

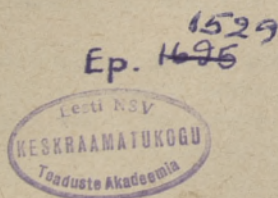
EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA  
АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

---

GEOLOGIA INSTITUUDI  
UURIMUSED

ТРУДЫ  
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ

II



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1958

## KAALIJÄRVE METEORIIDIKRAATRI Nr. 5 UURIMISEST 1955. AASTAL

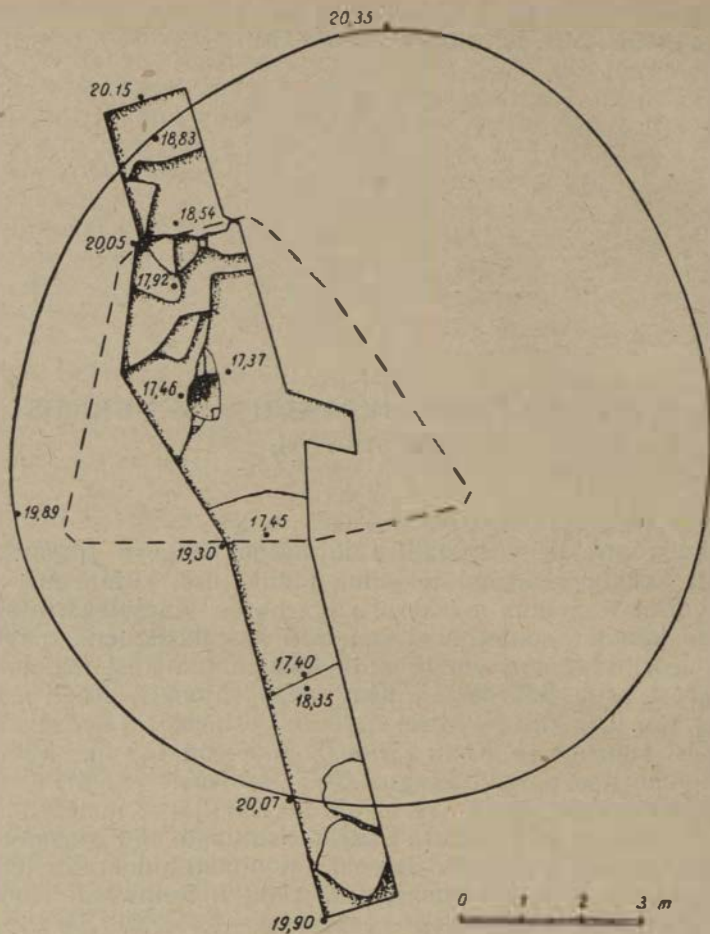
A. AALOE

Meteoriidikraatreid — kosmilise kiirusega langeva gigantse meteoriidi Maaga kokkupõrkamisel tekkinud plahvatusel kujunenud omapäraseid pinnavorme — leidub maakeral väga harva. Käesoleval ajal on neid teada kokku kümnes kohas. Nad esinevad kas üksikutena, nagu tuntud Arizona meteoriidikraater, või rühmiti. Üks tuntumatest meteoriidikraatrite rühmadest asub Saaremaal, Kingissepa rajoonis, Kaali 7-klassilise kooli läheduses. 0,25 km<sup>2</sup> suurusel maa-alal esineb siin seitse meteoriidikraatrit, neist suurima — Kaali järve läbimõõt on 110 m, sügavus 16 m ja kraatrit ümbritseva valli kõrgus 6—7 m. Teiste kraatrite, nn. kuivjärvede diameeter kõigub 13—39 m piires. Kaalijärve meteoriidikraatrite teaduslik väärtus on väga suur. Esiteks osutuvad nad ainsateks tuntud meteoriidikraatriteks Euroopas. Teiseks on nimetatud kraatriterühm üks paremini uurituist kogu maailmas, seda tänu I. Reinwaldi töödele.

Kaali kraatrid, esmajoones peakraater — Kaali järv, tõmbasid endale teadlaste tähelepanu juba alates möödunud sajandi esimesest veerandist, kusjuures nende tekke kohta avaldati kõige mitmekesisemaid oletusi. Kuid alles 1928. aastal läks mäeinsener I. Reinwaldil pärast hoolikat uurimist korda küllalt põhjendatult otsustada, et kraatrid on meteoriitse tekkega. Reinwald jätkas kraatrite uurimist, mis kestis 1939. aastani, omal kulul, sest, hoolimata tema mitmekordsetest avaldustest, ei leidnud Eesti kodanlik valitsus võimalust töid rahaliselt toetada. Sellele vaatamata saadi nende tööde tulemusena väga huvitavaid andmeid kraatrite ehitusest. 1937. ja 1938. aastal leiti kraatritest nr. 2 ja 5 meteoriit-rauda. Seega oli lõplikult tõestatud Kaali kraatrite tekkimine gigantse meteoriidi langemisest põhjustatud plahvatusel.

1954. aastal asutati Eesti NSV Teaduste Akadeemia juurde meteoriitide komisjon, kes tõstis üles küsimuse Kaali kraatrite uurimise jätkamisest, mis katkes pärast I. Reinwaldi kokkuvõtliku töö ilmumist 1939. aastal. Seetõttu võeti Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi 1955. aasta tööplaani Kaali meteoriidikraatrite nr. 3 ja 5 uurimine. Kraatri nr. 3 piirides teostas geoloogia-mineraloogiateaduste kandidaat E. Pobul detailse magnetomeetrilise mõõdistamise. Kraatri nr. 5, kõige väiksema Kaali meteoriidikraatri juures nähti ette kaevetööd, mille läbiviimine tehti ülesandeks käesoleva artikli autorile ja geoloogia-mineraloogia-teaduste kandidaadile L. Sarvele.

Artikli eesmärgiks on anda ülevaade 1955. aasta augustis kraatri



Joon. 1. Kraatri nr. 5 teostatud kaevetööde plaan. Kalkendjoonega on tähistatud I. Reinwaldi šurfi kontuur.

nr. 5 piirides teostatud kaevetöödest ja kogutud materjalide kameraalsest läbitöötamisest, mis toimus 1955. aasta talvel.

Kaevetööde eesmärgiks oli kraatri morfoloogia ja täitematerjali iseloomu selgitamine ning meteoriidikildude otsimine. Selleks otsustati risti läbi kraatri kaevata aluspõhjaliste osadeni ulatuv kraav. Arvestades kohapealseid tingimusi valiti kraavi suunaks ligikaudselt NNW—SSO. Kraavi piiridesse kuulus ka I. Reinwaldi poolt 1937. aastal kaevatud šurfi tugevasti kinnivarisenud ase (joon. 1). Tõid alustatigi nimetatud šurfi aseme puhastamise ning süvendamisega. Kasutades lähtekohana juba puhastatud šurfi alustati kraavi kaevamist nii NNW kui ka SSO suunas, kusjuures kraavi seina püüti hoida võimalikult vertikaalsena, sest nii selgus kõige paremini täitematerjali iseloom, eriti struktuur. Väljakaevatud materjali jämedateralisem osa kõrvaldati kraatrist, kuna peenem osa lasti võimaluse piirides kuni paar päeva kuivada ning sellest eraldati siis magnetraua abil magnetilised osakesed. Magnetraua kasutamine oli ootamatult efektiivne, sest sel viisil koguti valdav osa meteoriitsest materjalist, kuid palja silma abil leiti vaid seitse suuremat meteoriidikildu. Pealegi tõi magnetraud välja ka kõige väiksemad magnetilised osakesed, mis muidu oleksid paratamatult jäänud märkamatuks.

Kraatri nr. 5 uurimisest, mis kestis 15 päeva, võtsid osa 8 töötajat. Kaevati välja ligi 50 m<sup>3</sup> materjali ja paljandati kraatri serv ning põhi kraavi piirides. Paralleelselt kaevetöödega kraatris kaevati viimase läheduses 8 väikest (0,5×0,5×0,5 m) šurfi, et selgitada meteoriitse materjali leidumist ning esinemistihedust väljaspool kraatrit. Šurfidest väljakaevatud muld otsiti magnetraua abil läbi ning eraldati magnetiline materjal.

Viimase tööna plaanistati kraater mäekompassi ja mõõdulindi abil, seega väikese täpsusega. Suhteliste kõrgusvahede määramiseks kasutati nivelliiri. Välitööde lõppedes kaeti kraatri põhi ja serv uuesti kuni 0,5 m paksuse väljakaevatud materjali kihiga, et säästa kraatri aluspõhjalisi osi ilmastiku mõjude ning juhuslike rikkumiste eest.

### Kraatri väliskuju ja ehitus

Kraatri nr. 5 väliskuju oli eelnevate kaevamistega juba sedavõrd rikutud, et selle kindlakstegemine osutus võrdlemisi raskeks. Nii asus kraatri läänepoolses osas I. Reinwaldi poolt 1937. aastal kaevatud šurfi tugevasti kinnivarisenud ase. Kraatri kaguservale oli kuhjatud šurfist välja-kaevatud materjal, mis kohati segas kraatri piirjoonte kindlakstegemist. Samuti segas plaanistamist kraatris kasvav tihe sarapuupõõsastik.

I. Reinwaldi (1939) ja autori poolt kogutud andmeid kokku võttes võib märkida, et kraater nr. 5 oli väliselt lameda kausitaolise kujuga. Suurim sügavus oli 0,9 meetrit. Kraatri piirjoon on ebakorrapärane, lähenedes ellipsile, mille pikem telg (enam-vähem põhja—lõuna-suunaline) on 13 meetri, lühem — 11,5 meetri pikkune (joon. 1). Kohati võib jälgida katkendliku, maksimaalselt 1,2 m laiuse ja 0,35 m kõrguse ringvalli, pigem küll ringvalli jäänuste esinemist kraatri pervel.

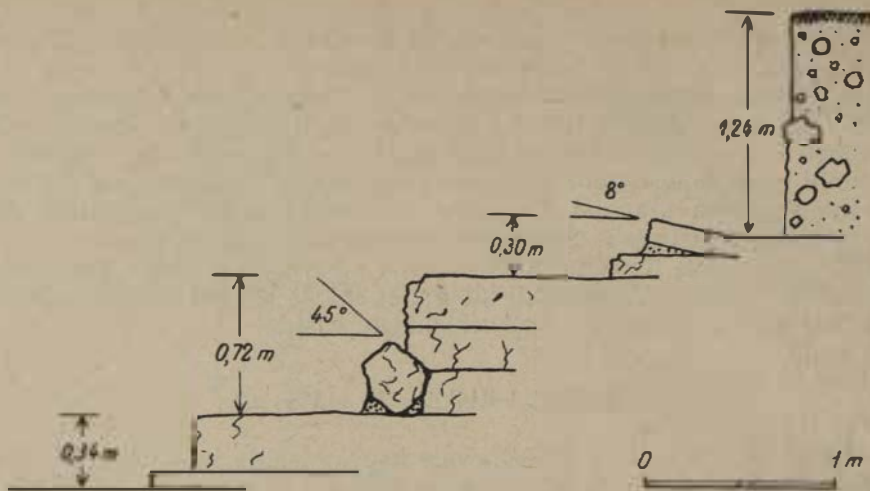
Kaevamistööl selgus, et kraater on tekkinud vähemalt 1,2 m paksuses põhimoreenis ja viimase all lamavates kaarma lademe (K<sub>1</sub>) paksu-kihilistes dolomiitides 1,5 — 1,6 m ulatuses. Seega on kraatri üldsügavus 2,7 — 2,8 m, kui aga arvestada sügavamaks punktiks kraatri põhjas asuva meteoriidi löögijäljeks peetavat lohu põhja, siis on sügavus 2,9 — 3,0 m.

Kraatri põhjapoolses osas (joon. 1; tahv. I, joon. 1) asub aluspõhja lainjas pealispind 1,2—1,3 m sügavuses. Kraavi NNW-seinas leidub pinnakattes 0,1 m paksuse mullakihi all profiili ülemises osas huumuse-segune põhimoreeni-laadne materjal, mis sisaldab rohkesti kristalliinseid rändrahe ja munakaid ning kuni 30% dolomiidirisu. Dolomiitrahnuide sisaldus materjalis kasvab kiiresti profiili alumises osas, tõustes 50%-ni. Kirjeldatud materjali tuleks lugeda üleminekuliseks tüüpilise kraatri täitematerjali ja põhimoreeni vahel. Kuna see asetseb kraatri perifeerses osas, aeti ta plahvatusel vähem segi.

Kraatri aluspõhjalise osa serv on astmeline. Võib eristada põhiliselt kolme suuremat astet, mis kohati jagunevad omakorda väiksemateks astmeteks (joon. 2).

Ülemise, 0,27 m kõrguse astme ülemine pool on peaaegu purustamata, esineb vaid nõrk lõhenemine. Osalt on ülemine kiht painutatud ülespoole kuni 8° nurga all. Seevastu on aga astme alumine osa tugevasti purustatud ja lõhenenud.

Teine aste dolomiidis on kõige kõrgem, keskmiselt 0,72 m. Astme ülemine pool kuni 0,40 m ulatuses on suhteliselt vähe purustatud ja läbitud vaid rohketest püstlõhedest. Astme alumine osa koosneb tugevasti purustatud pealispinnaga ja dislotseeritud, osalt kuni 45° nurga all üleüstetud ebakorrapärase kujuga dolomiitpankadest, mille all profiili valdavas osas levib peenestatud dolomiit, nn. dolomiitjahu.

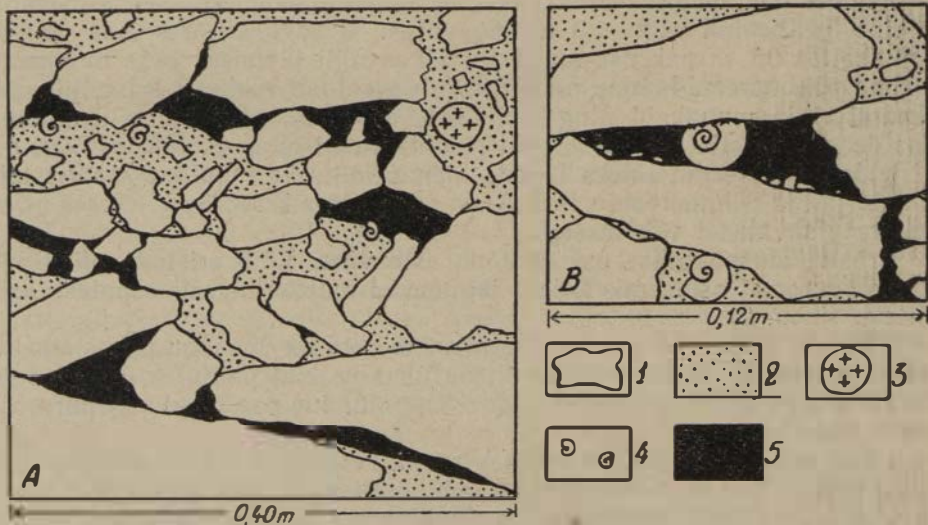


Joon. 2. Kraatri nr. 5 põhjapoolse serva profiil.

Madalama, kolmanda astme kõrgus on 0,34 m. Sellest ülemise, 0,22 m suuruse osa moodustab suhteliselt tugev, vähe purustatud kiht, kuna alumine — 0,12 m paksune osa on tugevasti lõhestatud, seda just kraavi idapoolses osas. Seevastu aga kraavi läänepoolses osas moodustab alumine kiht kuni 0,09 m kõrguse NNO—SSW-suunaliselt piki kraatri põhja kulgeva astme (joon. 1; tahv. I, joon. 1.).

Kraatri põhi selle kõige madalamas osas kujutab endast nõrgalt lainjat dolomiidikihi pealispinda. Erilisi deformatsioone ja põletamise tunnuseid, mida kirjeldas I. Reinwald kraatri nr. 4 põhja kohta, siin ei leidu.

Kraatri põhjas avastati poolsõõrjas lehtrikujuline lohk (tahv. II, joon. 2, 3). Viimane paikneb ekstsentriliselt kraatri läänepoolses osas, umbes 3 m kaugusel kraatri lääneservast. Lohu läbimõõt on põhja—lõuna suunas 60 cm, ida—lääne suunas 52 cm, sügavus 22 cm. Tema



Joon. 3. A — skits kraatri nr. 5 täitematerjalist profiili alumises osas. B — tigude mattumine täitematerjalis, 1 — suuremad dolomiitrahnud, 2 — täitematerjali peenem fraktsioon, 3 — tardkivimiline veeris, 4 — tigude kobjad, 5 — tühimikud.

idakülgl on suhteliselt sirge, keskmiselt 45° kallakuga, olles ilmselt kujunenud dolomiidis piki lõhesid, või tõenäolisemalt, dolomiidi lõhestumisel tugeva löögi puhul. Seevastu lohu N—W—S külgl läheneb kujult kera segmendile, omades tugevast löögist tingitud purustamise ja võib-olla ka suure kuumuse tõttu tekkinud põletamise tunnuseid. See osa lohu pinnast on intensiivselt lõhenenud ja valdavas osas kaetud dolomiitjähuga. Kirjeldatud lehtrikujulist lohku on analoogiliselt I. Reinwaldi (1928) poolt kraatris nr. 4 avastatud samalaadilisele moodustisele seletatud meteoriidi mehaanilise löögi jäljena.

Meteoriidi löögijäljest lõuna suunas on kraatri põhi selle puhastatud osa piirides suhteliselt tasane, tõustes vaid löögijäljest 1,5 m kaugusel mõne sentimeetri võrra kõrgemale. Püüdes jõuda kraatri lõunaserva aluspõhjaliste osadeni, satuti kaevamisel viimaste piirkonnas 1,0—1,5 m sügavusel suurtele, ilmselt lahtistele dolomiitrahnuitele (tahv. I, joon. 2), mida ajapuudusel enam kõrvaldada ei saadud. Püüdes neist rahnudest kaevamisel mööduda, jõuti kraavi SSO-poolses otsas plahvatuses puutumata savika põhimoreenini. Kui oletada, et kraatri aluspõhjaline serv on selles kohas maetud nende lahtiste rahnude alla (viimased arvatavasti ei kujuta serva dislotseeritud osi), siis peaks aluspõhja pealispind asuma siin vähemalt 1,7—2,0 m sügavusel, seega ligikaudu 0,5 m sügavamal kui kraatri põhjapoolses osas. Ilmselt on kraater tekkinud maetud nõrga aluspõhjalise astangu piirkonnas. See asjaolu võimaldab osaliselt seletada teravat ebasümmeetriat kraatri ehituses, mis ilmneb eeskätt meteoriidi löögijälje ekstsentrilisest asetusest kraatris, eriti kraatri aluspõhjalise serva suhtes (joon. 1).

### Täitematerjal

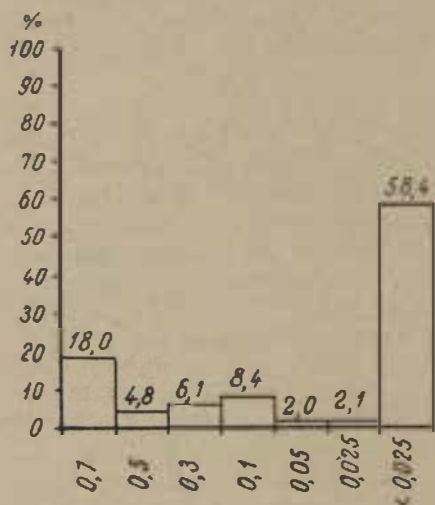
Kaali meteoriidikraatrid on kujunenud savikas põhimoreenis ja selle all asuvas kaarma lademe dolomiitides. Seetõttu on kraatrid täitunud omapärase, mõningal määral lokaalmoreeni meenutava materjaliga, mis on kujunenud plahvatusel purustatud dolomiidi mitmesuguse suurusega osade segunemisel põhimoreeni ja huumusega.

Kraatri nr. 5 täitematerjalis leiduvate suuremate dolomiitrahnuete läbimõõt on kuni 1 m. Nad on ebakorrapärase kujuga, teravaservalised, kulumise tunnusteta. Enamikus on nad tugevasti lõhenenud ning lagunevad sageli kergesti väiksemateks osadeks. Mõningail juhtudel võis märgata, et dolomiitrahnuete pinnad on tugevasti purustatud, isegi jahustatud. Rahnude asend täitematerjalis on enam-vähem kaootiline. Vaid suuremad rahnud lamavad ligikaudu horisontaalselt (joon. 3; tahv. III joon. 1—3).

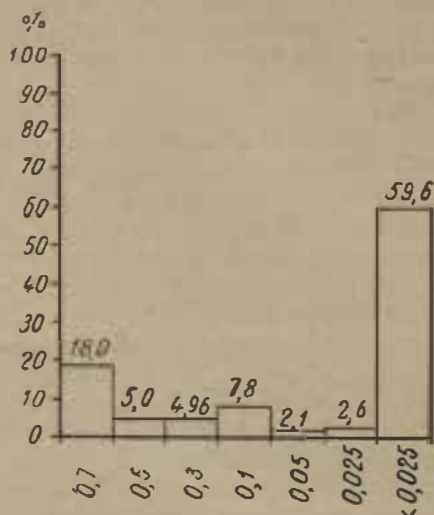
Täitematerjali terasuurus, struktuur ja petrograafiline koostis on profiilis nii horisontaalselt kui ka vertikaalselt varieeruv. Üldiselt näib olevat reeglipärane, et suuremate dolomiitrahnuete valdav levik piirdub täitematerjali alumise osaga, kuna profiili ülemises osas levib suhteliselt peenem materjal. Põhimoreenist pärineva materjali sisaldus on profiilis samuti varieeruv.

Välitöödel kaevatud kraavi keskosas, meteoriidi löögijälje lähemas ümbruses, moodustab täitematerjalis valdava koostisosa purustatud dolomiit, alates suurtest dolomiitrahnuetest ja lõpetades peene dolomiitjähuga. Viimane koosneb peamiselt peenikestest dolomiitromboeedritest, mis viitab tema tekkimisele mehaanilisel purustamisel (tahv. III, joon. 4). Profiili alumises osas leidub täitematerjalis rohkesti tühimikke, sõltuvalt suuremate dolomiitrahnuete asendist (joon. 3, tahv. III, joon. 1). Põhimoreenist

pärinevat materjali (tardkivimilised rahnud, munakad, veerised jne.), samuti huumust esineb profiili alumises osas võrdlemisi vähe. Nagu selgub jooniselt 7, on taoline «võõras» materjal esindatud peamiselt peenemate fraktsioonidena, mis osaliselt võisid sattuda kraatri alumisse ossa ka hiljem, pinnasevete toimel. Täitematerjali värvus on selles piirkonnas beežist kuni pruunikashallini.

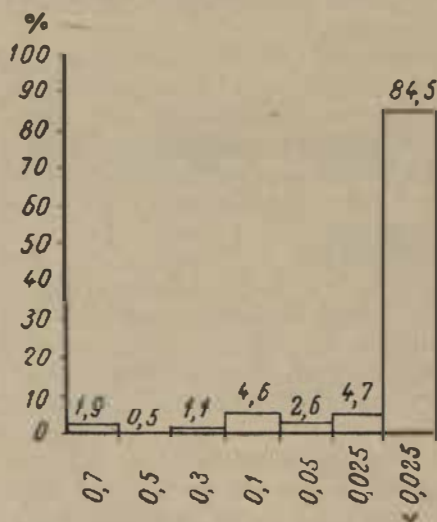


Joon. 4. Kraatri nr. 5 täitematerjali granulomeetriline koostis profiili alumises osas.

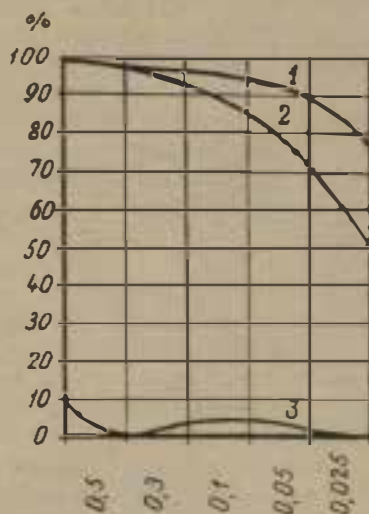


Joon. 5. Kraatri nr. 5 täitematerjali granulomeetriline koostis profiili ülemises osas.

Profiili ülemises osas esineb lõõgijälje lähemas ümbruses samuti dolomiidirikas täitematerjal. Kuid siin on märgatav suuremate rahnude harv esinemine (tahv. III, joon. 2). Siiski võib huvitava faktina märkida, et peenemate fraktsioonide (diameetriga alla 2,5 cm) levik on peaaegu



Joon. 6. Kraavi SSO-seinamist pärineva põhimoreeni granulomeetriline koostis.



Joon. 7. Karbonaatsete osakeste sisaldus: 1 — täitematerjalis profiili alumises osas, 2 — täitematerjalis profiili ülemises osas, 3 — põhimoreenis.

samasugune kui kraatri alumises osas (joon. 4—5). Põhimoreenist pärinevat materjali ning huumust esineb rohkem. Sellest tingituna on täitematerjali värvus tumedam, violetjashall.

Kraatri perifeersete osade suunas võib täheldada põhimoreenist pärineva materjali osatähtsuse kiiret suurenemist. Täitematerjal muutub savikamaks. värvuselt tumedamaks, kuni kraatri serva piirkonnas toimub täitematerjali peaaegu märkamatu üleminek savikaks põhimoreeniks, mis harva sisaldab karbonaatseid kivimeid.

Üllatavaks osutus rohke gastropoodikodade esinemine täitematerjalis, eriti selle ülemises osas. Teod esinevad peamiselt fragmentidena, kuid sageli, eriti täitematerjali tühimikes, leidub peaaegu täiesti terveid kodasid (tahv. III, joon. 2). Kohati võib näha, et tigude kojad on osaliselt purustatud neile langenud dolomiitrahnu poolt (joon. 3 B). See asjaolu kinnitab, et kojad on täitematerjali hulka sattunud plahvatuse ajal. Isegi osa tigude hilisemaks sinna sattumiseks on võimalused väga piiratud.

Sporaadiliselt leidub täitematerjalis veel puusöe tükikesi. Tuleb arvata, et nad sattusid täitematerjali hulka kraatri tekkimise ajal. Tigude ja puusöe esinemist kraatri nr. 5 täitematerjalis on märkinud ka I. Reinwald (1939), kes seejuures juhtis tähelepanu asjaolule, et sütt leidub siin vähem kui kraatris nr. 2.

### Meteoriittraua leiud

Esimesena leidis Kaali kraatritest meteoriittrauda I. Reinwald 1937. ja 1938. aasta suvel, millal ta kogus kraatrist nr. 2 ja nr. 5 31 meteoriidikildu, kogukaaluga umbes 100 g. Nimetatud killud on praegu NSV Liidu Teaduste Akadeemia Meteoriitide Komitee kogudes.

1955. aasta kaevamistel koguti kraatrist nr. 5 esialgse kaalumise järgi umbes 0,5 kg magnetilist materjali. Pärast kildude puhastamist ja eraldamist jäi fraktsioonidesse ligi 450 g meteoriidikilde diameetriga üle 1 mm. Sellele lisandub meteoriitse päritoluga osa magnetilises materjalis diameetriga alla 1 mm. Viimases esineb aga kõrvuti peenikeste meteoriittraua osakeste ja magnetiitse meteoriiditolmuga ka rohkesti väikseid magnetiidi oktaeedreid või rombdodekaeedreid. Viimased pärinevad põhimoreenist, kus nad paiknevad ühtlaselt hajusalt ning on meteoriiditolmust kergesti eristatavad oma korrapärase kristallivormi tõttu. Ligi-kaudselt hinnates moodustab meteoriitse materjali peenemate fraktsioonide kaal 40—50 g.

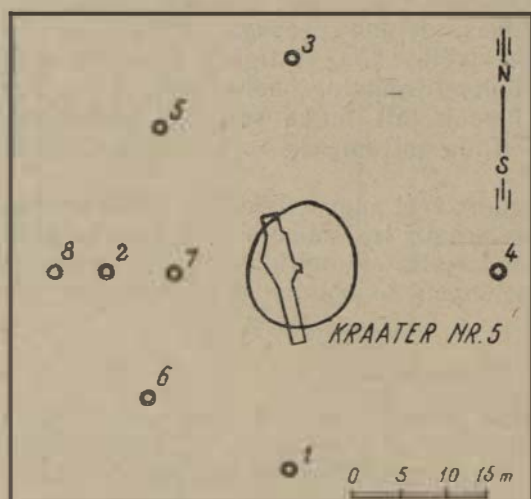
Leitud meteoriidikillud on väikesed. Üksikult kaaluti ainult 115 suhteliselt suuremat kildu, koguraskusega 161,79 g. Nendest on 51 kildu raskusega üle 1 g. Üle viie grammi kaaluvad vaid kuus kildu: 8,62 g, 8,48 g, 7,25 g, 7,08 g, 7,06 g ja 6,83 g.

Suhteliselt väiksemad meteoriidikillud eraldati sõelumise abil eri fraktsioonidesse ning kaaluti koos. Neist on kilde läbimõõduga 0,7—0,5 cm kogusummas 55,43 g, läbimõõduga 0,5—0,3 cm (tahv. IV, joon. 2) 84,95 g ja läbimõõduga 0,3—0,1 cm (tahv. IV, joon. 3) 146,25 g. Siit nähtub, et kogutud meteoriidikildudest on kaugelt suurem osa diameetriga alla 0,5 cm.

Kilde otsiti ka peakraatrist, järve kallastel, kus pinnas on kohati taimkatteta. Paari tunni jooksul koguti ligi 200 g magnetilist materjali, kuid lähemal vaatlemisel osutus sellest kaugelt suurem osa pseudometeoriitseks, mitmesuguse kuju ja suurusega roostetanud rauatükkideks. Osa materjalist võib siiski olla ka meteoriitse päritoluga, ent täpse analüüsita on seda küsimust võimatu lahendada.



Lisaks kraatrist nr. 5 kogutud materjalile leiti meteoriidikilde ka kraatri ümbrusse kaevatud šurfidest (joon. 8) kokku ca 20 g. Täpsemat arvu siin ei saa anda, sest nimetatud materjal koguti peamiselt kultuurkihist, kus tihti leidub ka pseudometeoriite. Samuti leidub šurfidest kogutud materjalis kõrvuti meteoriiditolmuga rohkesti magnetiidikristallikesi. Šurfid kaevati kraatri ümbrusse, et selgitada, millises suunas toimus plahvatusel väljapaiskunud meteoriitse materjali hajumine. Väikseid meteoriidikilde ja meteoriiditolmu leiti kõigis šurfides, kuid nende levik



Joon. 8. Kraatri nr. 5 ümbrusesse kaevatud šurfide asetusplaan.

poinud kaugelki ühtlane. Kõige rohkem meteoriitset materjali leiti šurfist nr. 8, mis asub kraatrist 20 m läänes, veidi vähemal määral aga kraatrist 15 m kaugusel lääne, edela ja lõuna pool kaevatud šurfidest. Ülejäänud neljas šurfis, millest esimene oli kaevatud kraatrist 7 m kaugusele läände, teised 15 m kaugusele loodesse, põhja ja idasse, leidis meteoriitset materjali vähe. Seega näib, et plahvatusel kraatrist väljapaisatud meteoriitse materjali hajumine on toimunud peamiselt lääne- ja lõunakaare vahel, põhjustatuna meteoriidi langemise suunast (idast läände või OSO—WNW) ning kraatri ebaühtlasest ehitusest, mis

on tingitud aluspõhja pealispinna reljeefist.

Leitud meteoriidikillud on ebakorrapärase kujuga, konarliku pinna ja tihti teravate servadega (tahv. IV, joon. 1—3). Nad on tugevasti porsunud, sageli läbitud lõhedest ning lagunevad seetõttu kergesti. Pindmiselt on killud kaetud limoniidiga tsementeerunud klastilise materjali (rauasavika kilda) kihiga, mistõttu nende leidmine täitematerjalist palja silma abil on raskendatud.

Kildude petrograafiline ja keemiline iseloom on I. Reinwaldi poolt kogutud materjali abil juba hästi tundma õpitud. A. Zavaritski ja L. Kvaša (1952) järgi on Kaali meteoriit jämestruktuurne oktaedriit. Meteoriidi keemiline koostis on järgmine:

| Koostisosad      | A. Väärismaa analüüsi järgi | M. H. Hey analüüsi järgi |
|------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Fe               | 84,04                       | 91,50                    |
| Ni               | 6,45                        | 8,32                     |
| P                | pole määratud               | —                        |
| Lahustumatu jääk | 0,53                        | —                        |
| Kokku            | 91,02<br>Fe:Ni=13           | 99,82<br>Fe:Ni=11        |

Seejuures märgib M. H. Hey väga väikest Cu ja Co sisaldust.

Šurfidest, vähemal määral ka kraatrist kogutud magnetilise materjali hulgas leitud teatud hulk korrapäraseid kerakujulisi magnetilisi osakesi (tahv. IV, joon. 4) diameetriga 0,15—6,4 mm. Lähemal vaatlusel selgus, et kerakesed koosnevad magnetiidist ( $\text{FeO}_4$ ) ja on kas sileda läikiva või koreda pinnaga. Üksikute purustatud kerakeste järgi võib otsustada, et väiksemad kerakesed, läbimõõduga alla 0,5 mm, on suuremalt osalt seest õõnsad, suuremad aga vahtja struktuuriga. Kerakesed, mille diameeter ületab 2—4 mm, ei koosne ilmselt enam täiel määral magnetiidist, otsustades nende pinnal porsumisest tekkinud roostelaikude järgi. Koos magnetiitkerakestega leidub ka ebakorrapärasema kujuga magnetiitseid osakesi — tilgakujulisi, keppjaid jne.

Taolisi magnetiitkerakesi on pinnasest rohkesti kogutud Sihhote-Alini meteoriidisaju langemise piirkonnas. I. L. Krinovi (1955) järgi on seal nende läbimõõt  $3\mu$  kuni 0,8 mm. Osakeste uurimisel jõudis I. L. Krinov otsusele, et nad kujutavad endast meteoriidi liikumisel atmosfääris ülesulanud pinnakihi eraldunud piisku — meteoriidi tolmu jälje osakesi (atmosfääris liikudes kattuvad raudmeteoriidid kuumenemisel sulamiskoorikuga, mis kõrge temperatuuri juures õhuhapnikuga reageerides omandab magnetiitse koostise).

Toodud seletus ei anna siiski täiesti ammendavat vastust Kaali kraatriterühma piirkonnast leitud kõigi magnetiitkerakeste tekke kohta. Nagu eespool mainitud, esineb koos väikeste, täiesti magnetiidist koosnevate kerakestega ka suuremaid, mille tekkimist meteoriidi tolmu jälje osakesena on väga raske seletada. Teiseks on magnetiitkerakeste levikus märgata teatud korrapärasust: peamine osa nendest koguti kraatrist läänes asuvast šurfist nr. 8, kraatrist lõuna ja lääne vahel kaevatud šurfidest leiti vähem materjali ning ülejäänud šurfidest vaid üksikuid väikesi kerakesi. Seega on magnetiitkerakeste levikutihedus analoogiline kraatrist väljapaiskunud meteoriidikildude levikuga. Kahtlemata tuleb seda küsimust veel uurida, kuid esialgu näib, et vähemalt osa magnetiitkerakestest on tekkinud plahvatusel kraatrist väljapaistatud kuumadest metallipriitsmetest, mis õhuhapnikuga reageerides omandasid magnetiitse koostise.

Nii kraatrist kui ka šurfidest kogutud magnetilise materjali hulgas leidub ka rohkesti ebakorrapärase kujuga teravanurgalisi magnetiitseid osakesi — meteoriiditolmu. Šurfist nr. 8 on leitud ka väikene, 4 mm läbimõõduga 0,2—0,5 mm paksune tugevasti paindunud magnetiitplaat (tahv. IV, joon. 5), mille pinnal võib näha üksikut magnetiitkerakest. Ilmselt on siin tegemist meteoriidi sulamiskooriku killuga.

Tuleks veel peatuda lühidalt mõningatel küsimustel, mida edasisel meteoriidikildude otsimisel on vaja silmas pidada.

Kraatris nr. 5 läbiviidud kaevetöödel selgus, et suuremate meteoriidikildude levik piirdus põhiliselt kraatri keskosaga, kusjuures enamik kilde leiti täitematerjali alumisest poolest. Seega näib, et vähemalt antud juhul suur osa meteoriitsest materjalist ei sattunud kuigi kaugemale plahvatuses tsestrist.

Küsimusele, kui palju suuremaid meteoriidikilde võiks leida väljaspool kraatreid, on raske vastata. Cañon Diablo (Arizona) meteoriidikraatri uurimisel on näiteks kraatri ümbrusest kogutud suur hulk (20 t) meteoriitset materjali. Siin tuleb arvestada siiski asjaolu, et Kaali kraatritegrupp asub ammu asustatud piirkonnas ning üksikud meteoriidikillud võidi toormetallina ära korjata juba ürgkogukondliku korra ajal, nagu seda oletasid I. Reinwald (1937) ja Cl. Fisher (1936).

## Kraatrite tekke küsimusi

Juba I. Reinwaldi esimestest töödest (1928, 1932) alates pole kahtlust, et Kaalijärve kraatritegrupp on meteoriitse päritoluga, tekitatud gigantse meteoriidi poolt, mis säilitas atmosfääris liikudes oma kosmilise kiiruse ning, lagunenedu mitmeks erineva suurusega osaks, põhjustas maaga kokku põrgates kraatrite tekkimise.

Meteoriidikraatrite tekkimise teooriat on puudutatud E. Pobuli (1958) artiklis, mistõttu siinkohal püütakse esitada vaid mõningaid kraatri nr. 5 uurimisel selgunud detaile.

I. Reinwald peab meteoriidi langemissuunaks umbes OSO—WNW suunda ja kaldenurgaks 40°, oletades seda peamiselt kraatri nr. 4 lahtikaevamisel saadud andmete järgi. Otsustades kraatri nr. 5 ja eriti meteoriidi löögijälje ehituse järgi, võiks meteoriidi langemissuund olla ligikaudselt idast läände, seega ei erine see kuigi palju I. Reinwaldi oletusest. Mis puutub kaldenurka, siis näib, et see on olnud suhteliselt väga suur, kuid tuleb ka arvestada, et I. L. Krinovi (1955) järgi ei ületa meteoriitide langemise kaldenurk pikaajaliste vaatluste andmetel 30°.

Nagu meteoriidi löögijälje kirjelduses on mainitud, läheneb selle N—W—S-külg kujult kera segmentile ning omab tugeva löögi tagajärjel tekkinud purunemise tunnuseid. Seevastu löögijälje idapoolne külg näib olevat otsesest löögist puutumata. Siit võib järeldada, et meteoriidi läbimõõt oli mõnevõrra väiksem löögijälje läbimõõdust. Ligikaudselt võib löögijälje kujundanud meteoriidi diameeter olla 20—25 cm.

Nagu varem märgitud, leiti kraatri nr. 5 täitematerjalist plahvatusel sinna rohkesti sattunud maismaatigusid. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Zooloogia ja Botaanika Instituudi teadusliku töötaja J. Vilbaste määramise järgi esinevad siin järgmised liigid:

*Cepaea hortensis* (Müll.)

*Eulota fruticum* (Müll.)

*Trichia hispida* (L.)

*Cochlodina laminata* (Mont.)

*Goniodiscus rotundatus* (Müll.)

*Goniodiscus ruderatus* (Stud.)

*Retinella hammonis* (Ström.)

*Vitrea crystallina* (Müll.)

*Vallonia pulchella* (Müll.)

I. Reinwald (1939) märgib veel *Succinea putris* L. esinemist kraatris nr. 2.

Selline liigiline koosseis võiks iseloomustada niisket vōsastunud, rannikust mitte väga kaugel asetsevat piirkonda. Järelikult on kraatrid tekkinud peatselt pärast Litoriina mere taganemist Kaali ümbrusest. Seega võiks Kaalijärve meteoriidikraatrite vanuseks lugeda ligikaudu 4000—5000 aastat.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Geoloogia Instituut

### KIRJANDUS

Fisher, Cl. The Meteor Craters in Estonia. Natural History, vol. XXXVIII No. 4. New-York, 1936.

Pobul, E. Kaali järve meteoriidikraatri nr. 3 magnetomeetrilisest uurimisest. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi uurimused II. Tallinn, 1958.

Reinwaldt, I. Bericht über geologische Untersuchungen am Kaalijärv (Krater von Sall) auf Ösel. Tartu Ülikooli Geoloogia-Instituudi Toimetused nr. II. Tartu, 1928.

Reinwaldt, I. Kaali järv — the Meteorite Craters on the Island of Ösel (Estonia). Tartu Ülikooli Geoloogia-Instituudi Toimetused nr. 30. Tartu, 1933.

Reinwald, I. Meteorkraatrid Saaremaal. Looduskaitse I. Tallinn, 1937.

Reinwald, I. The Kaalijärv Meteor Craters (Estonia). Tartu Ülikooli Geoloogia-Instituudi toimetused nr. 55. Tartu, 1939.

Кринов Е. Л. Основы метеоритики. Москва, 1955.

Заварицкий А. Н. и Кваша Л. Г. Метеориты СССР. Академия наук СССР. Москва, 1952.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА № 5 ГРУППЫ КААЛИЯРВ В 1955 ГОДУ

А. О. ААЛОЭ

### *Резюме*

Летом 1955 года были проведены частичные раскопки кратера № 5 группы метеоритных кратеров Каалиярв, расположенной на острове Сааремаа Эстонской ССР.

Наименьший из этой группы кратер № 5 имеет плоскую чашевидную, в плане неправильно-овальную форму с длинной осью до 13 м и с короткой осью до 11,5 м; глубина его достигает 0,9 м.

При раскопках выяснилось, что кратер образовался в толще основной морены мощностью не менее 1,2 м и в нижележащих пластах доломита каармаского горизонта (верхний силур); общая глубина кратера 2,7—3,0 м. Северный край кратера в коренных породах уступчатый. Дно кратера в коренных породах представляет собой слабо волнистую поверхность, сложенную доломитом. В западной части коренного дна вскрыто небольшое воронкообразное углубление глубиной 22 см и поперечником до 60 см. Аналогично описанному И. Рейнвальдом углублению на дне кратера № 4, оно считается следом механического удара метеорита. При попытке вскрыть коренные породы южного края кратера, на глубине 1—1,5 м были встречены большие доломитовые глыбы, которые не удалось преодолеть. Доломитовый край кратера в данном месте находится явно под этими глыбами.

Кратер заполнен образовавшимся при взрыве материалом из обломка доломита и основной морены с гумусом. В средней части канавы был вскрыт заполняющий материал с большим содержанием обломков доломита. К периферии кратера заполняющий материал становится все более глинистым, и у края кратера происходит почти незаметный переход его в основную морену. В заполняющем материале найдено много фрагментов и целых раковин наземных моллюсков, а также рассеянные обломки древесного угля, которые явно попали в кратер при взрыве.

При помощи магнита из заполняющего материала было собрано всего 450 г осколков железного метеорита, диаметрами более 1 мм. Кроме того, материал метеоритного происхождения обнаружен и во фракциях диаметром менее 1 мм, но поскольку в основной морене содержатся кристаллики магнетита, то метеоритный материал такой фракции не поддавался количественному определению. Найденные осколки покрыты коркой железисто-глинистых сланцев. Самый крупный осколок имел вес 8,62 г.

С целью обнаружения метеоритного материала за пределами исследуемого кратера были выкопаны 8 мелких шурфов. По количеству собранных в этих шурфах осколков метеорита можно утверждать, что выброшенный взрывом метеоритный материал рассеивался в основном в западном—юго-западном направлении. Среди материала, собранного из шурфов при помощи магнита, были найдены немногочисленные магнетитовые шарики диаметром от 0,15 до 6,4 мм. Часть шариков, несомненно, является частицами пылевого следа метеорита, а другая часть, по размеру более крупная, явно образовалась из металлических брызг при взрыве метеорита, на что указывает их распространение, совпадающее с распространением осколков метеорита, выброшенных из кратера.

Судя по строению кратера № 5 и особенно по форме следа удара, метеорит падал приблизительно в направлении с востока на запад; угол

падения его был около 30°. Диаметр метеорита, образовавшего след удара, равнялся примерно 20—25 см.

Видовой состав найденных в кратере моллюсков указывает на то, что группа кратеров Каалиярв образовалась вскоре после отступления литоринового моря из окрестностей Каали, т. е. примерно 4000—5000 лет тому назад.

Институт геологии  
Академии наук Эстонской ССР

## INVESTIGATION OF METEORITE CRATER No. 5 OF THE KAALIJÄRV GROUP IN 1955

A. AALOE

### Summary

In the summer of 1955 partial excavations of crater No. 5 of the meteorite crater group Kaalijärv on the island of Saaremaa in the Estonian S.S.R. were carried out.

The smallest crater of this group, crater No. 5 had originally a flat bowl-shaped form. The greatest depth of the hollow was 0.9 m. As to its ground plan, the crater has the shape of an irregular oval whose long axis is 13 m. and short axis up to 11.5 m.

At the excavations it was ascertained that the crater was formed in the layer of the boulder clay (which is no less, than 1.2 m. in section) and in the strata of the Kaarma stage (the Upper Silurian period), the general depth of the crater ranges from 2.7 to 3.0 m. The northern

---

### TAHVEL I

- Joon. 1. Kraatrit läbistava kraavi põhjapoolne osa. Näha osa kraatri põhjast, aluspõhjalisest servast ja meteoriidi löögijälg.  
Joon. 2. Kraatrit läbistava kraavi lõunapoolne osa suurte dolomiidirahnudega.

### TAHVEL II

- Joon. 1. Vaade kraatrile nr. 5 lääne suunast.  
Joon. 2. Meteoriidi löögijalg, pildistatud põhja suunast.  
Joon. 3. Plaaniline skits ja profiilid meteoriidi löögijäljest.

### TAHVEL III

- Joon. 1. Täitematerjal kraatri tsentraalses osas, põhja lähedal. Vasara varre pikkus 50 cm.  
Joon. 2. Täitematerjal kraatri tsentraalses osas, profiili ülemises pooles.  
Joon. 3. Tigude [*Cepaea hortensis* (Müll.)] kojad täitematerjalis.  
Joon. 4. Dolomiitjahu kraatri serva piirkonnast. Suurendus 80 ×.

### TAHVEL IV

- Joon. 1. Kraatrist nr. 5 kogutud suuremaid meteoriidikilde (kaaluga 8,62—1,33 g) loomulikus suurus.  
Joon. 2. Meteoriidikilde läbimõelduga 0,5—0,3 cm. Loomulik suurus.  
Joon. 3. Meteoriidikilde läbimõelduga 0,3—0,1 cm. Loomulik suurus.  
Joon. 4. Magnetiitkerakesi. Suurendus 8 ×.  
Joon. 5. Tükike meteoriidi sulamiskoorikust üksiku magnetiitkerakesega pinnal. Suurendus 8 ×.



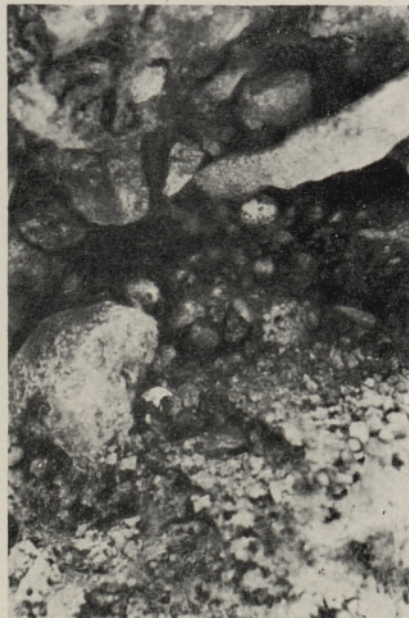




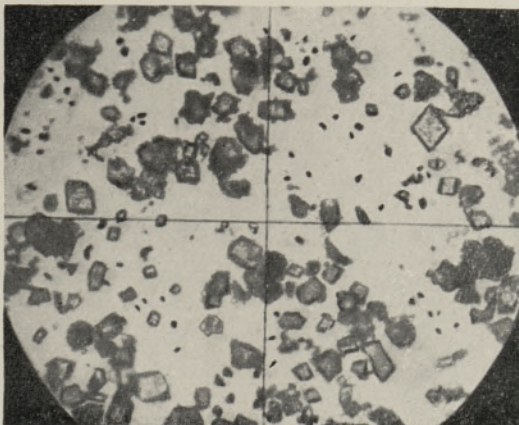
1



2

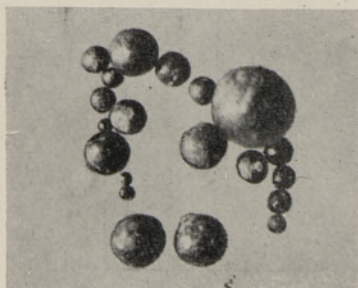
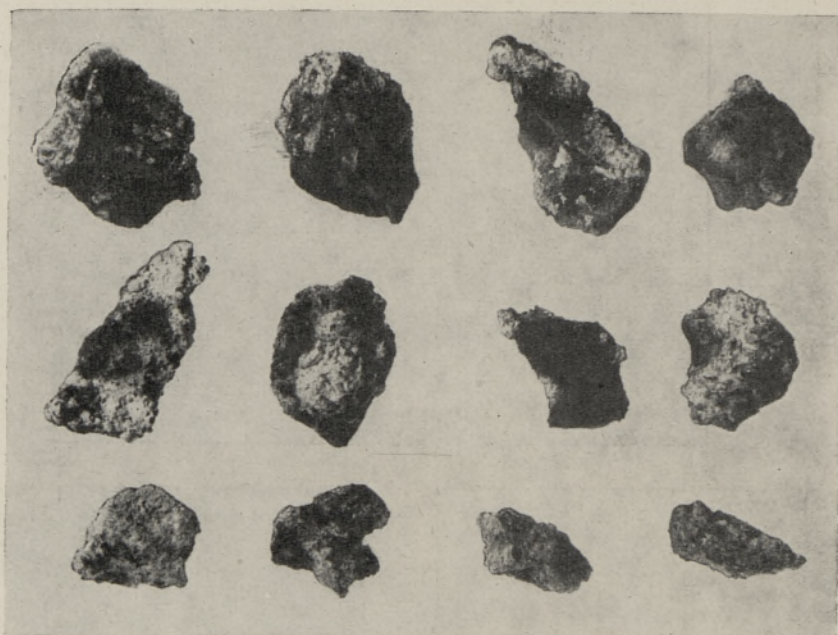


3



4





rim of the crater has the form of steps in the fundamental rock. The basal rock of the bottom of the crater forms a wavy surface composed of dolomite. In the western part of the fundamental bottom a small crater-like funnel, 22 cm deep and 60 cm in diameter was discovered. Analogically to the funnel described by I. Reinwald, which is situated at the bottom of crater No. 4, it is considered to be a trace of the impact of a meteorite.

During an attempt to expose the fundamental rock of the southern rim of the crater at a depth of 1—1.5 m., some large dolomite blocks were struck that could not be coped with. The dolomite rim of the crater at that point is obviously situated under the blocks.

The crater is filled with material that originated at the time of the explosion, and which consists of a mixture of dolomite splinters and boulder clay with soil. In the central part of the ditch rich dolomite-containing material was discovered. Toward the peripheral parts of the crater the filling material becomes more clayey and at the edge of the crater an almost unnoticeable transition to boulder clay takes place. In the filling material many fragments of shells of land snails, and whole shells were found, as well as some scattered bits of wood coal that evidently got into the crater during the explosion.

With the aid of magnets a total of 450 g fragments of meteoric iron over 1 mm in diameter were extracted from the filling material. Besides the above mentioned, some material of meteoric origin with diameters less than 1 mm were found; in addition to small fragments of meteoric iron and meteoric dust, a considerable amount of crystalline magnetite is contained in the boulder clay. The fragments found are covered with a crust of iron-shale. The biggest fragment weighed 8.62 g.

In order to establish the occurrence of meteoric material beyond the bounds of the crater under examination, 8 smaller excavations were carried out in its immediate surroundings. The amount of meteoric fragments found there has proved that meteoric material was scattered at the explosion chiefly in a westerly and south-westerly direction. Among the material collected in the course of the excavations with the aid of magnets, some tiny balls of magnetite from 0.15 to 6.4 mm in diameter were found. There is no doubt that a part of these grains are particles of the dusky trail of the meteorite. Another part of the balls, somewhat bigger in size, obviously originated in the splash of the metal during the explosion, as may be concluded from the area of their spread which coincides with the spread of meteoric fragments thrown out of the crater.

Considering the structure of crater No. 5, and especially the shape of the trace of the impact, of the meteorite, it may be stated that the direction of the fall of the meteorite was approximately from west to east; the angle of its fall was approximately 30°. The diameter of the meteorite which caused the trace might have been about 20 to 25 cm.

The species of molluscs found in the crater indicates that the crater group of Kaalijärv dates from the period immediately following the retreat of the Littorina sea from the surroundings of Kaali, i. e., from about 4000—5000 years ago.