

Charakterystyka mineralogiczno-geochemiczna eudialitu z masywu Chibiny (Płw. Kolski, Rosja)

Lucyna Natkaniec-Nowak*, Helena Pitera*

W pracy przedstawiono charakterystykę mineralogiczno-geochemiczną eudialitu z Chibiny (Płw. Kolski) na tle innych światowych wystąpień tego minerału. Duże koncentracje eudialitu, spotykane najczęściej w ziarnistych skupieniach w lujawrytach, mogą być wykorzystane jako potencjalne źródło surowców radioaktywnych. Tezę tę potwierdziły wykonane badania fazowe. Na podstawie analiz chemicznych eudialitu stwierdza się, że minerał ten zawiera podwyższone koncentracje tlenków ZrO_2 , Na_2O , CaO i MnO . Stwierdzono ponadto nieznaczne zmiany parametrów komórki elementarnej badanego eudialitu. Widmo absorpcyjne oraz obszerna jego interpretacja stanowi niewątpliwą przyczynę do poznania natury tego minerału.

Słowa kluczowe: eudialit, Chibiny, Półwysep Kolski, Rosja

Lucyna Natkaniec-Nowak & Helena Pitera — **The mineralogical and geochemical characteristic of eudialyte from Khibiny Massif (Kola Peninsula, Russia).** Prz. Geol., 48: 1169–1173.

S u m m a r y. The paper presents the mineralogical and geochemical characteristic of eudialyte from Khibiny Massif (Kola Peninsula) with references to other occurrences of this mineral in the world. The large concentrations of eudialyte usually found in granular form of lujawrite can be considered as potential sources of radioactive materials. This has been confirmed by the phase researches. The chemical analysis proved the presence of increased amounts of ZrO_2 , Na_2O , CaO and MnO . Slight changes in basic cell parameters of tested eudialyte have been found additionally. The absorption spectrum of eudialyte shown in the paper and its interpretation should give better approach to our knowledge of the nature of this mineral.

Key words: eudialyte, Khibiny, Kola Peninsula, Russia

W europejskiej części Rosji na Półwyspie Kolskim (NE część Fennoskandii) występuje staropaleozoiczny masyw górski Chibiny, znany w świecie jako gigantyczne źródło fosforu. Specyfikę występujących tam syenitów nefelinowych i stowarzyszonych z nimi bardzo wielu unikatowych minerałów omówiono we wcześniejszych pracach (Natkaniec-Nowak & Pitera, 1998, 1999). Prowadzone w latach 1980–1990 badania geologiczno-górnictwa nie tylko potwierdziły wcześniejsze dane o unikatowych zasobach i rozmiarach złóż apatytów na tym terenie, ale nawet zwielokrotniły ich ilość o dodatkowe, niebrane dotąd pod uwagę nagromadzenia tej kopaliny zalegające na dużych głębokościach. Zasoby skał fosforononnych ocenia się obecnie na ok. 3,5 mld t (Dudkin, 1993).

Specyfika masywu Chibiny i sąsiadującego z nim masywu Łowoziera polega na tym, że obok złożowych nagromadzeń skał apatytowo-nefelinowych i obecności wielu unikatowych odmian skał, występuje tu wyjątkowe bogactwo minerałów oraz urozmaicona mineralizacja pierwiastków ziem rzadkich, głównie grupy itrowej i cerowej. Szczególne miejsce na liście opisanych tu minerałów zajmuje eudialit. Słynny mineralog rosyjski A.E. Fersman (1883–1945), który przemierzył rozległe rejony tundr chibińskich, i któremu przypisuje się odkrycie na tym terenie wielu cennych surowców mineralnych, przytacza w swoich dziennikach stare podania lapońskie, gdzie jest mowa o pięknych czerwonych kamieniach (w domyśle eudialitach) symbolizujących zastygłą krew ludu Saami przelaną w obronie swojej narodowej tożsamości.

Zwiększone koncentracje eudialitu mogą tworzyć nagromadzenia złożowe, stanowiąc tym samym potencjalne źródło cennych surowców radioaktywnych. Występują

one przeważnie w różnorodnych porfirowatych lujawrytach zawierających ciała poikilitowych sodalitowych syenitów i foiaitów oraz urtytów, aż do eudialitytów włącznie. Cienkolaminowane eudialitowe lujawryty zostały zaliczone przez Bussena i Sacharowa do tzw. kakortokitów (Balaszow & Turanskaja, 1961). Skały te zostały również opisane w „bliźniaczym” do kolskiego masywie Ilimaussaq na Grenlandii (Dragsted, 1971).

Historia odkrycia eudialitu

Historia odkrycia eudialitu jest ciekawa i z pewnością warta przytoczenia już na wstępie omawiania tego wyjątkowego minerału (Dragsted, 1971). Pierwszą wzmiankę na jego temat podał Karl Ludwig Giesecke, który na zlecenie rządu duńskiego w latach 1806–1813 prowadził w górach południowej Grenlandii badania geologiczno-poszukiwawcze za złożami surowców mineralnych. W pobliżu fiordu Kangerdluarssuk (dystrykt Julianehab) wspomniany badacz napotkał różne odmiany intruzywnych skał alkalicznych, wśród których wyraźnie odróżniała się szarozielonkawa, miejscami prawie czarna skała z drobnymi czerwonymi kryształkami, które początkowo uznał za granaty. Przywieziony do Kopenhagi fragment tej skały trafił do rąk F. Stromeyera, którego nie tylko zainteresował skład mineralny, ale także nadzwyczajne efekty dekoracyjne, jakie ujawniały się po jej wypolerowaniu. To właśnie Stromeyerowi w 1819 r. udało się jako pierwszemu poznać strukturę eudialitu, a także złożony chemizm tego krzemianu. Równocześnie, obok rozpoznania geologiczno-złożowego masywu Ilimaussaq, prace Giesecke’a i innych doprowadziły do odkrycia nowych minerałów m.in. przez Thomsona w 1811 r. sodalitu, a przez Brooke’a w 1823 r. arfvedsonitu ([In:] Dragsted, 1971).

*Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków



Ryc. 1. Pojedyncze drobne osobniki eudialitu w otoczeniu spertytyzowanych skaleni oraz kryształów egiryneu. Nikole skrzyżowane

Fig. 1. Single fine grains of eudialyte in the environment of perthitised feldspars and aegirine crystals. Crossed nicols

Skalę napotkaną przez Giesecke'a i badaną przez Stromejera nazwał N.V. Ussing kakortokitem. Ten sam autor wyróżnił ponadto naujait (z eskimoskiego *nauja* — mewa, gdyż często tworzyła izolowane formy przypominające wyglądem jaja mew) i lujawryt. Wszystkie wymienione skały tworzyły w Ilimaussaq zespół bardzo dekoracyjnych i wzajemnie przenikających się ciał intruzywnych. W budowie ich stwierdzono jasne, duże osobniki nefelinu i skaleni, prawie czarny arfvedsonit, szarozielonkawe kryształy sodalitu, ciemnozielone osobniki egiryneu (akmitu) oraz tkwiące między nimi czerwone „ziarenka” eudialitu.



Ryc. 2. Kryształy eudialitu i tabliczki spertytyzowanych skaleni. Nikole skrzyżowane

Fig. 2. Crystals of eudialyte and perthitised feldspar tables. Crossed nicols

Materiał analityczny i metody badawcze

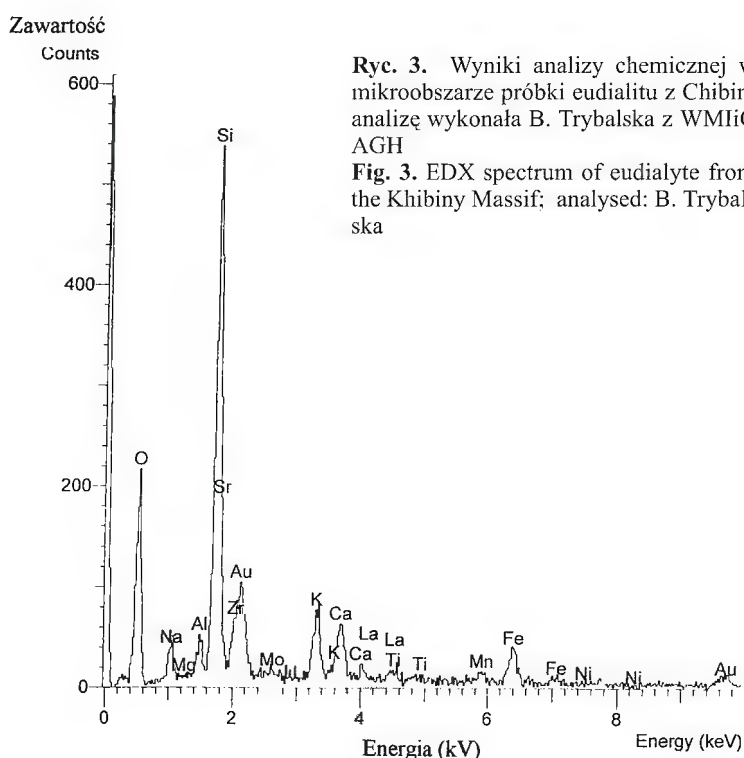
Podobną do opisywanego wyżej kakortokitu skalę otrzymały autorki od kierownika Muzeum Mineralogicznego MGGA w Moskwie. Na prawie czarnym tle wyraźnie krystalicznej skały doskonale odznaczały się czerwone ziarna eudialitu. Był to okaz przywieziony przez pracowników tego muzeum z masywu chibińskiego. Nie udostępniono nam jednak dokładniejszej jego lokalizacji.

W skałach alkalicznych eudialit występuje najczęściej w postaci rozproszonych bardzo drobnych kryształków, w ilości maksymalnie kilkunastu procent objętościowych.

Poza masywami Chibiny i Łowoziero (Płw. Kolski) oraz wspomnianym masywem Ilimaussaq na Grenlandii, minerał ten notowany był m.in. na wyspie Sedlovatoi na Morzu Białym w pobliżu Archangielska, w Pilandsberg w Transvaalu (RPA), Norra Kar (Szwecja), Langesundsfiörd (Norwegia), Ampasibitika (Madagaskar) oraz w okręgu Magnet Cove w stanie Arkansas (USA), gdzie stwierdzono wyjątkowo dobrze wykształcone, idiomorficzne kryształy. W Kanadzie napotkano ziarniste skupienia eudialitu w pegmatytach i alkalicznych syenitach zarówno we wschodnim skrzydle synkliny Kipawa, jak i w górach St. Hilaire w prowincji Quebec (Dudkin, 1993). Z innych rzadkich minerałów, we wzmiankowanych syenitach, na uwagę zasługuje thoryt $\text{Th}[\text{SiO}_4]$ obecny w ilości nawet do 5% obj., obok fluorytu, magnetytu, tytanitu i in.

Mimo, że eudialit jest stosunkowo rzadkim minerałem, to literatura mu poświęcona jest dość obszerna. Złożona natura mineralogiczna i zmienny chemizm tego minerału powodują, że mimo ciągle prowadzonych badań wiele zagadnień natury genetycznej pozostaje nadal nierozwiązanych.

Niniejsze opracowanie ma na celu przedstawienie charakterystyki mineralogiczno-geochemicz-



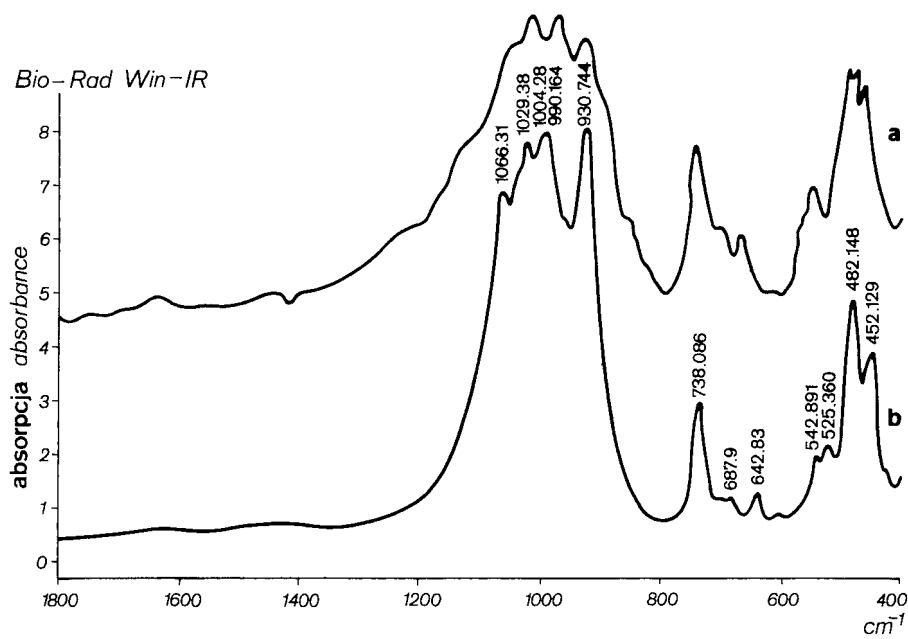
Ryc. 3. Wyniki analizy chemicznej w mikroobszarze próbki eudialitu z Chibiny; analizę wykonała B. Trybalska z WMiC AGH

Fig. 3. EDX spectrum of eudialyte from the Khibiny Massif; analysed: B. Trybalska

Tab. 1. Wyniki analiz chemicznych eudialitów (w % wagowych)

Składniki	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	49,95	48,08	47,54	48,63–54,10	47,55	50,35
Al ₂ O ₃						0,44
TiO ₂	0,90	0,49	0,85	0,19	0,14	0,38
ZrO ₂	13,15	10,25	14,10	10,90–16,88	12,50	11,80
(Nb,Ta) ₂ O ₅	0,93	1,96	0,47	0,35	1,20	0,69
Fe ₂ O ₃	0,90	2,04	0,32		1,11	0,19
P ₂ O ₅						0,03
REE(tlenki)	0,81	1,66	1,37	2,27–2,60	6,30	6,40
FeO	2,78	1,03	7,12	5,54–7,16	3,50	2,41
MnO	1,75	7,06	0,91	0,42–1,61	5,44	1,34
MgO	0,22			0,15–0,27		0,13
CaO	11,60	13,24	11,36	9,23–11,11	6,15	9,74
SrO	0,13					0,11
BaO	0,65	1,58				
Na ₂ O	12,33	9,71	13,07	11,40–15,90	11,39	12,53
K ₂ O	0,84	1,27	0,29	0,33–0,75	2,70	0,43
Cl	1,45	0,78	1,43	0,30–1,53	0,68	1,47
F						0,23
H ₂ O ⁺	1,44	1,04	1,16	1,24–1,91	1,56	1,64
H ₂ O ⁻	0,16					

1 — eudialit z masywu Łowoziero (Borodin & Nazarenko, 1957); 2, 3 — eudiality z masywu Chibiny (Borodin & Nazarenko, 1957); 4 — eudialit z masywu Ilmausaq (Grenlandia) (Borucki i in., 1968); 5 — eudialit z Mt. St. Hilaire (Quebec, Kanada) (Edgar & Blackburn, 1972); 6 — eudialit z Kipav. a Lake (Quebec, Kanada) (Edgar & Blackburn, 1972)



Ryc. 4. Widmo absorpcyjne w podczerwieni eudialitu z Chibiny; a — próbka wzorcowa (wg Moenke'go), b — próbka badana; analizę wykonał S. Olkiewicz z WGGiOŚ AGH

Fig. 4. Infrared absorption spectrum of eudialyte from the Khibiny Massif; a — reference sample (by Moenke), b — examined sample; analysed by S. Olkiewicz

nej eudialitu z masywu Chibiny na tle danych literaturowych dotyczących innych wystąpień tego minerału. Przeprowadzono w tym celu obserwacje mikroskopowe w świetle przechodzącym, badania rentgenowskie, spektrofotometryczne w podczerwieni i obserwacje przy użyciu mikroskopu skanninowego oraz analizy chemiczne w mikroobszarze. Zaprezentowano ponadto dostępną literaturę traktującą o samym mineralu, jak i skałach, w których był on znaleziony i opisany.

Charakterystyka mineralogiczno-geochemiczna eudialitu

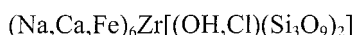
Na podstawie długoletnich badań tego minerału wiadomo, że eudialit (z grec. *eu* — dobrze; *dialyein* — rozpuszczać się) stanowi skrajny człon szeregu eudialit-eukolit — złożonych krzemianów łańcuchowych z anionem typu Si₆O₁₈. Minerale te krystalizują w układzie trygonalnym (klasa skalenoedru dytrygonalnego). W 1964 r. Dorfman i in. ([In:] Borucki i in., 1968) zaliczyli do tej grupy strukturalnej krzemianów żółtozielony barsanowit, który w 1987 r. decyzją CNMMN IMA został uznany za Nb-odmianę eukolitu.

Analizowany eudialit występuje w lujawrycie najczęściej w skupieniach ziarnistych, gdzie rozmiary pojedynczych ziaren nie przekraczają 1–1,5 mm, ale tworzy także różnej wielkości (do 5 mm) pojedyncze przezroczyste kryształy o pokroju grubotabliczkowym lub słupkowym. Mają one typowe zabarwienie czerwone, z lekkim odcieniem różowym. Wiadomo jednak, że barwa eudialitu może być zmienna, ze względu na duże zróżnicowanie obecnych w nim domieszek izostrukuralnych. Spotyka się więc osobniki różowe, brunatne, brunatnożółte, a nawet żółte. Na powierzchniach gładkich eudialit ma połysk szklisty. Twardość jego wynosi 5,5–6,5 w skali Mohsa, jest kruchy, o gęstości ok. 2,9 g/cm³.

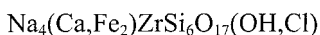
Obserwowany w płycie cienkiej eudialit jest bezbarwny, o słabym pleochroizmie w barwach od lekko do ciemnoczerwonych (ryc. 1, 2). Jest to minerał optycznie jednoosiowy, dodatni, o współczynnikach załamania światła: $n_e = 1,597$, $n_o = 1,594$; $\Delta = 0,003$. Tworzy różnej wielkości osobniki o pokroju ksenomorficznym. Brak w nich jakichkolwiek oznak procesów przeobrażeniowych, jak również śladów rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Jest to dowód na to, że obecne w strukturze eudialitu pierwiastki promieniotwórcze, głównie grupy litrowej i cerowej, nie tylko nie tworzą samodzielnych faz mineralnych, ale przypuszczalnie występują w niewielkich ilościach. Obok eudialitu, treść mineralną przedmiotowego kakortokitu tworzą drobne tabliczkowe osobniki skaleni i skaleniowców, wyciągnięte, włókniste egiryny i prawie czarny arfvedsonit.

Pod względem chemicznym eudialit jest krzemianem cyrkonu. Ze względu na możliwość bardzo wielu podstawień izomorficznych, różny skład kationów, a także zmienną liczbę (18–20) anionów (O, OH, Cl, F), wzór che-

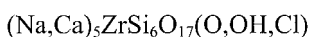
miczny eudialitu wciąż ulega modyfikacji. Zwykle jest przyjmowana formuła:



choć spotkać można w literaturze wzór zaproponowany przez Gossnera (Gossner & Mussnug, 1930) i przyjęty przez Hey'a (1962) ([In:] Borucki i in., 1968):



Z kolei, w pracy Borodina i Nazarienki (1957) podany jest nieco inny wzór strukturalny eudialitu, otrzymany z przeliczenia danych chemicznych:



Zróżnicowanie składu chemicznego najlepiej obrazuje zestawienie wyników analiz chemicznych eudialitów z różnych wystąpień w świecie, przedstawione w tab. 1. Dane te zaczerpnięto z materiałów źródłowych. Analizowany materiał pochodził z masywów Chibiny i Łowoziero (Rosja), z masywu Ilmaussaq (Grenlandia), Kipawa Lake i Mt. St. Hilaire (Kanada).

Z zestawienia tego wynika, że obok zmiennej ilości głównych tlenków Na_2O i CaO , eudialit może zawierać 10–15% wag. (i więcej) ZrO_2 . Na uwagę zasługuje stosunkowo duża zawartość MnO dla próbek (2) i (5) wynosząca 5–7% wag (przy średniej 2% wag.). Tak wysokie udziały MnO są charakterystyczne bardziej dla eukolitu. W próbkach kanadyjskich stwierdzono ponadto podwyższone zawartości pierwiastków ziem rzadkich (REE). W materiale z Chibiny tych prawidłowości nie stwierdzono.

Nie potwierdziły tego również wykonane przez autorki tego opracowania punktowe analizy chemiczne eudialitu (ryc. 3). Na krzywej EDX, oprócz podstawowych składników jak: Si, Zr, Na, Ca, Fe oraz domieszkowych: Al, Ti, Mn, Mg, Na, K, nie zarejestrowano, z wyjątkiem La, obecności pierwiastków promieniotwórczych.

Dane rentgenowskie wzorcowe i pomierzone dla eudialitów pochodzących z masywu Chibiny (2, 3) i z Kipawa Lake (Kanada) (4) zamieszczono w tab. 2. Daje się zauważyć nieznaczne wahania wartości $d(\text{Å})$ w porównaniu do danych wzorcowych. Wynika to ze zmian parametrów komórki elementarnej eudialitu, a ściślej stosunku c/a_0 , co wiąże się bezpośrednio ze wspomnianym już wielokrotnie zróżnicowaniem składu chemicznego tego minerału i obecnością licznych podstawień izomorficznych. Analizowany przez autorki chibiński eudialit (2) ma wartości $d(\text{Å})$ najbardziej zbliżone do danych wzorcowych.

Również wyraźną zbieżność z krzywą wzorcową uzyskano przy badaniach spektrofotometrycznych w podczerwieni. Widmo absorpcyjne analizowanego eudialitu (b) w zestawieniu z krzywą wzorcową (a) wziętą z kartoteki Moenke'go, obrazuje ryc. 4. Pomiar przeprowadzono w spektrometrze M-80 sterowanym komputerowo w zakresie $400\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$.

Charakterystykę poszczególnych pasm absorpcyjnych oparto na analizie drgań dwóch pierścieni $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ przypadających na jedną komórkę elementarną eudialitu (Lazarjew, 1968). W zakresie drgań ν_3 tetraedrów krzemotlenowych są obecne maksima reprezentujące drgania $\nu_{\text{as}} \text{O-XO-}$ (przy ok. $1066, 1040\text{ cm}^{-1}$) i drgania $\nu_{\text{as}} \text{XOX}$ (przy ok. $1029,$

$1004, 996\text{ cm}^{-1}$); drgania walencyjne $\nu_s \text{O-XO-}$ reprezentuje pasmo 930 cm^{-1} ; w zakresie drgań $\nu_s \text{XOX}$ są obecne pasma 738 oraz 688 i 643 cm^{-1} ; natomiast w niższym zakresie liczb falowych występują pasma od drgań deformacyj-

Tab. 2. Dane rentgenowskie eudialitu

1		2		3		4	
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
7,194	100	7,170	33	7,05	5	6,94	20
6,494	60	6,523	49	6,42	5	6,33	10
6,061	10	6,080	9	5,94	2	5,91	10
5,747	80	5,750	47	5,64	4	5,58	30
5,405	20	5,491	5	4,70	2	4,96	5
4,348	70	4,351	100	4,20	9	4,25	50
4,132	50	4,145	31	4,07	4	4,05	40
4,000	40	3,989	17	3,95	2	3,91	20
3,817	50	3,826	24	3,76	4	3,75	35
3,571	60	3,568	53	3,52	8	3,56	5
						3,50	35
3,425	50	3,411	18	3,37	4	3,35	40
3,205	60	3,195	39	3,19	7	3,19	40
						3,10	80
2,994	70	2,991	100	2,95	10	3,00	30
						2,94	90
2,874	80	2,866	78			2,88	10
				2,83	10	2,82	100
2,703	50	2,697	38	2,70	5	2,69	10
2,611	50	2,618	41			2,63	10
				2,59	8	2,58	40
2,532	10	2,544	18	2,50	3	2,51	10
2,469	10	2,461	13	2,43	3		
2,392	20	2,379	9	2,36	4		
2,342	10	2,330	10	2,31	3		
2,278	10	2,277	5	2,25	3		
2,212	10			2,17	1		
2,160	50	2,173	20	2,15	7		
2,070	20	2,076	20	2,12	2		
2,041	10	1,992	10	2,05	3		
1,988	40			1,972	6		
1,949	10			1,952	2		
		1,938	4	1,933	4		
1,908	20	1,910	7	1,894	5		
1,873	10	1,883	4	1,863	1		
1,845	50	1,848	8	1,830	7		
1,792	50	1,784	35	1,769	10		
1,715	20	1,696	2	1,710	3		
1,686	40	1,683	5	1,670	5		
1,653	10	1,653	12	1,639	5		
1,610	40	1,623	12	1,630	2		
1,572	10	1,582	10	1,601	8		
1,558	10	1,556	4	1,565	7		
				1,548	5		
				1,540	4		
1,488	20	1,489	6	1,492	3		
1,468	10			1,477	4		
		1,449	4	1,448	3		
1,435	20	1,429	3	1,433	4		

1 — dane wzorcowe eudialitu (X-RAYAN 8-355), 2 — eudialit z masywu Chibiny (analizę wykonał A. Gaweł z WGGIOŚ AGH), 3 — eudialit z masywu Chibiny (Borucki i in., 1968), 4 — eudialit z Kipawa Lake (Quebec, Kanada) (Edgar & Blackburn, 1972); $d(\text{Å})$ — odległości międzypłaszczyznowe, I — intensywność

nych Si-O i walencyjnych M-O (metalotlenowe), tj.: 542, 525, 482, 452 cm^{-1} . Przy ok. 1650 cm^{-1} obecne jest maksimum związane z drganiami deformacyjnymi drobin H_2O . W zakresie drgań walencyjnych grup OH (3000–3700 cm^{-1}) dominują maksima o bardzo słabej intensywności od wibracji ν_{as} drobin H_2O (przy ok. 3430 cm^{-1}) i ν_{s} (przy ok. 3250 cm^{-1}). Również słabe maksima widoczne w zakresie liczb falowych 3630–3750 cm^{-1} należałoby wiązać z drganiami grup hydroksylowych OH, obecnych w strukturze eudialitu.

Podsumowanie wyników dotychczasowych badań

Eudialit, niezależnie od miejsca występowania, cechuje bardzo zróżnicowany skład chemiczny. Dotyczy to zarówno pierwiastków głównych budujących jego strukturę wewnętrzną, jak i domieszek pozastrukturalnych. Jak wynika z badań, głównie autorów rosyjskich, pewne składniki chemiczne spełniają rolę szczególną. Do takich, zdaniem Kapustina i in. (1973) należy chlor. Jego zawartość w eudialicie z Chibin (określona metodą wagową) wynosi 0,78–1,5% (średnio 1,46%) (Borodin & Nazarienko, 1957) i nie wykazuje większych wahań co dowodzi, że chemiczny potencjał chloru w trakcie krystalizacji eudialitu był stały. Są to ważne stwierdzenia natury genetycznej, gdyż jak wiadomo w procesach minerałotwórczych, z którymi wiąże się m.in. powstanie tego minerału w skałach alkalicznych, chlor jest aktywnym komponentem. Także zawartość wody higroskopijnej (H_2O) oraz wody związanej (H_2O^-) nie wykazuje większych wahań i wynosi odpowiednio: 0,16% wag. (masyw Łowoziero) i 1,04–1,44% wag. (tab. 1).

Ciekawych informacji dostarczyły badania wykonane przy pomocy chromatografu gazowego i mikroanalizatora, dotyczące składu chemicznego gazów zawartych w porach skalnych oraz minerałach, m.in. w eudialicie (Goliszew i in., 1972). Stwierdzono, że dla większości badanego medium przeważa CH_4 obok $\text{CO}_2 + \text{CO}$ i H_2 oraz niewielkie ilości węglowodorów $\text{C}_2\text{--C}_6$ oraz He, N_2 . Szczególną rolę odgrywa metan, którego udział jest wskaźnikiem całkowitego nasycenia gazowego skał. Co ciekawe, wśród badanych minerałów największą zawartość gazów do 100–150 cm^3/kg stwierdzono w nefelinie, eudialicie i enigmatycie. Metodą spektroskopii ramanowskiej oznaczono dla eudialitu wartość CH_4/N_2 , a wynosiła ona 2,4, gdy tymczasem dla nefelinu była dużo niższa.

Eudialit jest wyjątkowym minerałem także pod względem charakteru obecnych w nim inkluzji. Najczęściej zawiera bardzo dużo wrostków ciekło-gazowych różnych generacji, niekiedy o nadzwyczajnych wprost rozmiarach dochodzących nawet do 0,1–0,2 mm. Oznaczone przybliżone ciśnienie fazy gazowej zamkniętej w tych inkluzjach (określone w temperaturze pokojowej) zmienia się w szerokich granicach od 1,3 do 27 atm. i zależy wprost proporcjonalnie od ilości zaokludowanego CO_2 . Zgodnie z zasadami termodynamiki, odpowiada to interwałowi temperatur 525–300°C, co wskazuje na warunki pneumatolityczno-hydrotermalne krystalizacji eudialitu. Procesowi

temu towarzyszyła intensywnie zachodząca sodalityzacja skał alkalicznych.

Pracę wykonano w ramach działalności statutowej Zakładu Mineralogii, Petrografii i Geochemii w umowie nr 11.140.408, zad. 1.7 (L. Natkaniec-Nowak) oraz badań własnych realizowanych w Zakładzie Złóż Rud i Soli umowa nr 10.10.140.167 (H. Pitera) Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie.

Literatura

- BALASZOW J.A. & TURANSKAJA N.W. 1961 — Riedkoziemielnyje elementy w eudialitowom kompleksie Lo⁺-ozierskiego szczelocznego massiwa. *Gieochimija*, 12: 1087–1098.
- BORODIN L.S. & NAZARIENKO I.I. 1957 — Eudialit iz szczeloczných porod Turjewo mysa i chemiczeskaja formula eudialita. *Dokl. AN SSSR*, 112: 318–321.
- BORUCKI B.J., ORGANOWA N.I. & RUDNICKAJA E.S. 1968 — O miestie barsanowita w eudialit-eukolitowom izomorfnom riadu. *Zapiski Wsiesoj. Mineral. Obszcz.*, 97: 451–460.
- D.AWSON J.B. & FRISCH T. 1971 — Eucolite from Oldojnyo Lengai, Tanzania. *Lithos*, 4: 297–303.
- DRAGSTED O. 1971 — Kakortokite — and other ornamental eudialyte rocks. *Jour. Gemmol.*, 12: 312–315.
- DUDKIN O.B. 1991 — Carbonatite and the sequence of formation of the Khibiny Pluton. *Inter. Geol. Rev.*, 33: 375–384.
- DUDKIN O.B. 1993 — Gigantskije koncentracji fosfora w Chibinach. *Gieol. Rudn. Miestoroż.*, 35: 195–204.
- EDGAR A.D. & BLACKBURN C.E. 1972 — Eudialyte from the Kipawa Lake area, Temiscamingue Co., Quebec. *Canad. Mineral.*, 11: 554–559.
- GOLISZEW W.M., SIMONOW W.I. & BIELOW N.W. 1972 — Kristalicheskaja struktura eudialita. *Kristalografija AN SSSR*, 17: 1119–1123.
- GOSSNER B. & MUSSGUG F. 1930 — Über die strukturelle und molekulare Einheit von Eudialyt. *Chl. F. Miner., Geol.*, Pal.: 3.
- IKORSKI S.W. & SZUGUROWA N.A. 1974 — Nowyje dannyje o sostawie gazow w mineralach szczeloczných porod Chibinskogo massiwa. *Gieochimija*, 6: 934–947.
- IKORSKI S.W. & KUSZCZ W.D. 1992 — Azot w fluidnych wkluczeniach szczeloczných porod Chibinskogo massiwa i metodika jego chromatograficzeskogo opriedielenija. *Gieochimija*, 7: 962–970.
- JAKOWENCZUK W.N., PACHOMOWSKI J.A. & BOGDANOWA A.N. 1991 — Kukiswumit — nowyj mineral iz szczeloczných pegmatitow Chibinskogo massiwa (Kolskij poluostrow). *Mineral. Żur.*, 13: 63–67.
- KAPUSTIN J.L., BYKOWA A.W. & PUDOWKINA Z.W. 1973 — K mineralogii grupy lowozierita. *Izw. AN SSSR ser. Geologija*, 8: 106–112.
- KOSTECKAJA E.W. 1961 — Niekotoryje zakonomiernostii w razpredielenij chlora w nefelinowých sjenitach Lowozierskogo massiwa. *Gieochimija*, 10: 891–900.
- KOSTECKAJA E.W. 1961 — O sodierżanij chlora w eudialitach Lowozierskogo massiwa. *Gieochimija*, 11: 988–994.
- LAZARJEW A.I. 1968 — Kolebatielnyje spiektre i strojenje silikatow. *Niedra. Leningrad*.
- NATKANIEC-NOWAK L. & PITERA H. 1998 — Chibiny — złożony typ centralnego intruzywu, niewyczerpalne źródło fosforu. *Wszechświat*, 99: 138–141.
- NATKANIEC-NOWAK L. & PITERA H. 1999 — Skały eudialitowe z Chibin (Płw. Kolski, Rosja). *Prz. Geol.*, 47: 743–752.
- WIROWLJANSKI G.M. & NOZDRJA W.I. 1986 — Strojenje intruzii massiwných urtitow Chibin i prognoz apatitowých zależej na glubinu. *Izv. AN SSSR ser. Geologija*, 2: 94–106.
- WOLKOW W.P., POLJAKOW A.I., KARACHANOWA M.I. & WORONINA L.P. 1961 — Pietrochimizeskije osobiennostii i asociacji akcesorných mineralow nefelinowých sjenitow differentsirovanogo kompleksa Lowozierskogo szczelocznego massiwa. *Gieochimija*, 8: 656–665.
- WILLIAMS J.F. 1890 — Eudialite and eucolite from Magnet Cove, Arkansas. *Amer. J. Sc.*, 40: 457–462.