
Smaragdø ir chromo akvamarinø spalvos bei sudëties priklausomybë nuo susidarymo sàlygø

**Arûnas Kleiðmantas,
Graþina Skridlaitë**

Kleiðmantas A., Skridlaitë G. Emerald and chromaquamarine colour and chemistry dependence on their origin. *Geologija*. Vilnius. 2004. No. 48. P. 15–21. ISSN 1392-110X.

Thirty-one emeralds and newly-recognized chromaquamarines (A. Kleiðmantas 1998, 2001, 2003) from Brazil (*Santa Terezinha*), Zambia (*Kafubu*), Zimbabwe (*Sandawana*), Colombia (*Cosquez*) and Australia (*Poona*) deposits have been studied by means of X-ray micro-analyzer in order to obtain the chemical composition of chromophors, e.g., chemical elements which emerald colour depends upon. A study of the relationship of colour tones and intensity with chemical composition revealed some regularity, and the studied samples were grouped into four groups. An attempt to account for the origin of the deposits led to the recognition of chromium-richest emeralds (Zimbabwe) to be related to the oldest, Cr-rich rocks reworked by metamorphism. The most precious, Cr-poor, V-rich Colombian emeralds are related to sedimentary black shales reworked during a tectonic event in the Cretaceous. The similarly looking emeralds from Zambia and Australia originated from similar Precambrian basic rocks penetrated by fluids of granitic origin. Such conditions appeared to be favorable for the formation of chromaquamarine. A slightly different tone of Brazil emeralds might be explained by specific conditions and their origin during tectonic events. The revealed regularity may be useful in the exploration of emerald and beryl deposits.

Key words: emerald, chromaquamarine, geochemistry, emerald deposits, colour

Received 10 September 2004, accepted 12 October 2004

Arûnas Kleiðmantas. Department of Geology and Mineralogy, Vilnius University, M. K. Èiurlionio 21, LT-03223 Vilnius, Lithuania. E-mail: kleismantas@msn.com
Graþina Skridlaitë. Institute of Geology and Geography, T. Devèenkos 13, LT-03223 Vilnius, Lithuania, and Department of Geology and Mineralogy, Vilnius University, M. K. Èiurlionio 21, LT-03223, Vilnius, Lithuania. E-mail: skridlait@geo.lt

ÁVADAS

Berilas – spindintis, kietas ir spalvingas mineralas – þavi ir domina geologus bei mineralogus. Skirtingø spalvø berilai iðskirti á atskiras atmainas, taèiau daþnai iðkyla klausimas, kuriai atmainai priskirti tos paèios spalvos, bet skirtingø atspalviø berilus. Spalvà ir atspalvà lemia skirtingi chromoforai, procentinis jø kiekis bei iðsidëstymas kristalo gardelëje, ir visa tai priklauso nuo susidarymo sàlygø ir talpinanëios uolienos. Vadovaujantis vien atspalviais mineralai daþnai priskiriami ne tai atmainai, tuo tarpu jø vertës gerokai skiriasi. Tuomet maþiau vertingi pavyz-

dþiai ákainojami brangiai arba atvirkðëiai. Iðsiaiðkinus chromoforø procentinë sudëtá, tiksliau nustatoma berilo atmaina.

Apie tai ir kalbama ðiame straipsnyje, nes nustatëius cheminæ sudëtá buvo iðskirta nauja berilo atmaina – chromo akvamarinas (Kleiðmantas, 1998; 2001; 2003). Tyrinëjant berilo atmainø ið skirtingø telkiniø cheminæ sudëtá, keliuose melsvuose pavyzdþiuose nustatytas santykinai didelis chromo kiekis, nebûdingas akvamarinams; pastarieji yra ið Zambijos smaragdø telkinio. Nors Zambijos telkiniø smaragdams bûdingas lengvas melsvas atspalvis, taèiau vyraujanëios mëlynos spalvos berilus verslininkai pri-

skiria prie akvamarinø ar þalio berilo. Iðtyrus jø chemiñ sudėtã paaikðejo, kad ðie melsvos spalvos berilai nepriklauso nei akvamarinams, nei þaliems berilams, nes juose yra santykinai daug chromo. Be to, jie turėtø bũti gerokai vertingesni uþ akvamarinus ar þaliuosius berilus, nuspalvintus geleþies chromoforø. Perþiurėjus tiriamus radinius ið kitø kasyklø nustatyta, kad melsvø pavyzdþiø yra ir kituose panaðaus tipo (pvz., Australijos) smaragdø telkiniuose. Berilø procentinës cheminës sudeties tyrimai atskleidė skirtingø telkiniø mineralø tarpusavio panaðumus, ir tai susijã su panaðiomis susidarymo sãlygomis.

Šio straipsnio tikslas – iðskirti ir apibũdinti skirtinguose smaragdø telkiniuose esamas berilo atmainas, nustatyti jø cheminiø elementø priklausomybã nuo susidarymo sãlygø, taip pat pateikti berilo atmainø procentinã chromoforø sudėtã bei jos poveikã spalvai. Pasinaudojus toliau apraþyta priklausomybe, bus galima prognozuoti naujai atrastø berilo telkiniø kokybã.

BERILO STRUKTŪRA IR ATMAINOS

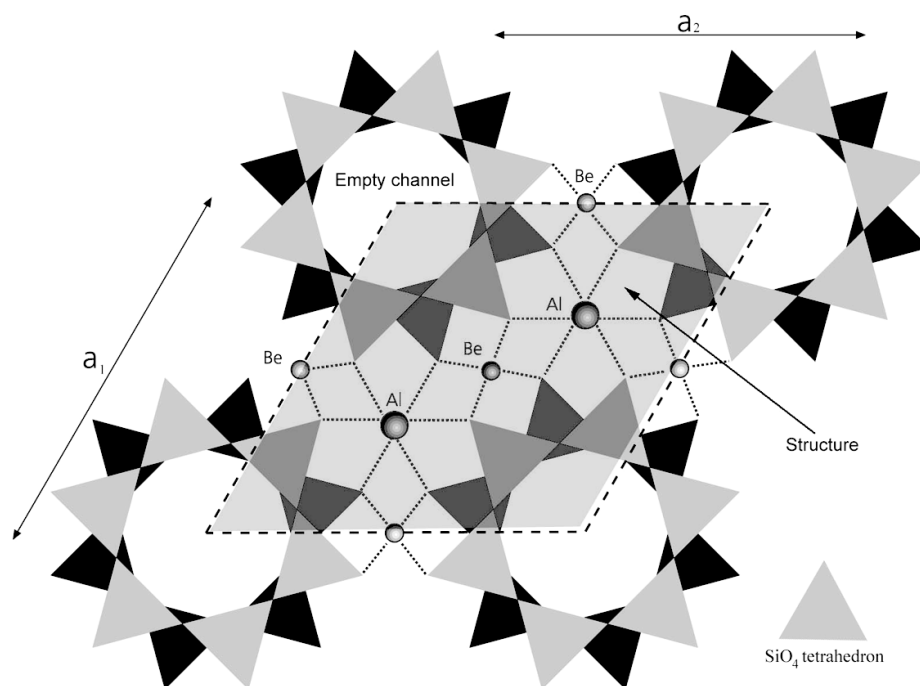
Berilas (grynas $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) yra þiedinis silikatas su heksagonine struktūra, kurioje iðsidẽstã Al jonai oktaedro koordinacijoje su ðeðiais deguonies ir Si bei Be jonai tetraedro koordinacijoje su keturiais deguonies atomais (1 pav.). Be to, struktũroje yra heksagoniniai þiedai, iðilgai c aðies truputã pasukti vienas kito atþvilgiu ir sudaryti ið ðeðiø silicio oksido (SiO_4)⁴⁻ tetraedrø, sudaranèiø tuðeìa kanalã. Natũralaus berilo sudetyje yra daug ðarminiø metalø, tarpiniø metalø jonø ir kt. priemaiðø ir beveik visuomet nedidelis kiekis vandens (Wood and Nassau 1968; Aurisichio et al 1988; Karanth 2000). Jonø priemaiðos gali bũti iðsidẽsèiusios dviejose vietose: oktaedro ir tetraedro koordinacijose, vadina mojoje struktũrinèje vietoje, arba tuðeiuose heksagoniniuose þieduose, kitaip tariant, kanalo vietoje (Karanth, 2000).

Berilo spalva priklauso nuo Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn bei NO_3^- , CO_3^- radikalø. Chromas ir vanadis nulemia smaragdo þaliã spalvã, kitø berilo atmainø spalva priklauso

nuo geleþies ir magnio priemaiðø. Dalis mineralogø berilus, be Cr^{3+} ir turinèius tik V^{3+} , priskiria vanadþio berilo atmainai. Geltona spalva (auksinis berilas, heliodoras) priklauso nuo didesnës nei 1% Fe^{3+} koncentracijos (Karanth, 2000). Daþniausiai geleþies natũraliuose beriluose yra maþiau kaip 1%, bet kai kurie sodriai melynai pavyzdþiai gali jos turėti per 3% (Viana et al., 2002). Berilo melynã ir þalsvã spalvas santykinai nulemia Fe^{3+} , esanèios oktaedro vietoje, ir Fe^{2+} , esanèios kanale, proporcijos. Taigi sodriai melynai pavyzdþiai turi maþai Fe^{3+} , tuo tarpu þalsvi pavyzdþiai – daugiau Fe^{3+} ar maþiau Fe^{2+} kanale (Viana et al., 2002). Manganas morganitui ir biksbitui suteikia rausvã ir roþinã spalvã. Berilai su maþa geleþies koncentracija yra daugiau ar maþiau bespalviai. Goðenitas – bespalvis, yra kelios berilo atmainos. Bespalvis goðenitas su natrio ir lièio priemaiða yra vadinamas rosteritu, o rausvas morginitas, turintis lièio ir cezio priemaiðø, yra þinomas kaip vorobjevitas. Melsvos spalvos berilas, kurio sudetyje yra chromo, vadinamas chromo akvamarinu (A. Kleiðmantas 1998; 2001; 2003). Ðiame berile chromo yra maþiau nei geleþies.

BERILØ CHEMINIØ TYRIMØ METODIKA

Tirtas trisdeðimt vienas berilo mineralas: smaragdai ið Zimbabvės (*Sandawana*), Brazilijos (*Santa Teresinha*), Zambijos (*Kafubu*), Kolumbijos (*Cosquez*), Australijos (*Poona*) ir chromo akvamarinai ið Zambijos (*Kafubu*) bei Australijos (*Poona*) radimvieèiø.



1 pav. Berilo kristalo gardelės struktūra. Pjũvis statmenai ilgajai (c) ašiai
Fig. 1. Structure of beryl cell. Section perpendicular to long (c) axis

Lentelė. **Berilø spalvą lemianėiø cheminiø elementø procentinė sudėtis**
 Table. **Composition of chemical elements determining the colour of beryls**

Radimvietė	Telkiny	Atmaina	CrO (%)	VO (%)	MnO (%)	FeO (%)	CrO+VO (%)
Zimbabvė	Sandawana	smaragdas	0,709	0,025	0	0,366	0,734
Zimbabvė	Sandawana	smaragdas	0,677	0,014	0,010	0,220	0,691
Zimbabvė	Sandawana	smaragdas	0,553	0,036	0	0,607	0,589
Zimbabvė	Sandawana	smaragdas	0,394	0,023	0,008	0,643	0,417
Zimbabvė	Sandawana	smaragdas	0,348	0,011	0,001	0,488	0,359
Zimbabvė	Sandawana	smaragdas	0,225	0,005	0,008	0,297	0,230
Brazilija	SantaTerezinha	smaragdas	0,286	0,002	0	0,192	0,288
Brazilija	SantaTerezinha	smaragdas	0,235	0,019	0	0,412	0,254
Brazilija	SantaTerezinha	smaragdas	0,231	0,030	0	1,184	0,261
Brazilija	SantaTerezinha	smaragdas	0,143	0,038	0,007	0,743	0,181
Brazilija	SantaTerezinha	smaragdas	0,134	0,008	0,002	0,135	0,142
Brazilija	SantaTerezinha	smaragdas	0,062	0,026	0	0,504	0,088
Zambija	Kafubu	smaragdas	0,183	0,024	0,009	0,756	0,207
Zambija	Kafubu	smaragdas	0,150	0,110	0	0,915	0,260
Zambija	Kafubu	smaragdas	0,100	0,011	0,011	0,540	0,111
Zambija	Kafubu	smaragdas	0,082	0,026	0	1,072	0,108
Zambija	Kafubu	smaragdas	0,059	0,001	0,008	0,448	0,060
Zambija	Kafubu	smaragdas	0,034	0,008	0,001	0,634	0,042
Australija	Poona	smaragdas	0,130	0,019	0,007	0,232	0,149
Australija	Poona	smaragdas	0,094	0,011	0	0,232	0,105
Kolumbija	Cosquez	smaragdas	0,053	0,279	0,001	0,108	0,332
Kolumbija	Cosquez	smaragdas	0,049	0,262	0,011	0,180	0,311
Kolumbija	Cosquez	smaragdas	0,034	0,266	0,001	0,188	0,300
Kolumbija	Cosquez	smaragdas	0,031	0,152	0,002	0,042	0,183
Kolumbija	Cosquez	smaragdas	0,026	0,270	0,001	0,096	0,296
Kolumbija	Cosquez	smaragdas	0,019	0,089	0,008	0,037	0,108
Zambija	Kafubu	chromo	0,146	0,012	0,005	0,903	0,158
Zambija	Kafubu	akvamarinas					
Zambija	Kafubu	chromo	0,134	0,001	0,002	1,110	0,135
Zambija	Kafubu	akvamarinas					
Zambija	Kafubu	chromo	0,081	0,018	0,001	0,926	0,099
Zambija	Kafubu	akvamarinas					
Zambija	Kafubu	chromo	0,027	0	0	0,475	0,027
Zambija	Kafubu	akvamarinas					
Australija	Poona	chromo	0,118	0,017	0,001	0,882	0,135
Australija	Poona	akvamarinas					

**CHROMOFORØ
KIEKYBINĖ
SUDĖTIS
BERILO
ATMAINOS IR
ÅVAIRIO
RADIMVIEČIO**

Smaragdai, chromo akvamarinai. Vertingiausias berilo atmainos – smaragdo – þalià spalvà lemia chromas bei vanadis. Tirtuose smaragduose Cr³⁺ ir V³⁺ atitinkamai nustatyta nuo 0,019 iki 0,709 ir nuo 0,002 iki 0,279% (1 lentelė, 2 pav., A). Daugiausiai Cr³⁺ rasta Zimbabvės (0,225–0,709%), mažiausiai – Kolumbijos (0,019–0,053%) smaragduose. Lyginant tarpusavyje cheminę sudėtá panaðūs Cr³⁺ kiekiai yra Zambijos, Australijos ir Brazilijos smaragduose. Vertingiausiuose Kolumbijos smaragduose Cr³⁺ yra nedaug, taèiau spalvà lemia gana didelis

Analizės rezultatai pateikti procentais. Tirti tik chromoforai Cr, V, Mn, Fe, lemiantys berilo spalvà (lentelė).

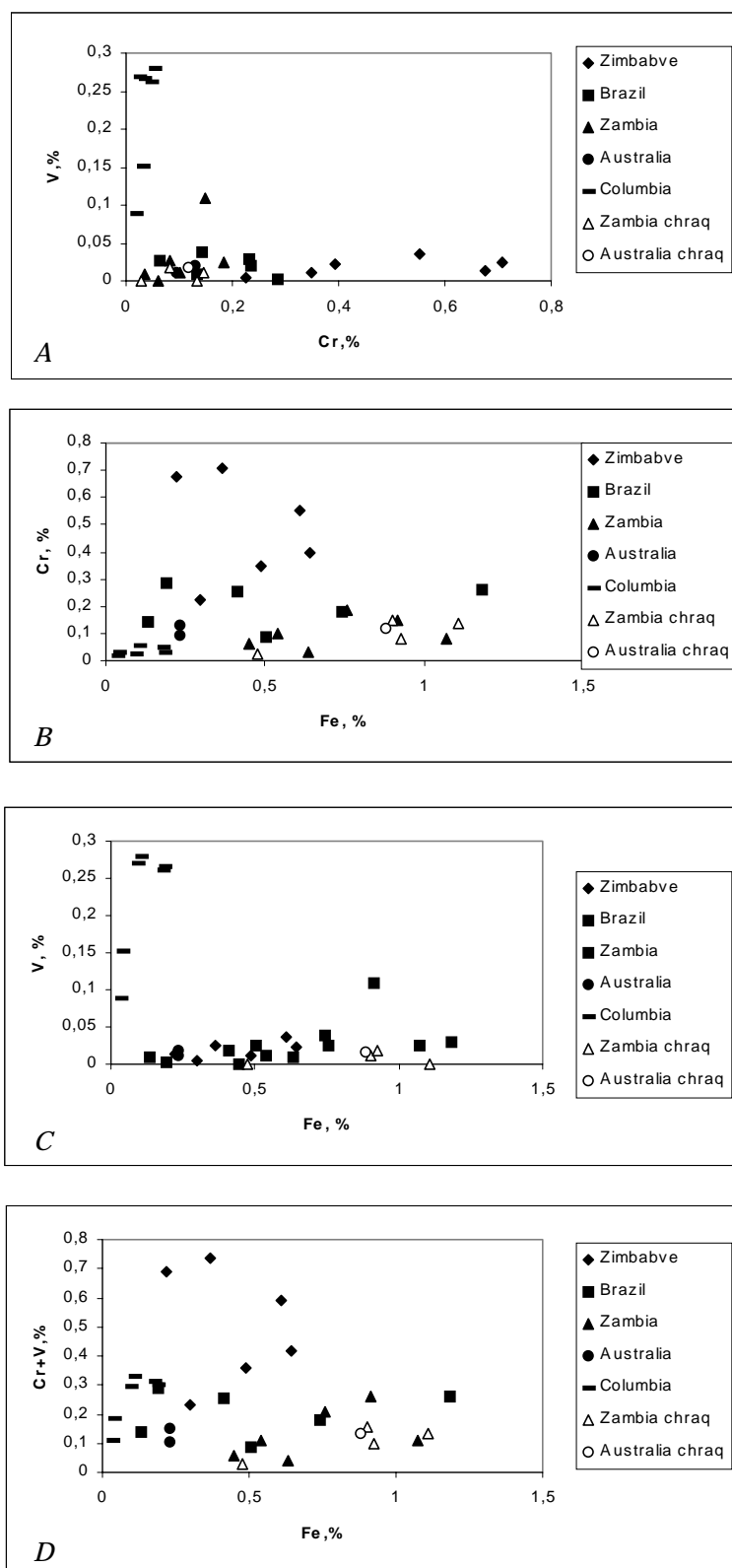
Cheminiø elementø tyrimai atlikti Chemijos institute Vilniuje. Berilo atmainø cheminiai elementai tirti rentgeno rastriniu mikroskopu JXA-50A (Japonija). Tiriant bandinius buvo pasirinkta 25 kV átampa ir 5–10 10⁻⁷ A srovė. Maþdaug 100 mikrometro diametro zondas buvo judinamas 0,5 cm atstumu. Tiriame bandiniø koncentracijos apskaičiuotos lyginant su etalonais V, Cr, Mn ir Fe (apie 100%).

Vėliau buvo ávestos absorbcijos, atominio numero ir fluorescencijos koeficientø pataisos (ZAF). Viename mēginyje atlikti 5–7 kiekvieno elemento matavimai. Vienam matavimui buvo skirta 10 sekundþiø.

Berilo atmainø susidarymo sąlygos interpretuotos Vilniaus universitete bei Geologijos ir geografinio instituto (Vilnius).

V³⁺ (0,089–0,279%) kiekis. Tirtuose Zimbabvės, Brazilijos, Zambijos ir Australijos smaragduose V³⁺ kiekis labai nedidelis – 0,002–0,038%, iðskyrus vienà pavyzdá ið Zambijos – 0,11% (1 lentelė, 2 pav., A).

Smaragduose ir melsvà spalvà turinčiuose chromo beriluose geleþis nustatyta nuo 0,037 iki 1,184% (1 lentelė, 2 pav., B, C, D). Geleþis smaragdø spalvai átakos gali ir neturėti, jei jos sąlyginai yra nedaug arba didesnis jos kiekis yra gardelės struktūrinėje vietoje. Tuðèiame kanale esanti Fe²⁺ suteikia melsvà spalvà (Viana et al., 2002). Ið tirtø pavyzdþiø melsvà atspalvà turintys smaragdai yra ið Zambijos, Australijos radimvieèiø, kuriø dalis dël vyraujanėios melsvos spalvos priskiriama ne smaragdams, o chromo akvamarinams (Kleiðmantas 1998; 2001; 2003). Ði melsvos spalvos atmaina buvo iðskirta ið akvamarinø, nustačius jø procentinę cheminę sudėtá Juose nustatytas smaragdams būdingas Cr³⁺ kiekis (0,027–0,146%). Melsvà



2 pav. Chromoforø pasiskirstymas smaragduose ir chromo akvamarinuose ið Zimbabvės, Zambijos, Kolumbijos, Brazilijos ir Australijos: *A* – vanadžio ir chromo, *B* – chromo ir geleþies, *C* – vanadžio ir geleþies, *D* – chromo, vanadžio ir geleþies

Fig. 2. Distribution of chromophors in emeralds and chromo aquamarines from Zimbabwe, Zambia, Colombia, Brazil and Australia: *A* – vanadium versus chromium, *B* – chromium versus iron, *C* – vanadium versus iron, *D* – chromium plus vanadium versus iron

spalvø mineralams suteikė didelis kiekis geleþies (0,475–1,11%), kuri turėtø būti iðsidėsėiusi tuðèiame kanale. Zambijos ir Australijos radimvieèiø mineraluose iðryðkėjas mėlynas atspalvis tampa net vyraujanèiu dėl maþo Cr^{3+} (0,027–0,183%) bei V^{3+} (0,001–0,11%) kiekio (1 lentelė, 2 pav., *A, B, C, D*). Tirtuose Zimbabvės ir Brazilijos smaragduose melsva spalva neiðryðkėja dėl didelio Cr^{3+} kiekio (0,225–0,709%), nors ir geleþies yra pakankamai daug (0,135–0,743%). Kolumbijos smaragduose dėl santykinai didelio V^{3+} kiekio vyrauja iðskirtinio atspalvio þalia spalva, tuo tarpu mėlynas atspalvis juose neiðryðkėja, nes per maþai geleþies.

Taigi vien tik didelis geleþies kiekis smaragduose negali uþgoþti þalios spalvos, jei juose yra santykinai daug Cr^{3+} ar V^{3+} .

Tiek chromo, tiek geleþies kiekiu Zambijos radimvietės smaragdø ir chromo akvamarinø procentinë cheminė sudėtis labai panaði. V^{3+} chromo akvamarinuose visai nėra arba yra ðiek tiek maþiau nei smaragduose. Spalvø daugiau nulemia Fe^{2+} vieta kristale. Chromo akvamarinuose didesnis Fe^{2+} kiekis turėtø būti iðsidėstas tuðèiame kanale, kuris ir lemia melsvø spalvø, o maþesnis – struktūrinėje vietoje. Smaragduose daugiau Fe^{2+} turėtø būti tetraedrø koordinacijos vietoje, kuri mėlynai spalvai átakos beveik neturi (Viana et al., 2002).

Vadinasi, ið smaragdø kasyklos iðkasti melsvos spalvos berilai nėra akvamarinai, jei juose yra chromo. Taèiau dėl spalvos ðie mineralai nepriskiriami ir smaragdams. Tai nauja atmaina – chromo akvamarinai, kuriø melsvø spalvø turėtø lemti didesnis Fe^{2+} kiekis tuðèiame kanale, o ne struktūrinėje tetraedrø koordinacijos vietoje, taip pat santykinai nedideli Cr^{3+} ir V^{3+} kiekiai. Ðiai atmainai būdingas pleochroizmas.

Australijos radimvietės chromo akvamarinai nuo smaragdø skiriasi dideliu geleþies kiekiu: smaragdai geleþies turi maþai (0,232%), o chromo akvamarinas – daug (0,882%) (1 lentelė, 2 pav., *B, C, D*). Australijos chromo akvamarinø procentinë cheminė sudėtis labai artima ðiai atmainai ið Zambijos telkinio (1 lentelė, 2 pav.).

Tirtuose smaragduose ir chromo akvamarinuose manganas neturi átakos spalvai, nes jo kiekis labai maþas arba visai jo nėra (0–0,011%).

DISKUSIJA

Nors tradiciškai smaragdai nustatomi pagal spalvą, daugelis specialistø mano, kad juos geriau apibūdinti pagal cheminę sudëtą. Dažniausiai naudojami abu kriterijai. Ðiame straipsnyje bandoma nustatyti bendrus spalvos priklausomybës nuo cheminës sudëties dësningumus ir juos susieti su mineralø geneze. Nors dažniausiai visi smaragdø telkiniai skirstomi á dvi pagrindines grupes: vienà, susijusią su bazinëmis ir ultrabazinëmis uolienomis, kurias perdirba granitinø intruzijø generuoti fluidai, o kità, susijusią su lūþine tektonika ir metasomatoze (Giuliani et., 1998), taëiau detalesnë geologinë analizë atskleidþia tø grupiø nevienalytiðkumà. Kai kuriuos spalvø niuansus ir juos lemianëius cheminius dësningumus galima geriau paaiðkinti iðtyrus kiekvieno telkinio ypatybes. Vëliau tai galima pritaikyti smaragdø paieðkai: tiksliai þinant geologinë aplinkà, tam tikro tipo telkiniuose galima tikëtis vieno ar kito tipo atspalvio smaragdø ir kitø berilo atmainø. Tuo labiau kad siūlomi cheminës sudëties tyrimai nėra brangūs. Taip pat buvo bandoma nustatyti chromo akvamarino, kaip atskiros berilo atmainos, artimos smaragdams, susidarymo sàlygas.

Galima diskutuoti keliais klausimais.

1. Ið tirtøjø smaragdø ryðkiausią sodrià þalià spalvą su tamsiu tonu turi Zimbabvës (*Sandawana*) smaragdai. Juose nustatyti didþiausi Cr (0,225–0,709 sv.%) kiekiai (lentelë, 2 pav.), taip pat santykinai daug Fe (lentelë, 2 pav.), taëiau ði spalvai átakos neturi.

Zimbabvës smaragdø telkinys susiformavo vëlyvojo Archëjaus orogenezës ir metamorfizmo metu (Taupitz, 2003) *Sandawanos* formacijos tremolitiniuose-aktinolitiniuose (tufitiniuose) skalūnuose tarp senøjø gneisø, granitø, pegmatitø ir ávairiø ultramafitø. Patys smaragdai randami þaliose aktinolitinëse (tremolitinëse) uolienose, kuriose, be aktinolito ir tremolitino, randama truputá biotito ir albito. Manoma, kad smaragdai susidarë progresyvaus ir retrogresyvaus metamorfizmo metu (Taupitz, 2003). Metamorfine kilme būtø galima paaiðkinti didelá chromo kieká ir jo lemiamà sodrià þalià spalvą. Kadangi smaragdai susidaro paëiose chromingose uolienose, o chromas ið uolienos niekur nemigruoja, todėl didelë chromo dalis pereina á smaragdus.

2. Vertingiausiuose sodraus atspalvio, nepaprastai skaidriuose Kolumbijos (*Cosquez*) smaragduose nustatyti patys maþiausi Cr kiekiai, taëiau daug V (1 lentelë, 2 pav.).

Smaragdø telkiniø yra juoduosiuose skalūnuose, persisluoksniuojanëiuose su dolomitinëmis klintimis ir moliais. Smaragdai susidarë kreidos laikotarpiu (Cheiletz et al., 1994) spaudimo sàlygomis, kada dėl kompresijos buvo lauþomi ir uþstumiami vienas ant kito uolienø blokai (Giuliani et al., 1999). Gyslos su smaragdais asocijuojasi su stratifikuotomis brekëijomis ir albititais, susidariusiais juodøjø (bituminizuotø) skalūnø Na metasomatozës metu. Cr ðiuose uolienose yra labai nedaug, todėl ir smaragduose jo ypaë maþai, o spalvą ir atspalvą nulemia V, kurio gausu skalūnuose.

3. Brazilijos (*Santa Terezinha*) berilo telkiniø smaragdams būdinga þalia spalva be melsvo atspalvio. Juose santykinai daug geleþies, taëiau galima teigti, kad didesnis Fe²⁺ kiekis uþima vietà kristalo gardelës struktūroje, kuri mëlvynei spalvai átakos beveik neturi. Todël *Santa Terezinhos* telkiniuose chromo akvamarinø nenustatyta.

Minëti smaragdai randami chloritiniuose ir biotitiniuose skalūnuose, karbonatinëse gyslose. Juose yra biotitiniø, karbonatiniø ir juodø pikotito (chromò-pinelës) intarpø (Henn, 1995). Smaragdai galëjo susidaryti prekambrinëse bazinëse uolienose dėl fluidø, susijusio su jaunesnëmis granitø intruzijomis, poveikio.

4. Atrodo, kad Zambijos (*Kafubu*) ir Australijos (*Poona*) telkiniams būdinga, kad berilo kristalizacijos metu gana didelis Fe²⁺, suteikianëios melsvą spalvą, kiekis uþima vietà kristalo gardelës tuðëiame kanale. Todël ðiuose telkiniuose yra chromo akvamarinø.

Zambijos (*Kafubu*) smaragdai randami kaip porfiroblastai biotitiniuose-flogopitiniuose *Kafubus* skalūnuose (Taupitz, 2003). Nustatyta, kad smaragdai ðiuose uolienose susidarë maþdaug prieš 500–450 mln. metø dėl granitiniø intruzijø fluidø poveikio (Milisenda ir kt., 1999).

Vakarø Australijoje (*Poona*) smaragdai formavosi Cr ir V praturtintuose ultramafiniuose þaliuose skalūnuose, á kuriuos ásisukverbia Be turtingi pegmatitai. Patys smaragdai randami biotitiniuose ir pakeistuose hornblenditiniuose skalūnuose (Henn, 1995).

Manytume, kad Zambijos (*Kafubu*) ir Australijos (*Poona*) berilo telkiniø susidarymo sàlygos yra panašios.

Nors Fe, Cr³⁺ bei V³⁺ kiekiai *Kafubu*, *Poona* ir *Santa Terezinhos* telkiniuose yra panaðūs, taëiau galima teigti, kad paskutiniame telkinyje didþioji Fe²⁺ dalis uþima skirtingà vietà kristalo struktūroje, todėl neturi átakos melsvai spalvai. Tad *Santa Terezinhos* telkiniuose chromo akvamarinø nenustatyta.

IÐVADOS

Tirtuose Kolumbijos (*Cosquez*), Brazilijos (*Santa Terezinha*), Zambijos (*Kafubu*), Zimbabvës (*Sandawana*) ir Australijos (*Poona*) smaragduose skiriasi kai kuriø telkiniø smaragdø ir chromo akvamarinø cheminë sudëtis, atspalviai ir susidarymo sàlygos.

Daugiausiai chromo, nulemianëio smaragdo þalià spalvą, rasta Zimbabvës, o maþiausiai – Kolumbijos smaragduose. Didþiausias V, kuris taip pat suteikia þalià spalvą, kiekis nustatytas Kolumbijos smaragduose.

Vienuose telkiniuose, pvz., Zimbabvës, Brazilijos ir Kolumbijos, didelë átakà smaragdø sudëëiai turi talpinanëio uolienø cheminë sudëtis ir jas paveikà vëlesni geologiniai procesai.

Kituose telkiniuose, pvz., Zambijos ir Australijos, smaragdø sudëtis labiau priklauso nuo fluidø sudëties ir iðneðamø bei prineðamø cheminiø elementø kiekio.

Nustatyta, kad smaragduose su dideliu Fe, taèiau santykinai maþu Cr kiekiu gali iðryðkėti melsvas atspalvis. Ið tirtøjø pavyzdþiø melsvą atspalvą turintys smaragdai yra ið Zambijos, Australijos radimvieèiø, kuriø dalis dël vyraujanèios melsvos spalvos smaragdams nepriskiriami. Ið smaragdø kasyklos iðkasti melsvos spalvos berilai, jei juose yra chromo, nèra akvamarinai. Tai – chromo akvamarinai.

Santykiškai didelis geleþies kiekis smaragduose negali uþgoþti þalios spalvos, jei juose yra daug Cr ar V. Dël ðios prieþasties Zimbabvės ir Brazilijos smaragduose melsva spalva neiðryðkėja.

Galima teigti, kad maþesnis nei 0,1% geleþies kiekis spalvai átakos neturi.

Padėka. Dėkojame dr. V. Kadūnui ir dr. V. Katinui uþ patarimus rengiant ðá straipsná

Literatūra

- Auriscchio C., Fioravanti G., Grubessi O., Zanazzi P. F. 1988. Reappraisal of the crystal chemistry of beryl. *American Mineralogist*. **73**. 826–837.
- Giuliani G., France-Lanord C., Coget P., Schwarz D., Cheiletz A., Branquet Y., Giard D., Martin-Izard A., Alexandrov P., Piat D. H. 1998. Oxygen Isotope systematics of emerald: relevance for its origin and geological significance. *Mineralium Deposita*. **33**. 513–519.
- Giuliani G., Bourles D., Massot J., Siame L. 1999. Colombian Emerald Reserves Inferred from Leached Beryllium of their Host Black Shale. *Exploration and Mining Geology*. **8**(1–2). 109–116.
- Henn U. 1995. Edelsteinkundliches Praktikum. *Gemmologie*. **44**(4). 4–107.
- Karant R. V. 2000. Gems and gem industry in India. Bangalore: Geological Society of India.
- Kleiðmantas A. 1998. Berilø grupės mineralø gemologiniai tyrimai. *Geologijos akiraèiai*. **3**. 14–27.
- Kleiðmantas A. 2001. Berilo grupės mineralø cheminė sudėtis, spalva ir temperatūros poveikis jiems. *Mokslas gamtos mokslø fakultete*. 149–162.
- Kleiðmantas A. 2003. Effects of chemical composition and temperature on the formation of beryl varieties. *Geologija*. **41**. 3–13.
- Milisenda C. C., Malango V. and Taupitz K. C. 1999. Edelsteine aus Sambia-Teil 1: Smaragd. *Gemmologie*. **48**(1). 9–28.
- Taupitz K. C. (2003). Geochemie and Petrologie von Smaragdorkommen-Erfahrungen aus dem Smaragdbergbau in Sambia and Simbabwe – Teil I: Kafubu, Sambia. *Gemmologie*. **52**(2–3). 97–114.
- Viana R. R., da Costa G. M., De Grave E., Jord-Evangelista H., Stern W. B. 2002. Characterization of beryl (aquamarine variety) by Mössbauer spectroscopy. *Physics and Chemistry of Minerals*. **29**. 78–86.
- Wood D.L., Nassau K. 1968. The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. *American Mineralogist*. **53**. 777–806.

Arūnas Kleiðmantas, Graþina Skridlaitė

EMERALD AND CHROMAQUAMARINE COLOUR AND CHEMISTRY DEPENDENCE ON THEIR ORIGIN

Summary

Beryl colour and hue depend on the content of different chromophors and their position in the crystal lattice. These in turn depend on the mineral origin and composition of host rocks. By chemical composition, the variety of a beryl mineral is best defined. After a careful analysis of chemical composition, a new variety of beryl, chromaquamarine, in previous articles called “chromium aquamarine” (A. Kleiðmantas 1998, 2001, 2003), was distinguished.

For the chemical study, 31 samples from different emerald and chromaquamarine deposits were used. The content of colour-defining chromophors was measured with a JXA–50A X-ray raster microprobe. The study was supplemented by an analysis of mineral origin and deposit geology.

In the studied Colombian (*Cosquez*), Brazilian (*Santa Terezinha*), Zambian (*Kafubu*), Zimbabwean (*Sandawana*), Australian (*Poona*) emeralds and Zambian (*Kafubu*), Australian (*Poona*) chromaquamarines, the similarity and difference of chemical composition, colour, tones, origin and geological conditions were outlined.

The throughout Cr, which is essential for green colour, is highest in Zimbabwean (*Sandawana*) emeralds (0.225–0.709%), while the lowest, only 0.019–0.053%, is characteristic of the Colombian (*Cosquez*) ones. The latter show the highest content of V, also responsible for the green colour.

The intense, dark green colour is characteristic of the Zimbabwe emeralds. Such colour might have resulted from a high Cr content in emeralds coming from Cr-rich basic and ultrabasic host rocks. The latter were affected by progressive and retrogressive metamorphism during which Cr remained in the rock. Thus, the resulting emeralds are also Cr-rich.

The most precious Colombian emeralds feature the lowest Cr and the highest V content. Emerald-rich veins associate with stratified breccias and albitites, which originated from black bituminous shales during their Nametasomatism. The host rocks are Cr-depleted, that is why its content is so low in emeralds. The colour and its hue is defined by the high V content. Sedimentary rocks are usually rich in vanadium.

The bluish hue may appear in emeralds with a high Fe but apparently low Cr content. Iron does not affect emerald colour in cases when its amount is low or its greater part is in the structural place of the crystal lattice. Fe²⁺ in an empty channel causes the bluish colour. The bluish hue is characteristic of the studied Zambian and Australian emeralds. Some of them because of their intense bluish colour are not considered to be emeralds. Nevertheless, they are Cr-rich and cannot be called ‘aqu-

amarines'. Therefore the bluish, Cr-rich beryl was distinguished as a new variety named 'chromaquamarine'.

Although Fe, Cr and V contents are similar in the *Kafubu*, *Poona* and *Santa Terezinha* deposits, it is possible that the largest part of Fe^{2+} occupies a different position in the crystal lattice of the latter and therefore does not give the bluish colour. As a consequence, chromaquamarines were not found in the *Santa Terezinha* deposit. The reasonable explanation for the latter fact may be that the *Zambian (Kafubu)* and *Australian (Poona)* emeralds resulted from rather similar conditions, whereas the *Brazilian Santa Terezinha* emeralds were formed differently. Both the *Zambian* and *Australian* emeralds were formed in Cr- and V-rich ultramafic and mafic greenstones, penetrated by Be-rich granitic fluids, however, the *Santa Terezinha* deposit is related to a tectonic fracture zone and metasomatism.

The bluish colour is absent in the *Zimbabwean* and *Brazilian* emeralds because of the high chromium (0.225–0.709%), even though iron is also abundant (0.135–0.743%). The conclusion can be drawn that high iron alone cannot diminish the green colour and cause the bluish colour in the case of apparently high chromium and vanadium contents.

Арунас Клейшмантас, Гражина Скридлайте

ЗАВИСИМОСТЬ ЦВЕТА И СОСТАВА ИЗУМРУДОВ И ХРОМАКВАМАРИНОВ ОТ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ

Резюме

Цвет и оттенок бериллов обуславливают процентное содержание хромофоров и их разное распределение в кристаллической решетке. Это зависит от условий образования и состава материнской вмещающей горной породы. По химическому составу хромофоров более точно определяется разновидность берилла. На основе детального анализа химического состава определена новая разновидность берилла – хромакварин, который в ранних публикациях называется хромовым аквамарином (Kleišmantas, 1998, 2001, 2003).

В статье приведены результаты исследования 31 изумруда и хромакварина из разных месторождений, в которых определено процентное содержание хромофоров, влияющих на цвет минерала. Химические элементы определялись рентгено-растровым микроскопом JXA–50A. Также проведен анализ условий их образования.

В исследованных колумбийских (*Cosquez*), бразильских (*Santa Terezinha*), замбийских (*Kafubu*), зимбабвийских (*Sandawana*), австралийских (*Poona*) изумрудах и замбийских (*Kafubu*), австралийских (*Poona*) хромакваринах определены схожесть и различия по химическому составу, оттенкам и условиям образования.

Большее количество Cr установлено в зимбабвийских (*Sandawana*) (0,225–0,709%) изумрудах. В данном случае Cr определяет зеленый цвет. Менее

всего Cr обнаружено в колумбийских (*Cosquez*) (0,019–0,053%) изумрудах. Наибольшее содержание V (придает зеленый цвет) определено в колумбийских изумрудах.

Из всех исследованных минералов зимбабвийские изумруды выделяются зеленым цветом темных тонов. Последние образовались в процессе прогрессивного и регрессивного метаморфизма хромосодержащих основных горных пород. Большое количество хрома из горной породы перешло в состав изумрудов в результате метаморфизма. Таким образом образовались изумруды с высоким содержанием хрома и яркой зеленой окраской.

В наиболее ценных колумбийских изумрудах определены наименьшее содержание Cr, но наибольшее V. Жилы с изумрудами ассоциируют со стратифицированными брекчиями и альбититами, которые образовались во время Наметасоматоза черных (битуминированных) сланцев. Содержание Cr в этих горных породах невелико, поэтому и в изумрудах его содержание особенно низкое, а цвет и оттенок определяются V, содержание которого в осадочных горных породах относительно велико.

Установлено, что в изумрудах, в которых содержание Fe высокое, но сравнительно мало Cr, может проявляться синеватый оттенок. Fe может и не оказывать влияния на цвет изумрудов, если его содержание невелико или часть атомов Fe находится в структуре кристаллической решетки. Fe^{2+} , который расположен в пустом канале решетки, придает минералам голубой цвет. Из исследованных образцов синеватый оттенок имеют изумруды из месторождений Замбии и Австралии, часть из которых из-за доминирующего голубого цвета к изумрудам не причисляются, а отнесены к новой разновидности – хромакварину. Из этого следует, что полученные из приисков изумрудов бериллы голубого цвета не являются аквамаринами, если в них содержится Cr. Это – хромакварин.

Хотя по содержанию Fe, Cr и V изумруды из приисков *Kafubu*, *Poona* и *Santa Terezinha* схожи, изумруды из последнего прииска от первых двух отличаются по расположению Fe^{2+} в кристаллической решетке, не оказывающему влияния на голубой цвет. Поэтому в прииске *Santa Terezinha* хромакварин не найдено. Для изумрудов замбийских (*Kafubu*) и австралийских (*Poona*) приисков характерны схожие условия образования, а условия образования бразильских (*Santa Terezinha*) изумрудов иные. Замбийские и австралийские изумруды образовались в обогащенном Cr и V ультрамафовой и мафовой зеленом сланце, в который проникали Be-содержащие флюиды гранитного происхождения. Прииск *Santa Terezinha* приурочен к системам тектонических разрывов и метасоматозу.

В зимбабвийских и бразильских изумрудах голубой цвет не проявляется из-за высокого содержания Cr (0,225–0,709%), хотя доля железа достаточно высока (0,135–0,743%). Следует вывод, что только высокое содержание железа не может заглушить зеленый цвет изумрудов, если в них достаточно высокое содержание Cr или V.