

Ep. 5.12

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA GEOLOGIA INSTITUUDI UURIMUSED
ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

XI

МЕТЕОРИТИКА

ТАЛЛИН 1963 TALLINN

ОБ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ КААЛИСКИХ МЕТЕОРИТНЫХ КРАТЕРОВ

А. О. ААЛОЭ

Небольшое озеро Каали на острове Сааремаа, имеющее совершенно правильную круглую форму, поперечник которого изменяется, в зависимости от уровня воды, от 30 до 50 м, привлекло к себе внимание исследователей уже в первой половине XIX века (табл. I). Озеро находится на дне большого чашеобразного углубления, окаймленного земляным валом высотой от 3 до 7 м. Диаметр этой котловины 110 м, а глубина от гребня вала до дна озера около 16 м. В верхней части склонов котловины встречаются приподнятые в направлении центра котловины пласты коренных пород (см. табл. II, фиг. 2).

В окрестностях озера Каали находится ряд более мелких углублений, которые местные жители называют «сухими озерами» (см. рис. 1).

Первые данные об озере Каали приводятся в работе И. Луце (Luce, 1827), в которой дается краткое описание котловины и указывается, что она возникла при «эксплозии подземного огня», т. е. вследствие вулканического процесса. Более подробное описание озера и всей котловины приведено в работе Э. Гофмана (Hofman, 1837), но в ней автор ничего не говорит о причинах возникновения озера. По этому вопросу позднее высказался Э. Эйхвальд. Он (Eichwald, 1843) считал, что озеро помещается в большой открытой трещине в силурийских известняках. Позже Эйхвальд (Eichwald, 1852) пишет, что озеро Каали находится в долине тектонического происхождения, а в 1854 г. уже высказывает новую точку зрения на происхождение озера: весь кратер представляет собой древнеэстонское городище, в котором естественное озеро окружено искусственным земляным валом и помещается в карстовой воронке. К последнему взгляду Эйхвальда примкнул также академик Ф. Шмидт (Schmidt, 1858), который отметил, что большая часть вала кратера может быть искусственной, а озеро представляет собой карстовую воронку на месте бывшего тектонического поднятия. Как карстовую форму рассматривали это озеро С. Куторга (Kutorga, 1853) и другие авторы.

Другая группа исследователей придерживалась вулканической гипотезы возникновения Каалиского кратера и других находящихся вблизи него и значительно меньших по размеру кратероподобных образований. Из этих авторов следует упомянуть Ф. Вангенхэйма Квалена, который в своих статьях, опубликованных в 1849—1850 гг. (Wangenheim v. Qualen, 1849a, 1849b, 1850) утверждал, что рассматриваемый кратер возник вследствие извержения воды, шлама, пара или газа и представ-

ляет собой типичный маар. Мааром считал озеро Каали и К. Тейхерт (Teichert, 1927). По мнению О. Линстова (Linstov, 1919), извержение газов было обусловлено естественной дистилляцией диктионемового сланца.

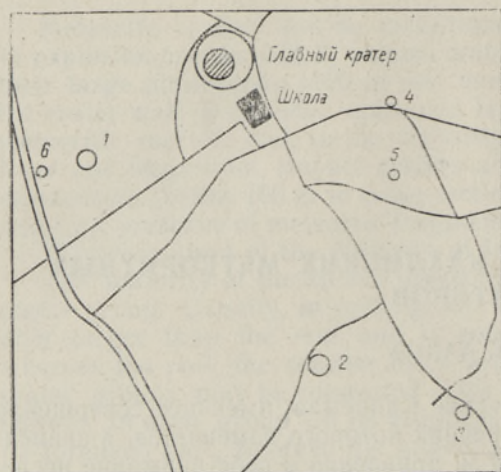


Рис. 1. Схематический план Каалиского кратерного поля.
Цифры 1-6 — более мелкие кратеры.

Совсем иначе объясняет происхождение озера И. Калкун (Kalkun, 1922) в своем учебнике общей геологии. Калкун утверждал, что озеро Каали — метеоритный кратер. В качестве доказательства он указывал на морфологическое сходство этого кратера с Аризонским.

В 20-х годах XX столетия появилась еще новая гипотеза, автором которой был директор бывшего Горного отдела Министерства торговли и промышленности буржуазной Эстонии Ю. Карк. Он считал, что возникновение озера связано либо с соляными, либо с гипсовыми структурами. Такое же мнение высказал и Э. Краус (Kraus, Meyer, Wegener,

1928). Исходя из последней гипотезы, на горного инженера И. Рейнвальда было возложено задание выяснить возможности нахождения в окрестностях озера Каали залежей каменной соли или гипса, а также осветить вопрос о происхождении озера.

К полевым работам Рейнвальд приступил в сентябре 1927 года. Буровой скважиной, заложенной недалеко от озера, им были вскрыты лишь горизонтально залегающие верхнесилурийские доломиты на мощность не менее 60 м. Гипса или каменной соли обнаружено не было.

Для изучения самого озера были заложены канавы на северном и южном склонах главного кратера (№ 1 и 2 на рис. 2). В обеих канавах под толщей обломков доломита, смешанных с глинистыми ледниковыми отложениями, были вскрыты приподнятые пласты доломита общей мощностью около 10 м, а под ними — толща доломитовой муки мощностью до 6 м. Как показали данные бурения, под этой толщей встречаются уже горизонтальные пласты доломита в коренном залегании. Зондированием было установлено, что дно кратера имеет под уровнем воды чашеобразную форму. Дно озера в значительной части заполнено илом, мощность которого к середине озера увеличивается и в центре его превышает 5 м.

Изучение главного кратера было связано с большими трудностями, и поэтому работы были перенесены на более мелкие кратеры № 1 и 4.

Край коренного ложа кратера № 1 был расчищен в трех пунктах. И здесь, под толщей приподнятых пластов доломита мощностью 2 м, была вскрыта толща доломитовой муки, мощность которой достигала 1 м. Наиболее существенные результаты были получены при раскопках в кратере № 4, в котором были частично расчищены край и дно кратера до коренных пород (рис. 3). Оказалось, что коренное дно кратера представляет собой слабо деформированную волнистую поверхность, сложенную доломитом. В середине дна было обнаружено воронкооб-

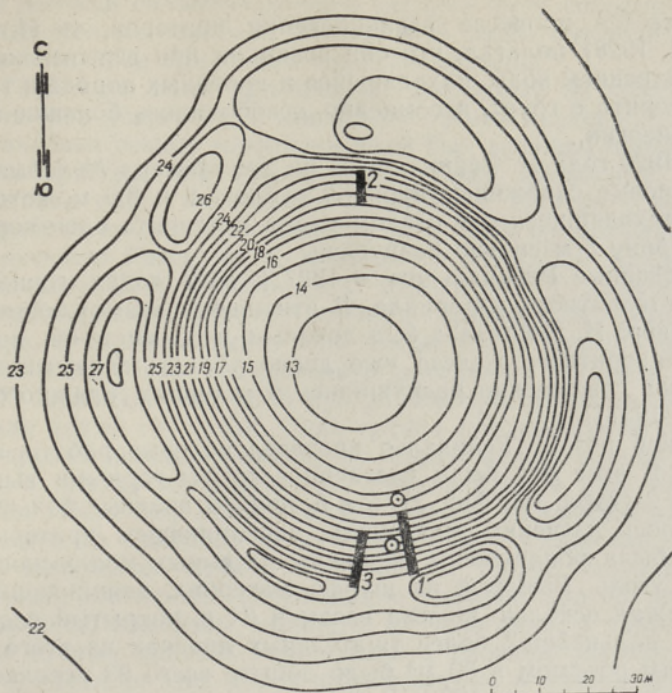


Рис. 2. План главного Каалиского метеоритного кратера.
1 и 2 — канавы, заложенные И. Рейнвальдом в 1927 г.; 3 — канава,
заложенная в 1960 г.

разное углубление поперечником до 1 м и глубиной 0,5 м (табл. III, фиг. 1). Доломит в пределах воронки был сильно разрушен.

Такая воронка в коренных породах могла возникнуть только от удара падающего твердого тела о грунт, и И. Рейнвальд пришел к за-

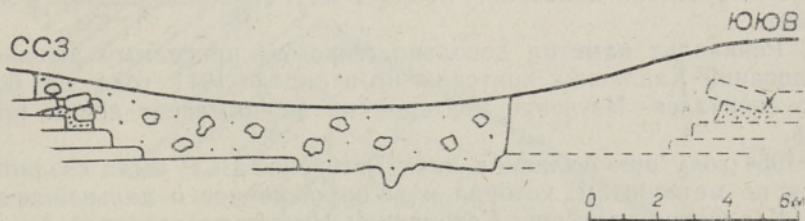


Рис. 3. Схематический разрез через кратер № 4 Каалиской группы по И. Рейнвальду (1928).

ключению, что как кратер № 4, так и вся группа Каалиских кратеров образовались при падении гигантского железного метеорита. Такое же предположение высказал А. Вегенер (Kraus, Meyer, Wegener, 1928), который в 1927 году вместе с Рейнвальдом провел в Каалиских кратерах небольшие по объему полевые работы. В противоположность И. Рейнвальду А. Вегенер считал, что Каалиский метеорит был каменный. Судя по строению воронки на дне кратера № 4, т. е. по следу удара метеорита о грунт, И. Рейнвальд заключил, что метеорит падал с востока под углом около 40° .

Что касается процесса возникновения кратеров, то И. Рейнвальд (Reinwaldt, 1928) полагал, что они возникли при взрыве, который был вызван испарением воды, находящейся в коренных породах, так как при ударе метеорита о грунт, несомненно, освободилось большое количество тепловой энергии.

Летом 1929 года И. Рейнвальдом на дне кратера № 4 были заложены две буровые скважины глубиной около 5,8 и 3,6 м, которые показали, что находящиеся под следом удара метеорита слои коренных пород на глубину 5 м сильно разрушены.

Произведенные Рейнвальдом в 1927 и 1929 годах горные работы не дали метеоритного материала. В отношении возможности нахождения последнего И. Рейнвальд был довольно пессимистичен, полагая, что осколки метеоритного железа уже давно убраны первыми земледельцами или же совершенно разрушились в условиях влажного климата (Reinwald, 1937).

Последний раз И. Рейнвальд произвел полевые работы в Каали в 1937 году. В этот раз были частично вскрыты горными выработками кратеры № 2 (табл. III, фиг. 2), 5 и 6, причем впервые большое внимание уделялось изучению материала, заполняющего кратеры. В этом материале были обнаружены раковины наземных моллюсков, а также древесный уголь. Вынутый из шурфа материал, заполняющий кратер № 2, содержал осколок железа весом в 24 г, покрытый слоем ржавчины. При дальнейших более тщательных поисках из этого же материала общим объемом в 80 м³ было добыто всего 28 осколков железа суммарным весом свыше 100 г. В материале, заполняющем кратер № 5, было найдено три осколка железа, причем один из них в 1938 году.

Предварительный химический анализ, произведенный А. Вяэрисмаа, и более детальное химическое и минераграфическое изучение найденных железных осколков, осуществленные М. Х. Хеем и Л. И. Спенсером (Spencer, 1938) в Лондоне, подтвердили метеоритное происхождение этих осколков. По определению А. Н. Заварицкого и Л. Г. Кваша (1952), Каалиский метеорит является грубоструктурным октаэдритом.

Таким образом, метеоритное происхождение Каалиских кратеров было окончательно доказано. Возраст их Рейнвальд оценил в 4000—5000 лет.

И. Рейнвальд наметил довольно широкую программу дальнейших исследований Каалиских кратеров, но в апреле 1941 года он безвременно скончался. Изучение кратеров на значительное время прекратилось.

В 1954 году при Академии наук Эстонской ССР была создана Комиссия по метеоритам, которая и подняла вопрос о дальнейшем изучении Каалиских кратеров. Сотрудники Института геологии Академии наук Эстонской ССР приступили к работе летом 1955 года. Старшим научным сотрудником Э. Побулум была произведена магнитометрическая съемка кратера № 3, которой были выявлены микроаномалии порядка до десяти гамм. При разработке материала Э. Побулум (Pobul, 1958) пришел к выводу, что эти микроаномалии могут быть вызваны мелкими осколками метеоритного железа. В кратере № 5 раскопки были проведены под руководством автора настоящей статьи и Л. Сарва. Эти раскопки ставили своей целью изучение морфологии кратера и характера заполняющего его материала, а также поиски осколков метеорита. Результаты упомянутых работ были доложены VII метеоритной конференции в Москве (см. Аалоз, 1958). Здесь отметим лишь, что в результате частичной расчистки края и дна кратера № 5 были получены некоторые новые данные о строении кратера и о заполняющем его мате-

риале. При помощи сильного ручного магнита было собрано всего около 500 г осколков метеорита и метеоритной пыли. Метеоритный материал обнаружен и за пределами данного кратера.

Летом 1957 года были произведены небольшие по объему работы с целью проверки результатов магнитной съемки кратера № 3. В точке одной из наиболее резких микроаномалий был заложен шурф, пройденный до дна кратера. Из шурфа был собран магнитный материал. Результаты этих работ излагаются в статье Э. Побула (1963). Летом 1959 года работы по вскрытию кратера № 5 были продолжены. В то же лето по поручению Комитета по метеоритам АН СССР Каалиские кратеры обследовали Е. Л. Кринов, Л. Г. Кваша и И. Т. Зоткин. Они указали на необходимость усилить изучение кратеров, в частности главного кратера. В соответствии с этим Комиссия по метеоритам при АН ЭССР выработала новую, расширенную программу изучения Каалиских кратеров. К осуществлению этой программы приступили летом 1960 года. Работали двумя группами. Одна группа продолжала вскрытие кратера № 5, другая заложила канаву на южном склоне главного кратера, в 10—15 м к западу от заложенной Рейнвальдом в 1927 году канавы (см. рис. 2). Поскольку новую канаву решили законсервировать и покрыть навесом, то выкопанный материал был использован для засыпки старой заваленной канавы Рейнвальда. Кроме указанных работ, были частично расчищены окружающие главный кратер приподнятые пласты доломита, замерены элементы их залегания, а также частично расчищены старые канавы Рейнвальда в главном кратере и в кратере № 1. В процессе этих работ производились и поиски осколков метеорита.

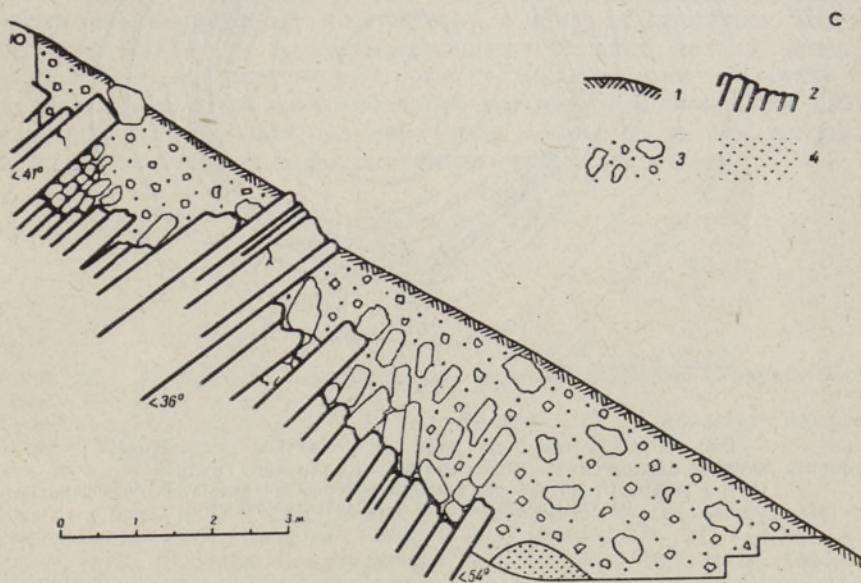


Рис. 4. Разрез канавы, заложенной в 1960 г. на южном склоне главного кратера (№ 3 на рис. 2).

1 — почва; 2 — пласты доломита; 3 — заполняющий кратер рыхлый материал; 4 — доломитовая мука.

Новая канава в главном кратере начинается почти с самой вершины вала и направлена к центру котловины. Длина канавы 12,5 м. В пре-

делах вала были вскрыты приподнятые пласты доломита, которые залегают здесь на глубине до 1,5 м от земной поверхности. Пласты падают в юго-юго-восточном направлении под углом $36-54^\circ$ (рис. 4). Необходимо отметить, что в пределах вала заполняющий кратер материал является довольно глинистым и в этом отношении приближается к составу основной морены. В более глубокой же части канавы заполняющий материал сложен в основном мелким доломитовым щебнем с небольшой примесью глинистого вещества и более крупных обломков доломита. Эти наблюдения позволяют предполагать, что вал главного кратера складывается в основном приподнятыми пластами доломита, покрытыми первично залегающей на них основной мореной. Материал же, выброшенный из кратера во время взрыва, по-видимому, играет в строении вала второстепенную роль. Общая мощность приподнятых пластов доломита достигает в пределах данной канавы 10 м. Под ними у нижнего конца канавы вскрыта доломитовая мука (см. рис. 4).

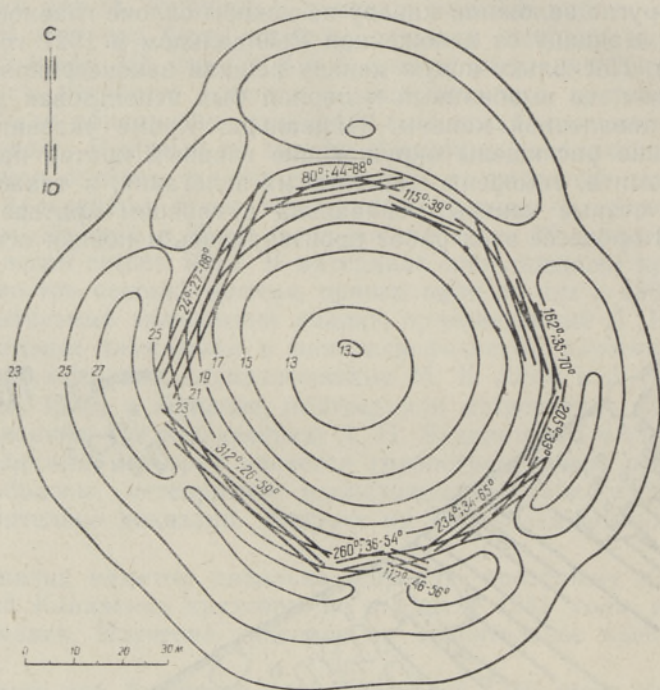


Рис. 5. Схематический план приподнятых доломитовых блоков в главном кратере Каалиской группы. Цифры указывают на средние азимуты простираения отдельных блоков и на углы падения слоев в пределах последних.

Угол падения пластов доломита в нижней части канавы значительно больше (до 54°), чем в верхней. Далее оказалось, что вскрытые канавой пласты доломита разрушены значительно сильнее, чем обнажающиеся на склоне вала глыбы. Причина этого явления выяснилась в результате измерения элементов залегания, главным образом по простираанию отдельных глыб. Нам представляется, что коренные породы приподняты отдельными крупными, сильно разрушенными глыбами шириной до 50 м. По окружности главного кратера выделяются девять таких бло-

ков, направление простираения которых указано на рис. 5. Заложенная нами канава располагается в пограничной зоне двух таких блоков.

Несмотря на тщательные поиски, из заполняющего главный кратер материала не удалось найти ни одного осколка метеорита. Было собрано лишь небольшое количество метеоритной пыли (около 0,5 г).

Некоторые интересные результаты были получены и при раскопках кратера № 5. Уже в статье 1958 г. (Аалоз, 1958) автор отмечал, что этот кратер, по-видимому, образовался на линии погребенного эрозионного уступа коренных пород. Теперь установлено, что действительно такой уступ (табл. IV, фиг. 1), высотой до 2 м, протягивается с востока на запад и проходит через кратер на расстоянии не более 1—1,5 м к югу от следа удара метеорита. Вследствие этого пласты коренных пород, находившиеся в непосредственной близости от следа удара метеорита и к югу от него, разбиты на отдельные крупные глыбы, отброшенные в сторону от места первичного их залегания. Оказалось, что в коренных породах уже до падения метеорита были хорошо развиты системы вертикальных трещин, которые сказались на морфологии коренного ложа кратера (табл. IV, фиг. 2).

Из заполняющего кратер № 5 материала было снова собрано большое число осколков метеорита и метеоритная пыль. Вес наиболее крупного осколка 16,2 г.

В заключение остановимся на вопросе, поднятом еще И. Рейнвальдом в 1927 году, о создании в Каали музея метеоритных кратеров. Учитывая большое научное значение Каалиских кратеров, а также их доступность для посетителей и туристов, безусловно пока еще сделано очень мало, например хотя бы в отношении обычных мероприятий по охране природы. Вопрос о создании музея в Каали поднимался в послевоенное время неоднократно, но, по существу, с места не сдвинулся. Исходя из того, что Каалиские кратеры посещают каждое лето в среднем 5000 туристов и экскурсантов, которые на месте не могут получить никаких объяснений о кратерах, создание соответствующего музея имело бы огромное значение для популяризации метеоритики как науки, а также и для проведения мероприятий по защите кратеров.

*Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР*

ЛИТЕРАТУРА

- Аалоз А. 1958. Новые данные о метеоритных кратерах на острове Сааремаа Эстонской ССР. Метеоритика, вып. XVI.
- Заварицкий А. Н. и Кваша Л. Г. 1952. Метеориты СССР. Коллекция Академии наук СССР. Изд-во АН СССР.
- Побул Э. А. 1963. Применение геофизических методов при исследовании метеоритных кратеров Эстонской ССР. Тр. Ин-та геол. АН ЭССР, XI.
- Рейнвальд И. А. 1946. К вопросу об устройстве музея в группе метеоритных кратеров Каалиярв (о. Сааремаа — Эзель). Метеоритика, вып. III.
- Aaloe, A. 1958. Kaalijärve meteoriidkraatri nr. 5 uurimisest 1955. aastal. Geoloogia Instituudi uurimused II.
- Eichwald, E. 1843. Neuer Beitrag zur Geognosie Esthlands und Finnlands. Beitr. Kennt. Russ. Reichs, Ad. 8.
- Eichwald, E. 1852. Dritter Nachtrag zur Infusorienkunde Russlands. Bull. Soc. Nat. Moscou, t. XXV, № 2.
- Eichwald, E. 1854. Die Grauwackenschichten von Liv- und Estland. Bull. Soc. Nat. Moscou, t. XXVII, № 1.
- Hofman, E. 1837. Geognostische Beobachtungen auf einer Reise von Dorpat bis Abo. Dorpat.
- Kalkun, J. 1922. Üldine geoloogia. Tallinn.

- Kraus, E., Meyer, P. und Wegener, A. 1928. Untersuchungen über den Krater von Sall auf Ösel. Gerlands Beitr. Geophys. Bd. XX, H. 3/4.
- Kutorga, S. 1853. Bericht für das Jahr 1852. Verh. Russ. miner. Ges.
- Linstow, O. 1919. Der Krater von Sall auf Oesel. ZBl. Miner. Geol., Abt. A., 21/22.
- Luce, J. W. L. 1827. Wahrheit und Muthmassung. Pernau.
- Pobul, E. 1958. Kaalijärve meteoriidikraatri nr. 3 magnetomeetrisest uurimisest. Geoloogia Instituudi uurimused II.
- Reinwaldt, I. 1928. Bericht über geologische Untersuchungen am Kaali järv (Krater von Sall) auf Ösel. Loodusuurijate Seltsi aruanded, kd. 35.
- Reinwaldt, I. 1933. Kaali järv — the Meteorite Craters on the Island of Ösel (Estonia). Loodusuurijate Seltsi aruanded, kd. 39.
- Reinwald, I. 1937. Meteoorkraatrid Saaremaal. Looduskaitse I. Tallinn.
- Reinwald, I. 1939. The Kaali järv Meteor Craters (Estonia). Supplementary research of 1937; Discovery of Meteoritic Iron. Loodusuurijate Seltsi aruanded, kd. 46.
- Schmidt, Fr. 1858. Untersuchungen über die Silurische Formation von Ehstland, Nord-Livland und Oesel. Arch. Naturk. Liv-, Ehst- und Kurl. Ser. I, Bd. 2.
- Spencer, L. J. 1938. The Kaali järv Meteorite from the Estonian Craters. Min. Mag. vol. XXV, no. 161.
- Teichert, C. 1927. Einige Bemerkungen zum «Krater von Sall» auf der Insel Ösel. Z. Geomorph. Bd. III, H. 2.
- Wangenheim v. Qualen, F. 1849a. Der Krater bei Sall auf der Insel Oesel. Korresp. Bl. Naturf. Ver. Riga, Nr. 3.
- Wangenheim v. Qualen, F. 1849b. Nachträgliche Bemerkungen über den Explosionskrater bei Sall auf der Insel Oesel in Livland. Korresp. Bl. Naturf. Ver. Riga, Nr. 11.
- Wangenheim v. Qualen, F. 1850. Noch einige Worte über den Krater von Sall. Bull. Soc. Nat. Moscou, Nr. 3.

ТАБЛИЦА I

Озеро Каали, расположенное в главном кратере.

ТАБЛИЦА II

Фиг. 1. И. А. Рейнвальд в кратере № 2 (снимок 1937 г.).

Фиг. 2. Приподнятые пласты доломита в главном кратере Каалиской группы.

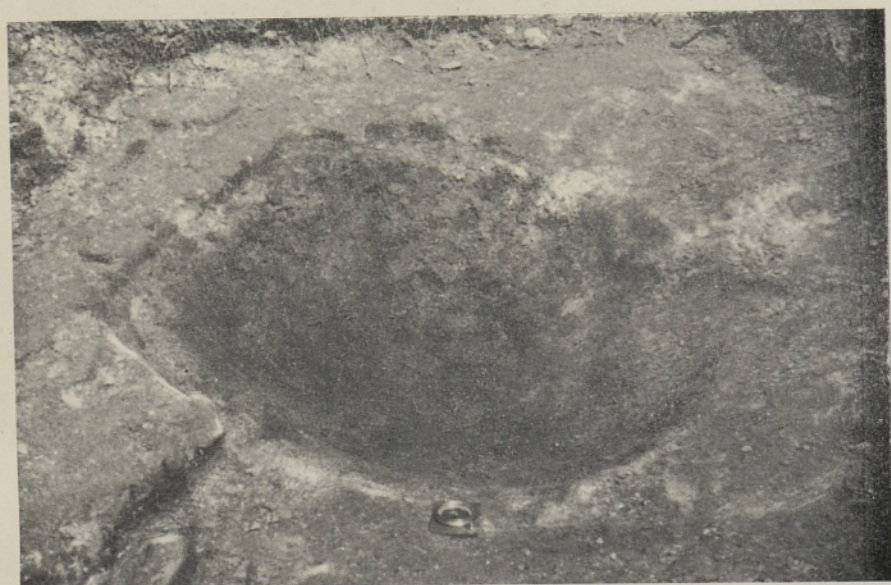




2



1



1



2



24



1

KAALI METEORIIDIKRAATRITE UURIMISE AJALOOST

A. AALOE

Resümee

Kaali kraatrid äratasid teadlaste tähelepanu juba XIX sajandi I pooel. Tollal kujunes kaks teadlaste rühmitust. Ühed (J. W. Luce, F. Wangenheim v. Qualen, O. Linstov jt.) väitsid, et kraatrid on tekkinud vulkaaniliste protsesside tulemusena, teised (E. Eichwald, Fr. Schmidt jt.) pidasid neid karstivormideks. Seejuures väideti ka (E. Eichwald), et Kaali järv asetseb tektoonilises orus või on muistse linnusena inimeste kätetöö.

Käesoleva sajandi 20-ndates aastates tegi J. Kark oletuse, et Kaali kraatrid on kivisoola- või kipsistruktuurid. Sellest hüpoteesist lähtudes tehti mäeinsener I. Reinwaldile ülesandeks selgitada, kas Kaalis leidub kipsi- või soolalasuundeid ning koguda materjali järve tekkimise kohta.

1927. aastal teostatud välitööde tulemusena jõudis I. Reinwald otsusele, et Kaali kraatrid tekkisid ida suunast langenud meteoriitide kokkupõrkamisel maapinnaga. I. Reinwald selgitas ka kraatrite ehituse põhijooned ning 1937. aastal õnnestus tal leida 30 väikest raudmeteoriidikildu. Viimaste uurimine näitas, et Kaali meteoriit oli jämedastruktuuriline oktaedriit.

I. Reinwaldi surmaga 1941. aastal katkes Kaali kraatrite uurimine pikemaks ajaks. Neid alustati uuesti Eesti NSV Teaduste Akadeemia Meteoriitide Komisjoni algatusel 1955. aastal, kusjuures töid teostavad Eesti NSV TA Geoloogia Instituudi teaduslikud töötajad. Suhteliselt lühikeseajalistel välitöödel 1955., 1957., 1959. ja 1960. aasta suvel koguti kaevamistel kraatris nr. 5, nr. 3 ja peakraatris rohkesti andmeid nende ehituse ning tekkimise kohta. Samuti on teostatud mikromagnetomeetrilisi mõõdistamisi ning kogutud hulgaliselt meteoriidikilde.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Geoloogia Instituut*

ТАБЛИЦА III

Фиг. 1. След удара метеорита на дне кратера № 4.
Фиг. 2. Кратер № 2 с востока.

ТАБЛИЦА IV

Фиг. 1. Погребенный уступ коренных пород, проходящий через кратер № 5.
Фиг. 2. Северо-западная часть коренного ложа кратера № 5. На переднем плане след удара метеорита.

ON THE HISTORY OF THE STUDY OF KAALI METEORITE CRATERS

A. AALOE

Summary

Kaali meteorite craters arouse the interest of scientists as far back as the first half of the 19th century. At that time, two points of view were represented. One group of scientists (J. W. Luce, F. Wangenheim v. Qualen, O. Linstov a.o.) assumed that the craters were formed as a result of volcanic processes, whereas the others (E. Eichwald, Fr. Schmidt a. o.) considered them to be karst phenomena. There was also the opinion (E. Eichwald) that Kaali Lake is situated in a tectonic valley or is a part of an ancient fortification constructed by human labour.

In the 20's of the current century, J. Kark suggested that Kaali craters were salt or gypsum structures. Proceeding from this hypothesis, engineer I. Reinwald was given a commission to investigate whether there were gypsum or salt layers at Kaali, and to collect materials on the origin of the lake.

As a result of field investigations in 1927, I. Reinwald came to the conclusion that Kaali craters were formed by a fall of a meteorite shower, coming from an easterly direction. I. Reinwald also elucidated, in the outline, the structure of the craters, and in 1937 he succeeded in finding 30 small fragments of meteorite. A study of the latter proved that Kaali meteorite was a coarse octahedrite.

With the death of I. Reinwald in 1941, the study of Kaali craters was interrupted for a longer period. It was resumed in 1955, on the initiative of the Commission on Meteorites of the Academy of Sciences of the Estonian S.S.R., the actual work being carried out by the research workers of the Institute of Geology of the Academy of Sciences of the Estonian S.S.R. Work of relatively short duration was carried out in the summers of 1955, 57, 59, and 60. The work carried out in summer in the craters Nos. 5 and 3 and in the main crater yielded numerous data on the origin and structure of these craters. Simultaneously, micromagnetic measurements were made and a great number of fragments of meteorite collected.

*Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,
Institute of Geology*