

Inkluzje fluidalne w soli kamiennej z Bochni

Volodymyr M. Kovalevich*

Badania inkluzji fluidalnych w halitach badeńskich zapadliska przedkarpackiego na obszarze Ukrainy (Kowalewicz, 1994; Kovalevich & Petrichenko, 1997) oraz na obszarze Polski, w kopalni Wieliczka (Galamay i in., 1997), wykazały że stężenie solanek na początku depozycji halitu było stosunkowo niskie. Świadczą o tym także badania zawartości bromu w halitach z Wieliczki (Garlicki & Wiewiórka, 1981; Galamay i in., 1997). Bukowski (1997) stwierdził, że również w Bochni zawartość bromu w halitach jest stosunkowo niska (15–45 ppm), co — jego zdaniem — zostało spowodowane zarówno rozpuszczaniem pierwotnych soli przez wody nienasycone NaCl i późniejszym, ponownym wytrącaniem halitu, jak również rekryształizacją halitu. Bukowski (1997) nie zaobserwował przy tym znaczących różnic zawartości bromu w soli krystalicznej i zubrach.

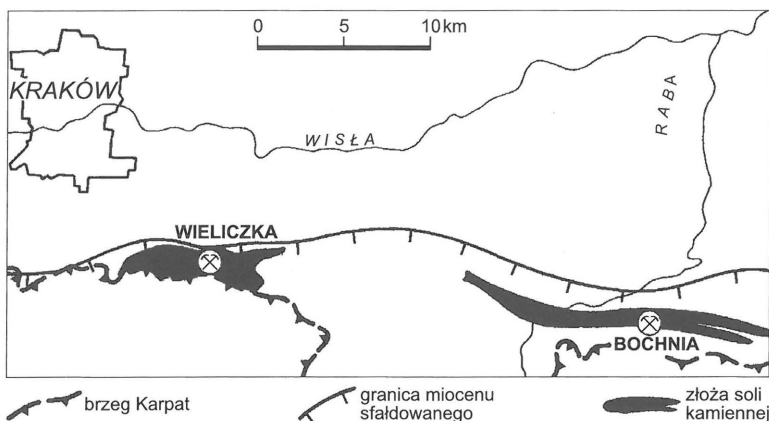
Celem niniejszego komunikatu, który powstał w związku z realizacją grantu KBN nr 6 PO4D 009 11, jest przedstawienie wyników badań dwóch próbek soli kamiennej — jednej reprezentującej sól krystaliczną, drugiej zaś — zuber z kopalni soli Bochnia (ryc. 1, 2). Próbkę zostały pobrane przez K. Bukowskiego.

Petrografia badanych próbek

Badana próbka z soli krystalicznej (pr. nr 9), to grubokrystaliczna sól kamienna z warstwy soli o miąższości około 6 cm, ograniczonej od dołu i góry przez przewarstwienia terygeniczne (ryc. 3). Kryształy halitu (do 2 cm) mają kształt zbliżony do izometrycznego lub lekko wyciągnięty. W większości z nich makroskopowo są widoczne białe plamy, będące relikami strefowych struktur sedimentacyjnych. Granice warstwy soli kamiennej z przewarstwieniami terygenicznymi są dość nierówne, co świadczy o intensywnym tektonicznym zmięciu utworów. Świadczy o tym obecność wewnątrz soli kamiennej krętych stref, wzdłuż których duże ziarna halitu uległy rozdrobnieniu. W takich strefach rozdrobnienia i na granicy soli z przewarstwieniami terygenicznymi obserwuje się gruzły (do 8 mm) niebiesko-białego

anhydrytu drobnokrystalicznego. Domieszka materiału terygenicznego wewnątrz soli kamiennej koncentruje się głównie wzdłuż granic ziarn halitu.

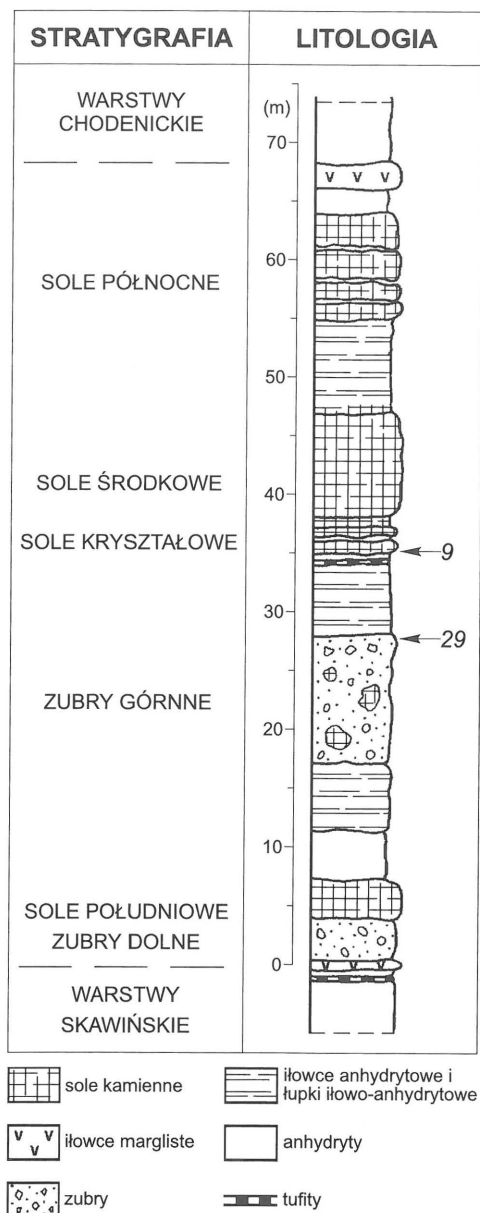
Druga badana próbka (nr 29) pochodziła z brekcji solnej (zubru), w której kryształy halitu o różnej wielkości (od ułamków mm do 5 cm) są chaotycznie rozmieszczone i scementowane materiałem terygenicznym, w którym także obserwuje się gruzły (do 2 cm) niebiesko-białego anhydrytu drobnokrystalicznego (ryc. 4). Liczne duże kryształy halitu są poprzecinane systemami równoległych szczelin, ułożonymi w kilku kierunkach. W cementującej masie terygeniczej występują liczne drobne (do kilku mm) fragmenty halitu, odłamane od większych kryształów. Wyciągnięty kształt wielu owych fragmentów i ich orientacja, zbliżona do równoległej w poszczególnych partiach cementu, pozwa-



Ryc. 1. Złoża soli kamiennej w okolicach Krakowa (wg Bukowskiego, 1997)



Ryc. 2. Położenie badanych próbek w profilu soli z Bochni (wg Bukowskiego, 1997)



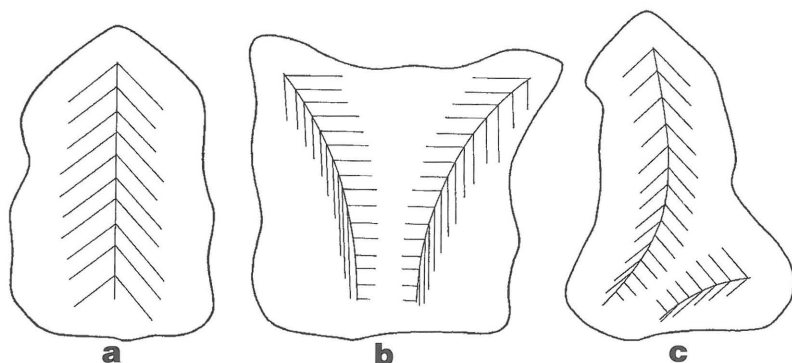
*Instytut Geologii i Geochemii Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, ul. Naukowa 3A, 290 053 Lviv, Ukraina



Ryc. 3. Grubokrystaliczna sól kamienna z soli kryształowej, poziom V Pachman II



Ryc. 4. Brekcja solna (zuber), poziom IV August



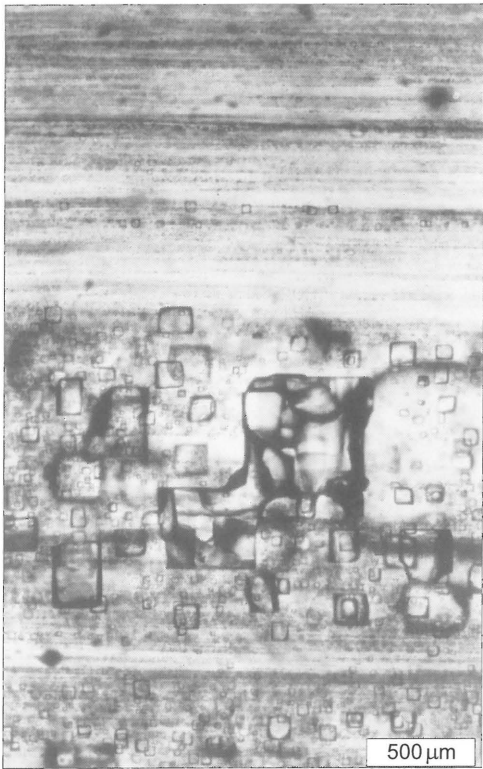
Ryc. 5. Schemat budowy pierwotnych, sedymentacyjnych kryształów halitu, których struktura tworzyła się w zależności od ich orientacji na dnie zbiornika: a — wierzchołkiem w górę (szewron), b — krawędzią w górę (*hopper*), c — w kierunku pośrednim (kombinacja obu struktur)

la sądzić o kierunku „nurtu” masy cementującej w procesie zgniatania skały. Pomimo intensywnego zbrekcjowania skały, w licznych kryształach halitu, podobnie jak w wypadku wcześniej scharakteryzowanej próbki, zachowały się relikty pierwotnej, sedymentacyjnej budowy.

Relikty te w obu próbkach mają strukturę typowych kryształów szewronowych lub pryzmatycznych *hopper*, rosnących na dnie zbiornika (ryc. 5). Powstanie takiej czy innej struktury w każdym oddzielnym kryształach halitu było najwidoczniej uzależnione od jego orientacji na dnie zbiornika, kierunku przydennych prądów i jest rezultatem współzawodnictwa podczas wzrostu licznych kryształów (Dellwig, 1955; Valyashko, 1962; Roedder, 1984). Można naturalnie oczekiwać, że w przekroju pionowym warstw soli kamiennych takie rosnące wierzchołkami bądź krawędziami w górę kryształy szewronowe i *hopper* powinny zachować swoją pionową orientację. Tym niemniej w badanych próbkach zaobserwowano nie uporządkowaną orientację takich kryształów. Najwidoczniej w trakcie tektonicznego zmięcia skał zachodziło nie tylko przemieszczenie ziarn halitu względem siebie, lecz także i ich obrót.

Wewnętrzna budowa kryształów szewronowych i *hopper* jest wytyczona jednofazowymi ciekłymi inkluzjami, mającymi kształt sześcienny lub zbliżony do niego, zorientowanymi regularnie i ułożonymi strefowo (ryc. 6–8). Rozmiar inkluzji waha się od ułamków do 500 μm . Na ogół — im większy rozmiar inkluzji, tym bardziej nieprawidłowy jej kształt.

W licznych kryształach obserwuje się określone prawidłowości występowania inkluzji w zależności od ich wielkości. W niektórych kryształach kolejno tworzące się strefy wzrostu różnią się wielkością inkluzji, co najwidoczniej jest uwarunkowane różną prędkością wzrostu kryształów w poszczególnych stadiach ich powstawania (por. ryc. 6). W innych kryształach duże i małe inkluzje są ułożone w różnych kierunkach od osi struktury szewronowej (por. ryc. 7). W takim wypadku trudno określić przyczynę takiego rozmieszczenia inkluzji, ponieważ prędkość wzrostu obu krawędzi kryształu szewronowego, sądząc z mikrofotografii, była w przybliżeniu jednakowa. W licznych kryształach ich wewnętrzna budowa strefowa jest dobrze wytyczona inkluzjami tylko w pobliżu osi gałęzi szewronowych (ryc. 5, 8). W miarę oddalania się od osi liczba inkluzji zmniejsza się, ich wielkość zwiększa się, a halit staje się coraz bardziej przezroczysty i czysty. Cechy te wynikają z ogólnych prawidłowości rozwoju dużych kryształów halitu w warunkach sto-



Ryc. 6. Fragment strefowej budowy w kryształach szewronowym, w którym oddzielne strefy odróżniają się wielkością inkluzji. Pr. 29



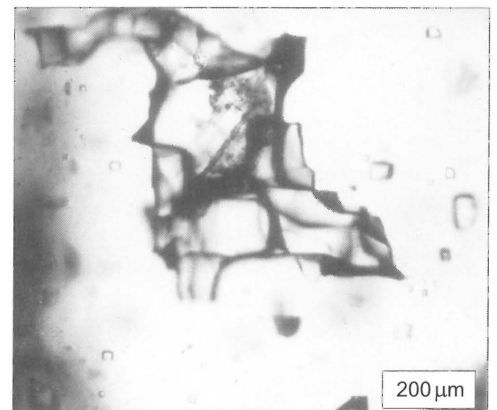
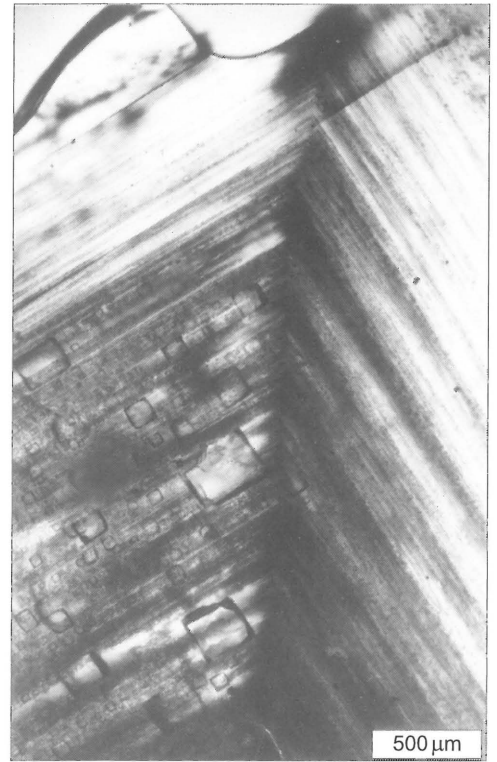
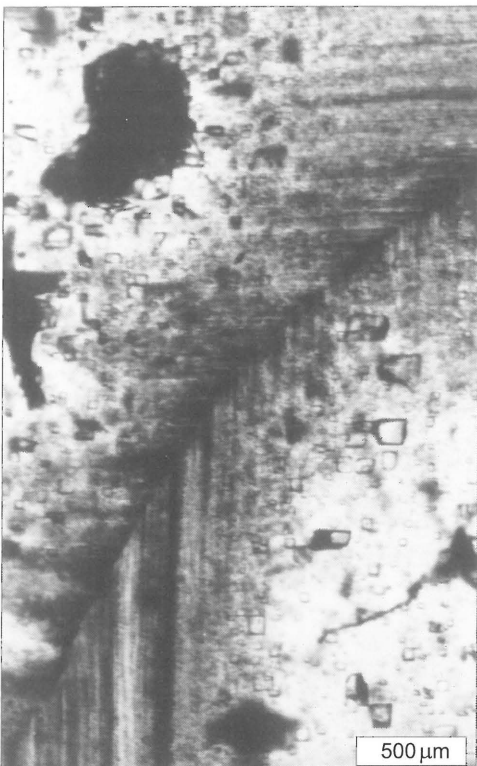
Ryc. 7. Fragment szewronowego kryształu halitu, z różnymi pod względem wielkości inkluzjami, ułożonymi w różnych kierunkach od jego osi. Pr. 9



Ryc. 8. Fragment jednego „odgałęzienia” dużego kryształu *hopper*, w którym strefowa budowa jest wyraźnie widoczna tylko wzdłuż osi tego odgałęzienia. W kierunkach od osi liczba inkluzji zmniejsza się, a ich wielkość zwiększa się, a strefowy halit stopniowo przechodzi w czysty halit przezroczysty. Pr. 9



Ryc. 9. Duża inkluzja nieprawidłowego kształtu w halicie przezroczystym. Wewnątrz in skłuzji widoczne cząstki materiału terygenicznego i anizotropowy igłowy kryształek (anhydryt?). Pr. 29



sunkowo szybkiego wzrostu, kiedy początkowo powstaje szkielec (w kierunkach trzech osi sześcienu), który później tylko (być może na etapie diagenety) obrasta „ciałem”. O nieco innych warunkach krystalizacji halitu w częściach (partiach) przezroczystych kryształów świadczy skład fazowy rzadkich, dużych inkluzji, jakie się tam spotyka (ryc. 9). W tych inkluzjach często obserwuje się cząstki materiału terygenicznego, wydłużone kryształki anizotropowe (anhydryt?), a niekiedy i pęcherzyki gazowe. Niewątpliwie znaczna część przezroczystego halitu w kryształach z sedy-

mentacyjnymi relikami powstała w wyniku procesów rekrytalizacji, które — jak wiadomo — prowadzą do oczyszczenia kryształów z inkluzji (Roedder, 1984). Świadczy o tym częściowo fakt, iż budowa strefowa licznych kryształów ostro urywa się wzdłuż równych linii (zabliżonych szczelin) lub nawet rejony halitu przezroczystego, ograniczone równymi liniami, przenikają wewnątrz struktur strefowych. Najbardziej intensywnie są przekrytalizowane peryferyczne części ziarn halitu. W takich miejscach częściej obserwuje się drobne nierówne szczeliny, wypełnione materiałem ilastym, drobne igielkowe kryształki anhydrytu, a także pojedyncze inkluzje ciekłe z grudkami materiału ilastego.

Metody badań inkluzji

Do badań inkluzji w halicie przygotowano plasterki (o grubości 2–4 mm), odłupane wzdłuż łupliwości kryształów. Analizy chemiczne solanek w inkluzjach wykonano za pomocą szklanych kapilarów według metody Petrichenki (1973). W celu obniżenia błędów analizy do 17%, zawartość każdego składnika (K^+ , Mg^{2+} i SO_4^{2-}) w każdej próbce

określono trzy razy. Zawartość jonów Na^+ i Cl^- w solankach inkluzji można obliczyć na podstawie zestawienia z danymi z literatury (Valyashko, 1962; McCaffrey i in., 1987) o zagęszczonej współczesnej wodzie morskiej. Minimalna wymagana wielkość inkluzji, umożliwiająca wykonanie analiz, wynosi 40 μm . W celu określenia składu chemicznego solanek w basenie przebadano tylko typowe, jednofazowe inkluzje ciekłe, występujące w strefowych strukturach kryształów.

W celu wyjaśnienia temperatury krystalizacji soli zastosowano metodykę opisaną przez Robertsa i Spencera (1995). Plasterki halitu z jednofazowymi inkluzjami ciekłymi w strefowych reliktach ochładzano w lodówce przy temperaturze około 0°C w ciągu dwóch dob. W takiej temperaturze w wielu inkluzjach pokazały się pęcherzyki gazu. Późniejsze podgrzewanie preparatów z inkluzjami w specjalnej komorze pod mikroskopem pozwoliło na określenie temperatury homogenizacji inkluzji (zniknięcia fazy gazowej). Użyta w tym celu komora konstrukcji Kaluzhnego (1982) została nieco zmieniona — do rejestracji temperatury zastosowano termometr rtęciowy, biorąc pod uwagę konieczność pomiaru stosunkowo niskich wartości temperatury. To pozwoliło na pomiary z dokładnością $\pm 1^\circ\text{C}$. Szybkość ogrzewania wynosiła około $0,2^\circ\text{C}/\text{min}$.

Wyniki analiz i ich interpretacja

Zawartość jonów w solankach inkluzji pierwotnych — w sedymentacyjnych formach halitu — w obu próbkach jest stosunkowo niska, bliska zawartości we współczesnej wodzie morskiej, zagęszczonej do początku sedymentacji halitu (tab. 1). Swym składem chemicznym solanki różnią się od współczesnej wody morskiej zagęszczonej do odpowiedniego stadium nieco obniżoną zawartością jonu siarczanowego. Należy przy tym zaznaczyć, że dużo niższa zawartość tego składnika jest charakterystyczna dla solanek inkluzji w halicie z brekcji. Jest rzeczą prawdopodobną, iż w tym ostatnim przypadku jest to wywołane dostawą do basenu dość znacznej ilości wód kontynentalnych oraz materiału terygenicznego, których wzajemne oddziaływanie prowadziło do zubożenia solanek w jon siarczanowy.

Tab. 1. Skład chemiczny solanek w inkluzjach w halicie z Bochni oraz temperatura ich homogenizacji (WSW — współczesna woda morska, zagęszczona do początku osadzania halitu, wg Valyashko, 1962)

Nr próbki	Zawartość jonów (g/l)			Temperatura homogenizacji ($^\circ\text{C}$)
	K^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	
9	4,5	21,5	14,7	16–19
29	6,2	22,9	12,9	16–19
WSW	3,3	15,5	21,0	

Wyniki analiz solanek w inkluzjach w halicie z Bochni są dość zbliżone, jeśli chodzi o główne składniki, do wyników analiz innych halitów badeńskich rejonu karpackiego (Kovalevich & Petrichenko, 1997), a szczególnie są podobne do wyników uzyskanych podczas badań soli z Wieliczki (Galamay i in., 1997). Cechą charakterystyczną wszystkich basenów badeńskich w rejonie karpackim jest stosunkowo niskie stężenie solanek (na początku depozycji halitu) i obniżona zawartość SO_4 w porównaniu ze współczesną wodą morską, zagęszczonej do takiego właśnie stadium.

Ponieważ przebadano tylko dwie próbki z Bochni, trud-

no wnioskować o ewolucji solanek, lecz — biorąc pod uwagę wyniki analiz zawartości bromu w solach z Bochni (Bukowski, 1997) w połączeniu z wynikami badań inkluzji (Galamay i in., 1997) oraz rozkładu zawartości bromu (Garlicki & Wiewiórka, 1981) w halitach z Wieliczki — można przypuszczać, że także i w Bochni w procesie sedymentacji całej serii solnej zawartość głównych składników i relacje między nimi były zbliżone do stwierdzonych w dwóch przebadanych próbkach.

Wychodząc z założenia o stałości składu i koncentracji solanek w historii rozwoju basenu, można z kolei przypuszczać, że basen nie mógł być bardzo płytkowodny. Jego głębokość powinna wynosić co najmniej kilkadziesiąt metrów, a połączenie z oceanem było stałe. W przeciwnym bowiem razie należałoby się spodziewać znacznych wahań składu i stężenia solanek inkluzji w halicie w profilu serii solnej, zwłaszcza biorąc pod uwagę znaczną ilość wód dopływających z łądu.

Przed interpretacją danych temperaturowych, przytoczonych w tab. 1, należy wziąć pod uwagę, że po dwóch dobach ochładzania plasterków halitu przy 0°C pęcherzyki gazowe pojawiły się tylko w dużych (ponad 40 μm) inkluzjach; natomiast wartości przytoczone w tab. 1 są oparte na wynikach pomiarów temperatury homogenizacji dziesięciu stosunkowo dużych inkluzji w każdej próbce. W procesie późniejszego podgrzewania w komorze zauważono, że najpóźniej homogenizacji ulegają największe inkluzje. W ten sposób obserwuje się prostą zależność temperatury homogenizacji inkluzji, chociaż w bardzo wąskim przedziale ($16\text{--}19^\circ\text{C}$), od ich rozmiarów. Należy przy tym pamiętać, że w małych inkluzjach pęcherzyki gazu przy ochłodzeniu do 0°C w ogóle nie pojawiły się, tym niemniej — jeśli brać pod uwagę wyniki podobnych badań termometrycznych halitu ze współczesnych jezior solnych (Roberts & Spencer, 1995) — otrzymane wyniki można wykorzystać do wniosków o warunkach temperatury krystalizacji halitu.

Otrzymane wartości — $16\text{--}19^\circ\text{C}$ — można uznać za charakteryzujące temperaturę przydennej warstwy solanek na etapie powstawania kryształów halitu rosnących na dnie zbiornika. Jest całkiem prawdopodobne, że temperatura powierzchniowej warstwy solanek latem mogła być znacznie wyższa, co ogólnie było konieczne dla istnienia basenu ewaporatowego.

Literatura

- BUKOWSKI K. 1997 — *Prz. Geol.*, 45: 819–821.
 DELLWIG L.F. 1955 — *J. Sediment. Petrology*, 25: 83–110.
 GALAMAY A.R., BUKOWSKI K. & PRZYBYŁO J. 1997 — *Slovak Geol. Mag.* (w druku).
 GARLICKI A. & WIEWIÓRKA J. 1981 — *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 52: 353–359.
 KALUZHNY V.A. 1982 — *Osnovy uczenia o minierałoobrazujuszczich fluidach*. Naukowa Dumka, Kijew: 1–240.
 KOVALEVICH V.M. & PETRICHENKO O.I. 1997 — *Slovak Geol. Mag.* (w druku).
 KOWALEWICZ W.M. 1994 — *Prz. Geol.*, 42: 738–743.
 McCAFFREY M.A., LAZAR B. & HOLLAND H.D. 1987 — *J. Sediment. Petrology*, 57: 928–937.
 PETRICHENKO O.I. 1973 — *Mietody dosliženija wkluczeń u minierałach gałogiennych porid*. Naukowa Dumka, Kijew: 1–92.
 ROBERTS S.M. & SPENCER R.J. 1995 — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 3929–3942.
 ROEDDER E. 1984 — *Amer. Miner.*, 69: 413–439.
 VALYASHKO M.G. 1962 — *Zakonomiernosti formirovanija miestoroždienij solaj*. Izd. Mosk. Uniw., Moskwa: 1–396.