

DOI: 10.34660/INF.2023.63.11.018

ОБИКНОВЕННИ МЕТЕОРИТНИ КРАТЕРИ: САМО СИМЕТРИЧНИ ВИСОЧИННИ ПРОФИЛИ ЛИ СЕ НАМИРАТ В ТЯХ? АНАЛИЗ НА НАБЛЮДАВАНИТЕ ФОРМИ В КРАТЕРИ С ДИАМЕТРИ МЕЖДУ 10 И 20 КМ

Васил Йорданов

SIMPLE IMPACT CRATERS: ARE THEY EXHIBITING ONLY SYMMETRIC ELEVATION PROFILES? ANALYSIS OF THE DETECTED SHAPES IN CRATERS WITH DIAMETER BETWEEN 10 AND 20 KM

Vasil Yordanov

***Abstract:** Usually, scholars are determining three main classes of impact craters: simple, complex, and meteoric basins, where the main differences are in the crater size but also the geomorphological features. It is assumed that in most of the cases simple craters are exhibiting simple bowl shape of the cavity unless modified by external factors, e.g. landslides. More complex features are notable when the crater size is becoming bigger. However, upon investigation, more complicated and asymmetric shapes were noted to be present in already categorized simple craters. In this work is proposed a general subdivision classification of the simple craters based on their elevation profile shapes.*

***Key words:** asteroids, craters, infrastructure, Moon, surface*

1. Въведение

Като планета от тип „земна” с обособена повърхност, Луната също е повлияна от различни геоложки и повърхностни процеси. Геоложките процеси, като тектоника, вулканизъм, метеоритни удари и изменения, причинени от ерозия [1], също моделират геоложкия и стратиграфския вид на Луната. Тези процеси зависят от планетарната сложност, която е свързана с размера на планетата. Те могат да действат като задействащи фактори за свлачища на Земята и други земни планети.

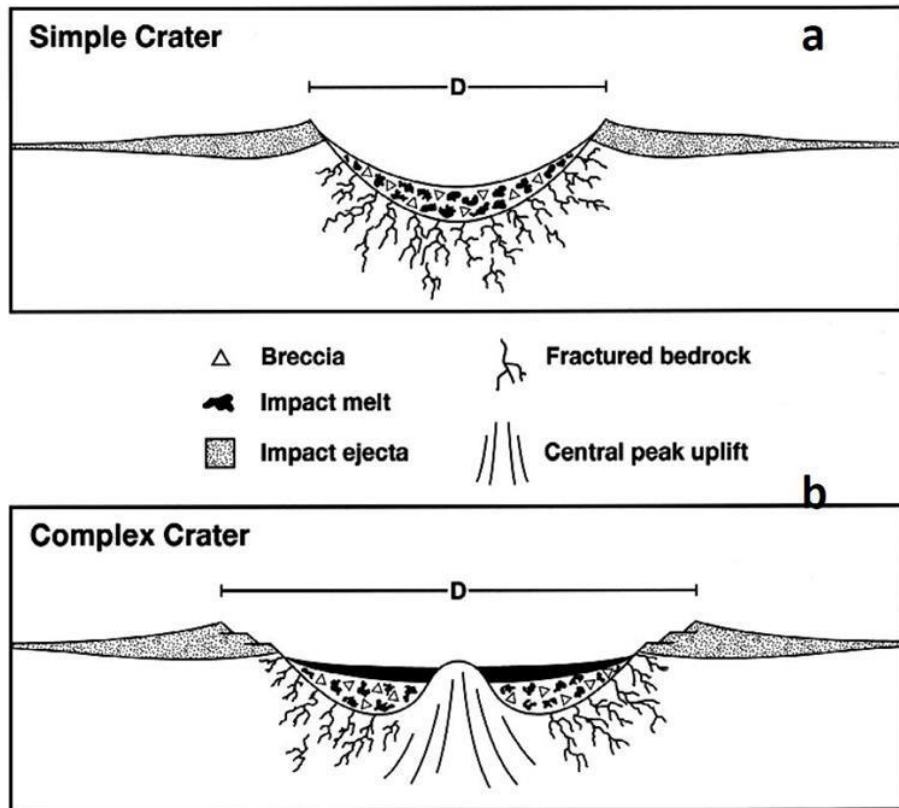
Луната може да бъде категоризирана като обикновена реологична структура с опростена литосферна обвивка. Тектоничните дейности се отнасят до деформацията на скалите на литосферата чрез външни или

вътрешни сили. Обвивката на планетите от тип „цяла плоча“ предава напрежения от една част на повърхността към друга. Тези сили могат да произведат широк спектър от видими деформационни характеристики, като например дефекти, гънки, парчета и ръбове. Анализът на тези характеристики може да разкрие характера на напрежението, който е действал върху литосферата на планетата. В зависимост от големината на напрежението и естеството на материала под напрежение деформацията може да се осъществи чрез постепенна деформация или чрез рязка повреда.

2. Метеоритни кратери

Процесите на удар от обекти като метеорити, пътуващи със скорост около 15-20 км/сек, в планетната повърхност, са свързани с последователност от събития, които водят до появата на кратери [1]. Най-общо, крайният резултат от сблъска на метеорит с планетна повърхност, оставя „белег“ върху планетната обвивка [2]. Тези кратери могат да се разглеждат най-общо като вдлъбнати с кръгла форма (може и с елипсовидна, но сблъсък трябва да е по 10°), но те могат и да се различават по основни характеристики – диаметър на кратера (разстоянието от било до било), дълбочина, присъствие на терасовидни стени или централно възвишение [1]. Най-общо по тези морфологични характеристики може да се разграничат три основни типа кратери – обикновени, сложни и многорингови полета [1]. Основната разлика между тях е в диаметъра и наличието на теренни особености. Кратерите от тип „обикновен“ достигат до големина на диаметъра до около 20 км. Типичната форма при недеформиран кратер може да се опише на купа. Напречно сечение на такъв куполообразен кратер може да се види на Фигура 1, типично е и симетричността на напречно сечение, която се извява при такъв непроменен кратер. В случаи, когато напречните сечения са деформирани може да се говори и за присъствие на свлачище в кратерната кухня [3].

От друга страна сложните кратери са присъщо по-големи в диаметър и дълбочина. Типичното при тях е, че кратерните стени се срутват почти веднага след образуване и извяват типични терасовидни форми. В някои случаи може да се образува възвишение в центъра на кратера (Фигура 1). Многоринговите полета обикновено се разпростират на диаметри от стотици до хиляди километра в диаметър и са вследствие на няколко различни сблъска, които са се получили в един район, но обикновено с различна големина.

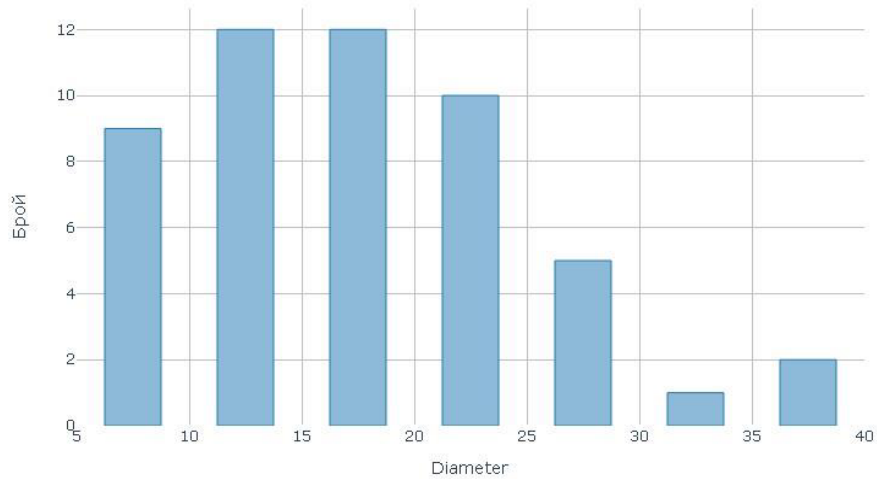


Фигура 1. Структура на а) обикновен и б) сложен кратер (Източник: NASA)

3. Теоретични кратерни казуси от тип „обикновени“

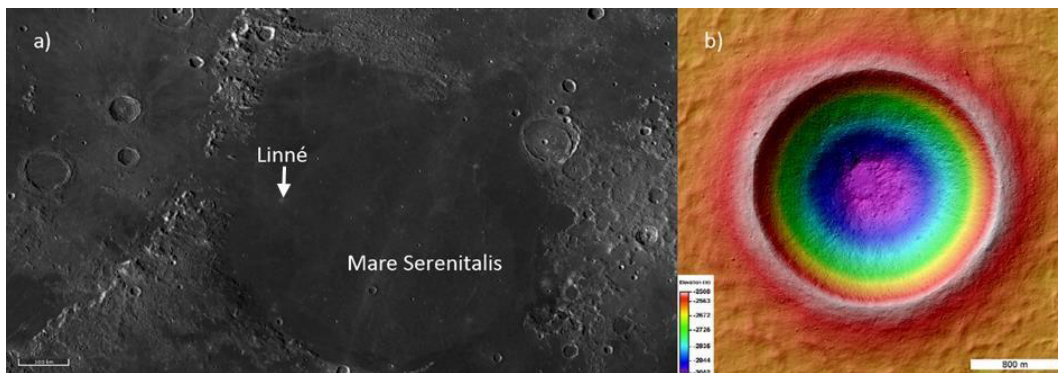
В началния период на тази работа бяха анализирани общо 51 кратера от тип „обикновени“. Диаметърът им варира от 2 км до 50 км (Фигура 2). Разположението на кратерите е различно - обхваща разнообразни терени на Луната (планини, мария). Някои от кратерите са заимствани от проучването, извършено от Брунети [4], за да бъдат използвани за валидиране на методика за засичане на свлачища в кратерни кухни. Както бе споменато по-горе, само обикновени типове кратери са избрани поради тяхната проста структура и форма, докато сложните такива се нуждаят от модифициран подход.

Дистрибуция на кратерните диаметри при 51 тестови кратера



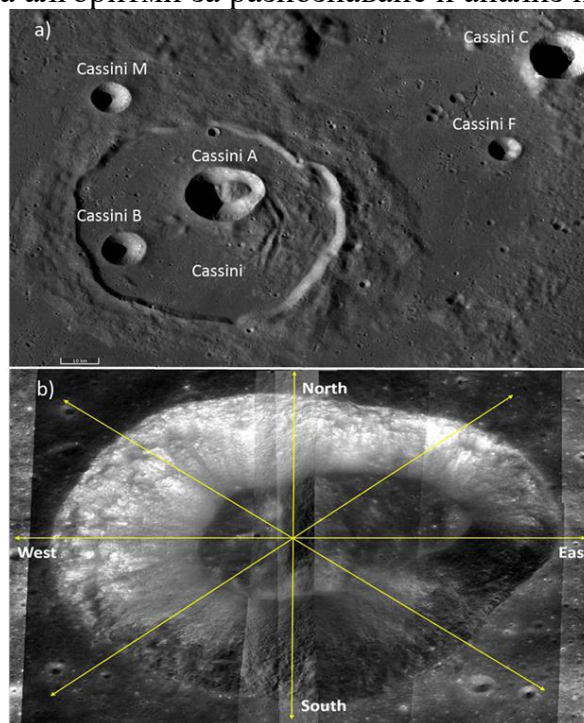
Фигура 2. Дистрибуция на кратерните диаметри при 51 тестови кратера

По-долу ще бъдат разгледани два примера на кратери от тип обикновени. *Linné* – малък лунен кратер, намиращ се в Маре Серенитиас (27.73° N, 11.79° E). С диаметър 2.23 км и дълбочина 0.6 км се счита за изключително нов, добре запазен и наистина добър пример за обикновения тип кратери. При тази работа перфектната му форма се използва за сравнение, тъй като не се наблюдават свлачищни процеси (Фигура 3). Първоначалните предположения за формата на кратера са, че е с проста куполовидна форма, но с последните изследвания ([5]) и DEM, получени от LROC NAC, наличието на плосък под е извлечено от сенките, което предполага форма на пресечен конус. В допълнение, склонът на стената е постоянен с 32.7° .



Фигура 3. а) Mare Serenitatis и местоположението на кратера Linné; б) Оцветен релеф на кратера Linné, получен от LROC NAC Източници: NASA/Goddard Space Flight Center/Arizona State University

Cassini A – Cassini A (50.5° N, 4.8° E) е кратер, разположен в Palus Nebularum, в източната част на Mare Imbrium. Принадлежи към семейство от 15 кратера (Фигура 4а), всички имащи името на Касини, но се отличават с различни букви. Cassini A, чийто диаметър е приблизително 15 километра, се намира в по-големия кратер Касини (със среден диаметър 57 километра). Вътрешният участък на кратера Касини е изпълнен с лава, която създава равна повърхност и по-късно е бомбардирана от други метеорити. Процедурата за апроксимиране на кратера чрез Чебишев също бе приложена върху Cassini A. Изборът бе направен поради специфичната форма на Cassini A, която е видима на Фигура 4б. Голяма повреда на склона се намира в източния лоб на кратера, което води до удължаване на оригиналната кръгла форма след удара. Това свлачище на склона може лесно да се открие с визуална интерпретация [4]. От друга страна, ако профилът в посока запад-изток преминава през тялото на свлачище, напречното сечение Юг-Север е много по-малко променено. Следователно, Cassini A също така позволява сравнението между профилите на напречното сечение със и без свлачища, което води кратера до перфектен казус за доказване на алгоритми за разпознаване и анализ на свлачища.



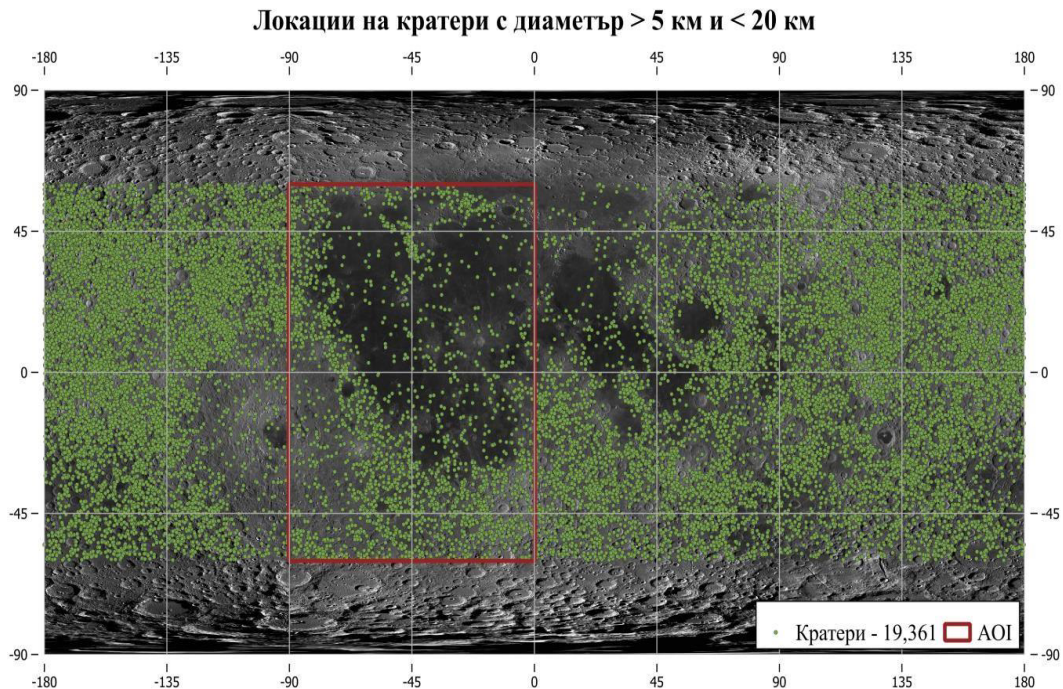
Фигура 4. а) Мозайка получена от LROC-WAC показваща кратерното семейство Cassini; б) Мозайка получена от LROC-WAC показваща кратера Cassini A; жълтите линии показват позициите на напречните сечения необходими за анализа чрез полиномите на Чебишев. Изт.: NASA/GSFC

Най-общо и двата кратера Linné и Cassini A са теоретични куполовидни кратери, в които би трябвало да се наблюдава симетрична форма на височинния профил извлечен в различни посоки. Докато това е вярно за Linné същото не може да се наблюдава в случая на Cassini A в три от четирите височинни профила (без в посока Север-Юг). Както бе спомената по-рано причината е срутване на източна кратерна стена. Във всичките 51 кратера (204 профила) бяха наблюдавани само тези два типа профила – симетричен и асиметричен поради срутване.

Но при разширено изследване и анализиране на повече казуси бяха забелязани други различни височинни профили.

4. Разширени кратерни казуси

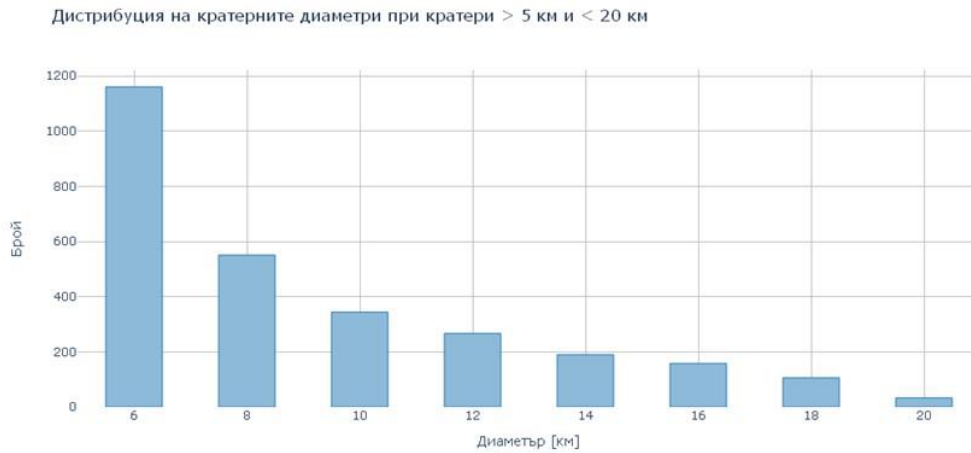
За да се разшири набора от данни с кратерни форми, които на теория трябва да попадат в класификацията като „обикновени” кратерни форми бяха използвани векторните пространствени форми от НАСА, които съдържат местонахожденията на кратери с размери между 5 и 20 км в диаметър (Фигура 5).



Фигура 5. Разположение на кратери с диаметър между 5 и 20 км

Регионът с относително най-ниска гъстота бе определен от 0° до 90° Е източна дължина (червеният регион) и това беше определено като район на интерес, който да бъде използван в тази разработка, но беше въведено допълнително условие и кратерите бяха филтрирани с $10 \text{ км} < D < 20 \text{ км}$,

което доведе до 895, като тяхната дистрибуция може да се види на Фигура 6.

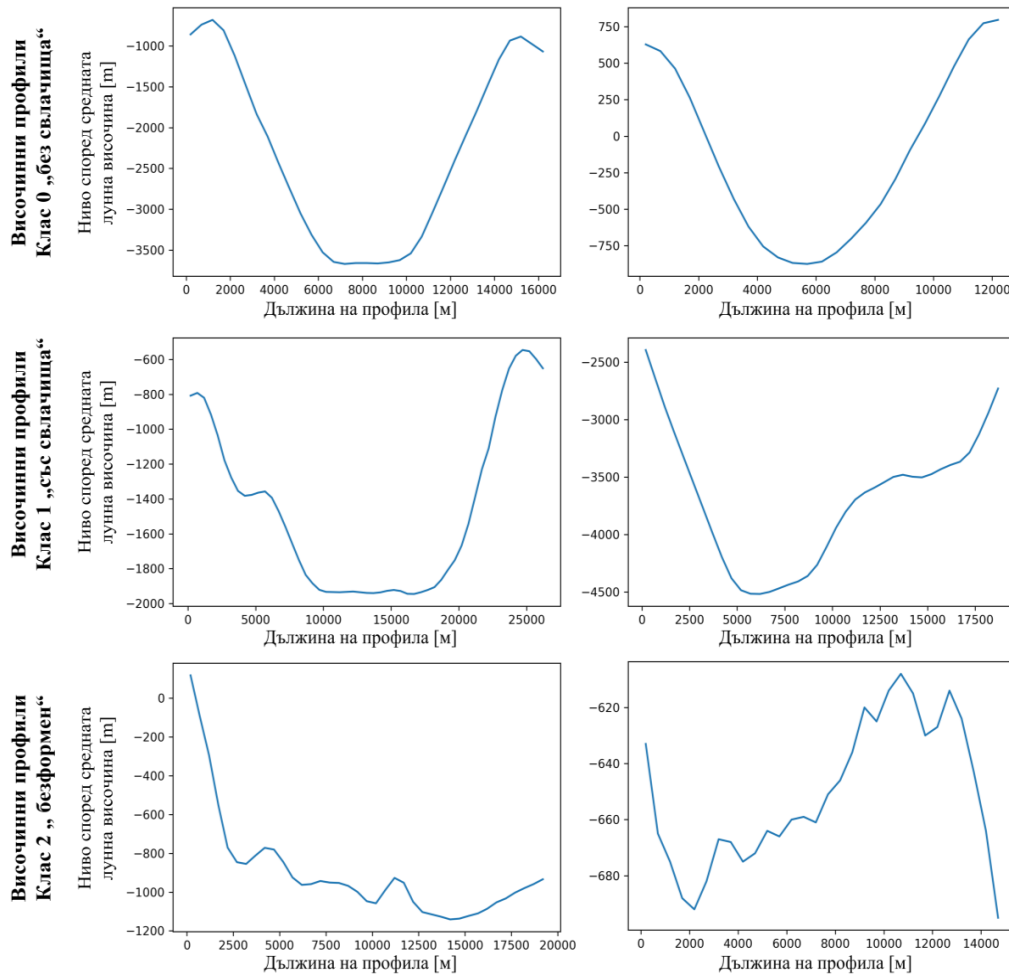


Фигура 6. Дистрибуция на диаметрите при кратери >5 км и < 20км (0° – 90°)

Фокусирайки само в избраният район бяха използвани 895 кратера, като за всеки кратер бяха извлечени височинни профили през 10° един от друг използвайки дигитален модел на терена WACGLD100, крайният брой извлечени профили е 15,215.

Изначално бе планирано да се определят принадлежността на височинните профили само към два класа на ВП – „със свлачище” и такива „без” (Фигура 7). Но след по-подробно проучване се установи, че може да се включи най-малко още един клас височинни профили – „деформиран” (Фигура 7). „Деформираният” клас е всъщност най-общо категоризиране на останалите типове профили, които бяха наблюдавани. В повечето случаи се наблюдават крайно деградирани кратерни форми, поради различни ерозивни процеси; силно деформирани профили, които не наподобяват височинни профили на кратери или такива, които са образувани на стръмни терени, което реално не позволява наличието на симетрична форма.

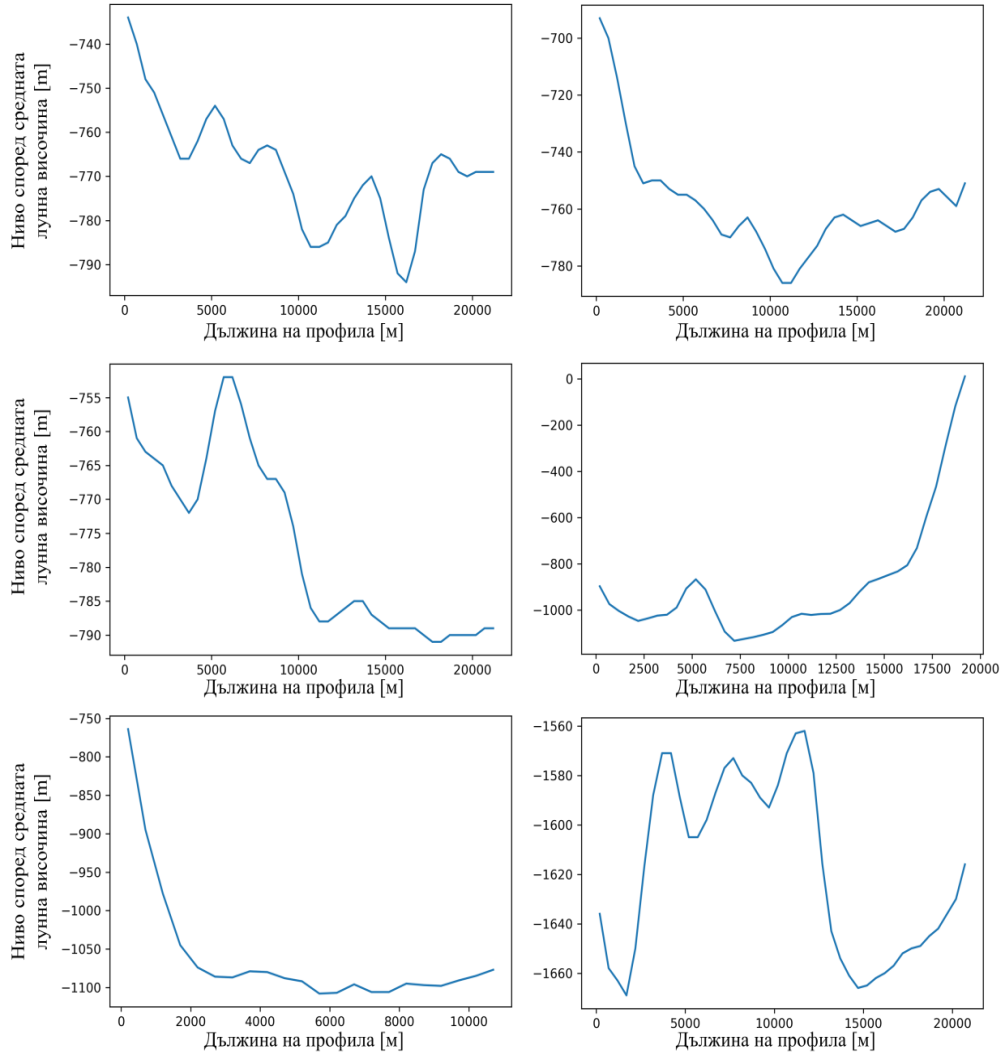
След извличането на финалния брой профили за всяка група, бе направено ръчно валидиране и класифициране на тези профили, за да бъдат определени към някой клас. За този процес бе използвано приложението PyQt Image Annotation, в което потребителя ръчно определя класа на всеки един казус. В този случай бяха използвани предварително получените изображения на ВП и ръчно беше определена тяхната принадлежност към някой от класовете (свлачище, без свлачище или деформиран).



Фигура 7. Примери на трите класа височинни профили

В следващата Фигура 8 са дадени повече екземпляри от клас „деформирани“, от които ясно вижда липсата на симетрични профили типични за „обикновени“ кратери, а изразените елементи на тези кратери не наподобяват даже и тези присъщи за „сложни“ кратери, например терасирани стени или централни възвишения. Напротив, от разгледаните височинни профили и сателитни изображения може да се стигне до извода, че тези форми са получени поради различни фактори. Такива могат да бъдат силните ерозионни процеси, които влияят на лунната повърхност; вторични метеоритни сблъсъци във вече налични по-големи кратери; метеоритни сблъсъци в близост до кратерите, които с образуваната при сблъсъка енергия модифицират околните терени. Също така не бива да се пропуска опцията за неправилно идентифицирани кратерни форми при

изготвянето на векторната база данни, за която са използвани автоматични методики.



Фигура 8. Примери на височинни профили от тип „деформиран”

5. Заключение

Теоретичните модели за типовете метеоритни кратери в най-общо линии са фокусирани до кратерната форма като резултат от сблъсъка и последващите модифициращи процеси. Тези класификации определят три основни типа кратери – обикновени, сложни и многорингови полета. Първите, се изразяват в приблизително перфектна форма (куполовидна), докато при „сложните” се наблюдават различни морфологични елементи (терасирани стени, централни възвишение и т.н.). За това и когато се

разглеждат височинните профили на кратери се очакват симетрични или асиметрични профили. В една част от случаите асиметрични профили се дължат на свлачищни процеси, които са нарушили началната форма. В този труд бяха извлечени височинните профили на 895 лунни кратера и техните профили бяха изследвани. Установи се, че може да се определи още един клас профили освен а/симетричните – деформиран. Това са профили на кратери, които са силно деформирани под влиянието на различни процеси и в техните профили почти не присъстват симетрични елементи, в някои случаи също е трудно да се определят и кратерните елементи като билата. По-задълбочено класифициране на височинните профили за подкласове на „деформирани” би изисквало много екземпляри и специфична характеристика, по която биха могли да се допълнително определят кратерите.

Литература:

1. Н. J. Melosh, Planetary Surface Processes. 2011. doi: 10.1017/cbo9780511977848.
2. R. J. Pike, Formation of complex impact craters: Evidence from Mars and other planets, Icarus, vol. 43, no. 1, pp. 1–19, 1980.
3. M. Scaioni et al., Recognition of landslides in lunar impact craters, European Journal of Remote Sensing, vol. 51, no. 1, pp. 47–61, 2018, doi: 10.1080/22797254.2017.1401908.
4. M. T. Brunetti, Z. Xiao, G. Komatsu, S. Peruccacci, and F. Guzzetti, Large rock slides in impact craters on the Moon and Mercury, Icarus, 2015, doi: 10.1016/j.icarus.2015.07.014.
5. M. S. Robinson, J. Frawley, T. Tran, E. Mazarico, and G. Neumann, Linne: simple lunar mare crater geometry from lro observations: J. B. Garvin1, p. 2, 2011.

Адрес за кореспонденция:

*Инж. Васил Силвиев Йорданов,
НВУ „Васил Левски”, Велико Търново, България, Политехника Милано, Италия,
E-mail: vasil.s.yordanov@gmail.com*