

LUĐVÍK LOYDA

GEOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ MĚSÍCE

Teprve zavedení fotografování do astronomie umožnilo sestavení přesných fotografií měsíčního povrchu, na jejichž podkladě se pak dalo přikročit k podrobnějšímu studiu jednotlivých tvarů reliéfu, založeném převážně na jejich genetickém srovnávání s obdobnými formami pozemskými.

Do tohoto období klasické astronomie spadají i počátky geologického mapování Měsíce. Ze základních strukturních tvarů jsou na měsíčním povrchu rozlišeny především často kruhovitá plochá a tmavá moře (mare) a světlejší hornaté či pahorkaté pevniny (terra). K dalším výraznějším povrchovým formám patří jednak dlouhé lineární rýhy a jednak i různě velké krátery.

Systematické geologické mapování Měsíce se však rozvinulo až v období vypouštění prvních měsíčních sond a družic. Hlavní podíl na získání nových podrobnějších informací měly v letech 1966—1969 sovětské družice Luna 10, 11, 12, 14 a americké satelity typu Lunar Orbiter (1—7), Explorer 15 a konečně i Apollo 8.

Plánovité geologické studium Měsíce mohlo ovšem začít až po určení hlavních komplexů hornin, které by bylo možno zařadit do vzájemných časových relací. Teprve toto zařazení se stalo klíčem k dalšímu poznávání měsíční struktury, historie a pochodů v kůře.

Základní otázkou měsíční geologie je určení vzájemného stáří moří a pevnin. Podle většiny hypotéz jsou „maria“ mladší než „terrae“ a za důkaz je považován jejich plochý povrch bez jakýchkoliv stop po mladé vulkanické činnosti. Chybí tu především krátery, které jsou tak četné na pevnině.

Podle zásady, že tektonicky nebo vulkanicky porušené tvary reliéfu jsou starší než tvary nijak nedeformované, byla vytvořena stupnice stáří pro blíže neurčených 5 skupin hornin od nejstarších k nejmladším (Merifield *etc.* 1969):

1. horniny rozeklaných vysočin
2. horniny světlých plošin
3. horniny velkých sopečných kráterů
4. horniny moří
5. horniny menších kráterů

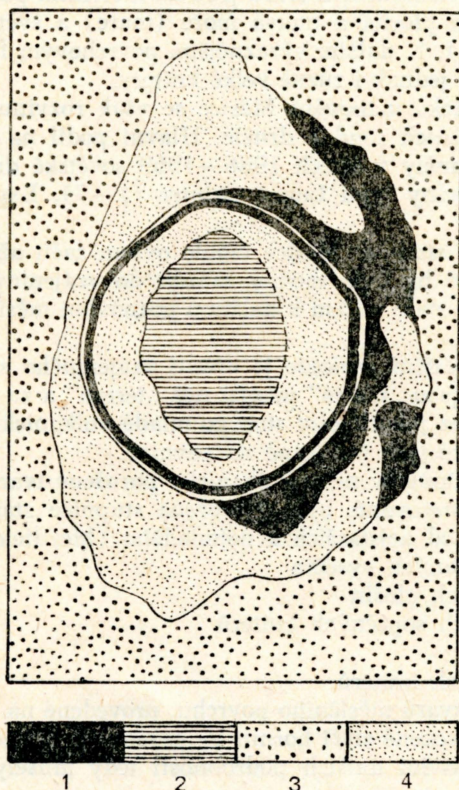
Toto hrubé odlišení tvarů měsíčního povrchu, provedené na základě pozemských fotografií, a z něho odvozené stáří hornin by ovšem sotva stačilo k sestavení geologických map. Ke zjištění dalších podrobností tedy musely být využity údaje získané družicemi.

Za příklad zde může sloužit kráter Dawes, ležící na rozhraní mezi Mare Serenitatis a Mare Tranquillitatis, který byl fotografován družicemi Lunar Orbiter IV. a V. (Donaldson 1969). Na dně kráteru, který má rozměry 17,8 × 15,9 km., byl zjištěn „pahoehoe“ typ lávy a kromě toho i volné balvany, pravděpodobně zřícené z jeho vnitřních stěn, kde jsou i zjevné stopy po sesuvech. Vrchol kráteru

je zřetelně nasypaný a pouze asi 250 m pod jeho vnitřním okrajem jsou obnaženy pevnější vrstvy. Celkově činí kráter Dawes dojem kaldery. Na fotografické mapě jsou pak rozlišeny 4 druhy hornin, z nichž sedimenty jsou staré zhruba asi jako horniny moří, zatímco vyvěřeliny jsou zřejmě mladší (obr. 1).

Sedimenty jsou ovšem zjištěny nejen v nejbližším okolí měsíčních vulkánů, ale podle údajů Surveyorů, Rangerů a Orbiterů jsou rozšířeny i na rozsáhlých mořích (Gilvarry 1968) a pohořích (Merifield etc. 1969). Jejich rozsah není přitom nijak nepatrný — např. pouze kráter Copernicus pokrýl svými vyvrženinami 10 % plochy celé přivrácené strany Měsíce (Hess etc. 1969).

Toto zatím jen velmi hrubé rozlišování měsíčních hornin mohlo být dále zpřesňováno až skutečným rozbořem vzorků půdy, které provedly sondy Surveyor a posádka Apolla 11. Chemická analýza vzorků odebraných sandami Surveyor 5, 6



1. Měsíční kráter Dawes (Donaldson 1969).

- Vysvětlivky: 1. fanity (hrubozrnná obnažená intruziva a žíly)
 2. afanity (jemnozrnná intruziva, hlavně výlevy láv)
 3. pefity (pyroklastika, zvětraliny, meteority)
 4. psamity (pyroklastika etc.).

a 7 a Apollem 11 ukázala toto složení půdy i hornin (Jackson etc. 1968, Anderson etc. 1969):

	Surveyor			Apollo 11		
	5	6	7	typ: A	B	D
SiO ₂	46,0	52,5	49,0	43,0	40,0	43,0
Al ₂ O ₃	13,5	13,0	18,5	7,7	10,0	13,0
Ti O ₂	—	—	—	11,0	11,0	7,0
MgO	5,0	5,0	7,5	6,5	8,5	8,0
FeO	17,5	14,5	6,5	21,0	19,0	16,0
CaO	15,5	12,5	14,0	9,0	10,0	12,0
K ₂ O	0,5	0,5	1,0	0,2	0,2	0,1
Na ₂ O	2,0	2,0	3,5	0,4	0,6	0,5
celkem	100,0	100,0	100,0	98,8	99,3	99,6

Toto chemické složení měsíčních hornin odpovídá přibližně složení pozemských čedičů, hlavně tholeitických. Teprve přistání Apolla 11 (20. 7. 1969) na jz. okraji Mare Tranquillitatis je ovšem mezním bodem, jímž začínají opravdu spolehlivé výzkumy měsíčního povrchu. V případě Apolla 11 jde hlavně o bližší poznání regolitu, jehož hustota je v podstatě vyšší než na Zemi — 3,1 proti 2,7 g/cm³.

Vzorky horniny přivezené Apollem 11 (celkem 22 kg) byly podle petrografického složení rozříděny do 4 skupin (Anderson etc. 1969):

- A — jemnozrnné vyvřeliny pórovité (vesicular),
 - B — středně zrnité vyvřeliny pórovité (vuggy),
 - C — brekcie,
 - D — sypký materiál (zrno menší než 1 cm),
- typ A — má hustotu 3,4 g/cm³ a svým složením se blíží olivinickému čediči. Velikost zrn je 0,05–0,2 mm,
- typ B — má hustotu 3,2 g/cm³ a velikost zrn 0,2–3,0 mm. Barva je šedá, hnědě skvrnitá a v okolí větších pórů jsou nahromaděny neznámé žluté minerály,
- typ C — je tvořen úlomky různých hornin velikosti většinou pod 1 cm, jemná složka brekcií je silně sklovitá,
- typ D — má hustotu 1,6 g/cm³ a složení: sklo, plagioklas, klinopyroxen. ilmenit, olivin a kuličky Fe-Ni.

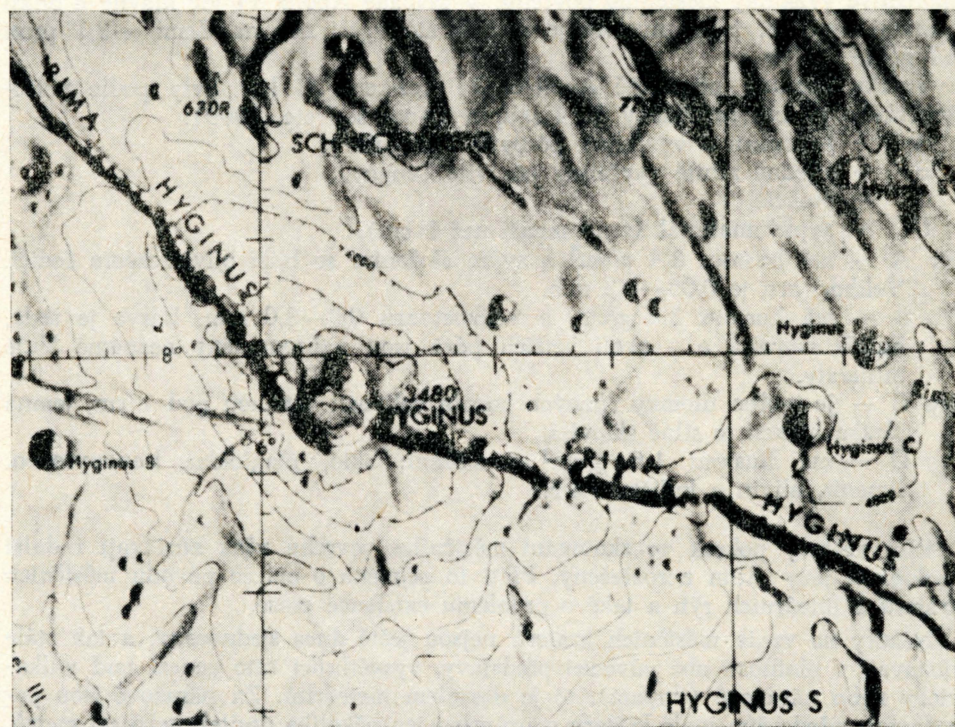
Přes veškerý pokrok ve zkoumání měsíčního povrchu však zůstávají i další geologické jevy zatím nerozřešeny. Platí to zejména o otázce původu měsíčních kráterů a lineárních rýh a také o problému existence eroze.

Názory na vznik měsíčních kráterů nejsou ještě dnes sjednoceny, a tak stále zůstávají v platnosti obě původní představy, vysvětlující tuto genezi buď vulkanicky nebo nárazově (impact), to je dopadem meteoritů. Za nárazové jsou považovány především malé krátery o průměru jen několika desítek nebo set metrů. Merifield etc. (1969) však připisuje tento původ i kráterům velkým typu Copernicus a dokonce ještě mnohem větším kruhovitým mořím o průměru i přes

300 km (např. Mare Imbrium a Mare Orientale). Zcela opačný názor však vyslovuje např. Štejnberg (1969), a to na základě experimentů a výpočtů, týkajících se nárazů meteoritů. Nepochybně endogenního původu jsou ovšem krátery různé velikosti, které sledují lineární strukturní linie — např. kráter Hyginus na linii téhož jména (obr. 2).

Kromě těchto zřetelně protichůdných názorů však existuje i výklad třetí, spojující obě uvedené představy dohromady. Guest a Murray (1969) tak předpokládají, že velký kráter Ciolkovského o obvodu 180 km, ležící na odvrácené straně Měsíce, vznikl sice při dopadu velkého meteoritu, ale tímto nárazem byly vyvolány i následně vulkanické jevy — vznik centrálního hrdla a výlevy lávy.

Další názory na vznik dlouhých lineárních rýh a klikatých údolí už úzce souvisí s otázkou existence vodní erose. Zvláště kroutící se údolí, tak dobře viditelná na snímcích Orbiterů, mohou být považována za erozní rýhy nebo dokonce za celé říční systémy (Gilvarry 1968). I když dnes ovšem na Měsíci neexistují žádné vodní plochy a tedy samozřejmě ani řeky či potoky, přece jen některé povrchové formy tuto ne příliš reálnou představu podporují — například Urey (1969) srovnává měsíční krajinu s územím Arizony a domnívá se, že obě tyto na pohled podobné oblasti mohly vzniknout stejným způsobem — vodní erodí.



2. Lineární strukturní linie RIMA HYGINUS směru sz. s řadou vulkanických kráterů (Merifield etc. 1969).

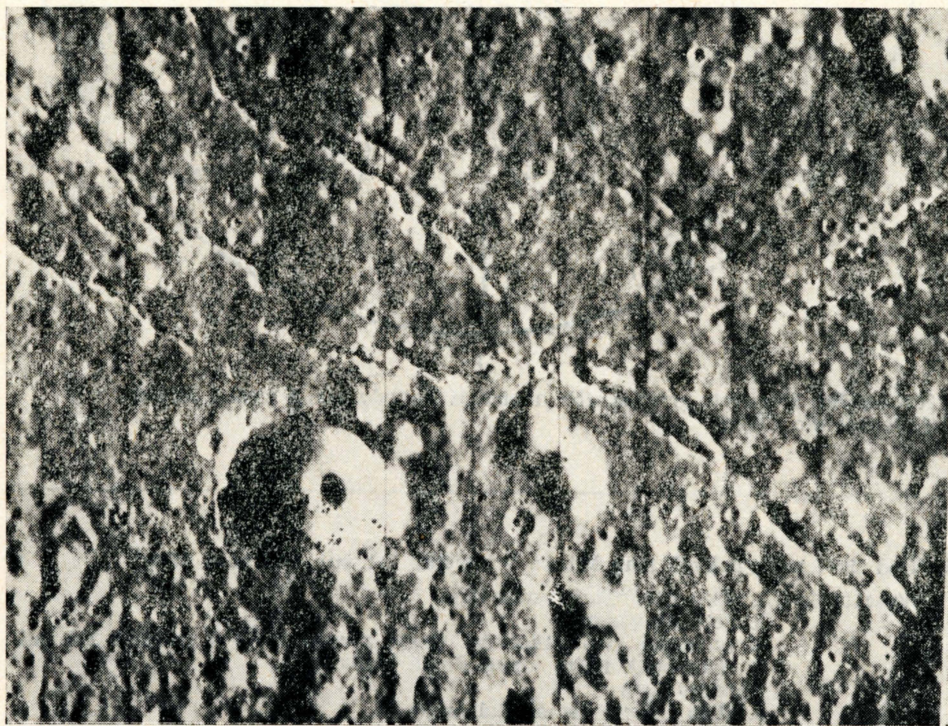
I když dnes voda na měsíci není, přece jen pro minulost zde připouští její třeba jen občasnou existenci.

Posádka Apollo 11 našla stopy „erose“ na jednotlivých kamenech roztroušených na povrchu Měsíce nebo i setmelených do brekcí (Anderson etc. 1969). V předběžné zprávě se přitom ovšem výslovně uvádí, že tu vůbec nejde o erosi říční, ale pravděpodobně o formu zvětrávání, protože zaoblení kamenů lze pozorovat jen na jejich horní straně, kdežto spodní strana je vždy ostrohranná.

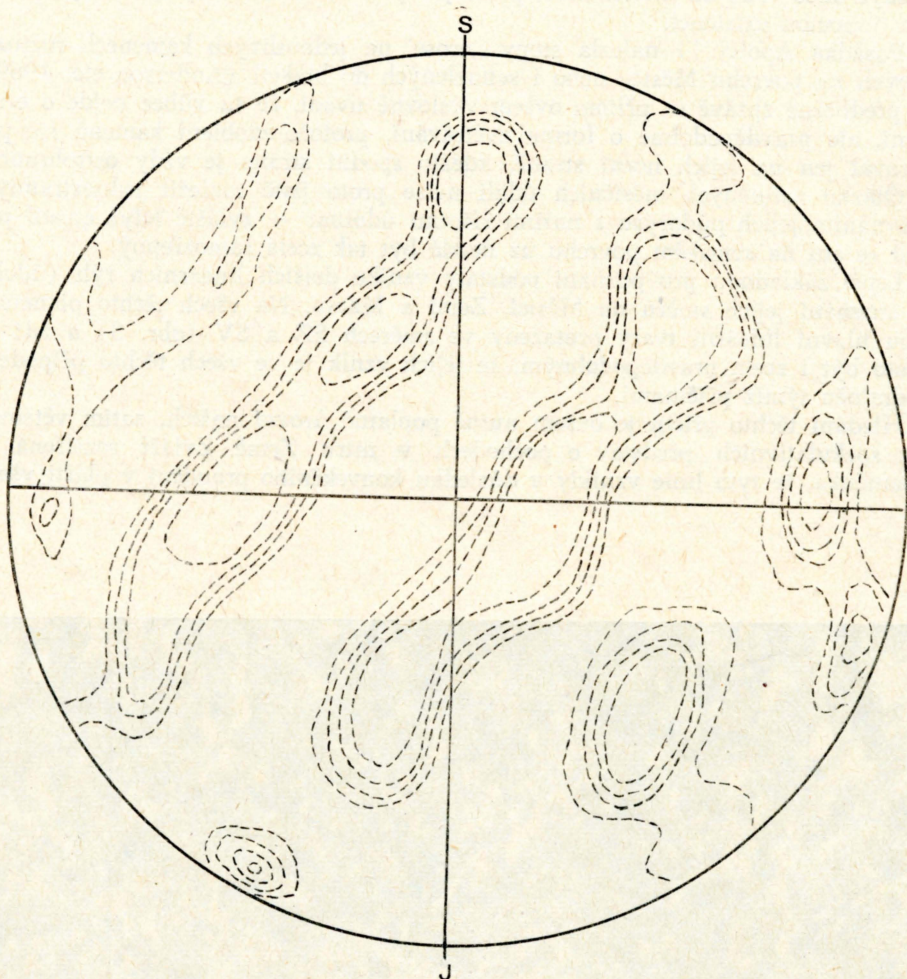
Otázku zmíněných měsíčních údolí nelze proto jistě rozřešit jednostranným srovnáním jejich půdorysu s našimi říčními údolními — zvláště když erosní původ se ani na zemském povrchu už nezdá být tak zcela samozřejmý.

Lepší základnou pro poznání podstaty vzniku delších lineárních rýh (údolí) je srovnání jejich směru na Měsíci, Zemi a Marsu. Na všech těchto planetách jsou hlavní lineární tvary protaženy ve směrech SZ a SV (obr. 3) a zdá se proto být i zcela pravděpodobným, že jejich vznik je ve všech těchto případech podmíněn týmiž příčinami.

Hledání těchto příčin je ovšem nutně poplatné úrovni našich, zatím většinou jen spekulativních představ o pochodech v nitru Země. Zvláště rozšířená je domněnka, že tyto linie vznikly v důsledku konvekčního proudění v plášti všech



3. Křížící se praskliny směru SZ a SV na dně kráteru Copernicus. Foto Lunar Orbiter V. (Hess etc. 1969).

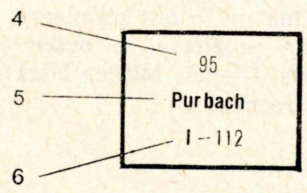
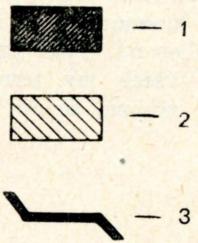
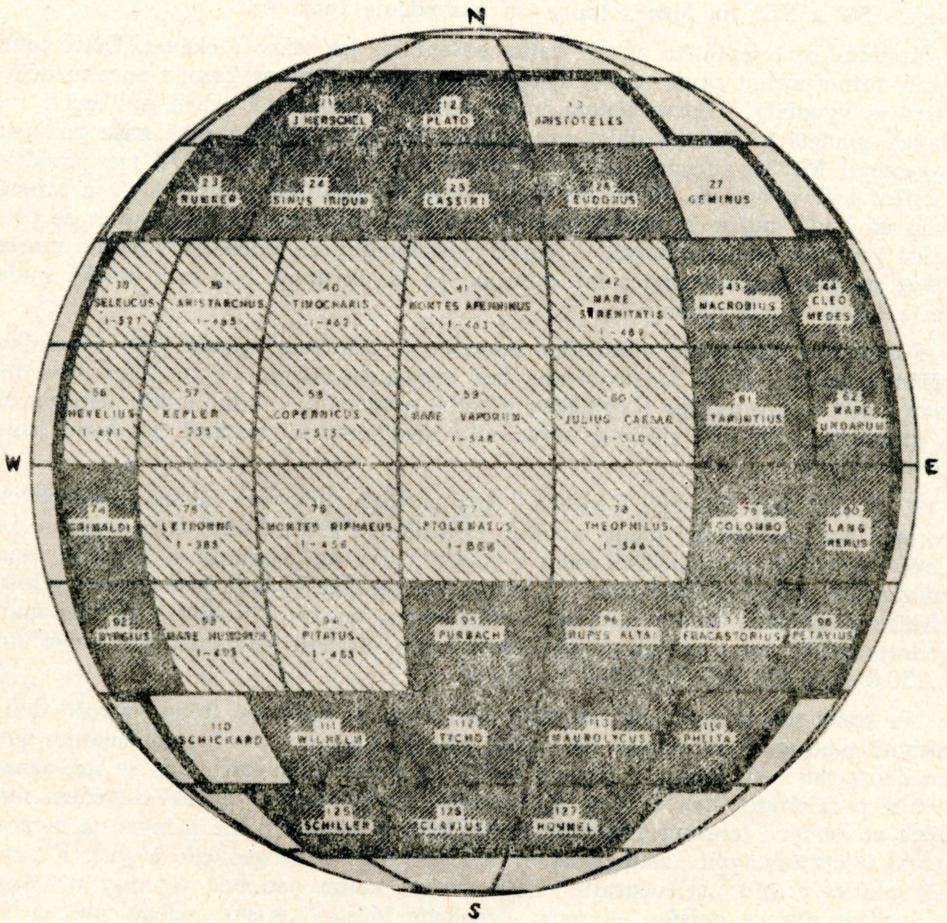


4. Rozmístění kladných gravitačních anomalií na odvrácené straně Měsíce. (Michael etc. 1969).

5. Klad listů geologických map Měsíce v měřítku 1:1 mil. (Harbour 1969). ➔

Vysvětlivky: 1. listy předběžně zmapované
 2. listy už vydané
 3. vymezení geol. mapování (bude zpracováno i v měřítku 1:5 mil.)
 4. číslo podkladové topografické mapy
 5. název listu
 6. číslo i série geologické mapy.

Jednotlivé listy barevné geologické mapy Měsíce v měřítku 1:1 mil. lze obdržet na adresu: Distribution Section, U. S. Geological Survey, 1200 South Eads Street, Arlington, Virginia 22202. Cena 1 listu jeden dolar.



těchto planet (Wells 1969, Merifield etc. 1969). V poslední době se však už rýsuje mnohem pravděpodobnější názor a sice, že lineární tvary vznikly stejným způsobem jako riftové systémy na Zemi. Obdobný průběh magnetických anomálií (SV a SZ) na Měsíci tomu jen nasvědčuje (obr. 4).

Konečné rozřešení této otázky zatím ovšem lze jen těžko očekávat. Dříve totiž bude nutno poznat skutečnou příčinu vzniku těchto jevů na Zemi i povahu dějů, které je vyvolaly. Teprve potom bude možno přistoupit k jejich aplikaci i na jiných planetách. I když další průzkumné lety série Apollo jistě naše znalosti o geologii Měsíce značně rozšíří a zpřesní — vřdyt v roce 1972 má posádka měsíční lodi zůstat na Měsíci 78 hodin proti 22 hodinám u Apolla 11 a kromě toho už bude možno přistávat kdekoliv na jeho přivrácené straně (dnes se přistává jen v rovníkové oblasti) — přece jen základní tektonické jevy budou muset čekat na své správné objasnění skutečně až do té doby, kdy tato otázka bude zcela jasná u naší planety.

Pokračující průzkum měsíčního povrchu i plánování úkolů pro účastníky příštích letů na Měsíc se neobejdou bez geologických map. Tyto mapy jsou už také nejen sestaveny, ale i vytištěny a volně prodávány, i když jejich podrobnost a přesnost zatím jistě nesnese srovnání s geologickými mapami, na které jsme dosud zvyklí.

U. S. Geologic Survey's Center of Astrogeology zhotovuje zakres geologických poměrů na podkladové mapy reliéfní (Harbour 1969). Zatím bylo vydáno 16 listů barevných geologických map v měřítku 1:1 mil., ostatní z 41 listů jsou zmapovány jen předběžně (obr. 5). Přípravuje se také vydání geologického atlasu Měsíce s mapami tohoto měřítka a přehlednou mapou 1:5 mil. i dalších map podrobnějších pro speciální účely (hlavně pro přistání kosmonautů) v měřítku 1:250 000, 1:100 000, 1:25 000 a 1:5 000.

Na konci tohoto přehledu lze ještě upozornit, že bude asi třeba vytvořit definitivně platnou terminologii pro vědní obory, studující tutéž problematiku jak na Zemi, tak i na Měsíci a později jistě i na jiných planetách. Zde se sice sama nabízí paralelizace názvů typu „geografie — selenografie“ a tedy zavedení nových obdobných termínů (selenologie, selenofyzika apod.), ale zároveň je možno uznat i termíny typu „astrogeologie“ a tedy např. selenogeologie a jiné. Kromě základního pojmu „selenografie“ nejsou však zatím podobné termíny užívány a dochází spíše k opisům — např. „geologie Měsíce“ místo „selenologie“ nebo „selenologie“ apod.

Dalším problémem bude zavedení podobných pojmů přímo do češtiny. Příkladem zde může být slovo „zemětřesení“, které pro oblast Měsíce nebude možno asi tak snadno nahradit českým termínem, jak je tomu u názvů cizích. Pro tento jev existují např. v angličtině dva názvy — earthquake a moonquake — a také němčina může mít obdobnou dvojici (Erdbeben — Mondbeben). Tyto terminologické problémy se ovšem netýkají pouze Měsíce, ale všech tzv. terrestrial planets (Země, Měsíc, Merkur, Mars, Venuše), takže je zřejmé, že se budou stále rozrůstat.

Literatura

- ANDERSON etc. (1969): Preliminary examination of lunar samples from Apollo 11. — Science 165:3899:1211—1227.
- BULLARD E. (1969): The origin of the Oceans. — Scientific American, Sept., 66—75.
- DONALDSON J. R. (1969): The lunar crater Dawes. — Photogrammetric Engineering XXXV: 3:239—245.
- GILVARRY J. J. (1968): Observational evidence for sedimentary rocks on the Moon. — Nature (Engl.) 218:5139:336—341.
- GUEST J. E., MURRAY J. B. (1969): Nature and origin of Tsiolkovsky crater, lunar farside. — Planet. and Space Sci. 17:1:121—141.
- HARBOUR J. (1969): Geologic mapping on the Moon. — Allgemeine Vermessungsnachrichten 76:5:211—219.
- HESS W., KOVACH R., GAST P. W., SIMMONS G. (1969): The exploration of the Moon. — Scientific American, Oct., 55—72.
- CHEDERVARI P. (1965): Svravenije dugoobraznogo strojenja gornych sooruzenij Zemli i Luny. — Sb.: „V Sovečs. po probl. planetologii, 1965“, 149—155. Leningrad.
- CHODAK Ju. A. (1969): Struktura i stratificirovannyje sootnošenija obrazovanij Marsa. — Izv. AN SSSR, ser. geol., 1:31—44.
- JACKSON E. D., WILSHIRE H. G. (1968): Chemical composition of the lunar surface at the Surveyor landing sites. — Journal Geophys. Res. 73:24:7621—7629.
- LOWMAN P. D. (1969): Geologic orbital photography: experience from the Gemini program. — Photogrammetria 24:3/4: 77—106.
- MERIFIELD P. M., SAARI J. M., SHORTHILL R. W., WILDEY R. L., WILHELMS D. E., WILLIAMS R. S., Jr. (1969): Interpretation of extraterrestrial imagery. — Photogrammetric Engineering XXXV:5:477—492.
- MICHAEL W. H., Jr., BLACKSHEAR T. W., GAPCYNski J. P. (1969): Results on the mass and the gravitational field of the Moon as determined from dynamics of lunar satellites. — Symposium on Dynamics of Satellites, XII th Plenary Meeting, Committee on Space Research, May 11—24, 1969, Prague, Czechoslovakia. COSPAR Identification Number, C. 2. 1., 21 str.
- ŠTEJNBERG G. S. (1969): O proischoždenii krupnych lunnych kraterov i kruglych morej. — Doklady AN SSSR 184:3:566—569.
- UREY H. C. (1969): Mascons on the Moon. — COSPAR — Meeting, Prague, 17 stran
- WELLS R. A. (1969): An introduction to the Martian grid system. — Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 17:2:209—224.