

## **J. Lukoševičiaus uolienuų apytakos ratas ir metamorfizmo zonos (facijos)**

---

**Gailė Žalūdienė,  
Gediminas Motūza**

Žalūdienė G., Motūza G. The metamorphic facies and the rock cycle by J. Lukoševičius. *Geologija*. Vilnius. 2001. No. 36. P. 3–14. ISSN 1392–110X.

The paper presents the analysis of the theory of metamorphic facies and the rock cycle in the Earth lithosphere formulated by J. Lukoševičius. J. Lukoševičius distinguished four metamorphic zones and seven stages. The rocks in the metamorphic facies change their structure, and the mineral composition of rocks of different metamorphic facies changes depending on burial depth, temperature, and pressure. J. Lukoševičius formulated these conclusions independently of the ideas of Ch. Van His, P. Grubenman, P. Nigly.

**Keywords:** Juozas Lukoševičius, metamorphic facies, rock cycle, history of geology

Received 21 September 2001, accepted 21 October 2001

Gailė Žalūdienė. Institute of Geology, T. Ševčenkos 13, LT-2600 Vilnius, Lithuania  
Gediminas Motūza. Department of Geology and Mineralogy, Vilnius University,  
M. K. Čiurlionio 21, LT-2600, Vilnius, Lithuania

---

### **ĮVADAS**

Terminus „metamorfosis“ ir „metamorfose“, apibūdinančius mergelio virsmą titnagu, pirmą kartą panaudojo J. Carosi dar XVIII a. (Высоцкий, 1977). Metamorfines uolienas, kaip genetinę grupę, 1830–1833 m. išskyrė Ch. Lyellis (Романова, 1986). Atskira petrografijos disciplinos šaka – mokslas apie uolienuų metamorfizmą susiformavo XX a. pradžioje Ch. Van Hiso (1896, 1904), U. Grubenmano (1904, 1933) ir J. Lukoševičiaus (1908, 1909 m.) darbų dėka. Šie mokslininkai išskyrė gilumines žemės plutos zonas, kurios skiriasi litostatiniu ir šoniniu slėgiu (stresu) bei temperatūra. Minėtose zonose vyksta uolienuų pokyčiai, joms patekus iš vienos metamorfizmo zonos į kitą. Ch. Van Hisas (1904) išskyrė viršutinę **katamorfizmo** zoną, kurioje vyksta uolienuų oksidacijos, hidratacijos ir karbonatizacijos procesai veikiant atmosferai ir požeminio vandens cirkuliacijai. Metamorfiniams procesams jis priskyrė dūlėjimo, diagenezės ir cementacijos procesus. Žemiau katamorfizmo zonos išsidėsčiusi **anamorfizmo** zona, kurioje vyksta redukcija, angliarūgštės ir vandens išsiskyrimas, taip pat reakcijos, kurių metu susiformuoja ma-

žesnio tūrio mineralai, susidaro kristaliniai skalūnai ir gneisai (Van Hise, 1904; Елисеев, 1959). Svarbus George Barrowo indėlis. Jis 1893–1912 m. kartografavo Škotijos Dalradijos rajone ir pastebėjo dėsningą metamorfinių uolienuų mineralinės sudėties kitimą, kuri susiejo su temperatūra. W. Goldschmidtas (1911) Oslo apylinkėse nustatė koncentriškai zonišką mineralų išsidėstymą aplink intruziją ir tai siejo su kontaktinio metamorfizmo intensyvumo kitimu artėjant prie intruzijos ir supančių uolienuų kontakto.

### **METAMORFIZMO KRYPTIES PETROLOGIJOS MOKSLE FORMAVIMASIS**

Nuo 1860-ųjų paplito dinamometamorfizmo idėjos. Metamorfizmą pradėta sieti su geotektoniniais procesais. Metamorfizmo pagrindine priežastimi buvo laikomas slėgis. K. Rosenbuscho (1873), K. Losseno (1884) supratimu, dinamometamorfizmą lėmė mechaninės jėgos, todėl reiškinys buvo vadinamas „mechaniniu metamorfizmu“ (Романова, 1986). Metamorfinių uolienuų – gneisų ir skalūnų – kilmė kėlė daugiausia diskusijų ir buvo labiausiai nagrinėjama XIX a. pabaigos petrografijos mokslo. Gneisų ir kris-

talinių skalūnų kilmės problema buvo sprendžiama IV Geologų kongrese 1888 m. Londone. F. Levison-Lesingas (1898) išsakė nuomonę, kad tie metamorfiniai procesai, kurie, anot dinamometamorfizmo šalininkų, vyksta dėl mechaninių priežasčių, yra priklausomi nuo cheminių procesų. Granato virtimas biotitu, plagioklazų skapolitizacija, piroksenų amfibolitizacija ir kiti procesai vyksta kintant mineralo cheminei sudėčiai. Slėgis, kaip mechaninis veiksnys, tik paruošia uolieną metamorfiniams procesams. Vėliau, Tarptautiniame geologų kongrese Vienoje (1903), buvo išsakyta nuomonė, kad dinaminės jėgos tik deformuoja, bet ne metamorfizuoja (Pomanova, 1986). Visos metamorfines uolienos yra giluminio regioninio metamorfizmo rezultatas, kuriam būdingas terminis procesas ir įvairių elementų – dujų, garų – prinešimas. J. Lukoševičius „Uolienų gyvenimo“ viename iš skyrių pabrėžia, kad mineralų formavimuisi slėgis turi mažesnę reikšmę. Gamtoje slėgis veikia ir formuoja įvairios sudėties uolienas kartu su temperatūra ir mineralizatoriais.

**Regioninio metamorfizmo** intensyvumo priklausomybę nuo gylio pirmą kartą patebėjo H. Williamsas (1889). Tolimesniuose darbuose šias idėjas vystė J. Sederholmas (1907), Ch. Van Hise (1904), J. Lukoševičius (1908), U. Grubenmanas (1904). Skirtingi autoriai išskyrė įvairias zonas. U. Grubenmanas, P. Niggli nustatė 3 regioninio metamorfizmo zonas pagal temperatūros, slėgio ir šoninio slėgio (streso) veiksnius: viršutinąją (epizoną), vidurinę (mezozoną), apatinąją (katozoną). Katozonoje susidaro aukšta-temperatūriniai bevandeniniai mineralai: piroksenai, kordieritas, granatas, silimanitas, o epizonoje – hidroksilinę grupę turintys žematemperatūriniai mineralai: talkas, chloritai, sericitas, serpentinai. U. Grubenmanas pasiūlė ir metamorfinių uolienų cheminę klasifikaciją. Jis suskirstė uolienas į 12 grupių, kiekvieną priklausomai nuo gylio papildomai suskirstydamas dar į tris grupes.

P. Eskola 1908–1914 m. tirdamas metamorfines uolienas Orijarvio rajone, Suomijoje, nustatė, kad, keičiantis metamorfizmo sąlygoms, ne tik atsiranda ir išnyksta atskiri mineralai, bet dėsningai keičiasi visa mineralų paragenezė. Jis vienas pirmųjų suformulavo metamorfizmo facijos sąvoką, kuri išreiškia metamorfizmo laipsnį per jo metu susidariusių mineralų paragenезes. 1939 m. jis pasiūlė 5 mineralinių facijų sistemą: sanidinitinę (žemas slėgis, aukšta temperatūra), pirokseninių ragainių (aukšta temperatūra, salyginai neaukštas slėgis), žaliųjų skalūnų (žema temperatūra, aukštas šoninis slėgis), amfibolitinę (vidutinė temperatūra ir aukštas slėgis) ir eklogitinę (ypač aukšta temperatūra ir aukštas petrostatinis slėgis) (Елисеев, 1959). Šiuo metu facijos skiriamos į subfacijas. J. Lukoševičius uolienų evoliucijos procese išskiria 4 geozonas ir 7 aukštus priklausomai nuo

jų padėties žemės plutoje, temperatūros ir slėgio, o uolienų susidarymą aiškina remdamasis planetos medžiagos apytaka. Planetos geologinių ciklų teoriją jau XX a. pradžioje išpopuliarino V. Vernadskis (Вернадский, 1965). Jo teiginys „granitinis planetos apvalkalas yra buvusių biosferų sritis“ nepamirštas ir dabartinio mokslo. Žemės granitinio sluoksnio sudėtis atitinka metamorfizuotas ir perlydytas geologines praeities biosferas.

## J. LUKOŠEVIČIAUS TEORIJA APIE UOLIENŲ BŪKLĘ PRIKLAUSOMAI NUO JŲ PADĖTIES ŽEMĖS PLUTOJE

Metamorfizmą J. Lukoševičius apibūdino kaip procesą, sukeltą uolienų struktūrinius, mineralinius, o neretai ir cheminius pokyčius. Todėl jis, kaip ir Ch. Van Hise, dūlėjimo ir diagenezės procesus irgi priskyrė metamorfizmui. Jo išskirtose paviršinėje ir priepaviršinėje geozonose svarbi yra egzogeninių procesų įtaka. Siekdamas paaiškinti šiuos procesus J. Lukoševičius sudarė lentelę (1 lentelė).

**Paviršinėje geozonoje**, kur temperatūra svyruoja nuo  $-20^{\circ}\text{C}$  iki  $+31^{\circ}\text{C}$ , o slėgis prilygsta vienai atmosferai (vandenynų dugnuose iki 900 atm), vyrauja paslanki amorfinė uolienų būseną. Žemės paviršiuje išlieka stabili tik ši paprastų uolienų forma: tai vandens tirpalai, durpės, balų ir ežerų rūda, limonitas, klintinis dumblas bei kriauklių, polipų, koralų sancaupos, molis, kvarcinis smėlis, skalda, žvirgždas. Iš išsiveržusių uolienų žemės paviršiuje lieka stabilūs vulkaniniai pelenai, lapiliai, bombos, šlakai. Kitos uolienų formos – masyvios ir sluoksnuotos uolienos (granitas, sienitas, diabazas ir kt.) – negali būti stabilios dėl atmosferos procesų – smulkinimo, tirpinimo, karbonizacijos, oksidacijos. Kartu su atmosferos veiksniais čia dalyvauja ir gyvi organizmai (bakterijos), todėl kieta uoliena virsta bria ar netgi tirpalu. J. Lukoševičius paviršines uolienas skirsto į: a) bria – plastiškas uolienas (molis, mergelis, smėlis, dirvožemis, liosas, klintinis dumblas, pelkių rūda); b) skystas ir dujines medžiagas – vanduo, druskų tirpalai. Visos šios medžiagos turi bendrą savybę – jų dalelės gali laisvai judėti, todėl priskiriamos judrios amorfinės būklės uolienoms.

Žemės gelmėse uolienos, esant aukštai temperatūrai, taip pat įgauna judrią, bet stabilią būseną – tampa minkštomis, paslankiomis ar skystomis. Taigi, pažymi J. Lukoševičius, nepaisant temperatūros ir slėgio skirtumų šiose zonose, uolienų judri amorfinė būklė nekinta. Tarp šių dviejų paviršių (žemės plutos išorinio ir vidinio) išsidėstę tam tikri skirtingos temperatūros ir slėgio lygiai. Čia vyksta intensyvus energetinis uolienų perdirbimas bei transportavimas iš vieno lygio į kitą. J. Lukoševičius analizuoja kiekvieno lygio pastovias uolienas, pažymėdamas, kad sa-

1 lentelė. Būdingų mineralų susidarymo priklausomybė nuo temperatūros ir slėgio (pagal J. Lukoševičių) Table 1. Dependence of formation of characteristic minerals on temperature and pressure (according to J. Lukoševičius)						
Geozona	Aukštas	Gylis km	Slėgis atm	Temperatūra	Pirminė svarbiausių mineralų susidarymo temperatūra	
Paviršinė		Žemės paviršius			+15 – gipsas ir anhidritas, akmens druska, kaolinas +25° – anhidritas (glaukonitas)	
Priepaviršinė		1	260	45	+30° – aragonitas ir kalcitas (glaukonitas) +40° – analcimas (ceolitas) +60°–80° – rudosis anglies masė iš medienos +66 – anhidritas (iš tirpalų) +70° – aragonitas	
		2	520	73	+91° – dolomitas, ceolitai +100° – bevandenis geležies oksidas	
Skalūnų	I aukštas	3	780	110	+145° – rutilas, anhidritas iš gipso, chloritinė medžiaga, aragonitas	
				1300	165	+150°–200° – kvarco susidarymo pradžia, magnetitas
				1820	215	+215° – kankrinitas (analcimas iš kaolino +210°)
	II aukštas	7,8	2028	240	+230° – ortoklazinė medžiaga, albitas +240° – kvarcas +250° – apatitas, hematitas +280° – muskovitinė medžiaga, titanitas	
		III aukštas	10	2600	298	Paplitę amfibolai ir piroksenai +300° – medienos lydymasis, korundas +365° – kritinė vandens virimo temperatūra, kvarcas, žėrutis, diopsidas, granatas
			12,6	3277	365	+300°–400° – volastonitas
IV aukštas	15	3900	415	+400° – diopsidas, šungitas, ortoklazai		
		18,3	4758	500	+500° – albitas, ortoklazai, anortitas, sodalitas, kalcitas, raginukė; atsiranda feldšpatai, sumažėja žėručio	
Batinė	Pereinamasis	20	5200	543	Olivininių mineralų grupė +500°–600° – biotitas (ir muskovitas) +550° – leucitas	
		Kristalinių masyvių uolienuų	25	6500	648	+600° – cirkonas
	30		7810	765	+800° – viršutinė žėručio susidarymo riba	
	35		9100	865	+950° – viršutinė kvarco susidarymo riba	
	40		10400	965	+1000° – tridimito susidarymas	
	Viskozinis				+1100°–1200° – skaidomas žėrutis, lydosi feldšpatai, iš lydalu susidaro rutilas +1350° – silimanito susidarymas	
68–69		18000	1500	skysta ugninė magma		

vo išvadas pateikia pagal kitų autorių bandymų, stebėjimų bei savo skaičiavimų duomenis, nes kol kas, kaip nurodo mokslininkas, į žemės gelmes pavyko prasiskverbti tik iki 2 km gylio.

Nuolatiniai stebėjimai ir padarytos išvados byloja, kad pagal vyraujančias tam tikrame gylyje uolie-

nas galima nustatyti jų susidarymo sekos principą, t.y. ryšį tarp slūgsojimo gylio ir uolienuų amžiaus. Jaunesnė uoliena slūgso labiau paviršiniuose Žemės plutos sluoksniuose. J. Lukoševičius ypač akcentuoja uolienuų genetinį ryšį: viena uoliena išnyksta, jos vietoje atsiranda kita, be abejonės, genetiškai kilusi iš

pirmosios. Antai dabartinės epochos klintinis dumblas terciare virto klintimi, paleozojuje klintys tapo pusiaukristalinėmis, o archėjuje virto marmuru. J. Lukoševičius pažymi, kad **uoliena liktų stabili žemės paviršiuje tik tuomet, jei ji nekeistų savo padėties žemės plutoje, o tai labai retas atvejis, ypač turint omeny laiką.**

**XIX a. pabaigos mokslininkai, remdamiesi gamtos stebėjimų duomenimis, teigė, kad senesnės nuogulos slūgso giliausiai ir kad yra tam tikra priklausomybė tarp geologinio amžiaus ir jų pakitimo laipsnio. J. Lukoševičius, neigdamas tiesioginę priklausomybę tarp uolienų amžiaus ir jų metamorfizmo laipsnio, pabrėžė, kad metamorfizmo procesas vyksta skirtingu greičiu. Uolienos kietumas, o dažnai ir kristalinė būseną nepriklauso nuo laiko.**

Aiškindamas paviršinių uolienų cementacijos, o vėliau ir kristalizacijos sąlygas, J. Lukoševičius pateikia išsamią uolienų priklausomybės nuo temperatūros, slėgio ir gylio lentelę. Didėjant gyliui kyla temperatūra ir slėgis, kinta fizikinės ir cheminės sąlygos, nuo kurių labiausiai ir priklauso cheminiai procesai (1 lentelė). Skirtinguose žemės plutos gyliuose susidaro kiti mineralai. J. Lukoševičius teigia, jog kiekvienoje uolienoje yra tam tikra mineralų asociacija: „mineralai, susidarantys esant vienodai temperatūrai ir slėgiui, aptinkami greta ir atvirkščiai, neaptinkame autigeninių mineralų, susidariusių skirtingomis fizinėmis sąlygomis“ (Лукашевич, 1909). Daugelis mineralų (ar uolienų), kuriems susidaryti reikalinga tam tikra temperatūra, yra pakankamas rodiklis, kad šis kompleksas mineralų susidarė esant būtent šiai temperatūrai. Uolienos, priklausančios vienai ar kitai metamorfinei facijai, formuojasi arba persikristalizuoja esant toms pačioms temperatūros ir slėgio reikšmėms. **Kiekviena metamorfinė facija turi savo kritinius arba būdingus mineralus**, pažymi veikalo autorius.

J. Lukoševičius 1 lentelėje priklausomai nuo temperatūros, slėgio ir gylio pateikia svarbiausiųjų mineralų, būdingų tam tikrai metamorfizmo zonai, susidarymą. Jau buvo minėta, kad dūlėjimo bei diagenozės procesus, kaip tuometiniame petrologijos moksle ir buvo priimta, J. Lukoševičius priskyrė **paviršinei** (žemės paviršius) bei **priepaviršinei** uolienų kitimo geozonai. Patekusios į priepaviršinę zoną uolienos yra suslegiamos ir šiek tiek įkaista iš dalies paveikus terminiam vandeniui. Netekusios dalies vandens uolienos konsoliduojasi arba litifikuojasi. Pagrindinis stebimas reiškinys šioje geozonoje – cementacija. Čia gausu mineralų, turinčių vandens (zonoje vandens yra iki 4%). Taip dumblas tampa klintimi (J. Lukoševičius aprašo organinį dumblą), smėlis cementuojasi ir virsta smiltainiu, skalda ir gargždas gali virsti brekčija ar konglomeratu. Cementuojančia medžiaga čia tampa molis, karbonatai, geležies oksidai. Jeigu

cementuojančios medžiagos neužtenka, tai smėlis išsaugo savo birią būseną, ir tik nugrimzdęs giliau į kitą zoną, kur vanduo yra įkaitęs iki virimo (I skalūnų geozona), virsta kvarciniu smiltainiu (2 lentelė). Dėl didelio tirpumo druska ir gipsas jau priepaviršinėje zonoje kristalizuojasi, o mergelis ir molis sutankėja, bet praktiškai nepakinta. Pagal dabartinę klasifikaciją ši zona iki 3 km gylio laikoma diagenozės zona.

Dėl temperatūros įvairovės atsiranda skirtumų tarp nuosėdinių ir efuzinių uolienų vystymosi. Vulkaninėse uolienose vyrauja porfyrinė struktūra – vientisoje masėje įsiterpę pavieniai atskirų mineralų kristalai. Išsilydžiusi masė jau žemės paviršiuje įgauna kietą pavidalą, dažnai kristalinį, o priepaviršinėje – pusiaukristalinį. Tuo tarpu nuosėdinės uolienos pusiaukristalinėmis tampa tik skalūnų geozonos viršutiniame aukšte.

**Skalūnų geozona.** J. Lukoševičius ją pavadino skalūnų, nes čia susidaro skalūnai, ir suskirstė į 4 aukštus (2 lentelė). Šioje zonoje vyrauja nuo vieno iki kelių tūkstančių atm slėgis (1 kbar = 1000 atm). Būtent šoninis slėgis (stresas) nulemia kūnų, uolienų skalūnuotumą. Veikiant aukštam šoniniam slėgiui uolienose susidaro plyšių sistemos (klivazas) ir skalūnuotumas, statmenas slėgio kryptčiai. J. Lukoševičius, aiškindamas skalūnuotumo susidarymą, remiasi G. Sorbi bei A. Dobre bandymais. Autorius pažymi, kad, be jokios abejonės, uoliena, veikiamą šoninio slėgio, įgauna skalūnuotumą – ypač kalnodaros procesuose. Jeigu molio skalūnuose, pasak J. Lukoševičiaus, klivazas sutampa su pirminiu sluoksniuotumu, jie skyla į plonus lapelius. Kristaliniuose skalūnuose skalūnuotumas labai priklauso nuo juos sudarančių mineralų – žėrutis, chloritai, talkas išsidėsto lygiagrečiose plokštumose. Skalūnų zonoje uolienos yra daugiau ar mažiau metamorfizuojamos, t. y. kinta jų sandara, mineralinė ir cheminė sudėtis. Išskiriant regioninio metamorfizmo facijas, atsižvelgiama į temperatūrą ir slėgį. Šie veiksniai lemia mineralinių paragenezių tipą – vienu mineralų pakeitimą kitais.

Mineralinių asociacijų pastovumą lemia šios fizinės sąlygos: 1) temperatūra, 2) bendras slėgis, 3) fluidų cirkuliacija, 4) aktyvių elementų slėgis fluiduose (pvz., deguonies ar sieros). Skalūnų zonoje uolienos įgauna skalūnuotumą, yra metamorfizuojamos, t. y., teigia J. Lukoševičius, kinta jų sandara, mineralinė, iš dalies ir cheminė sudėtis.

J. Lukoševičius **skalūnų geozoną** skirsto į 4 aukštus: I – skalūnuoto molio ir molingų skalūnų aukštas (gylis 3–7(8) km, temperatūra 110°–215°C); II – filitų aukštas (gylis 7–10(12) km, temperatūra 215–298°C); III – žėrutinių skalūnų aukštas (gylis 10–15(17) km, temperatūra 298–415°C); IV – gneisų (gylis 15–20(25) km, temperatūra 415–543°C).

2 lentelė. Uolienų vystymasis priklausomai nuo jų padėties Žemės plutoje  
Table 2. Development of rocks depending on their position in Earth's crust

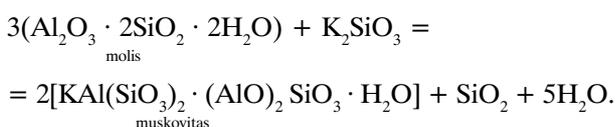
Geozonos aukštai	Paviršinė	Prieapviršinė	SKALŪNŲ GEOZONA				BATINĖ GEOZONA			Populiacijos skysta ugninė magma
			I a.	II a.	III a.	IV a.	Pereinamasis aukštas	Kristalinių masyvių uolienų aukštas	Viskozinis aukštas	
Gylis	Nuo vandenylių lygio iki dirvožemio vandens	Nuo dirvožemio vandens iki 3 km	3–7 km	7–10 km	10–15 km	15–20 (25) km	24–44 km	44–69 > km		
Slėgis	1 atm (vandenylių dugne iki 900 atm)	2–780 atm	780–1820 atm	1820–2600 atm	2600–3900 atm	3900–5200 atm	6000–12000 atm	12000–18000 atm		
Temperatūra	Vid. +15°, +31° ir –20°	15–110° C	110–215°	215–298°	298–415°	415–543°	648–1100°	1100–1500°		
Uolienų būseną	Paslanki amorfinė	Surišta amorfinė	Skalūninė amorfinė	Skalūninė pusiau kristalinė	Skalūninė kristalinė		Kristalinė masyvi ir viskozinė			
Vykstantys reiškiniai	Smulkninimas, tirpinimas, karbonizacija, oksidacija	Cementacija; daug vandeningų mineralų	Mažo molekulinio tūrio mineralų susidarymas (slėgio vyravimas)	Didelio molekulinio tūrio mineralų susidarymas (temperatūros vyravimas)						
Bevandeniai mineralai išstumia vandeningus										
Vanduo, garai, sniegas, ledas. Sudaro 95% geozonos		Įkaitęs vanduo	Verdantis vanduo 2,8%	1,4%	Perkaitinti vandens garai 1%			0,2%	1,5%	
Vandens druskų tirpalai (fūrose, ežeruose, šaltiniuose)		Gipsas, anhidritas, akmens druska	Gipsas, anhidritas, akmens druska (sumažėjęs kiekis)	Gipsas						
Angliarūgštė – augalinės liekanos, durpė		Durpė – rudoji anglis	Akmenis anglis – antracitas	Šungitas	Grafitas					
Pelkių ir ežerų rūda, limonitas		Limonitas, geležingas sferosideritas	Sideritas, hematitas	Grūdėtas sideritas, hematitas, magnetitas						Magnetitas, hematitas
Klimentinis dumblias, kriauklių sancaupos, koralų rifai, klimentiniai tufai		Kreida, klintys, dolomitizuotos klintys	Sutankintos klintys ir oolitai, dolomitas	Pusiau kristalinės klintys, pusiau grūdėtas dolomitas	Grūdėtos klintys (marmuras), grūdėtas dolomitas, olivinis marmuras					
Molis		Molis	Molingi skalūnai	Filitai	Žėrutiniai skalūnai		Gneisai			
Diatomėjų ir radioliarijų dumblias		Trepelas, sicilitas	Kvarcinis skalūnas, raginukė	Kvarcitas	Opalas		Kvarcas			
Silicingas smėlis		Kvarcinis smėlis	Kvarcinis smiltainis	Pusiau kristalinis kvarcinis smiltainis	Kvarcitas					Granitas
Rieduliai, gargždas, žvirgždas, smėlis		Konglomeratas, brekčija, smiltainis	Konglomeratai, brekčija, smiltainis	Filitai ir žėrutiniai skalūnai su gargždu	Žėrutiniai skalūnai		Gneisai			Granitas
Vulkaniniai pelenai, smėlis, lapilčiai, bombos, purvo lava		Vulkaniniai tufas	Vulkaniniai tufas	Porfiroidas ir porfiritoidas	Kristaliniai skalūnai					Granitas, Dioritas, Sienitas, Gabras
Obsidianas, pemza, perlitas, felzitinis derių akmuo, trachitas, derių akmuo		Liparitai, kvarcinis porfyras, dacitas, kvarc. porfyras	Liparitai, kvarcinis porfyras, dacitas, kvarc. porfyras	Adamelitas (plagioklazinis granitas)		GRANITAS				Granitines magmos baseinai, Dacitines magmos baseinai
Trachitiniai perlitai, trachitinis obsidianas		Trachitai, porfyrai be kvarco	Trachitai, porfyrai be kvarco	Sienitas						Sientinės magmos baseinai
Fonolitinis obsidianas		Fonolitai, eleolitinis porfyras	Fonolitai, eleolitinis porfyras	Eleolitinis sienitas						Fojalitinės magmos baseinai
Andezitinis vulkaninis stiklas (perlitai, obsidianas, pemza)		Andezitas, porfyras	Andezitas, porfyras	Dioritas						Dioritines magmos baseinai
Bazaltinis obsidianas, pemza, perlitas, tachilitas, šlakai		Bazaltai, melafyrai, variolitai, diabazas	Bazaltai, melafyrai, variolitai, diabazas	Gabras, noritas, hiperstenitas						Bazaltines magmos baseinai
		Pikritai, pikritinis porfyras	Pikritai, pikritinis porfyras	Peridotitas						Peridotitines magmos baseinai
Pastaba: Geozonų storiai gali svyruoti, pvz., antras aukštas gali būti ne iki 10, o iki 11–12 km gylis; tačiau šie svyravimai neryškūs, nes kas kiekvieną km temperatūra pakyla 30°, o tai ypač atspindi vienų ar kitų mineralų susidarymą.										

Žemės plutą skirstė į geozonas ir aukštus pagal pradinę mineralų susidarymo temperatūrą ir atitinkamų temperatūrų žemės plutoje išsidėstymą (1 lentelė). Mineralai ir uolienos, atsparūs vienoms sąlygoms ir temperatūrai, kitu atveju gali būti neatsparūs.

Nors J. Lukoševičius nepateikė tikslaus metamorfizmo facijos apibrėžimo, tačiau iš jo sudarytų lentelių (1, 2 lentelės) galima daryti išvadą, **kad uolienų geozonos ir aukštai (arba facijos) sudaro uolienų grupes, kurioms būdingas tam tikras mineralų rinkinys. Pastarieji susiformavo tam tikromis metamorfizmo sąlygomis, esant tam tikrai temperatūrai ir slėgiui.**

**Pirmame skalūnų geozonos aukšte** susidaro būdingi mineralai: rutilas, anhidritas, kvarcas, analcimas, kankrinitas. Tai žemo slėgio žematemperatūrinė facija. Silifiktuotas molingas karbonatinis smiltainis, konglomeratas, brekčija yra neatsparūs skalūnų geozonos dariniai. Jie įgauna skalūnuotumą ir yra metamorfizuojami, uoliena tampa pusiau kristaline. Įkaitintas vanduo, kurio šios geozonos pirmuosiuose dviejuose aukštuose yra 2,8%, skaido silikatus, tirpdo silicį ir reaguoja su įvairiomis medžiagomis sudarydamas šiomis sąlygomis atsparius mineralus. Chloritinės medžiagos susidarymo požymiai jau pastebimi I skalūnų geozonos aukšte, esant 200°C temperatūrai. Pagal dabartinius duomenis, ši riba laikoma metamorfizmo pradžia (Саранчина и др., 1973).

**Antrame skalūnų geozonos aukšte** susidaro albitas (T 260–270°C), būdingas distenas, iš antracito formuojasi šungitas, iš molingų smiltainių – filitai. Skalūnų zonoje labai daug ištirpusio silicio dioksido, nes plyšius kristaliniuose skalūnuose užpildo kvarcas. Pagal J. Lukoševičių, silikatinių druskų ir aukštos temperatūros veikiamas molis (kaolinas) metamorfizmo metu sudaro ortoklazą ir kvarcą. Perkaitinti vandens garai dideliame slėgyje (III ir IV skalūnų geozonos aukštai), pasak J. Lukoševičiaus, yra svarbus uolienų metamorfizmo veiksnys. Molvingas smiltainis dėl cemento perkristalizacijos (molis jungiasi su kalio silicio druska ir susidaro žėrutis) II skalūnų geozonos aukšte virsta filitais, o vėliau III aukšte pakeičiamas žėrutiniais skalūnais. Lygiai taip pat konglomeratą ir brekčiją cementuojanti medžiaga pradeda kristalizuotis ir jie virsta kristaliniais skalūnais. Molis, jungdamasis su  $K_2SiO_3$ , sudaro žėrutį, pvz.:



Ši sintezė stebima jau molio skalūnuose (I aukšte) ir sustiprėja filituose (II aukšte). Jei molio ska-

lūnuose Mg mažai, tai iš jo susidaro **muskovitiniai skalūnai**, jei daug – iš molio ir  $MgCO_3$  formuojasi chloritinė medžiaga, kuri reaguodama su sericitine virsta biotitu. Taigi priklausomai nuo Mg kiekio molio skalūnai virsta į **biotitinius-muskovitinius skalūnus, biotitinius skalūnus ir chlorito-žėručio skalūnus. III aukštas yra pats palankiausias žėručiui susidaryti.** J. Lukoševičius pažymi, kad sericitinė medžiaga (muskovitas) susidaro II skalūnų geozonos aukšte – filituose. Toliau vystantis metamorfizmui ji skyla į kvarcą ir žėrutį – taip atsiranda žėrutiniai skalūnai (III skalūnų geozonos aukštas).

**IV aukšte** žėrutis užleidžia vietą feldšpatams. Šie labiau atsparesni aukštesnei temperatūrai ir didesniam slėgiui nei žėrutis ar muskovitas. Todėl dalis žėručio, veikiant  $K_2SiO_3$ , aukštai temperatūrai bei slėgiui, virsta feldšpatais. Taip susidaro gneisai ir būdingi mineralai: albitas, ortoklazai, anortitas (feldšpatai), raginukė. Molis, priemolis, priesmėlis, mergelis nėra pastovūs giliuosiuose plutos sluoksniuose – jie virsta molio skalūnais, karbonatiniais filitais, karbonatiniais žėrutiniais skalūnais, gneisais. Jų mineralai persikristalيزuoja ir pereina į žėrutį, kvarcą, feldšpatus, t. y. svarbiausias filito, skalūnų, žėrutinių skalūnų ir gneisų sudėtinės dalis.

Jeigu molis turėtų daug organinių liekanų, jam pereinant į filitus ar gneisus anglinga medžiaga virstų šungitu ar net grafitu – taigi formuotųsi šungitiniai ir grafitiniai skalūnai, grafitiniai gneisai.

Geležies oksidai, Ca ir Mg karbonatai, įeinantys į molio ir nuolaužinių uolienų sudėtį, eikvojami biotito, raginukės, granatų ir kitų silikatų susidarymui.

J. Lukoševičius pabrėžia, kad bandymais jau įrodyta, jog esant aukštai temperatūrai ir slėgiui, vandens garams ir angliarūgštei, amorfinė medžiaga – klintis ar silikatinė amorfinė medžiaga (rašoma apie kriauklių sankaupas) yra nepatvarios ir pereina į kristalinę būseną. Todėl 10–15 km Žemės gelmėse yra kristalinės uolienos – kristaliniai skalūnai.

Iš pateiktų lentelių matyti, kad yra laipsniškas perėjimas nuo molio skalūnų iki filitų, nuo filitų iki žėrutinių skalūnų, nuo žėrutinių skalūnų iki kristalinių skalūnų ir gneisų. Galima daryti išvadą, kad kristaliniai skalūnai susidarė iš nuosėdinių uolienų kalnodaros procesų metu padidėjus slėgiui ir temperatūrai, todėl net palyginti jaunos nuosėdos tokioje aplinkoje virsta kristalinėmis uolienomis. Daugelis archėjinų kristalinių skalūnų yra nuosėdinės kilmės ir susidarė iš žemės paviršiaus nuosėdų, kurios nugrimzdo į gilesnius Žemės sluoksnius slėgiant aukščiau slūgsančioms nuosėdoms. Nuosėdinės kilmės medžiaga – klintys, amorfinis smėlis, molis – dėl slėgio ir aukštos temperatūros netenka vandens ir skalūnų zonoje virsta kristalinėmis klintimis; buvusios organizmų liekanos taip pat persikristalيزuoja ir pablogina galimybę nustatyti jų amžių. „**Trečią ir ketvirtą ska-**

**lūnų geozonos aukštus galima pavadinti paviršinių darinių kapinėmis**“, – teigia autorius. Čia negrįžtamai sunaikinamas Žemės plutos metraštis. J. Lukoševičius pažymi, kad **archėjaus gneisuose dar galima aptikti grafito žymių, bylojančių apie esamą organinę medžiagą**. Amžiname apytakos rate uolienos tampa nebylios – dūla išplaunami viršutiniai sluoksniai, giluminės uolienos tampa kristaliniais „nebyliais“ skalūnais (Лукашевич, 1909).

Svarbiausia silikatų sintezė skalūnų geozonoje yra žėručio, feldšpatų bei kvarco susidarymas iš molingos medžiagos ir kalio silikatų ( $K_2SiO_3$ ). Šie mineralai formuoja kristalinius skalūnus – žėrutinius skalūnus, gneisus (žr. ankstesnę reakciją).

Pasak J. Lukoševičiaus, pusę visų mineralinių pokyčių, vykstančių Žemės plutoje, sudaro feldšpatinių uolienų žemės paviršiuje virsmas į nuolaužines (psamitus ir psefitus) ir molį (pelitus), taip pat kalio ir magnio druskų tirpdinimas, jų jungimasis ir perkristalizacija gelmėse.  $K_2SiO_3$  ir  $MgCO_3$  gelmėse vėl jungiasi su moliu, sudarydami žėrutį ir feldšpatus, o silicio dioksidas ir nuolaužinis kvarcas pereina į autigeninį kvarcą. **Susidaro didelis uždaras uolienų pakeitimo ciklas: į kylantį srautą patenka kristalinės medžiagos, jos yra žemės paviršiuje ir susidaro judrūs amorfiniai dariniai; žemyn grimztančiame sraute molis vėl jungiasi su silikatinių druskų liekanomis dideliame gylyje sudarydamas naujas kristalines uolienas. Taigi uolienų sandarą ir susidarymą nulemia jų padėtis žemės plutoje. Kiekviena uoliena, judėdama iš vieno žemės plutos lygio į kitą, stengiasi taip pakeisti savo struktūrą ir mineralinę sudėtį, kad išliktų pastovi ir nekintanti naujomis fizikinėmis cheminėmis sąlygomis** (1 pav.).

Žemiau skalūnų zonos slūgso **batinė**, arba giluminė zona. J. Lukoševičiaus batinė zona – tai **ultramorfizmo sritis**, kurioje procesai vyksta regioninio metamorfizmo sąlygomis, lydimi lydymosi ir granitizacijos procesų. Ultrametamorfizmo terminą pasiūlė P. J. Holmquistas (1909), tačiau svarbius tyrimus šioje srityje atliko J. J. Sederholmas (1907, 1923, 1926) (Елисеев, 1959; Саранчина и др., 1973). Ultrametamorfizmui taip pat priskiriami palingenezės ir anateksio procesai bei granitizacija. Dabartinis petrologijos mokslas granitizaciją priskiria metasomatiniams procesams. Ultrametamorfizmo proceso išaiškinimas palietė ir granitų kilmės klausimą. Batinė zona pagal J. Lukoševičiaus apskaičiavimus užima storumę nuo skalūnų zonos iki pat magmos. Čia vyraujanti temperatūra – 600–1500°C, slėgis – per 6 tūkst., o gelmėse siekia 20 tūkst. ir daugiau atmosferų (1 kbar = 1000 atm). Dėl tokio slėgio ir dalinio lydymosi uolienos tampa plastiškos, o žemuosiuose lygiuose ir takios. Šoninis slėgis (stresas) batinėje zonoje išnyksta – susilygina su vertikaliu petrostatiiniu. Šie pokyčiai turi įtakos uolienų, atsi-

dūrusių batinėje zonoje, struktūrai ir mineralinei sudėčiai. Sustiprėjus lydalo vaidmeniui, šis metamorfizmo procesas virsta magminiu.

J. Lukoševičius **batinę zoną** skirsto į 1) pereinamąją batinę aukštą, kuriame dar pastebimas vertikalaus slėgio poveikis; 2) kristalinių masivių uolienų aukštą iki 40 km storio; 3) viskozinių aukštą, kuriame uolienos palaiptai virsta takiomis ir gali pereiti į magmą.

J. Lukoševičius pažymi, kad batinėje zonoje uolienos praranda savo skalūnuotumą. **Pirmame pereinamajame batinės zonos aukšte** (gylis 20–25 km, temperatūra 500–600°C) susidaro biotitas, leucitas, cirkonas. Jeigu gneisai atsiduria batinio aukšto pereinamojoje zonoje, jų sandara suvienodėja (homogenizuojasi). Šoninį slėgį keičia visapusiškas petrostatiinis, todėl išnyksta skalūnuotumas. Dėl šių sąlygų uoliena virsta masyvia kristaline.

**Antras batinės geozonos aukštas** – masivių kristalinių uolienų karalystė. Būtent čia supanašėja nuosėdinės ir magminės uolienos, išnyksta tarp jų skirtumai. Esant 700–1000°C temperatūrai, 8–10 tūkst. atmosferų slėgiui, dalyvaujant vandens garams, kitiems lakiems komponentams, susidaro analogiškos sąlygos, kuriose formuojasi magminės uolienos. Todėl, pagal J. Lukoševičių, granituose formuojasi tie patys mineralai (feldšpatai, kvarcas, žėrutis) kaip ir gneisuose. Tai kulminacinė regioninio metamorfizmo stadija, perėjimas nuo metamorfizmo prie magmatizmo.

J. Lukoševičius manė, kad granitas susidaro iš granitinės magmos, kai temperatūra žemesnė nei 1000°C. Nors kvarco lydymosi temperatūra yra 1700°C, feldšpatų – 1190°, biotito – 1200°C, o muskovito – net 1300°, tačiau, pažymi mokslininkas, mineralų mišinių lydymosi temperatūra pagal eutektikos dėsnius visada 200–400°C žemesnė nei atskirų mineralų.

Savo veikale jis aiškina, kad gneisų ir granito mineralinė sudėtis yra ta pati, skiriasi tik mineralų išsidėstymas, kurį lemia šoninis slėgis. XIX a. pradžios petrologijos mokslas jau žinojo  $SiO_2$  polimorfines atmainas – tridimitą, būdingą tik metamorfinėms uolienoms. Jame  $SiO_2$  persikristalيزuoja esant didesnei nei 950°C temperatūrai. Ortoklazai taip pat aukštesnėje nei 1150°C temperatūroje persiformuoja į sanidina. Žėrutis susidaro aukštesnėje nei lydymosi temperatūroje. Visa tai paaiškina vienodą gneisų ir granito sudėtį. Granitas, grįžęs į skalūnų zoną, įgauna skalūnuotumą, virsta granito gneisais ir gneisais, „akiniiais“ gneisais, kuriuose išlieka stambūs feldšpatų kristalai ir mažai žėručio.

Tuo pačiu metu, kada buvo išleista J. Lukoševičiaus knyga „Žemės neorganinis gyvenimas“, austrų petrografas F. Bekke (1909) įvedė terminą „diaflorezė“, arba regresyvusis metamorfizmas, kuris rei-



čia aukštesnio lygio metamorfizmo perėjimą į žemesnį lygį (Гордеев, 1972). Tas pats gneisas, susidaręs aukšto metamorfizmo zonoje, patekęs į žemesnio metamorfizmo zoną, tampa skalūnu (diaforitu). Jau XIX a. gneisus, kilusius iš granito, vadino ortogneisais, o kilusius iš metamorfizuotų nuosėdinių uolienų – paragneisais.

Antras batinės zonos kristalinių masivių uolienų, arba granito aukštas palankus raginukei, plagioklazams susidaryti. Tam reikalinga neaukšta temperatūra, tačiau didelis slėgis. Pasak J. Lukoševičiaus, šiame aukšte taip pat susidaro sienitas ir dioritas – išnyksta riba tarp metamorfizmo ir magmatizmo. Magminės uolienos apytakos ratu gali pereiti iš batinės į skalūnų zoną (1 pav. ). Mokslininkas pažymi, kad granitas pirmame ir antrame batinės zonos aukštuose sluoksniuojasi su magnetito, fajalito ir kitais mineralų tarp sluoksniais, turinčiais geležies, ir sieja tai su žemės magnetizmu (Лукашевич, 1908).

J. Lukoševičiaus apibūdintam batinės zonos kristalinių uolienų aukštui būdingi cirkonas, piroksenai. Tai kvarco, žėručio susidarymo viršutinė kritinė riba, čia pradeda formotis tridimitas.

**Viskoziniame aukšte** temperatūra labai aukšta (per 1000°C), todėl uolienos minkštėja, įgauna plastiškumą (2 lentelė). Būtent čia mineralai susidaro ir vėl išnyksta magminiu (pagal J. Lukoševičių – ugniniu) keliu. Apatiniuose šio aukšto sluoksniuose plutos sudėtis atitinka bazinės uolienas, turtingas geležies, kalcio ir magnio. Būdinga olivininių mineralų grupė, kvarcas pereina į tridimitą. Magma turtinga vandens garų, kurie gali prasiskverbti į viskozinį batinės geozonos aukštą, todėl jame vandens garų daugiau nei kituose (1,5%). Vykstant kalnodaros procesams, į batinę zoną gali patekti ir nuosėdinės uolienos – jos išlydomos ir buvusi nuosėdinė uoliena pradeda naują ugninio (magminio) vystymosi kelią. Remiantis dabartiniu petrologijos mokslu, šiame aukšte vyksta anateksis ir palingenezė – dalinis uolienų išsilydymas. Palingenezė turi įtakos H<sub>2</sub>O, HF, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, kurie sukuria optimalias lydymosi sąlygas. Lakieji komponentai patenka iš magmos. Palingenezės ir anateksio terminų J. Lukoševičius dar nevertavo, tačiau vykstančius šioje zonoje uolienų lydymosi procesus, lakiųjų komponentų poveikį, vienu uolienų virsmą kitomis jau aprašė nagrinėjamame darbe „Uolienų gyvenimas“.

Lyginant su U. Grubenmano ir P. Niggli (1904) išskirtomis metamorfizmo epi-, kata- ir mezazonomis, J. Lukoševičiaus geozonos ir aukštai buvo išskirti tuo pačiu principu, turėjo tas pačias būdingų mineralų grupes. J. Lukoševičius nurodo mineralines asociacijas, atsparias tam tikrai geozonai (facijai). Jos susidaro metamorfizmo proceso metu ir yra atsparios tik tame siaurame temperatūros ir slėgio intervale. J. Lukoševičiaus žemės plutos skirstymas

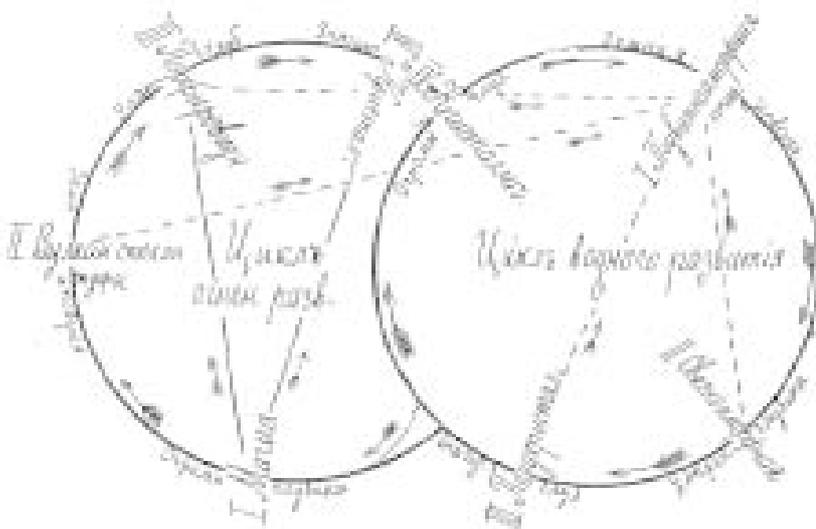
praktiškai atitiko Ch. Van Hise išskirtas zonas: paviršinė zona – tai Ch. Van Hise dūlėjimo zona, priepaviršinė zona – cementacijos juosta, skalūninė zona – anamorfinė zona (Van Hise, 1904). Jo išskirtą skalūnų geozonos pirmą aukštą galima vadinti **metamorfizmo pradžia**, kur susidaro būdinga chloritinė medžiaga, formuojasi chloritiniai talko, serpentininiai skalūnai. II filitų aukšte metamorfizmas stiprėja, susidaro žėrutinė medžiaga, muskovitas. J. Lukoševičiaus III skalūnų geozonos aukštą – žėrutinių skalūnų – galime vadinti **žaliųjų skalūnų facija**, kurioje intensyviai formuojasi biotitas. Pagal dabartinį petrologijos mokslą, šis aukštas atitinka **žematemperatūrinę žaliųjų skalūnų faciją**. Iš pelitinių ir kvarcinių feldšpatinių uolienų susidaro sericitiniai, sericitiniai chloritiniai skalūnai, filitai (T 300–500°C, slėgis iki 3 kbar) (Саранчина и др, 1973). Šios facijos temperatūra priklauso nuo MgO:FeO santykio. Pagal F. J. Turnerį (1951), žaliųjų skalūnų facijoje išskirtos 2 subfacijos: muskovitinė-chloritinė (žematemperatūrinė) ir biotitinė-chloritinė (aukštesnės temperatūros). IV gneisų aukštui, kur metamorfizmas vidutinis ir stiprus (U. Grubenmano išskirtos meza-, katazono), būdingą mineralų asociaciją sudaro raginukė ir vidutiniai plagioklazai (andezinas). Ši aukštą galime sutapatinti su **amfibolitine facija**. Batinė J. Lukoševičiaus zona – tai **ultramorfizmo sritis**, lydiama granitizacijos procesų. **J. Lukoševičius pirmasis metamorfizmo moksle išskyrė ultramorfizmo zoną ir pavadino ją „batine“**, pabrėždamas, kad intensyvaus metamorfizmo zonoje (batinėje) uolienos išlydomos ir tampa magmos šaltiniu. Tai metamorfizmo pabaiga. Čia vyksta anateksis ir palingenezė. Pereinamojoje zonoje atsidūrę gneisai dėl vertikalaus hidrostatinio slėgio praranda skalūnuotumą ir virsta granitogneisais. Sprendžiant iš J. Lukoševičiaus pateiktų zonos kritinių mineralų, vyraujančios temperatūros ir slėgio, galima daryti išvadą, kad čia tęsiasi **almandino amfibolitine facija**. Iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad ultramorfizmo procesai vyksta daug aukštesnėje temperatūroje, nei formuojasi amfibolitinės facijos uolienos. Žėrutis ir amfibolai nepatvarūs granulitineje facijoje. Tai būdinga plotams, kur vyksta granitizacija, formuojasi granitas. Antrame batinės zonos aukšte išnyksta skirtumai tarp nuosėdinių ir magminių uolienų. Tai kulminacinė regioninio metamorfizmo stadija, kurioje temperatūra siekia 1000°C (vidutinė 720°C), o žėrutis virsta bevandeniu mineralu. Antrą batinės geozonos aukštą, lyginant su vėlesnių metamorfizmo mokyklų apibūdinimu (Елисеев, 1959), galima būtų priskirti **granulitinei facijai**. Pagal U. Grubenmano skirstymą, tai būtų metamorfinių uolienų katazona, kurioje nelieka mineralų su hidroksilo grupe OH<sup>-</sup>. Granulitinei facijai būdingos kelios tipinės reakcijos: žėručio virsmas bevandeniais mineralais – feldšpatais, distenu, granatu,

raginukės virsmas piroksenu. Čia turi įtakos H<sub>2</sub>O, HF, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> lakios magmos medžiagos. Kvarcas pereina į tridimitą. Mineralai susidaro ir vėl išnyksta.

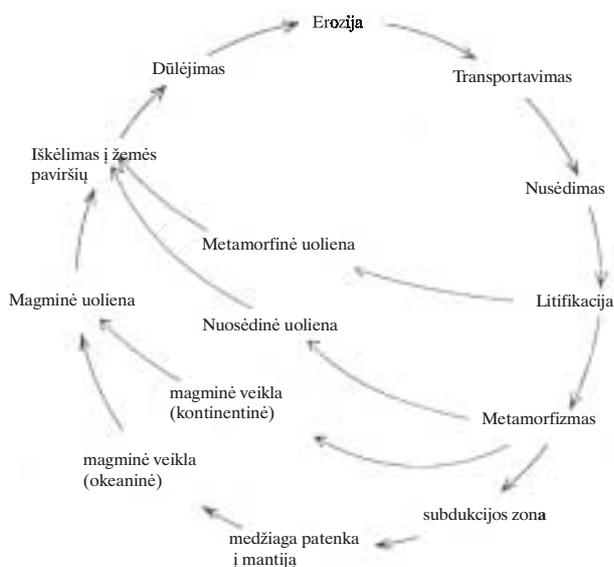
**Metamorfizmas ir uolienu cikliškumas.** Pirmasis mokslininkas, pritaikęs gamtos ciklą daugeliui geologinių procesų, buvo Jamesas Huttonas (1787). Jo nuomone, Žemės paviršiaus vystymuisi būdingas nuolatinis ciklas, kai lietaus ir jūros bangų išplautos sausumos dalelės patenka į vandenyno dugną, grimzta ir veikiant karščiui gelmėse sulydomos. Vėliau atvėsusi konsoliduota masė iškeliami virš vandenyno lygio ir tampa nauja sausuma. Jo žodžiais tariant, „ši sausumos dalis, kuri dabar yra apgyvendinta, per tam tikrą laiką susidarė iš medžiagos, sudariusios ankstesnę sausumą...“ (Hutton, 1785). J. Huttono laikais, kai dar buvo nežinoma žemės gelmių sandara, ši idėja buvo novatoriška. Dabartinis mokslas teigia, kad saulės ir vidinės žemės energijos biosferoje dėka vyksta pastovus medžiagos judėjimo ir persiskirstymo procesas. Suprantama, kad magminės uolienos, atsiradusios kristalizuojantis magmai iš Žemės gelmių, veikiamos atmosferos bei vandens Žemės paviršiuje, suyra ir virsta transportabiliomis nuosėdomis. Atsidūrusios vandenynų dugne jos sudaro nuosėdinių uolienu storumes, patenka į subdukcinės zonas, grimzta į padidintos temperatūros ir slėgio aplinką ir yra perlydomos. Taip per geologinius amžius vyksta visuotinė

medžiagos apytaka: magminė uoliena → nuosėdinė uoliena → metamorfinė uoliena → perlydymas ir naujas magmos susidarymas. Šį ciklą gali pailustruoti išskiriami granito tipai (S-tipas), susidarę lydantis nuosėdinės žemyninės plutos uolienoms. Dabartinis mokslas pripažįsta cikliškumą, tačiau tai siejama su sudėtingesniais procesais ir grindžiama litosferinių plokščių tektonikos teorija (Wilsono ciklas). Uolienu apytakos ratas, kaip jį aiškina šiuolaikinis petrologijos mokslas, pavaizduotas piešinyje (2 pav.).

Lyginant 2 pav. su J. Lukoševičiaus uolienu apytakos paveikslu (3 pav.), galima surasti analogijas tarp J. Lukoševičiaus išskirto „vandeninio“ tipo (nuo-



3 pav. Uolienu vystymosi stadijos pagal J. Lukoševičių  
Fig. 3. J. Lukoševičius' stages of rocks development



2 pav. Uolienu apytakos ciklas (pagal J. Veizerį)  
Fig. 2. The rocks cycle (according J. Veizer)

sėdinių) uolienu vystymosi bei „ugnio“ tipo (magminių) uolienu. Metamorfinės uolienos, patekusios į subdukcinės zonas, gali būti sulydomos, ir tai atitinka, pagal J. Lukoševičių, skalūnų geozonos uolienu patekimą į batinę geozoną (1, 2 pav., 2 lentelė).

Apibendrinus analizuotą medžiagą, galima padaryti išvadą, kad J. Lukoševičius išdėstė vienam iš petrologijos mokslo kūrimosi etapų svarbią uolienu cikliškumo sampratą jų vystymosi istorijoje, išaiškino uolienu apytakos ratą, vienas pirmųjų sukūrė metamorfizmo mokslo pagrindus.

• Veikalo „Neorganinis Žemės gyvenimas“ antroje knygoje „Uolienu gyvenimas“ J. Lukoševičius atskleidė žemės plutos medžiagų apytakos rato procesą, kuris prasideda magminių uolienu atsiradimu ir pasibaigia (vykstant ilgam dūlėjimo, transportavimo, sedimentacijos, nuosėdų sluoksnių nugrimzdymo, pernešimo, giluminio metamorfizmo procesams, susidarant kristaliniams skalūnams, gneisams, granitui) medžiagos išlydymu, uolienu virtimu magma. J. Luko-

ševičiaus pateikta uolienuų cikliškumo teorija atitinka šiuolaikinį požiūrį į šiuos reiškinius, nors jų tektoninis mechanizmas suprantamas kiek kitaip.

- Mokslininkas vienas pirmųjų petrologijos moksle išskyrė metamorfizmo veiksmų kompleksą, pabrėždamas slėgio, temperatūros, mineralizatorių-fluidų poveikį formuojantis skirtingoms uolienuų zonoms.

- Jis pirmasis pateikė ir metamorfizmo facijos apibrėžimą, išskirdamas būdingas metamorfinių zonų (facijų) mineralų grupes, susidariusias esant tam tikrai temperatūrai ir slėgiui. *Kiekvienas mineralas formuojasi tik tam tikrose temperatūros ir slėgio ribose* (žr. 1 lentelę). Galima palyginti suomių petrologo P. Eskola metamorfizmo facijos termino apibrėžimą su J. Lukoševičiaus idėjomis. Šį terminą 1920 m. pasiūlęs Pentti Eskola (1883–1964) metamorfizmo faciją apibrėžė kaip uolienas, kurioms būdingas tam tikras mineralų rinkinys, susidaręs atitinkamomis slėgio ir temperatūros sąlygomis (Eskola, 1920). J. Lukoševičius darbe „Uolienuų gyvenimas“ irgi aiškiai išdėstė idėją apie uolienuų mineralinės sudėties ir metamorfizmo sąlygų ryšį, ir ne pavienių mineralų, o visos jų paragenezės: „[...] vienu ar kitų mineralų buvimas uolienoje gali būti fizinių sąlygų rodikliu, kuriose ji susidarė [...]. Mineralai, esantys uolienos sudėtyje, sudaro tam tikras asociacijas – būtent mineralai, kurių sintezei reikia vienodo slėgio ir temperatūros, randami kartu“ (Лукашевич, 1909). Taigi J. Lukoševičius vienas pirmųjų suvokė ir apibūdino metamorfizmo facijos sampratą.

- Pabrėžtina, kad aiškindamas mineralinių paragenezių susidarymą metamorfizmo metu J. Lukoševičius naudojo chemines reakcijas tarp mineralų, tuo parodydamas cheminių elementų pasiskirstymo svarbą formuojantis naujoms mineralų paragenezėms kitomis energetinėmis sąlygomis.

- Metamorfizmo facijas J. Lukoševičius siejo su metamorfinėmis geozonomis, kuriose įvairios kilmės, sandaros ir sudėties uolienos metamorfizmo metu įgauna panašią sandarą ir mineralinę sudėtį (konvergencijos principas). Šį metamorfinių zonų skirstymą nepriklausomai nuo U. Grubenmano, Ch. Van Hise ir kitų to meto mokslininkų J. Lukoševičius savarankiškai atliko dar 1890–1905 m., būdamas izoliuotas Šliselburgo kalėjimo tvirtovėje. Apie tai rašoma ir knygos „Uolienuų gyvenimas“ pabaigoje. Daugeliu požiūrių J. Lukoševičiaus metamorfizmo geozonų uolienuų požymiai (mineraline sudėtimi, sandaros ypatybėmis) yra artimi ir dabar išskiriamoms metamorfizmo facijoms. Nors kai kurių mineralų stabilumo ribas (temperatūros ir slėgio) J. Lukoševičius išskyrė netiksliai, uolienuų amžių siejo su jų slūgsojimo gyliu, tačiau jo metamorfizmo zonų (facijų) išskirimo principas, išaiškintos pagrindinės metamorfizmo reakcijos, pastebėtų procesų dėsningumai buvo teisingi.

- Mokslininko išvada, kad metamorfizmo procesas baigiasi uolienuų lydymusi, taip pat buvo teisinga. J. Lukoševičius pabrėžė, kad progresyvaus metamorfizmo pabaiga – tai jo perėjimas į magmatizmą. Jis pirmasis metamorfizmo moksle išskyrė ultrametamorfizmo zoną, pavadinęs ją „batine“, ir pabrėžė, kad intensyvaus metamorfizmo zonoje (batinėje) uolienos išlydomos ir tampa magmos šaltiniu.

- Pabrėžtina, kad neturėdamas sąlygų lauko stebėjimams ir tiesioginiams tyrimams, J. Lukoševičius šias išvadas pasiekė dedukciniu, sintezės ir analogijų metodu, filosofiskai analizuodamas ir apibendrinamas kitų mokslininkų stebėtus gamtinius procesus.

J. Lukoševičiaus darbai buvo skirti aktualiausioms petrologijos problemoms. Idėjas apie metamorfizmo proceso dėsningumus, ultrametamorfizmą, kaip regioninio metamorfizmo atmainą, magmos susidarymo būdus ir sąlygas, granito kilmę tuo pačiu metu ir vėliau plėtojo P. Eskola, P. Delli, N. Bowen, P. Chalmquistas, F. Levinson-Lesingas ir daugelis kitų mokslininkų. Jos nemažiau svarbios ir dabar, todėl ir J. Lukoševičiaus darbai nėra vien mokslinės minties, pažinimo raidos istorija, jie taip pat yra įdomūs ir aktualūs dabartinio petrologijos mokslo kontekste.

#### Literatūra

- Eskola P. 1914. On the petrology of the Orjjarvi region, southwestern Finland. Helsingfors. *Bull. de la commis. geologique de Finlande*. 40. 277 p.
- Eskola P. 1920. The mineral facies of rocks. *Norsk. Geol. Tidsskr.* 6.
- Hutton J. 1785. System of the Earth, its duration and stability. Abstract of a dissertation read in the Royal Society of Edinburgh, upon the seventh of March, and Fourth of April, MDCCLXXXV (Reprintas iš: *Philosophy of geohistory: 1785–1970*). 25–53.
- Sederholm J. 1925. The average composition of the earth's crust in Finland. Helsingfors. *Bull. de la commis. geologique de Finlande*. 70. 20 p.
- Van Hise C. R. 1904. Treatise on Metamorphism. Washington: Government Printing Office. Monographs. U. S. Geological Survey. 1286 p.
- Veizer J. 1992. Life and the rock cycle. *Nature*. 359. 587–588.
- Вернадский В. 1965. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука. 374 с.
- Высоцкий Б. П. 1977. Проблемы истории и методологии геологических наук. М.: Недра. 137–191.
- Гордеев Д. И. 1972. История геологических наук. Ч. 1–2. Москва: Московский университет. ч. 1, 312 с.; ч. 2, 320с.
- Грубенман У., Ниггли П. 1933. Метаморфизм горных пород. Геолразведиздат. 235 p.
- Елисеев Н. А. 1959. Метаморфизм. Ленинградский университет. 414 с.
- История геологии. 1973. Отв. редактор И. В. Батюшкова. Москва: Наука. 385 с.

Лукашевич И. Д. 1908. *Элементарные начала научной философии*. Т. III. Неорганическая жизнь Земли. ч. I. Физико-механические процессы земного шара. 235 с.  
Лукашевич И. Д. 1909. *Элементарные начала научной философии*. Т. III. Неорганическая жизнь Земли. ч. II. Жизнь горных пород. 429 с.

Лукашевич И. Д. 1911. *Элементарные начала научной философии*. Т. III. Неорганическая жизнь Земли. ч. III. Строение земли в связи с её историей. 629 с.  
Романова М. 1986. О роли давления в процессах метаморфизма (Эволюция представлений в 19 в. – начале 20 в.). Развитие идей и методов в геологии. Москва: Наука. 49–59.

Саранчина Г. М., Шинкарев Н. Ф. 1973. Петрология магматических и метаморфических пород. Ленинград: Недра. 233–294.

Gailė Žalūdienė, Gediminas Motūza

#### THE METAMORPHIC FACIES AND THE ROCK CYCLE BY J. LUKOŠEVIČIUS

##### Summary

Studies of metamorphism as a separate discipline of petrography were started in the early 20th century by Ch. Van Hise (1904), U. Grubenman (1904, 1933) and J. Lukoševičius' – (1909). The authors analyse the conception of metamorphism proposed by J. Lukoševičius and also his subdivision of the lithosphere into separate metamorphic zones (facies). J. Lukoševičius distinguished four metamorphic geozones and seven stages based on the distribution of rocks in the Earth crust as well as on temperature and pressure. The most important and basic minerals comprising a metamorphic facies were defined. J. Lukoševičius proposed the idea of the circulation of rocks during the evolution of our planet: the structure and mineral composition of rocks changed depending on the burial depth, pressure and temperature the rocks had been affected by, with attempts to preserve the initial composition under the new physical-chemical conditions.

This theory of geologic cycles, established already by J. Hutton (1787), has not lost its actuality nowadays. Within centuries there is a global circulation of the substance: magmatic rocks → sedimentary rocks → metamorphic rocks → melting and new formation of magma. J. Lukoševičius was the first to allocate the zone as ultram metamorphic, naming it the "batial zone", also described the melting of metamorphic rocks (palingenesis and anatexis) in this zone, the genesis of shales, processes of granite formation. The theory of metamorphic facies advanced

by J. Lukoševičius provided the foundation for the subsequent development of petrographic science in this direction. J. Lukoševičius formulated his conclusions independently of the ideas of U. Grubenman, Ch. Van Hise, P. Niggli, and they seem much more comprehensive and informative.

Гайле Жалудене, Гедиминас Мотуза

#### КРУГОВОРОТ ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ (ФАЦИИ) И. Д. ЛУКАШЕВИЧУСА

##### Резюме

Учение о метаморфизме как отдельная отрасль петрографии сформировалось в начале XX века благодаря работам Ч. Ван-Хайза (1904), П. Грубенмана (1904, 1933) и И. Д. Лукашевичуса (1909). В статье анализируются представленная И. Ю. Лукашевичусом концепция метаморфизма, а также предложенное им деление недр на метаморфические зоны (фации). И. Д. Лукашевичус выделил 4 метаморфические геозоны и 7 ярусов в соответствии с положением пород в земной коре, в зависимости от температуры и давления.

Для каждой метаморфической фации он выделил критические или важнейшие минералы. И. Д. Лукашевичус высказал предположение о круговороте горных пород в жизни нашей планеты: каждая горная порода, попав на определенную глубину, при определенных температуре и давлении, изменяет свою структуру и минеральный состав, чтобы сохраниться в новых физико-химических условиях.

Теория геологических циклов, обоснованная еще Дж. Геттоном (1787), актуальна и в современной науке. В течение веков происходит глобальный круговорот вещества: магматическая порода → осадочная порода → метаморфическая порода → переплавление → новое образование магмы.

И. Д. Лукашевичус первым выделил зону ультраметаморфизма и назвал ее „батической“ геозоной, описал происходящее в ней переплавление пород (палингенез и анатексис), а также образование сланцев, процессы гранитизации. Выделенные им метаморфические зоны (фации) послужили основой для дальнейшего развития петрографической науки в этом направлении. Эти выводы И. Д. Лукашевичусом сделаны независимо от П. Грубенмана, Ч. Ван-Хайза, Р. Нигли и носили намного более исчерпывающий и информативный характер, чем выводы последних.