

УДК 523.4-83

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

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

ПОВЕРХНЕВІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ІСТОРІЯ ФОРМУВАННЯ ЛАНДШАФТІВ АПЕННІН У МЕЖАХ ВИДИМОЇ ПІВКУЛІ МІСЯЦЯ

Розглянуто застосування аксіоматичного методу під час ідентифікації ландшафтів місячної поверхні. Розроблено модель ідентифікації ландшафтів місячної поверхні, яка складається із трьох основних позицій: доводиться, що образ місячної поверхні є постійним, із стійкими властивостями геометричних фігур на ній та сформованими ними вузлами, тобто інваріантним; відокремлено ландшафтні властивості від геометричної форми – перейдено від конкретного до абстрактного; обґрунтовано фундаментальність елементарної форми на поверхні Місяця й ототожнено їх із простими геометричними фігурами (коло, квадрат, трикутник) для виявлення інваріантів та їх вузлів. Висвітлено основні етапи історії формування поверхні Місяця та охарактеризовано головні події у межах його геологічних періодів. Реконструйовано історію формування регіону Апеннін у межах видимої півкулі Місяця.

Ключові слова: аксіоматичний метод, місячна поверхня, ландшафтний комплекс.

Рассмотрено применение аксиоматического метода при идентификации ландшафтов лунной поверхности. Разработана модель идентификации ландшафтов лунной поверхности, которая состоит из трех основных позиций: доказывається, что образ лунной поверхности является постоянным, с устойчивыми свойствами геометрических фигур на ней и сформированными ими узлами, то есть инвариантным; отделены ландшафтные свойства от геометрической формы – перейдено от конкретного к абстрактному; обосновано фундаментальность элементарной формы на поверхности Луны и отождествлено их с простыми геометрическими фигурами (круг, квадрат, треугольник) для выявления инвариантов и их узлов. Освещены основные этапы истории формирования поверхности Луны и охарактеризованы главные события в пределах ее геологических периодов. Реконструировано историю формирования региона Апеннин в пределах видимого полушария Луны.

Ключевые слова: аксиоматический метод, лунная поверхность, ландшафтный комплекс.

Kyryliuk S.M., Kyryliuk O.V. SURFACE FEATURES AND THE HISTORY OF THE FORMATION OF THE APENNINE LANDSCAPES WITHIN THE VISIBLE HEMISPHERE OF THE MOON

The application of the axiomatic method in the identification of landscapes of the lunar surface is considered. The model of landscapes identifying of the lunar surface is developed, which consists of three main positions: it is proved that the image of the lunar surface is constant, with stable properties of geometric shapes on it and they formed units, that is invariant; landscaped property is separated from its geometric shape – proceeded from concrete to abstract; reasonably fundamental elementary forms on the surface of the Moon and matching them with simple geometric shapes (circle, square, triangle) to identify invariants and their components. 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 Montes Apenninus region within the visible hemisphere of the Moon.

Key words: axiomatic method, lunar surface, landscape complex.

Постановка проблеми. Регіон *Montes Apenninus* розташований у центрально-північній частині видимої півкулі Місяця. Регіон вирізняється своєю непростю будовою і складною системою різновікових відмін, що перебувають у тісному взаємозв'язку між собою. Основним

утворенням у межах регіону є гірська система *Montes Apenninus*, яка насправді є залишком гігантського валу басейну Моря Доців і сформована потужними відмінами утворення *Fra Mauro*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує чимало абстрактних інтерпретацій



місячної поверхні. Єдине, що об'єднує увесь масив цих напрацювань, – це два їхні аспекти: геохронологічний та літологічний. Безпосередньо місячним ландшафтам у їхньому дефініційному змісті в науковій літературі не надано належної уваги, однак є певна кількість робіт, які привертають увагу своєю своєрідною ландшафтною інтерпретацією, серед них праці G.K. Gilbert (1893), R.B. Baldwin (1949), J.F. McCauley (1967), R. Greeley (1994, 2013), P.T. Wlasuk (2000), J. Bell (2009) [15; 11; 26; 16; 17; 36; 12]. Опорними працями стосовно геохронологічного аспекту місячної поверхні, які мають певні відголоски до ландшафтного різноманіття Місяця, є роботи J. Green (1962), W.K. Hartmann, G.P. Kuiper (1962), W.L. Quaide (1965), G. Fielder (1965), T.B. McCord (1969), J.H. Mackin (1969), D.E. Stuart-Alexander, K.A. Howard (1970), L.B. Ronca, R.R. Green (1970), P.D.Jr. Lowman (1970), H.A. Pohn, T.W. Offield (1970), R.G. Strom (1971) [18; 19; 32; 14; 27; 23; 35; 33; 22; 31; 34]. Серед опорних праць щодо літологічних відмінностей місячної поверхні, які певною мірою торкаються ландшафтної інтерпретації місячної поверхні, вирізняємо роботи J.F. Lindsay (1976), A.V. Markov (1962), I.S. McCallum, F.P. Okamura, S. Ghose (1975), S.E. Kesson, D.H. Lindsley (1976), K.M. O'Sullivan, T. Kohout, K.G. Thaisen, D.A. Kring (2011), A.A. Nemchin, M.L. Grange, R.T. Pidgeon, C. Meyer (2012) [21; 24; 25; 20; 30; 29].

Виклад основного матеріалу дослідження. Аксиоматична концепція вивчення ландшафтів Місяця. Чільне місце в дослідженнях ландшафтного різноманіття поверхні Місяця посідає **аксиоматичний метод**. Основна суть цього методу щодо виокремлення ландшафтних комплексів (ЛК) на поверхні Місяця полягає у виробленні єдиної схеми пошуку елементарних одиниць поверхні з подальшою їх класифікацією та інтерпретацією. Ще Л.С. Берг у 1916 році писав, що встановити закон означає закласти параметри, за якими явище стає в означений ряд [1]. У нашому випадку це виокремлення елементарних форм поверхні Місяця та їхня ландшафтна інтерпретація. Іншими словами, розробка абстрактної моделі та подальша робота дослідника згідно з нею під час виокремлення ЛК на

поверхні Місяця шляхом узагальнення його геометричного малюнку. Ця модель містить три основні позиції:

1) довести, що образ місячної поверхні є постійним, із стійкими властивостями геометричних фігур на ній та сформованими ними вузлами, тобто інваріантним. Ми дотримуємось інваріантності в розумінні теореми Фарі-Мілнора [13, с. 28]. Докладніше цей пункт висвітлений нами у праці [6];

2) відокремити ландшафтні властивості від його геометричної форми, тобто зробити найважливіше в науковому пізнанні – перейти від конкретного до абстрактного. На початковому етапі пізнання ландшафтної структури Місяця головне не якість ЛК, а ті форми і вузли, які вони формують;

3) усвідомити фундаментальність елементарної форми на поверхні Місяця й ототожнити ці форми з простими геометричними фігурами (коло, квадрат, трикутник) для виявлення інваріантів та їх вузлів. Рухаючи ці фігури у просторі, стає можливим відтворювати цілісні образи, іншими словами – геосистеми. Згідно з теорією симетрії кількість таких рухів вкрай обмежена, що сприяє швидкому виявленню усіх груп рухів і формуванню їх комбінацій. Групою тут називаємо множину елементів, на якій задано операцію множення і яка задовольняє такі аксіоми. 1. *Замкнутість групи щодо операції множення:* для будь-яких двох елементів групи існує третій, який є їх похідним –

$$\forall A, B \in G : \exists C \in G A \cdot B = C$$

Такі випадки можна спостерігати під час поширення окремих місячних ЛК (вторинні кратери, кратерні катени тощо). 2. *Асоціативність операції множення:* порядок виконання множення не має значення –

$$\forall A, B, C \in G : A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C = A \cdot B \cdot C$$

Здебільшого такі групи характеризують рівномірне поширення місячних ЛК у заданій ділянці (морські кратери, хвилясті рівнини з почерговою зміною западин та підвищень тощо). 3. *Існування одиничного елемента:* в групі існує конкретний елемент E , похідні якого з будь-яким елементом групи A дають той самий елемент A –

$$\exists E \in G : \forall A \in G A \cdot E = E \cdot A = A$$

– це одиничні ЛК, які не вписуються у типові форми (вулканічні (ефузивні) утворення, синуси тощо). 4. *Існування зворотного елемента*: для будь-якого елемента групи A існує такий елемент A^{-1} , що їхні похідні дадуть одиничний елемент E –

$$E - \forall A \in G : \exists A^{-1} \in G : A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = E .$$

Яскравим прикладом такої групи можуть бути групи кратерів, які не відрізняються за формою, проте мають різний вік утворення [3; 4; 2; 10].

Для того, щоб якомога точніше підійти до визначення меркуріанського та місячного ландшафту, необхідно означити земний та порівняти його з ландшафтами Меркурія та Місяця. Цей огляд почнемо із цитати О.П. Ковальова (2005), з якою можна погодитися лише у випадку із певною кількістю земних ландшафтів, але в жодному разі не з меркуріанськими й місячними: «Ландшафт не є застиглою картинкою, він живий, постійно мінливий і неповторний у кожному наступному кроці. Саме ця властивість робить його формою відображення того, що ми не можемо охопити ні нашим поглядом, ні нашими вимірювальними приладами – а саме режимів і станів геосистем... Намагатися дати опис реальних ландшафтів – справа марна» [9].

Звичайно, що земний ландшафт, який нас породив, буде частиною нашої системи, ми не зможемо пізнати її повною мірою до тих пір, доки будемо у цій системі перебувати. Що стосується Меркурія і Місяця, то вони є абсолютно іншими природними системами, які якщо і перетинаються з нашим буттям, то дуже тонкою і незначною гранню. Більше того, ми маємо змогу спостерігати системи Меркурія і Місяця ззовні, що дає нам підстави вважати їх сторонніми щодо нас. Тепер більш прозаїчніше – географічна оболонка (г.о.) Землі справді володіє потужною динамікою, і навіть протягом незначного часу в окремих її частинах можна спостерігати значні зміни, часто докорінні. Те саме не можна сказати про г.о. Меркурія і Місяця – вони стосовно Землі є повною протилежністю. Динаміка в їхніх межах настільки повільна, що більша частина їхнього континууму перебуває у гомогенному стані протягом наддовгих геологічних періодів. І якщо нові деталі й з'являються у їхніх межах,

то це не означає, що зникають старі. Тому ця важлива цитата О.П. Ковальова не може бути використана для місячних ландшафтів з огляду на низку відмінностей між земними та ландшафтами Меркурія і Місяця.

Поява нових деталей на поверхнях Меркурія і Місяця та зберігання при цьому старих пояснюється просто – ці планети не володіють тотожним до Землі набором геосфер, особливо такими, як атмосфера та гідросфера, які, у свою чергу, є найактивнішими чинниками вивітрювання. Більше того, Меркурій і Місяць у тектонічному аспекті майже неактивні як мінімум протягом 2/3 свого існування, що тільки посилює консервацію форм і фізичного стану їхніх г.о.

Дослідження місячних ландшафтів нами висвітлено в попередніх публікаціях. Їх виокремлення відбувалося на основі серії морфометричних і геоморфологічних карт (типів і генезису рельєфу) із застосуванням класичних принципів геоморфологічного картографування й урахуванням особливостей місячної поверхні, а також із застосуванням аксіоматичного методу та геометричних узагальнень денної поверхні Місяця [5; 7; 8].

Поверхневі особливості та історія формування Апеннін. Імбрійська система. Імбрійські відміни представлені серіями *Apenninian* і *Archimedian*, у регіоні *Montes Apenninus* проявляються широким спектром відмін. Серія *Apenninian* у регіоні *Montes Apenninus* представлена складною системою *Fra Mauro*, яка складається із двох відмін (Ifhl і Ifhd) та відміни (Iab), яка проявила себе у пізній *Apenninian* епосі. Ifhl та Ifhd є потужними викидами з Моря Доців, які у рельєфі проявляють себе у вигляді кратерного валу планетарного масштабу (рис. 1). Головною рисою відмін утворення *Fra Mauro* є їхня складна поверхнева будова, яка ускладнена гігантськими зсувами і формуванням густої горстово-грабенової будови більшої частини утворення унаслідок тимчасової тектонічної активності, яка проявляла себе на ранніх етапах формування басейну Моря Доців. У більшості випадків тектонічні розломи в межах *Montes Apenninus* приурочені до густої сітки лінементів. Потужність відмін *Fra Mauro* коливається у різних частинах *Montes Apenninus* від кількох десятків метрів до понад 1 000 м.



Відміна **Iab** формує унікальне утворення *Apennine Bench*, яке передує фронту *Montes Apenninus*. Поверхня утворення досить гладка і є потужними лавовими полями, незначно ускладненими подальшими рельєфотворчими процесами (переважно метеоритним бомбардуванням).

У межах імбрійського періоду сформувався великий кратер *Archimedes* (рис. 2). Значна частина кратеру зазнала істотних трансформацій із часу утворення. В *Archimedian* епоху модифікувалося днище кратера, яке в період тектонічної активності, пов'язаної з утворенням близьких до кратера *Archimedes* кільце-

вих структур, заповнило його доволі потужним шаром лави. В ератосфенський період (і особливо в коперніканський) значних змін зазнали внутрішні кратерні схили, які модифікувалися завдяки схиловим процесам, переважно зсувним.

У фронтівій частині *Montes Apenninus* утворилися складні системи рим. Чітко простежуються дві з них: система рим *Archimedes* та *Fresnel*. Їх формування пов'язане із формуванням кратерів *Archimedes* і *Autolycus* з *Aristillus*.

Океанічна група пізньої *Archimedian* епохи представлена морськими відмінами, які є



Рис. 1. Montes Apenninus

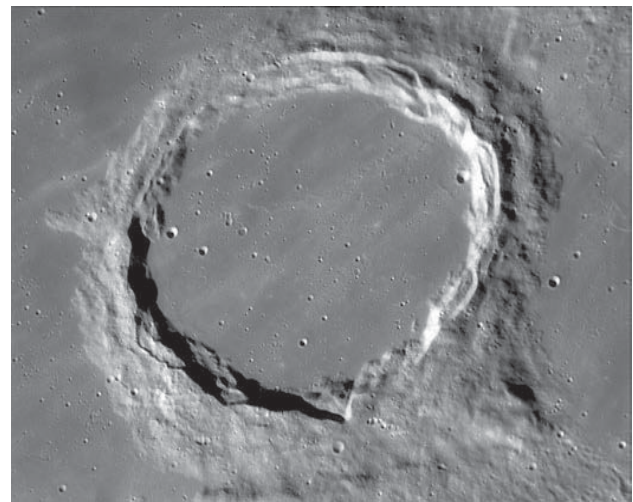
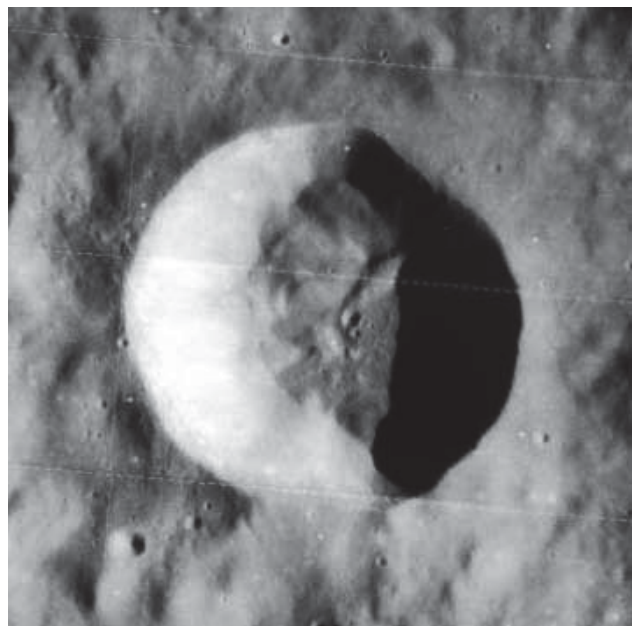


Рис. 2. Кратер Archimedes



а



б

Рис. 3. Кратери Autolycus (а) та Conon (б)

тотожними до описаних вище в регіонах *Seleucus*, *Aristarchus* та *Timocharis*, поширеними в північно-західній частині регіону (Море Дощів), у південно-східній (Море Пару) та в північно-східній (Море Ясності). Також у цей період проявив себе вулканізм, який у сучасному рельєфі простежується у вигляді базальтових куполів із локальною концентрацією у фронтівній частині *Montes Apenninus*.

Ератосфенська система. В ератосфенський період у регіоні *Montes Apenninus* не утворилося багато нових рельєфних форм. Переважно це дрібні кратери, які досить рівномірно розташовані в усьому регіоні і зазнали модифікацій у коперніканський період. Зокрема, це стосується внутрішніх кратерних схилів.

Коперніканська система. У цей період утворилися великі кратери *Autolycus* і *Conon* (рис. 3), а також безліч дрібніших кратерів, рівномірно розкиданих територією усього регіону. Особливістю коперніканських кратерів є добра збереженість первинних форм, які, якщо і порушені, то нерівномірно в межах цих структур.

У коперніканський період відбулася модифікація і трансформація північно-західного (фронтального) схилу *Montes Apenninus*. Переважно це гігантські зсуви, які суцільним шлейфом охоплюють усю північно-західну периферію «гірської» системи.

Висновки з проведеного дослідження. Аксиоматична концепція складається із трьох основних позицій: 1) пошук інваріантності; 2) абстрагування; 3) фундаменталізація. Застосування теорії симетрії у третьому блоці концепції сприяє виявленню усіх груп рухів та формуванню їх комбінацій, що формує фундамент ландшафтної моделі та структуру ландшафтної організації території, яка вписується у чотири основні групи: 1) замкнутість групи; 2) асоціативність групи; 3) існування одиничного елемента в групі; 4) існування зворотного елемента в групі.

Події, пов'язані з утворенням *Montes Apenninus* та Моря Дощів, відіграли значну роль у формуванні рельєфу більшості дотичних до них регіонів. Загалом регіон специфічний тим, що більшість позитивних деталей рельєфу сформувалися викидами під час утворення мегабасейну Моря Дощів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Академику Л.С. Бергу – 135 лет : [сборн. науч. статей]. – Бендеры : Есо-TIRAS, 2011. – 426 с.
2. Барут А. Теория представлений групп и её приложения / А. Барут, Р. Рончка. – М., 1980. – 456 с.
3. Желобенко Д.П. Компактные группы Ли и их представления / Д.П. Желобенко. – М., 1970. – 671 с.
4. Каргаполов М.И. Основы теории групп / М.И. Каргаполов, Ю.И. Мерзляков. – М. : Наука, 1972. – 239 с.
5. Кирилюк С.Н. Ландшафтные комплексы малых лунных кратеров в разрезе геоморфов на примере Дэви Катены / С.Н. Кирилюк // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Географія». – 2012. – Вип. 633–634. – С. 73–76.
6. Кирилюк С. Аксиоматичний метод при ідентифікації ландшафтів місячної поверхні / С. Кирилюк // Фізична географія та геоморфологія. – 2015. – № 2(80). – С. 126–131.
7. Кирилюк С.М. Геоморфи кратера Ла-Перуз в межах видимої півкулі Місяця / С.М. Кирилюк, О.В. Кирилюк // Рельєф і клімат : матер. Міжнар. наук. симпозіуму (м. Чернівці, 23–25 жовтня 2014 р.). – 2014. – С. 38–40.
8. Кирилюк С.М. Морфологічні структури Моря Спокою видимої півкулі Місяця / С.М. Кирилюк, У. Костюк // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Т. 10. – Вип. 1. – С. 607–612.
9. Ковальов О.П. Географічний ландшафт: науковий, генетичний і феноменологічний аспекти / О.П. Ковальов. – Харків : Екограф, 2005. – 388 с.
10. Ляховский В.Д. Группы симметрии и элементарные частицы / В.Д. Ляховский, А.А. Болохов. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. – 337 с.
11. Baldwin R.B. The face of the Moon / R.B. Baldwin. – Chicago : Chicago Univ. Press, 1949. – 239 p.
12. Bell J. Moon 3-D: the lunar surface comes to life / J. Bell. – New York : Sterling Publishing Co., 2009. – 160 p.
13. Fary I. Sur la courbure totale d'une courbe gauche faisant un noeud / I. Fary // Bulletin de la Société Mathématique de France. – 1949. – № 77. – P. 128–138.
14. Fielder G. Lunar geology / G. Fielder. – Chester Springs, Pa., Dufour Editions, 1965. – 184 p.
15. Gilbert G.K. The Moon's face – A study of the origin of its features / G.K. Gilbert // Phil. Soc. Wash. Bull. – 1893. – V. 12. – P. 241–292.
16. Greeley R. Planetary Landscapes, Springer / R. Greeley. – 1994. – 288 p.
17. Greeley R. Introduction to Planetary Geomorphology / R. Greeley. – Arizona State University, 2013. – 252 p.
18. Green J. The geosciences applied to lunar exploration, in Kopal, Zdenek, and Mikhailov, Z.K., eds. / J. Green : The Moon-Intemat. Astron. Union Symposium (Leningrad, 1960). – New York : Academic Press, 1962. – P. 169–257.
19. Hartmann W.K. Concentric structures surrounding lunar basins / W.K. Hartmann, G.P. Kuiper // Arizona Univ. Lunar and Planetary Lab. Commun. – 1962. – V. 1. – No. 12. – P. 51–66.
20. Kesson S.E. Mare basalt petrogenesis – a review experimental studies / S.E. Kesson, D.H. Lindsley // Reviews of Geophysics and Space Physics. – 1976. – V. 14. – P. 361–373.



21. Lindsay J.F. Lunar stratigraphy and sedimentology / J.F. Lindsay. – Amsterdam : Elsevier, 1976. – 302 p.
22. Lowman P.D.Jr. The geologic evolution of the Moon / P.D.Jr. Lowman // Greenbelt, Md., Goddard Space Flight Center. – 1970. – 44 p.
23. Mackin J.H. Origin of lunar maria / J.H. Mackin // Geol. Soc. America Bull. – 1969. – V. 80. – P. 735–748.
24. Markov A.V. The Moon – a Russian view / A.V. Markov. – Chicago : University of Chicago Press, 1962. – 391 p.
25. McCallum I.S. Mineralogy and petrology of sample 67075 and the origin of lunar anorthosites / I.S. McCallum, F.P. Okamura, S. Ghose // Earth and Planetary Science Letters. – 1975. – V. 26. – No. 1. – P. 36–53.
26. McCauley J.F. The nature of the lunar surface as determined by systematic geologic mapping, in Runcorn, S.K., ed., Mantles of the Earth and terrestrial planets / J.F. McCauley. – London : John Wiley&Sons – Intersci. Publishers. – P. 431–460.
27. McCord T.B. Color differences on the lunar surface / T.B. McCord // Jour. Geophys. Research. – 1969. – V. 74. – No. 12. – P. 3131–3142.
28. Milnor J.W. On the total curvature of knots / J.W. Milnor // Annals of Mathematics. – 1950. – No 52. – P. 248–257.
29. Nemchin A.A. Lunar zirconology / A.A. Nemchin, M.L. Grange, R.T. Pidgeon, C. Meyer // Australian Journal of Earth Sciences. – 2012. – Vol. 59-2. – P. 277–290.
30. O'Sullivan K.M. Calibrating several key lunar stratigraphic units representing 4 billion years of lunar history within Schrödinger Basin / K.M. O'Sullivan, T. Kohout, K.G. Thaisen, D.A. Kring // Recent Advances in Lunar Stratigraphy, D.A. Williams and W. Ambrose (eds.). – 2011. – P. 117–128.
31. Pohn H.A. Lunar crater morphology and relative age determination of lunar geologic units. Part 1 / H.A. Pohn, T.W. Offield // Classification, in Geological Survey research. – 1970. – P. 153–162.
32. Quaide W.L. Rilles, ridges and domes – Clues to maria history / W.L. Quaide // Icarus. – 1965. – V. 4. – No. 4. – P. 374–389.
33. Ronca L.B. Statistical geomorphology of the lunar surface / L.B. Ronca, R.R. Green // Geol. Soc. America Bull. – 1970. – V. 81. – P. 337–352.
34. Strom R.G. Lunar mare ridges, rings and volcanic ring complexes / R.G. Strom // Modern geology. – 1971. – V. 2. – P. 133–157.
35. Stuart-Alexander D.E. Lunar maria and circular basins – a review / D.E. Stuart-Alexander, K.A. Howard // Icarus. – 1970. – V. 2. – P. 440–456.
36. Wlasuk P.T. Observing the Moon / P.T. Wlasuk. – London : Springer-Verlag, 2011. – 182 p.