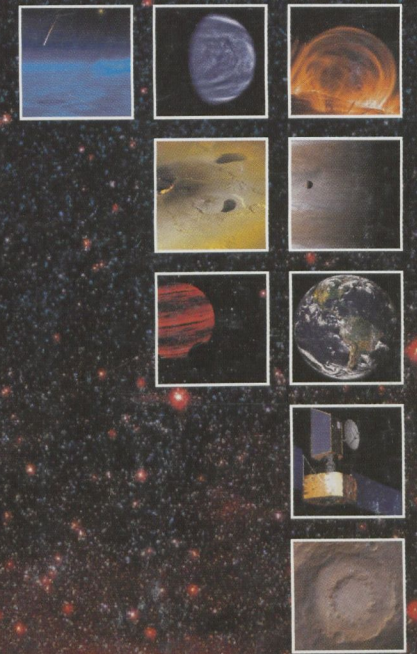
Kosmos on lõpmatu ja sealt tuleb aina uusi üllatusi. Varem tekitas komeetide ilmumine ja taevakehade mahalangemine inimestesse õudust. Nüüd on teadlased iga meteoriidi langemise ja leiu üle õnnelikud, sest need annavad väärtuslikku teavet maailmaruumi ja teiste taevakehade ehituse kohta.

REET TIIRMAA

(sünd. 1942)

*TTÜ Geoloogia Instituudi juhtivinsener.
Eesti TA Meteoriiitika Komisjoni teadussekretär*

REET TIIRMAA • METEORIIDID JA METEORIIDIKRAATRID



Reet Tiirmaa

METEORIIDID JA METEORIIDIKRAATRID

