

УДК 551.4+550.8.02

ТРИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИКИХ КРАТЕРІВ МОРЯ ДОЩІВ

*Кирилюк С., Галюк М., Клим'юк А.**Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича*

Розглянуті особливості геологічної будови, віку й геоморфології поверхні окремих ділянок видимої півкулі Місяця. Створені 3D карти ділянок з великими кратерами Тімохаріс та Ламберт.

Ключові слова: кратер, Місяць, 3D карти.

Вступ. Місяць єдиний природний супутник Землі і найближче до нас небесне тіло. Незважаючи на достатню кількість матеріалів стосовно вивчення природи Місяця, не всім її компонентам приділено достатню уваги. Місячна поверхня зберегла риси первісної будови, тому її досконале вивчення покращить розуміння еволюції поверхні Землі.

На поверхні Місяця спостерігаємо свідчення бомбардування його поверхні астероїдами, кометами й метеоритами. Існує близько півмільйона кратерів розміром більше 1 км. Через відсутність на Місяці атмосфери, води й значних тектонічних і геологічних процесів, місячні кратери практично не піддавалися змінам. Збереглися навіть стародавні кратери.

Головною особливістю місячної поверхні є її повільна денудація, яка в окремих місцях протікає багато мільйонів і навіть мільярди років. Поверхня не піддається більшості екзогенних впливів, як земна або марсіанська. Це призводить до її своєрідної консервації, що дає можливість представити як виглядала, наприклад, Земля на ранніх етапах свого формування (пізній гадей (катархей), ранній архей). Адже деякі ділянки місячної поверхні мають вік, відповідний названим вище періодам розвитку Землі, що в кінцевому підсумку дає можливість провести, з деякою точністю, екстраполювання стародавньої поверхні Землі.

У попередніх публікаціях автора вже були закладені теоретичні та методологічні аспекти екстраполяції різновікової поверхні Землі з урахуванням місячної, на основі побудови максимальних й мінімальних поверхонь двох планет (Кирилюк С.М. 2006, 2008, 2009, 2011, 2012).

Актуальним є вивчення розвитку місячної поверхні в різних геологічних ерах; виявлення й опис процесів, що відбуваються на його поверхні; розробка методик ландшафтного картографування та здійснення самого картографування тощо.

Методи. Побудова моделей кривизни рельєфу базується на мірі звивистості ізолінійної моделі рельєфу. Розрахунок звивистості найкраще вести за підрахунком площ, що отримуються при відхиленні від конкретної ізолінії при проведенні середньої лінії між крайніми її точками в окресленій

площі. Одним з найкращих методів отримання значень сум є метод, запропонований Леонардом Ейлером. Його суть полягає в тому, щоб апроксимувати кінцеву суму інтегралом, і в багатьох випадках дозволяє отримати наближення з будь-якою мірою точності.

Для створення тримірної моделі рельєфу роботу починають у Macromedia Flash, де створюється векторна ізолінійна модель рельєфу. Побудована ізолінійна основа гіпсометрично зафарбовується в кольоровій шкалі HSB. Зафарбовування ведеться з 1% (чорний колір – найнижчі висоти) до 100% (білий колір – найвищі висоти). По закінченні гіпсометричного зафарбовування векторний малюнок (формат .FLA) експортується у растровий формат (.BMP), після чого робота продовжується в програмі Corel Bryce 3D.

Попередні дослідження. Для вивчення поверхні Місяця було здійснено 65 офіційних запусків, в т.ч. автоматичних міжпланетних станцій, які були оснащені посадочними модулями, самохідними апаратами та пілотованими експедиціями. Серед них колишнім Радянським Союзом було здійснено 28 запусків, США – 34, Японією – 2, Європейським Союзом – 1.

Вивчення поверхні планет земної групи бере свій початок близько 360 років до н.е., коли Аристотель висунув ряд аргументів на користь уявлення про кулястість Землі, Місяця та інших небесних тіл. 260 років до н.е. Аристархом Самоським висловлено ідею, яку було підтримано, про рух Землі, Місяця та інших небесних тіл. Важливими датами в вивченні планет Сонячної системи є 1543 р., коли вийшла в світ книга М. Коперніка “Про обертання небесних сфер”, в якій він утвердив геліоцентричну систему світу; 1609 – 1919 рр. Й. Кеплером встановлені основні закони руху планет навколо Сонця. Але справжній прорив у вивченні поверхонь, найближчих до Землі, планет почалося в 1946 році, коли вперше було здійснено радіолокацію Місяця. 14 вересня 1959 року радянський космічний апарат “Луна-2” вперше досяг місячної поверхні, 7 жовтня цього ж року “Луна-3” облетів навколо Місяця і вперше сфотографував зворотну сторону планети. 3

лютого 1965 року “Луна-9” здійснила вперше м’яку посадку на поверхню Місяця і передала на Землю телевізійне зображення поверхні. 3 квітня цього ж року “Луна-10” стає першим штучним супутником Місяця. 21 липня 1969 року – перший вихід людей на поверхню Місяця (Н. Армстронг, Е. Олдрін). 24 вересня 1970 року було здійснено першу доставку місячного ґрунту “Луна-16”, 17 листопада цього ж року було доставлено на Місяць самохідний апарат “Луноход-1”.

Ці та подальші дослідження й спостереження дозволили сформувати потужну емпіричну базу, яка дозволяє проводити значні за обсягом та глибиною фізико-географічні аналітичні дослідження.

Виклад основного матеріалу. Територія дослідження знаходиться на північному-заході видимої півкулі Місяця. Відносні висоти коливаються в межах 5000 метрів. Південну частину квадрату займає морська територія, яка складена з вкритого бороздами матеріалу і депресіями імбрійської ери. Ця частина досліджуваного квадрату є досить старою. Територія моря вкрита численними кратерами Ератосфенської та Коперніканської ер. На крайньому південному заході присутні відклади Нектарсько-Імбрійської системи – утворення Fra-Mauro, що належать до басейну моря Доців. Утворення є північними відрогами системи Карпат. На крайньому південному сході присутній нерозчленований матеріал Ератосфенської системи. На північ від утворення Fra-Mauro поширена невелика ділянка горбистого морського матеріалу Імбрійської системи, ймовірно вулканічні потоки. Також на території моря розташовані численні кратери різних геологічних систем.

У морі Доців простягається система невисоких «хребтів» та депресій. Основний напрям їх простягання – з північного заходу на південний схід. У північно-східній частині є «хребти» із простяганням з північного сходу на південний захід.

На цій території є чотири великі кратери різних геологічних систем. Досить значну територію займає кратер Тімохаріс Коперніканської системи. Він характеризується чіткими елементами кратерної структури. Горбиста територія оконтурює його по периферії від валу грабенів і поступово переходить в рівнинну морську. Внутрішні кратерні схили мають нахил 20-40°. В їх межах поширені осипи та корінні схили. Днище кратеру гладке або плоске. По периферії присутній в значних кількостях колювільний матеріал. У центральній частині днища кратеру є псевдоефузивний вулкан, який утворився під час потужного удару падаючого тіла. Схили кратеру добре терасовані, простежуються потужні осипні тіла. Територія кратеру

піддавалась повторному бомбардуванню, оскільки у північно-східній частині кратера знаходиться менший із простою структурою.

На захід від кратера Тімохаріс розташований кратер Ламберт Ератосфенської системи, який має дещо меншу площу, у порівнянні з попереднім. Здебільшого його будова мало відрізняється від Тімохаріса. В центральній частині днища Ламберта розташована центральна гірка. Схили кратеру добре терасовані, у північній частині вирізняється потужне осипне тіло.

У центральній та західній частині території знаходиться молодий кратер Коперніканської системи Euler. Як і Тімохаріс, він характеризується чіткою кратерною структурою. У нього чітко простежуються дві тераси, схили яких досить стрімкі – 20-40°. Нижня тераса більша й з півдня порушена потужним осипним тілом. На днищі – невеликі пагорби, які зі сходу й заходу оточені осипними шлейфами.

Невеликий кратер Коперніканської системи у центральній частині – Pytheas. Структура кратеру досить проста. Схили порівняно стрімкі, не порушені осипами. В межах днища знаходиться центральна гірка. Територія навколо кратеру неодноразово піддавалась повторному бомбардуванню.

На території знаходяться два напівзлиті кратери Draper I та Draper C з простою структурою; кратери неглибокі, у системи Draper є центральні гірки.

На півночі розташований невеликий кратер Carlini Ератосфенської системи. Його структура проста. Схили терасовані та непорушені. Днище з центральною гіркою.

Малі кратери розміщені більш-менш рівномірно, але спостерігається їх більша концентрація у північній та південній частині території.

Загалом південна частина має дещо складнішу будову та різноманітніший набір відкладів.

Тримірні моделі кратерів Тімохаріс та Ламберт й територій, що їх оточують, дозволили ідентифікувати цілий ряд морфоструктур та морфоскульптур:

1. Морські кратери – кратери, які розташовані в межах місячних морів. Як правило, їх багато і вони невеликі за розміром й молоді.

2. Материкові кратери – кратери, що розташовані за межами місячних морів.

3. Гірські кратери – кратери, які розташовані в так званих гірських системах.

4. Внутрішньократерні кратери – кратери, розташовані всередині більшого й давнішого кратера.

5. Днища кратерів – морфометрично є плоскими ділянками в центрі кратера й заповнені

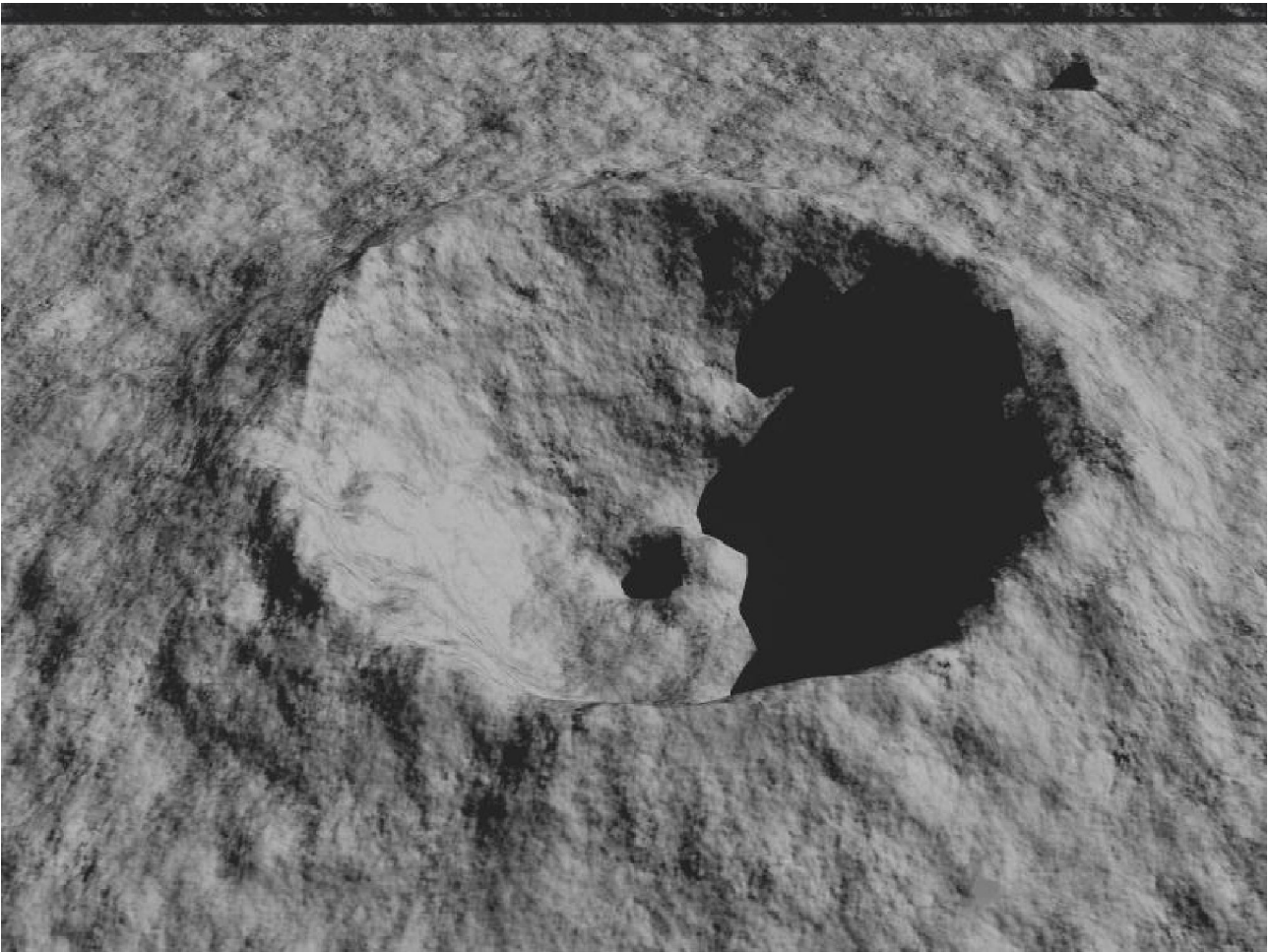


Рис. 1. Тримірна модель кратера Тімохаріс (крупним планом)

по периферії колювіальними відкладами, які скотились чи скочуються з внутрішніх кратерних схилів.

6. Депресивні днища – це частини днища кратера, які знаходяться на нижчому рівні і не заповнені колювієм.

7. Схили центральних гірок – знаходяться, як правило, в центральній частині кратера й утворені внаслідок сильного удару падаючого тіла, що спричинив вилів магми на поверхню.

8. Випуклі вершини центральних гірок – це найвищі точки центральних гірок, які чітко вирізняються на фоні схилів.

9. Внутрішні кратерні схили – це схили, які відокремлюють днище кратера від терасованих схилів.

10. Уступ внутрішньократерної тераси – це схили, які відокремлюють внутрішні кратерні схили від першої тераси та кожен наступну внутрішньократерну терасу від попередньої.

11. Внутрішньократерна тераса – це плоска ділянка внутрішніх схилів кратерів, які утворились внаслідок накопичення колювіального матеріалу, великих зсувів або попадання в схил кратера падаючого тіла.

12. Напірні вали – це підвищення продовгуватої форми, які утворились внаслідок удару падаючого тіла.

13. Схили напірних валів – це досить круті ділянки, по яких скочується вище розташований матеріал.

14. Випуклі вершини напірних валів – це різко припідняті частини напірних валів.

15. Зовнішні кратерні схили – це схили, які з'єднують внутрішні терасовані схили кратера зі схилами напірних валів. У порівнянні з внутрішніми – мають набагато меншу крутизну, але показники кривизни значно вищі.

16. Міжкратерні сідловини – прогини морської чи материкової поверхні, утворені між структурами двох сусідніх кратерів.

17. Випуклі кратерні шлейфи – це горбиста територія, яка обрамляє кратер.

18. Увігнуті кратерні шлейфи – це вирівняна поверхня, яка оконтурює кратер.

19. Осипні депресії – увігнуті ділянки утворені зсувами та осипами.

20. Дрібні кратери – це невеликі кратери, які не володіють системою терас.

21. Уступи морських басейнів – це перехідні території від морських басейнів до материкових

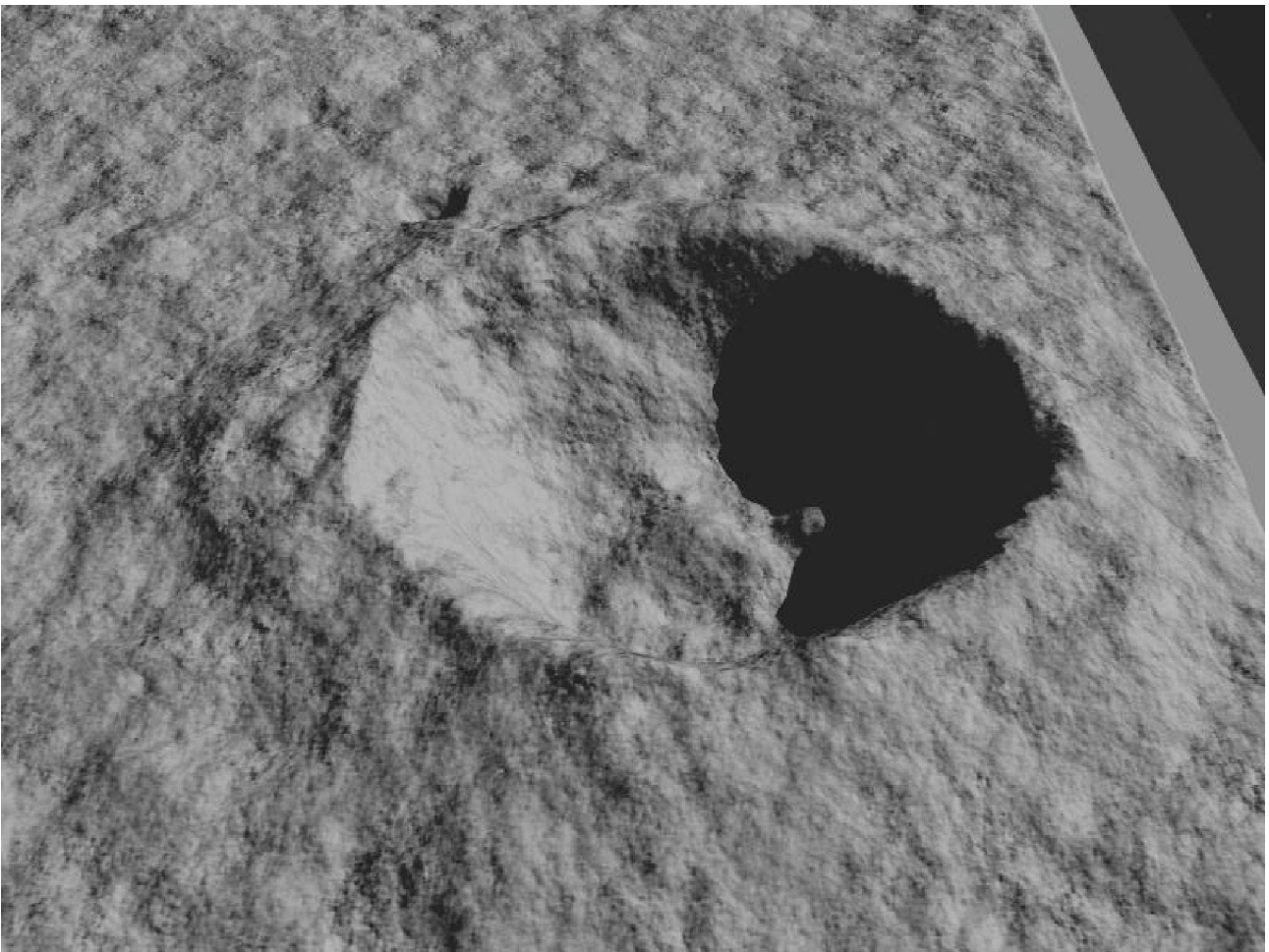


Рис. 2. Тримірна модель кратера Ламберт (крупним планом)

підвищень. Являють собою залишки внутрішніх кратерних схилів, що утворилися в ранню історію Місяця і були утворені падінням надвеликих астероїдів.

22. Морські гряди – мають витягнуті форми й утворилися внаслідок неоднорідного розподілу лави при виливах на поверхню.

23. Випуклі ділянки морської поверхні – позитивні форми рельєфу на фоні морських рівнин.

24. Увігнуті ділянки морської поверхні – від’ємні форми рельєфу на фоні морських рівнин.

25. Вулканічні утворення – підвищення морської поверхні, спричинені ендегенними процесами в надрах Місяця. Як правило, мають форму ефузивів.

26. Синус – частини напірних валів давніх кратерів; інші елементи заповнено морськими відкладами – лавами.

27. Тріщина термічного вивітрювання – вузька продовгувата форма рельєфу, яка утворилася внаслідок термічного вивітрювання з подальшим зміщенням великих мас реголіту. Як правило, мають незначні розміри.

28. Зсуви.

29. Гірські системи – це сукупність хребтів,

які являють собою залишки давніх мегавалів.

30. Конуси – це відклади, утворені під дією гравітації. Мають вигляд конусу.

31. Материкова поверхня – це височини з хаотичним рельєфом та густою мережею дрібних кратерів.

32. Випуклі ділянки материкової поверхні – це яскраво виражені в рельєфі підвищення материкової поверхні.

33. Увігнуті ділянки материкової поверхні – це яскраво виражені у рельєфі западини, які не пов’язані з ударами метеоритів.

34. Фосси (борозни) – це довгі та вузькі неглибокі впадини (лише на Місяці). Називають за назвам найближчих кратерів. Здебільшого мають тектонічне походження.

35. Рими (тріщина) – це довгі та досить широкі неглибокі впадини. Здебільшого мають тектонічне походження.

Висновки. Методику апробовано на двох ділянках видимої півкулі Місяця з великими кратерами Тімохаріс та Ламберт. Отримані тримірні моделі показали ефективність застосування такого підходу для отримання тримірних моделей рельєфу та їх придатності щодо створення

геоморфологічних і ландшафтних карт регіонів, що неможливо спостерігати “власними очима”.

Детальний аналіз тримірних моделей та ортофотопланів регіонів видимої півкулі Місяця з великими кратерами Тімохаріс та Ламберт дозволив попередньо виділити 35 морфоструктур та морфоскульптур, які стануть основою для побудови детальної ландшафтної карти цих територій.

Під час вивчення регіонів з великими кратерами Тімохаріс та Ламберт було виявлено відмінні від земних системи ландшафтної структури та провідні ландшафтні чинники, кількість яких не є тотожною порівняно з Землею, й якість яких відмінна від земних. Така відмінність змушує шукати нові підходи та методики щодо ландшафтного картографування цих територій та сприяти формуванню «нового розділу» в ландшафтознавстві.

Література

1. Кирилюк С., 2006. Порівняльна характеристика геоморфологічних умов кратерів Меркурія, Місяця та Марса [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип. 283: Географія]. Рута, Чернівці: С. 9 – 19.
2. Кирилюк С.М., 2008. Побудова цифрових фізико-географічних карт [в Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского: Серия «География». – Том 21 (60). – №2]. ІВВ ТНУ, Сімферополь: С.193 – 200.
3. Кирилюк С.М., 2011. Геоморфологія малих місячних кратерів [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.553-554: Географія]. – Чернівецький національний університет, Чернівці: С. 94 – 100.
4. Кирилюк С.М., 2011. Хронологія розвитку поверхонь Меркурія, Місяця та Марса [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.587-588: Географія]. Чернівецький національний університет, Чернівці: С. 130 – 132.
5. Кирилюк С.М., 2012. Загальні поняття про анагліфоносферу [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.612-613: Географія.]. Чернівецький національний університет, Чернівці: С. 69 – 72.
6. Кирилюк С.М., 2012. Побудова моделей кривизни рельєфу [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.614-615: Географія.]. Чернівецький національний університет, Чернівці: С. 143 – 146.
7. Кирилюк С.М., Спатарь К.І., 2012. Геолого-геоморфологічні структури видимої півкулі Місяця [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.616: Географія.]. Чернівецький національний університет, Чернівці: С. 101 – 112.
8. Кирилюк С.М., 2012. Ландшафтні комплекси малих лунних кратерів в разрезе геоморфів на прикладі Дзві Катени [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.633-614: Географія.]. Чернівецький національний університет, Чернівці: С. 73 – 76.
9. Кирилюк С.М., Кирилюк О.В., Костюк У., 2014. Ландшафтні комплекси орографічні особливості Південно-західної окраїни моря сміта та його околиць в межах видимої півкулі Місяця [в Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип.696: Географія.]. Чернівецький національний університет, Чернівці: С.6 – 21.
10. Кирилюк С.М., Кирилюк О.В., 2014. Геоморфи кратера Ла Перуз в межах видимої півкулі Місяця [в Матеріали Міжнародного наукового симпозиуму (23-25 жовтня 2014 р.) «Рельєф і клімат»]: С. 38-40
11. Кнут Д.Э., 2005. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы. М., 720 с.
12. Lunar Topographic Map using Kaguya (Selene), 2008: National Astronomical Observatory of Japan; National Institutes of Natural Sciences.
13. Lunar topophotomap, Kovalevskij, 1971: National Aeronautics and Space Administration Lunar topophotomap. Edition 2, sheet LTO40B3 (250).
14. Lunar topophotomap, Lambert, 1971: National Aeronautics and Space Administration Lunar topophotomap. Edition 1, sheet LTO40A3 (250).
15. Carr M.H., 1965: Geologic map and section of the Timocharis region of the Moon, Department of the interior United States Geological Survey; National Aeronautics and Space Administration and the USAF Aeronautical Chart and Information Center.

References

1. Kyryliuk S., 2006. Comparative characteristics of geomorphological conditions craters of Mercury, the Moon and Mars [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Iss. 283: Geography]. Rута, Chernivtsi: p.9 - 19.
2. Kyryliuk S. 2008. Construction of the physical and digital maps [in the note Scientists Taurian National University named VI Vernadsky: Series “Geography”. - Volume 21 (60). - № 2]. IVV TNU, Simferopol: p.193 - 200.
3. Kyryliuk S. 2011. Geomorphology of small lunar craters [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.553-554: Geography]. - Chernivtsi National University, Chernivtsi: p. 94 - 100.
4. Kyryliuk S. 2011. Chronology of the surface of Mercury, the Moon and Mars [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.587-588: Geography]. Chernivtsi National University, Chernivtsi: p. 130 - 132.
5. Kyryliuk S. 2012. General concepts of anaglifonosphere [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.612-613: Geography.]. Chernivtsi National University, Chernivtsi: p. 69 - 72.
6. Kyryliuk S. 2012. Building models of terrain curvature [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.614-615: Geography.]. Chernivtsi National University, Chernivtsi: p. 143 - 146.
7. Kyryliuk S. Spatar K. 2012. Geological and geomorphological structure of the visible hemisphere of the

- moon [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.616: Geography.]. Chernivtsi National University, Chernivtsi: p. 101 - 112.
8. Kyryliuk S. 2012. Landscapes complexes of small lunar craters in the cut of geomorphs on the example of Davy Catena [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.633-634: Geography.]. Chernivtsi National University, Chernivtsi: p. 73 – 76.
 9. Kyryliuk S., Kyryliuk O., Kostuk U. 2014. Landscape complexes and orographic features of the south-western outskirts of the Smith sea and its surroundings within the visible hemisphere of the Moon [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Collected Essays. Vyp.696: Geography.]. Chernivtsi National University, Chernivtsi: p.6 – 21.
 10. Kyryliuk S., Kyryliuk O. 2014. Geomorphology craters La Peruz v mejah vydymoiy pivkuli Misyacya [International Scientific Symposium «Relief and Climate»(23-25 october 2014 p.): p. 38-40.
 11. Knuth D., 2005. The Art of Computer Programming. T. 1: Moscow, 720 p.
 12. Lunar Topographic Map using Kaguya (Selene), 2008: National Astronomical Observatory of Japan; National Institutes of Natural Sciences.
 13. Lunar topophotomap, Artemis, 1971: National Aeronautics and Space Administration Lunar topophotomap. Edition 2, sheet 40A4S1 (10).
 14. Lunar topophotomap, Davy Catena, 1971: National Aeronautics and Space Administration Lunar topophotomap. Edition 1, sheet 77D1S1 (10).
 15. Carr M.H., 1965: Geologic map and section of the Timocharis region of the Moon, Department of the interior United States Geological Survey; National Aeronautics and Space Administration and the USAF Aeronautical Chart and Information Center.

Кирилюк С., Галюк М., Климьюк А. Трехмерное моделирование больших кратеров моря Дождей. Рассмотрены особенности геологического строения, возраста и геоморфологии поверхности отдельных участков видимого полушария Луны. Составлены 3D карты участка больших кратеров Тимохарис и Ламберт.

Ключевые слова: кратер, Луна, 3D карты.

Kyryliuk S., Galuk M., Klym'uk A. 3-D modeling of big craters of Mare Imbrium. The features of geological structure, age and geomorphology of surface of separate areas of visible hemisphere of Moon are considered. The 3D-cards of big craters area are made for Timocharis and Lambert.

Key words: crater, Moon, 3-D-cards.