

A földi impaktszerkezetek geológiai és ásványtani jellemzői

Terrestrial impact structures and their geological and mineralogical characteristics

Dr. GUCSIK Arnold

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem,
Eger, Leányka út 6-8. H-3301, Tel: +3636520400, gucsik.arnold@uni-eszterhazy.hu

Abstract

This review article describes the terrestrial impact structures and their geological and mineralogical consequences. The impact cratering plays a key role not only in Earth's history but also in the formation of the Solar System. Therefore, it is important to identify some diagnostic mineralogical and geological features to understand more about the formation mechanism of the meteorite craters, which are related to the shock metamorphism.

Keywords: meteorite crater, Solar System, geology, shock metamorphism, mineralogy

Kulcsszavak: meteoritkráter, Naprendszer, geológia, sokk metamorfózis, ásványtan

1. A FÖLDI IMPAKTSZERKEZETEK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

1.1. A földi impaktszerkezetek kutatásának rövid történeti összefoglalása

A meteoritkráterek kutatása az elmúlt fél évszázadban, az úrkorszak kezdetével egy időben indult. Korábban rejtély övezte például a Holdon is megtalálható kráterek eredetét. Egyesek gázkitörések nyomainak, sokan pedig vulkáni tevékenység maradványainak gondolták őket. A technikai fejlődés és az űrmissziók eredményei megmutatták, hogy a meteorit becsapódások rendszeresek voltak a bolygók és a Hold múltjában, és nyilván a Föld esetében is, amit az újonnan felfedezett földi kráterek növekvő száma is igazolt. Számuk a 2020-as évek elején már több mint 200 volt, és további jelöltek is léteznek, amelyek meteoritkráter-mivoltát még bizonyítani kell. Az elmúlt néhány évtizedben olyan feltevések és kutatási eredmények is születtek, melyek szerint a meteorit becsapódások nem csak a bolygók régmúltjában fordultak elő, és nem csak geológiai szempontból lehetnek fontosak.

Mindez egy a nyolcvanas évek elején megjelent kutatással kezdődött, amelyben először merült fel, hogy a 65 millió évvel ezelőtti, a dinoszauruszok eltűnését is előidéző globális kihalást egy aszteroida becsapódása idézhette elő, noha ezt egyéb események is elősegíthették [1]. A becsapódásos elmélet egyik legfőbb bizonyítéka, az akkor képződött vékony földtani rétegben világszerte kiugróan nagy mennyiségben megtalálható irídium. Ennek a Földön igen ritka fémnek az ilyen jellegű előfordulására az a legkézenfekvőbb magyarázat, hogy az űrből érkezett egy nagyméretű becsapódó kisbolygó révén. Hamarosan az ehhez tartozó becsapódási krátert is megtalálták: a Mexikói-öbölben, a Yucatán-félszigetnél felfedezett, részben a tenger alatt lévő 160-180 km átmérőjű kráter a kora alapján is megfelel az elméletnek. Ezek után a teóriát a tudományos közösség nagy része elfogadta, és ez figyelmeztetés arra, hogy habár az ilyen nagyságrendű becsapódások ma már nagyon ritkán (több tíz – vagy százmillió évente) fordulnak elő a Földön, mégis bekövetkezhetnek, és akkor az egész bolygóra hatással vannak.

Időközben jelentős eredményeket értek el a többi földi meteoritkráter geológiai vizsgálatában, de a geomorfológiai jellemzőiket máig kevésbé kutatták. Munkáim során ez utóbbi szempontot is vizsgáltam, hiszen a várható új eredmények hozzájárulhatnak a geológia fejlődéséhez [2].

1.2. Kitekintés a Naprendszerre

A meteoritkráterek a Naprendszer kőzetbolygóin és holdjain a legelterjedtebb felszínformák közé tartoznak [3]. Azon égitesteken, amelyek geológiailag nem aktívak, és eróziós folyamatok sincsenek, a kráterek változatlan formában őrződnek meg, és számuk utalhat az adott terület korára is. A földi becsapódási krátereknél is láthatók mintázatok a kráterek méretét, helyét, és korát tekintve, de összességében a Földön nagyon kevés kráter található más égitestekhez képest. Ezt bolygónk geológiai aktivitása okozza, aminek következtében a felszín (geológiai időskálán) időről-időre megújul, valamint az eróziós folyamatok (például a víz és szél hatásai) is hatékonyan képesek hosszabb idő alatt eltüntetni a kráterek nyomait. Emellett pedig bolygónk légkörének is jelentős szerepe van mindebben, ugyanis a kisebb méretű meteoritok elégnak, vagy széttöredeznek a légkörbe lépve, a légellenállás miatt fellépő erőhatások révén. Az így képződő darabok inkább csak lehullanak a felszínre, törmelékmezőket létrehozva, melyekre több példa ismert világszerte. Habár Földünkön nagyon kevés kráter maradt fenn, nagy előnyt jelent, hogy ezek közvetlenül vizsgálhatók, így pedig értékes betekintést adnak a keletkezésüket és későbbi fejlődésüket illetően, amit más égitestek felszínének vizsgálatánál is felhasználhatunk [3].

A légkörrel nem rendelkező égitesteken a kráterek lepusztulását elsősorban a mikrometeoritok becsapódásai okozzák, amely hosszú idő alatt, egyenletesen pusztítja le őket újabb, kisméretű kráterek képződése során. A Marson a jelentős geológiai aktivitás hiánya miatt szintén számottevő az előbbi lepusztulási folyamat, ugyanakkor itt már a bolygó saját eróziós hatásai is számottevőek, mivel a Mars régen aktívabb éghajlati időszakokon is keresztülment. A Földön a becsapódást követően a felszabaduló hő utóhatásai, (például kőzetolvadék képződése) alakítják a krátereket, hosszabb távon azonban az intenzív erózió. Az alábbiakban részletesebb betekintést nyújtok a becsapódási kráterek képződésébe, és a földi kráterek földtani, és geomorfológiai jellemzőibe [2].

A Földön az eróziót az éghajlati és szerkezeti hatások szabják meg, és ez a többi jelenleg, vagy a múltban geológiailag aktív égitestre is elmondható. A kráterek jelenlegi állapota alapján a marsi felföldek a késői nagy bombázás (ld. lentebb) óta kb. egy kilométert pusztultak le majd' négy milliárd év alatt, ami 25 cm-nek felel meg egy millió év alatt. A Föld esetén ugyanez az érték átlagban 25-30 m egymillió évente. A kicsi, pár km-es földi kráterek ezért pár millió év alatt teljesen eltűnnek, bár az erózió sebességét az éghajlat és a növényzet is befolyásolhatja. A kráter környezetére visszahullt por elsőként erodálódik, bár esetenként valamivel hosszabb ideig is megmaradhat, például a tengeri becsapódások után a vízből kiüledett üledék formájában. Utóbbira az Atlanti-óceán déli részén találhatunk példát [4].

1.3. A földi meteoritkráterek eróziója

A kráterek eróziójának folyamata az alábbi módon vázolható fel: a törmelékakaró határának elmosódása, majd távolabbi részeinek eltűnése; a kráterperem alacsonyabbá válása, a medence és a kráterfal közti határ elmosódása, a jellemző formák (központi csúcs, gyűrűívek, teraszok) elmosódása, és végül a kráter teljes feltöltődése [4].

A Földön csak az ún. ősföldeken találhatunk milliárd éves krátereket, melyek hasonló korú földdarabok a bolygónk felszínén. Például a Balti –és a Kanadai ősföldön nagy számban található kráterek, mivel ezek a területek a jégkorszak idején eljegesedtek, a gleccserek pedig legyalulták a felszínüket, így az idős kráterek a felszínre kerülhettek [4].

1.4. A földi meteoritkráterek földrajzi, méret-és korszerinti eloszlása

A Földön azonosított meteoritkráterek földrajzi előfordulása nem véletlenszerű, és nem felel meg a becsapódások földrajzi szélesség szerint vett valószínűségének sem. Az aszteroidák és üstökösök jelenlegi pályái alapján a Föld egyenlítői részein 10 % -al nagyobb a becsapódások esélye, mint a sarkvidékeken. Ezt persze a kontinensek vándorlása is befolyásolja, azonban mégis lehet mintázatot találni a kráterek eloszlásában, amit a kráterek helye, mérete, és kora szerint is érdemes megvizsgálni [4].

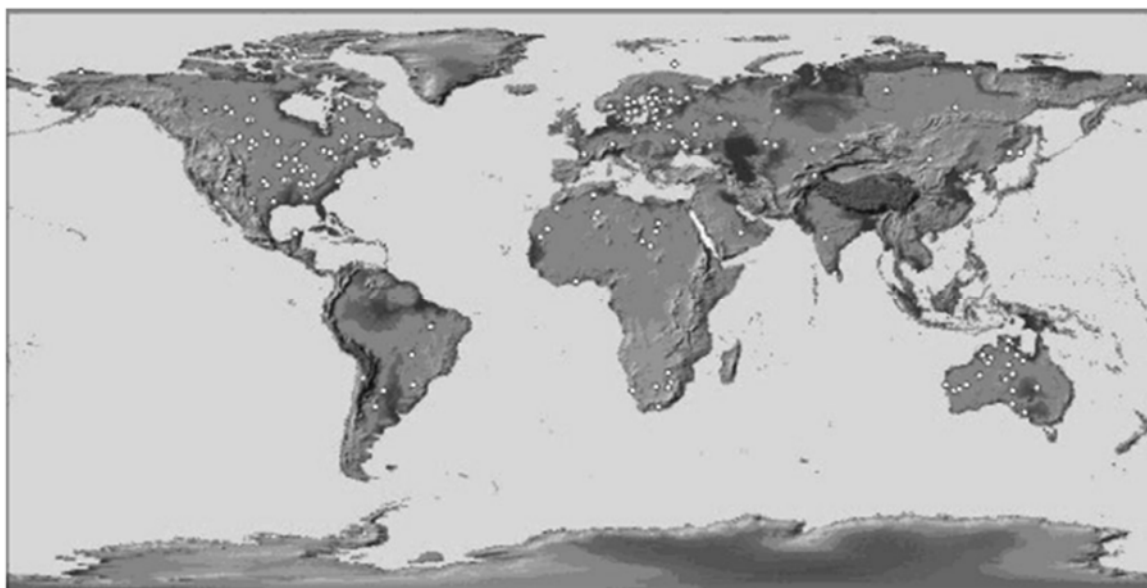
A kráterek jelenlegi helyét illetően az alábbi jellemzőket lehet kiemelni. Nagyrészt az északi féltekén vannak a 10. és 60. szélességi kör között (1. ábra). A déli féltekén hasonló az eloszlásuk, de keskenyebb régióban. Az egyenlítő körzetében, attól kb. 10 fokkal északra és délre alig találhatunk krátert. Elképzelhető, hogy itt a kráterek csak rejtve vannak a dús növényzet miatt, vagy már eltűntek az itt megszokott gyors talajerózió miatt. Afrika és Ausztrália sivatagaiban (pl. a Szaharában) sok kráter található, mivel a sivatagi éghajlaton

jobban megőrződnek. Legsűrűbben Európa és Észak-Amerika ösföldjein (Balti –és Ukrán-ösföld, Kanadai ösföld) fordulnak elő, mégpedig nagyrészt idős kráterek, melyeket a jég eróziós hatása hozott a felszínre. A sarkvidékeken lényegében nincsenek kráterek, de ezt nem a fentiekben említett becsapódási valószínűségek okozzák, hanem egyrészt az, hogy a sarkvidéki jégtakarók fiatalok, továbbá a jégen kialakult kráterek gyorsabban tűnhetnek el, mint a szárazföldi társaik. A tengerfenéken alig ismerünk krátereket, ezt pedig több tényező okozza: a vastag vízréteg felfogja az aszteroidákat, még mielőtt elérnék az aljzatot. Erre példát is találhatunk az Atlanti-óceán déli részén, ahol egy kb. 500 km-es körzetben tapasztaltak rendellenességeket az üledékekben, és amely a vizsgálatok szerint egy 2 millió évvel ezelőtti becsapódás nyoma lehet. További okok a tengeri kráterek hiányára, hogy az óceánfenék domborzatát ma még nem ismerjük részletesen, valamint az is, hogy az óceáni földkéreg folyamatos megújulása miatt a legidősebb részei is csak kb. 150 millió évesek, így az ennél idősebb kráterek mára mind eltűntek [4].

A földi kráterek méret szerinti jellemzőit a következők szerint foglalhatjuk össze. A legkisebb meteoritok, melyek a földfelszínre elérhetik kb. 10-15 méteres krátereket ütnek, míg a legnagyobb ismert becsapódási kráter a Földön a 300 km átmérőjű Vredefort-kráter (Dél-Afrika). A kráterek alapvető jellemzője, hogy minél kisebbek, annál több van belőlük. Ezt az aszteroidák és üstökösök méret-eloszlása, és a Naprendszer bolygóin és holdjain lévő kráterek alapján mondhatjuk el. Földrajzi szempontból azt látjuk, hogy Európa és Észak-Amerika felszínén nagy mennyiségben található 5-17 km-es átmérőjű kráterek, míg a többi kontinensen jóval kevesebb van belőlük. Ennek oka, hogy Európát és Észak-Amerikát nagy kiterjedésű jégtakarók fedték a jégkorszak idején, a többi kontinenst viszont nem. Ez pedig arra utal, hogy a krátereket a gleccserek eróziója hozta a felszínre [2,4].

A földi kráterek koruk szerinti jellemzőit összegezve pedig az alábbi megállapításokat tehetjük: kráterek ma is képződhetnek a Földön, de ezek igen kisméretűek lehetnek, ellenkező esetben tudomást szerezni róluk. A legöregebb földi kráter kb. 2,4 milliárd éves, az ennél idősebbeket a geológiai folyamatok valószínűleg már eltörölték. A Holdon lévő kráterek arról tanúskodnak, hogy a becsapódások szempontjából legaktívabb időszak 4,2 – 3,8 milliárd éve volt, ez az időszak Késői Nagy Bombázás néven ismert. Habár sok földi kráternek csak a becsült korát ismerjük, elmondható, hogy a becsapódások száma a fent említett heves időszakot követően nagyon lecsökkent, és a mai napig nagyjából állandó. Ez alól említésre méltó kivétel a földtörténeti kréta korszak, amelynek végén, 65 millió évvel ezelőtt a Mexikói-öbölben bekövetkezett az a becsapódás, amelynek nagy szerepe lehetett az akkori tömeges kihalásban. A Kanadai –és a Balti-ösföldön az utolsó néhány millió évben alig keletkezett kráter, és ez azt valószínűsíti, hogy az ottani jégtakarók megvédték a felszínre a becsapódásoktól [4].

A fent leírtak alapján látható, hogy a meteoritkráterek kor, méret és hely szerinti eloszlásai egy egységes képet alkotnak az őket létrehozó, és később alakító folyamatokról is. Ennek a nagyobb képnek a teljesebb megértéséhez pedig a kráterek korának pontosítása a legfontosabb feladat.



1. ábra

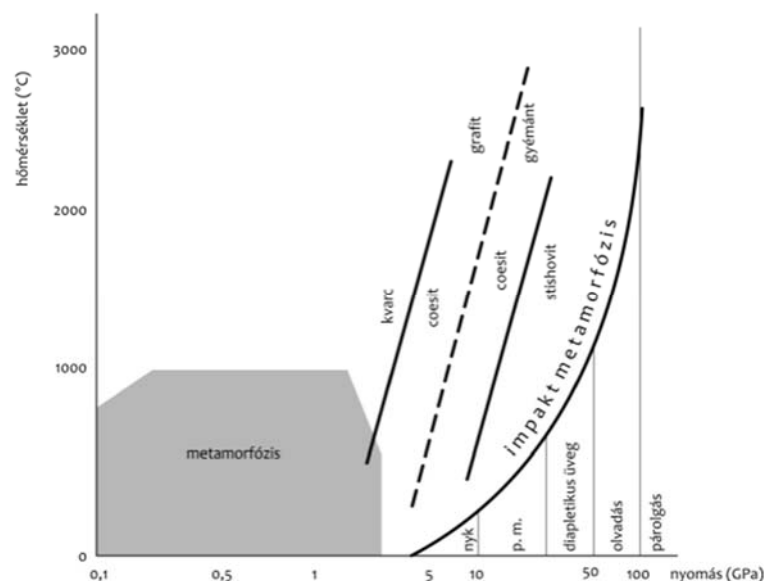
A földi meteoritkráterek földrajzi eloszlása (Mihályi és Gucsik [4])

2. A SOKK-METAMORFÓZIS GEOLÓGIAI ÉS ÁSVÁNYTANI KONZEKVENCIÁI

2.1 A kráterképződés fontosabb paramétere

A nagyobb meteoritbecsapódások során óriási mennyiségű energia szabadul fel, így a helyi kőzetek időlegesen rendkívül magas nyomásnak és hőmérsékletnek vannak kitéve; olyan extrém körülményeknek, melyek semmilyen más természetes folyamatban nem fordulnak elő a Föld felszínén. Ezt nevezzük geológiai értelemben sokkhatásnak, amely mikroszkopikus szinten is nyomot hagy a kőzetet alkotó ásványokon. Ezek a nyomok lehetnek torzult és/vagy átalakult kristályszerkezet, eltérő összetételű vagy amorf fázisok megjelenése (ezeket nevezzük összefoglaló néven sokk-metamorfózisnak); valamint jellegzetes, mikroszkopikus méretű struktúrák az ásványok felszínén, melyek közül a planáris deformációs struktúrák jelentik a legismertebb példát [2,5].

A nagyméretű becsapódások során a nyomás elérheti a 20-50 GPa-t, a hőmérséklet pedig túllépheti az 1000°C-ot is, és a kőzetek kiterjedt megolvadását okozhatja. Ekkor a kőzetek már folyadékszerűen viselkedhetnek, és a vízbe dobott kő esetéhez hasonlóan a becsapódás után visszapattannak. Így jön létre a komplex kráterekre jellemző központi csúcs, amely méretének a gravitáció szab határt, és a kráter képződése során összeomlik a saját tömege miatt, de még így is kiemelkedő képződmény lehet a végleges kráter közepén. További jellegzetes formát képviselnek a gyűrűívek, melyek a kráter szélei felé megjelenő, körkörös ívek, amiket a központi csúcs összeomlása, a lökeshullámok, és az azok által létrehozott gyűrődések alakítanak ki a kráter képződése során [2,5].



2. ábra

A sokk vagy impaktmetamorfózis nyomás-hőmérséklet diagramja (Gucsik alapján, [2])

Az erős lökeshullámoknak kitett anyagok tehát jellegzetes és visszafordíthatatlan szerkezeti változásokat mutatnak mind mikroszkopikus, mind makroszkopikus skálán, a sokkhatás erősségétől függően. Ezeknek a jellegzetességeknek a megértése sok információt adhat a múltbéli becsapódási eseményekről, ehhez azonban szükséges a sokkhatás modellezése, és a hatásának vizsgálata laboratóriumi mintákon, -és körülmények között. Ezt ún. sokkolási kísérletekkel tudjuk megtenni, melyeknek többféle típusát alkalmazzák: a sokkhatás modellezhető erős lézimpulzusokkal is; de gyakoribb, hogy a mintákat robbanóanyagok hatásának teszik ki zárt kapszulákban, vagy pedig speciális ágyúkból kilőtt nagy sebességű lövedékekkel idézik elő a sokkolási effektust a mintán [2,5].

Geológiai szempontból két fontos példát kell kiemelni, amik karakterisztikus jegyeket mutatnak a sokk-metamorfózis szempontjából. (1) A finomszemcsés célkőzetben létrejött nyomáskúpok (ang. shatter cone) viszonylag alacsony sokk-metamorfózis szinten (5-15 GPa) alakulnak ki és általában a meteoritkráterek központi régiójában helyezkednek el. Jellegzetes méretük egy méter körül van, de a kanadai meteoritkráterekben leírtak 13 méteres nagyságot is. A terepi munka során a nyomáskúpokat könnyű felismerni a központból kiinduló radiális barázdák vagy az ún. „lósörény” ábrázatról (3. ábra). (2) A kráterbe visszahulló (ún. krátert kitöltő) breccsát szuevit breccsának hívjuk, amely a sokk-metamorfózis minden szintjén átalakult kőzetanyagot tartalmaz. Ezt a breccsát a németországi Ries meteoritkráterben írták le először és a terület római nevééről kapta (Sueva) a nevét (4. ábra).



3. ábra

Nyomáskúp (ang: shatter cone), Charlevoix meteoritkráter, Kanada (A szerző felvétele).



4. ábra

Szuevit-breccsa, Bosumtwi meteoritkráter, Ghána (A szerző felvétele).

ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként elmondható, hogy az elmúlt három évtized alapos kutatásai alapján egy új tudományterület jött létre a földtudományokon belül. Ez az impakt geológia. Mára több mint kétszáz földi meteoritkráter sikerült a felfedezni az impakt geológiának köszönhetően. A szisztematikus kutatómunkának követően nem csak a tudományos, de a földi meteoritkráterek gazdasági jelentőségét is sikerült feltárni.

Köszönetnyilvánítás

A Szerző köszönetét fejezi ki Dr Parajdi Péternek (Debrecen), aki segítette az angol nyelvű szakirodalom magyar fordításában.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W., ASARO, F. & MICHEL, H. V. 1980: Extraterrestrial Cause for the Cretaceous–Tertiary Extinction. — *Science*, New Series, Vol. **208**, No. 4448., pp. 1095–1108.
- [2] GUCSIK, A. 2003: Terrestrial impact cratering and shock metamorphism: A review. — *The Bulletin of Research Institute of Natural Sciences*, Okayama University of Science **29**, pp. 29-44.
- [3] BÉRCZI SZ., HARGITAI H., GUCSIK A., HORVAI F., ILLÉS E., KERESZTURI Á. & NAGY SZ. J. 2005: A Naprendszer kisenciklopédiája: a Naprendszer formakincse (1) – Becsapódások folyamata, nyomai és hatásai, — ELTE TTK – MTA Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport (KAVÜCS), p. 2., 5., 11., 17.
- [4] MIHÁLYI, K. & GUCSIK, A. 2008: Distributions of the currently known terrestrial impact structures. — 71st Annual Meeting of the Meteoritical Society, abstract #5012 (printed in *Meteoritics & Planetary Science*, Vol. 43, Supplement, A98)
- [5] FRENCH, B. M. 1998: *Traces of Catastrophe — A handbook of shock metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures.* — Lunar and Planetary Institute, Houston, pp. 17–30.