

УДК 523.4-83

Кирилюк С.М.
кандидат географічних наук, асистент,
докторант кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Кирилюк О.В.
кандидат географічних наук,
асистент кафедри гідрометеорології та водних ресурсів
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ІСТОРІЯ ФОРМУВАННЯ РЕГІОНУ ЮЛІЙ ЦЕЗАР У МЕЖАХ ВИДИМОЇ ПІВКУЛІ МІСЯЦЯ

Висвітлено основні етапи історії формування поверхні Місяця та охарактеризовано головні події в межах його геологічних періодів. Реконструйовано історію формування регіону Юлій Цезар у межах видимої півкулі Місяця протягом нектарського, імбрійського, ератосфенського та копреніканського періодів.

Ключові слова: Місяць, Julius Caesar region, геологічна історія.

Освещены основные этапы истории формирования поверхности Луны и охарактеризованы главные события в пределах ее геологических периодов. Реконструирована история формирования региона Юлий Цезарь в пределах видимого полушария Луны на протяжении нектарского, имбрійского, эратосфенского и коперниканского периодов.

Ключевые слова: Луна, Julius Caesar region, геологическая история.

Kyryliuk S.M., Kyryliuk O.V. History of forming Julius Caesar region within the visible hemisphere of the Moon

The basic stages of the history of the formation of the lunar surface are dealt, the major events within its geological periods are characterized. Reconstructed the history of the formation of Julius Caesar region within the visible hemisphere of the Moon for nektarian, imbranian, erathosthenian and copernican periods.

Key words: Moon, Julius Caesar region, geological history.

Постановка проблеми. Регіон *Julius Caesar* розташований на південь від Моря Ясності та охоплює західну частину Моря Спокою (*Mare Tranquillitatis*). Регіон характеризується складною будовою поверхні, оскільки крім морської ділянки з різновіковими кратерами, на заході поширені відміни покривних викидів із сусідніх стародавніх басейнів (Ясності (*Serenitatis*) та Пари (*Vaporum*)).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш детально геологічна історія поверхні Місяця реконструйована Д. Вілхелмсом [14], і нижче ми дотримуємося його схеми з невеликими змінами.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження історії формування регіону Юлій Цезар у межах видимої півкулі Місяця.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Коротка геологічна історія Місяця. Абсолютний вік деяких місячних зразків складає понад 4,4 млрд років. Групи зразків із близьким віком (відображають якісь певні події) з'являються приблизно 4,2 млрд років тому. Очевидно, до цього моменту радіоактивні годинники в породах дуже часто перезапускалися ударними та ендегенними впливами. Тому передбачається, що становлення кори Місяця закінчилося між 4,4 і 4,2 млрд років неодноразово в різних місцях. Які структури і в якій кількості існували на той час, ми оцінити не можемо, оскільки всі вони практично стерті тривалим інтенсивним метеоритним бомбардуванням.



Донектарський або гіппархівський [12] період починається з епохи консолідації місячної кори й триває до початку формування нектарських басейнів. За цей час було утворено близько 3400 кратерів діаметром 30–300 км і 28–30 басейнів діаметром понад 300 км. Одні лише басейни цих кратерів із викидами відповідних розмірів повинні були перекриті до 85% поверхні. Структури цього періоду сильно зруйновані, спотворені й перекриті новішими матеріалами, а найдавніші з них зруйновані настільки, що ледь розрізняються. Тому немає підстав вважати, що басейни цього й наступного періодів створені якимось сплеском бомбардування – просто всі більш древні форми зникли.

Нектарський період – це час формування 10–12 відносно добре збережених басейнів; у басейнів морів Нектару, Криз і Вологості розрізняється частина полів викидів з їхньою первинною структурою та скупчення вторинних кратерів. Кратери цього періоду називаються також птолемеєвськими [1], їх повинно було утворитися приблизно в 2,5 рази менше, ніж гіппархівських (у тих же розмірних інтервалах). Зазвичай вони мають добре виражені вали й центральні гірки та дещо заглиблені днища (відносно навколишньої місцевості). Абсолютний вік басейнів визначався за зразками, узятими «Аполлонами» [11, 13] та «Луною-20» [2]. Імовірно, ці зразки належать до товщі викидів морів Нектару, Криз і Ясності. Їхній вік коливається в межах 3,85–3,95 млрд років.

Імбрійський період відзначається появою двох найбільших басейнів – Моря Доців (близько 3,85 млрд. років тому за датуванням у місцях посадок «Аполлонів») і Моря Східного (приблизно на 50 млн років пізніше – за підрахунками густин кратерів) та заповнення цих і низки інших басейнів базальтами віком 3,2–2,5 млрд років.

Д. Вілхелмс [12] називає перший етап ранньоімбрійським, другий – пізньоімбрійським. У межі пізньоімбрійського етапу потрапляє група так званих архімедових кратерів, утворених після Східного Моря та Моря Доців, але до заповнення цих басейнів базальтами або синхронно з базальтовими виливами. Очевидно, на етапі максимальних виливів з'явилася біль-

шість вулканічних кратерів та вулканів у межах морів та материків. Треба відзначити, що незважаючи на порівняно невелику різницю в абсолютному віці цих двох басейнів, Море Східне має набагато «молодший» вигляд, ніж Море Доців. Мабуть, це пояснюється тим, що при утворенні кожного нового басейну грандіозні місяцетруси, що супроводжували удар, призводили до значної деградації попередніх структур.

Ератосфенський період (приблизно 2,5–1 млрд років тому) характеризується утворенням незначної кількості ударних кратерів, не перекритих лавами, що зберегли первинну скульптуру валу і вторинні кратери, але втратили світлі променеві системи.

Метеоритний потік у той час, імовірно, досяг сучасного рівня. На окремих ділянках спорадичні виливи лав тривали до кінця періоду [8].

Коперніканський період – час формування наймолодших ударних кратерів із незруйнованими світлими променевими системами. Абсолютний вік речовини, викинутої з ранніх коперніканських кратерів, найімовірніше, знаходиться в межах 0,8–1,3 млрд років. Один із наймолодших великих кратерів Тихо, оцінений за щільністю кратерів, утворився від 20–40 до 100 млн років тому. У межах днищ і валів великих коперніканських кратерів видно вулканічні структури, які, судячи з деяких ознак, формувалися тривалий час. Однак літосфера до початку цього періоду досягла потужності сотень кілометрів, що обмежувало можливість подачі розплавів на поверхню. Можливо, масштаби ударного плавлення під великими кратерами були більші, ніж прийнято вважати. Таким чином, на сьогодні встановлена відносна роль ударних і вулканічних процесів на Місяці та особливості ударних і ендегенних структур, виявлені загальні риси будови місячної оболонки й розроблена хронологічна шкала етапів формування поверхні Місяця. Проте й досі відсутні якісні фотографії полярних областей та великих територій на зворотному боці, особливо на захід від Моря Східного. Геохімічна зйомка з орбіти відображає лише загальний характер порід поверхні, до того ж вона здійснювалася тільки у відносно вузькій смузі вздовж трас орбітальних модулів «Аполлонів» [5, 6, 7, 15]. Варіації потужності кори, неодно-

рідності її будови (а тим більше будови мантиї) вимагають додаткових сейсмічних і гравіметричних досліджень; потрібні також і магнітометричні дослідження. Досі залишаються недослідженими склад і абсолютний вік деяких типів місячних порід. Шкала подій давніше за 3,9 млрд років вимагає подальшого калібрування.

Досі залишаються нез'ясованими склад і походження таких поширених на поверхні утворень, як «формація *Cayley*». Все це залишає на майбутнє досить значний обсяг досліджень [9].

Детальна історія вивчення Місяця висвітлена нами у статті «Розвиток географічних уявлень про Місяць» [3].

Історія формування регіону Юлій Цезар

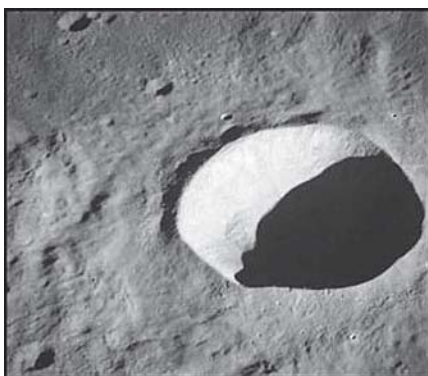
Нектарська система. Представлена в регіоні малими фрагментами в межах морського басейну *Tranquillitatis*. Це відміни **plu** та **plc**, які є залишками первинної сконсолідованої поверхні та фрагментів валів й обрамлень нектарських кратерів. Також простежуються ще дві великі морфоструктури цього періоду: це два великих, майже зруйнованих пізнішими подіями кратери – *Boscovich* та *Julius Caesar*.

Імбрійська система. Більша частина регіону сформувалася саме в цей період місячної історії. Імбрійські відміни представлені серіями *Arpenninian* і *Archimedian*, як і в усіх подібних регіонах. В епоху *Arpenninian* сформувалася західна частина регіону, яка представлена відмінами формації *Fra Mauro*. Це переважно викиди з басейнів *Serenitatis* та *Tranquillitatis*, що знаходяться в тісному й складному пере-

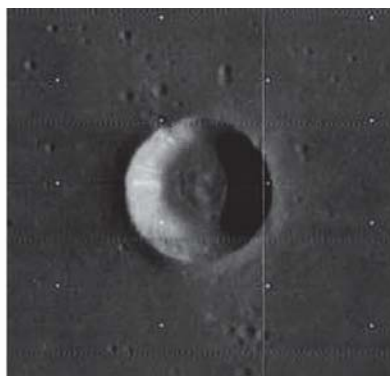
плетенні між собою. Характерною рисою утворень *Fra Mauro* є чіткий і впорядкований малюнок поверхні, який проявляється в рельєфі довгими паралельними грядами, що простягаються з північного заходу на південний схід. Такий малюнок не є характерним для утворення *Fra Mauro*, така «правильна» структура могла бути утворена як екзогенними, так і ендегенними чинниками. Екзогенез міг проявитися у специфічних струменевих викидах із басейну *Vaporum*, які сформували паралельні гряди після закінчення мореутворення. Ендегенез, очевидно, відіграв роль у подальшій еволюції цих покривних викидів та відобразився в формуванні складної системи грабенів та уступів, які, імовірно, утворилися під час остигання та релаксації морських басейнів *Serenitatis*, *Tranquillitatis* та *Vaporum*. Підтверджує цю думку й потужність викидів, яка коливається від кількох десятків до сотень метрів.

Епоха *Archimedian* розпочалася утворенням значної кількості кратерів на західній периферії *Mare Tranquillitatis*. Серед них найбільшими є *Schmidt*, *Manners*, *Sosigenes*, *Maclear* та *Jansen* (рис. 1.). Більшість із них зазнали модифікацій та трансформацій як внутрішніх валів, так і зовнішніх обрамлень у наступні геологічні періоди місячної історії. Також у межах цієї епохи утворилися два кратери: *Ritter* та *Sabine* (рис. 2), які продовжували своє формування впродовж всього ератосфенського періоду внаслідок активізації вулканічних процесів; остаточного сучасного вигляду вони набули лише в коперніканський час.

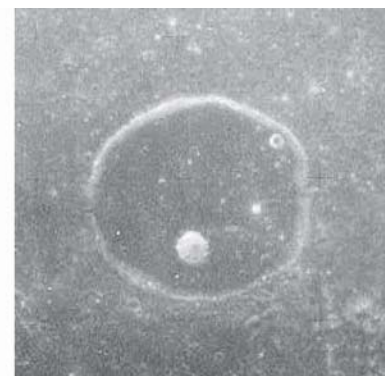
Початок епохи *Archimedian* ознаменовується



а



б



в

Рис. 1. Кратери *Schmidt* (а), *Manners* (б) та *Jansen* (в)



активізацією ендегенних процесів у регіоні, що зумовило значні виливи лави на поверхню. Найактивніше ці процеси відбувалися на західній периферії *Mare Tranquillitatis* і призвели до формування великих лавових полів, під якими опинилася більша частина попередніх морфоструктур, у тому числі й утворення *Fra Mauro*. Цей тип утворення отримав назву «формація *Cayley*» [10]. Пізніше вулканічна активність спала, і в кінці епохи *Archimedian* та на початку ератосфенського періоду її відголоски проявилися на північному-заході від формації *Cayley*, де утворилися достатньо великі лавові покриви (формація *Boscovich*).



Рис. 2. Кратери Ritter (великий на заході) та Sabine (великий на сході)

На південному заході регіону території з часів консолідації місячної кори залишилися майже незмінними. Це слабкохвилясті височини, подекуди тектонічно порушені, у межах

яких вдається простежити слабку сітку лінементів.

Що ж стосується самої котловини *Mare Tranquillitatis*, то вона остаточно сформувалася в епоху *Archimedian* та представлена відмінами переважно океанічної групи. Привертає до себе увагу система концентричних грабенів та уступів під загальною назвою *Lamont*. У нашій інтерпретації утворення такої морфоструктури можливе лише при повторному падінні ударника в ще неостиглий новостворений басейн *Tranquillitatis*. За таких умов сформувався не повноцінний кратер, а лише його згладжена подоба, оскільки ще в'язкі лавові покриви басейну в порівняно короткі строки релаксували та згладдили більшість деталей цієї морфоструктури.

Рівномірно в межах моря присутні великі та малі ефузивні з базальтовими обрамленнями, які, очевидно, утворювалися протягом формування формацій *Cayley* та *Boscovich*, та є їхніми периферійними сателітами.

Ератосфенська система. У цей період геологічної історії регіону *Julius Caesar* утворилася велика кількість дрібних кратерів, які зазнали значних трансформацій у коперніканський час та рівномірно поширені по всій території. Найбільші з них – кратери *Arago*, *Ross* та *Plinius* (рис. 3). Також у ранній ератосфенський період сформувалося лавове поле *Boscovich*, про що вже йшлося вище.

Коперніканська система. Протягом коперніканського часу в межах регіону не відбулося значної кількості подій, які б докорінно змінили попередні структури. До зазначених структур

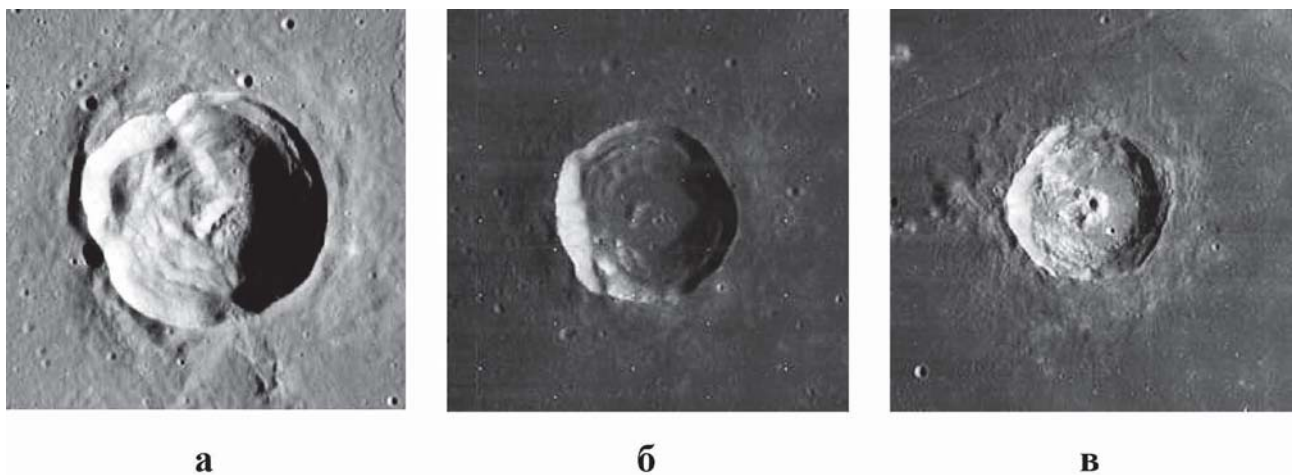


Рис. 3. Кратери Arago (а), Ross (б) та Plinius (в)

належать два великі кратери *Agrrippa* та *Godin* (рис. 4) і значна кількість самостійних малих кратерів. Серед них простежується частина дрібних кратерів-сателітів, які зазвичай формують кратерні катени. Така їх щільність добре корелюється із системою променів, що приурочені до кратерів *Agrrippa* та *Godin*. Формування кратерних катен спричинене потужними струменями, що викидалися з великих кратерів та в подальшому сформували систему проміння, а найщільніші з них – катени. Значна частина старших кратерів як імбрійського, так і ератосфенського періодів модифікована в цей проміжок історії Місяця. Трансформації та помітні зміни стосуються передусім внутрішніх кратерних схилів та зовнішніх обрамлень кратерів.



Рис. 4. Кратери *Agrrippa* (угорі) та *Godin* (внизу)

Також в коперніканський період закінчилося формування гігантської улоговини *Ariadaeus Rille*, яка розташована в західній частині регіону та простягається з північного заходу на південний схід, сягаючи довжини понад 200 км. Вона, мабуть, зародилася в пізній ератосфенський час і має безпосередній стосунок до формацій *Cayley* та *Boscovich*. Своім існуванням улоговина зобов'язана насамперед тектонічним рухам, які супроводжували формування лавових полів *Cayley* та *Boscovich*.

Висновки з проведеного дослідження.

1. Геологічні та геоморфологічні процеси на Місяці настільки повільні, що більша частина поверхні знаходиться в гомогенному стані протягом наддовгих геологічних періодів. І якщо з'являються нові деталі, то це не означає,

що зникають старі. 2. Регіон *Julius Caesar* характеризується поступовим спадом метеоритного бомбардування від нектарського до коперніканського періоду, проте вулканічна активність тут зберігалася до кінця ератосфенського періоду. 3. Сучасного вигляду регіон *Julius Caesar* набув у коперніканський період. Протягом цього періоду значні деталі поверхні не формувалися, окрім утворення двох кратерів середнього розміру та модифікації й трансформації попередніх структур під впливом гравітаційних процесів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бубнов С. Основные проблемы геологии / С. Бубнов – М. : Изд-во Московского университета, 1960. – 234 с.
2. Галкин И. Строение Луны / И. Галкин, В. Шварев – М. : Знание, 1977. – 64 с.
3. Кирилюк С. Розвиток географічних уявлень про Місяць / С. Кирилюк // Науковий вісник Чернівецького університету : Збірник наукових праць. Вип. 762–763: Географія. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2015. – С. 24–27.
4. Kyryliuk S. Landscape complexes of small Lunar craters in the cut of geomorphs on the example of Davy Catena / S. Kyryliuk, O. Kyryliuk // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. – Volume 4, No 6/2016. – P.81–84.
5. Салахутдинов Г. «Аполлоны» летят на Луну / Г. Салахутдинов. – М. : Знание, 1988. – 64 с.
6. Apollo 17 Press Kit. – Washington, D.C. : NASA, 1972. – 121 p.
7. Chaikin A. Voices from the Moon: Apollo Astronauts Describe Their Lunar Experiences / A. Chaikin, V. Kohl – USA Penguin Group, 2009. – 201 p.
8. Heiken G. Lunar sourcebook: A User's Guide to the Moon / G. Heken, D. Vaniman, B. French – Houston : Cambridge University Press, 1991. – 736 p.
9. Moore H. A possible volcanic complex near the Harbinger mountains of the Moon / H. Moore // Astrogeologic studies ann.prog.rept. – 1964. – P. 42–51.
10. Morris E. Geologic map of the Julius Caesar quadrangle of the Moon / E. Morris, D. Wilhelms: USGS Map I-510 (LAC-60), scale 1:1000000.
11. Pike R. Crater dimensions from Apollo data and supplemental sources / R. Pike // The Moon. – 1976. – Vol.15. – P. 463–477.
12. Shoemaker E. Stratigraphic Basic for a lunar Time Scale / E. Shoemaker, R. Hackman // The Moon. – 1962. – P. 289–300.
13. Taylor S. Lunar science a post-Apollo view / S. Taylor – N.Y. : Pergamon Press, 1975. – 372 p.
14. Wilhelms D. The geologic history of the Moon / D. Wilhelms – Washington, 1987. – V. 1348. – 302 p.
15. Wilhelms D. To a Rocky Moon: A Geologist's History of Lunar Exploration / D. Wilhelms. – Tucson, Arizona : The University of Arizona Press, 1993. – 477 p.