

Bor (łac. *borum* – **B**) – należy do III grupy układu okresowego pierwiastków z rodziny borowców (B, Al., Ga, In, Tl). Jest słabo rozpowszechniony w skorupie ziemskiej ($5,6 \cdot 10^{-4}\%$ wagowych). Występuje w postaci kilkuset minerałów. Tak duża ilość minerałów powstaje głównie dzięki zdolności boru do tworzenia z tlenem dwóch typów anionów trójskośnych $[\text{BO}_3]^{3-}$ i tetraedrycznych $[\text{BO}_4]^{5-}$, i $[\text{B}(\text{O}, \text{OH})_4]$, które łączą się za pośrednictwem O^{2-} i tworzą złożone aniony grupowe.

Znaczenie przemysłowe mają przede wszystkim złoża boranów Mg, Ca, Na i K a także krzemiany boru i borokrzemiany. Niektóre krzemiany boru i borokrzemiany znajdują zastosowanie w branży jubilerskiej (aksynit, danburyt, datolit, kornerupin, synhalit, turmaliny). Ograniczone znaczenie jako surowiec boru ma sassolin H_3BO_3 . Główne minerały boru podano w tabeli 1.

Tabela 1. Bor – kopaliny

Nazwa	Wzór chemiczny	Teor. zaw. B_2O_3 %	Ukł. kryst.	Twardość	Gęstość
Sassolin	H_3BO_3	56,39	trójsk.	1,0	1,48
Borany:					
Suanit	$\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_5]$				
Kotoit	$\text{Mg}_3[\text{BO}_3]_2$	36,54	romb.	6,5	3,06–3,11
Ludwigit (wonsenit)	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Fe}[\text{O}_2 \text{BO}_3]$	9,83–17,83	romb.	5,0	3,6–4,7
Ascharyt (szaibelyit)	$\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_5] \cdot \text{H}_2\text{O}$	40,49	romb.	3,0–3,5	2,62–2,80
Inyoit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	36,60	jedn.	2,0	1,87
Boraks rodzimy	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	36,51	jedn.	2,0–2,5	1,715
Ulezyt	$\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	42,95	trójsk.	2,5	1,955
Pandermit (priceit)	$\text{Ca}_2[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_7]$	49,81	jedn.	3,0–3,5	2,42
Colemanit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	ok. 50,00	jedn.	4,5	2,42
Hydroboracyt	$\text{MgCa}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	50,50	jedn.	2,0	2,167
Kernit (rasoryt)	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	51,02	jedn.	3,0	1,953
Kaliboryt	$\text{KMg}_2\text{H}[\text{B}_6\text{O}_8(\text{OH})_2] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	56,92	jedn.	4,0–4,5	2,128
Boracyt (stassfurcyt)	$\text{Mg}_3[\text{Cl} \text{B}_7\text{O}_{13}]$	62,15	do 265° romb.	7,0–7,5	2,91

Przeróbka mechaniczna

Silne zróżnicowanie minerałów boru i występujących w nich domieszek powoduje, że zawartość boru w ich kopalinach jest zróżnicowana. Stwarza to konieczność stosowania różnych metod wzbogacania i dalszego przerobu technologicznego. Niekiedy minerały boru są tak subtelnie powiązane ze sobą i ujawniają tak zróżnicowaną zawartość B_2O_3 , że nie sposób podać jednolitej metody ich wzbogacania. Dlatego też niezbędne jest indywidualne traktowanie kopaliny. Metodami przeróbki mechanicznej udaje się zazwyczaj uzyskać koncentraty zawierające 34–40% B_2O_3 .

Wzbogacanie kopalni boru często dokonywane jest przez ręczne oddzielanie jego minerałów od skały płonnej. W wielu przypadkach możliwe jest ich oddzielenie od substancji ilastej przez odmulanie. W przypadku współwystępowania minerałów boru

z solami Na i K istnieje możliwość otrzymania ich koncentratów w następstwie rozpuszczenia soli. Możliwe jest też przy tym uboczne otrzymanie soli potasowych.

Przeróbka mechaniczna kopalni boru może być procesem dającym końcowe koncentraty przeznaczone do dalszego przetwórstwa, częściej jednak jest stosowana do wstępnego wzbogacania kopalni lub też wchodzi w skład wariantów wzbogacania hydrochemicznego.

Kopaliny boru można wzbogacać mechanicznie metodą grawitacyjną, magnetyczną, flotacyjną, elektrostatyczną, radiometryczną lub metodami kombinowanymi.

Grawitacyjnie wzbogaca się rudy colemanitowo-uleksytowe $\{\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}\}$ po uprzedniej termicznej obróbce. Nadawę rozdrabnia się poniżej 19 mm, a następnie praży się w tem-

peraturze 800°C. W czasie prażenia materiał ulega dekrepitacji. Tak przygotowany produkt klasyfikuje się na przesiewaczach 0,7 mm. Produkt dolny zawierający głównie glinę i colemanit rozdziela się na powietrznych stołach koncentracyjnych lub w klasyfikatorach powietrznych, natomiast produkt górny, zawierający skalę płonną i uleksyt, który posiada nieco niższą gęstość, wzbogaca się na mokro w osadzarkach i na stołach koncentracyjnych. Proces ten jest możliwy, gdyż prażony uleksyt słabo rozpuszcza się w zimnej wodzie.

Magnetycznie wzbogaca się kopaliny ludwigitu $\{(Mg,Fe)_2Fe[O_2BO_3]\}$. Po rozłożeniu na drobnoziarnisty agregat ascharytu i magnetytu, ten ostatni oddziela się na drodze separacji magnetycznej. Uzyskuje się w ten sposób koncentraty magnetytowe, ewentualnie siarczkowe i boronośne „odpady”, które są koncentratem ascharytu $\{Mg_2[B_2O_3]\cdot H_2O\}$. Dalsza jego przeróbka technologiczna prowadzona jest analogicznie jak w przypadku kopaliny ascharytu. Warunkiem właściwego przebiegu procesu jest dobre oddzielenie magnetytu.

Flotacyjnie wzbogaca się ubogie kopaliny zawierające minerały boru. Hydroboracyt $\{MgCa[B_3O_4(OH)_3]_2\cdot 3H_2O\}$ flotuje kwasami tłuszczowymi i ich solami. Dobrze flotuje z utlenionym olejem solarowym. Aktywatorami są emulgowana nafta, terpentyna; depresorem, przy flotacji kwasem oleinowym, są jony OH. Datolit flotuje zbieraczami kationowymi. Inyoit i uleksyt flotuje się za pomocą kwasu oleinowego lub utlenionego oleju solarowego. Boraks $\{Na_2[B_4O_5(OH)_4]\cdot 8H_2O\}$ i colemanit flotuje się kwasami naftenowymi, kwasami tłuszczowymi i ich solami., czasami z dodatkiem aniliny lub jej homologów; aktywatorami są $BaCl_2\cdot 2H_2O$ i sole ołowiu. Odczynnikami pianotwórczymi są anilina, ksylidyna, pirydyna; depresorami skały płonnej są krochmal, dekstryny, quebracho. Kryształy kwasu bornego flotują w sposób naturalny bez dodatku zbieraczy i odczynników pianotwórczych, czasem dodaje się małe ilości oleju sosnowego; regulatorem procesu jest nasycony roztwór kwasu bornego. Ubogie kopaliny boru (1,0–6,5 B_2O_3) zawierające zwykle hydroboracyt, po usunięciu ziaren $<0,5 \mu m$ (odsłanowanie glin) wzbogaca się flotacyjnie. Hydroboracyt flotuje się zbieraczem stosując dawki w ilości 1,2 kg/t z dodatkiem krochmalu około 2 kg/t, aktywatorem jest terpentyna w ilości 2 kg/t lub emulgowana nafta (74 g/t). W rezultacie wzbogacania uzyskuje się koncentrat o zawartości 32–34% B_2O_3 . Do rozdzielania hydroboracytu od gipsu stosuje się sól sodową kwasu sulfonowego w kombinacji z krochmalem.

Metodami kombinowanymi wzbogaca się kopaliny datolitowe $\{CaB[OH|SiO_4]\}$, nasycone roztwory z jeziora Searles (Kalifornia) i kopaliny zawierające minerały boru będące solami kwasu borowego. Kopaliny datolitowe, zawierające datolit, kalcyt, gra-

nat i inne minerały, po rozdrobnieniu wzbogaca się prowadząc kolektywną flotację datolitu, kalcytu i granatu przy zastosowaniu szarego mydła w środowisku zasadowym. Koncentrat kolektywny poddaje się działaniu szkła wodnego i $CuSO_4$, a następnie wyflotowuje się kalcyt. Produkt nie flotujący suszy się i rozdziela datolit od granatu przy pomocy wzbogacania magnetycznego.

Nasycone roztwory znajdujące się w masie krystalicznej wysychającego jeziora kierowane są do zakładu produkującego KCl i boraks. Do ługowania włączone jest stadium flotacji. W czasie procesu prowadzi się parowanie w podwyższonej temperaturze do punktu wykrywania sylwinu. Sylwin i boraks krystalizują niemal jednocześnie. W pierwszej fazie krystalizacji są usuwane kryształy sylwinu, a następnie prowadzi się krystalizację obu soli. Mieszanie soli flotuje się w cieczy macierzystej przy obniżonej temperaturze. Boraks odflotowuje się od sylwinu za pomocą kwasu oleinowego, ksylenu, żywicy terpentynowej, nafty i kwasów naftenowych. Można poprowadzić także proces odwrotny wyflotowując sylwin za pomocą odczynnika Emulsol 480. Boraks wyflotowuje się z mieszaniny halitu, tenardytu i mirabilitu przy pomocy kwasu oleinowego lub alkalicznej soli alkilowego kwasu siarkowego (odczynnik Acidol L).

Kopaliny boracytowe $\{Mg_3[Cl|B_7O_{13}]\}$ i colemanitowe wzbogaca się flotacyjnie po uprzedniej obróbce kwasami nieorganicznymi. Po rozkładzie boranów tworzą się kryształy kwasu borowego, flotujące bez dodatku zbieracza. W celu uzyskania koncentratu o wysokiej jakości dodaje się małe ilości odczynnika pianotwórczego (olej sosnowy). Ten sposób wzbogacania jest też stosowany do wydzielenia koncentratów boru z niektórych solanek zawierających borany. Zawiesinę minerałów traktuje się SO_2 (lub kwasami), otrzymując na tej drodze kwas borowy, który następnie usuwa się za pomocą flotacji.

Elektrostatycznie wzbogaca się kopaliny uleksytu. Nadawę po rozdrobnieniu elektryzuje się przez tarcie na powierzchniach wykonanych z siarczku miedziowego, a następnie rozdziela się we wzbogacalniku tryboelektrycznym. Metoda ta służy głównie do oddzielenia uleksytu od bentonitu. Z rudy zawierającej 1,9% uleksytu uzyskuje się 90% koncentrat uleksytu przy uzysku około 80%. Odpady zawierają $<0,5\%$ uleksytu.

Radiometrycznie wzbogaca się ubogie kopaliny boru, zawierające węglany wapnia utrudniające flotację, a będące domieszkami szkodliwymi. Proces prowadzi się wykorzystując to, że bor ma właściwości rezonansowego pochłaniania neutronów. W tym celu skonstruowano absorpcyjno-neutronowy wzbogacalnik radiometryczny. Tym sposobem można otrzymać produkty o przemysłowej zawartości boru (tabela 2).

Tabela 2. Wyniki wzbogacania rud boru metodą radiometryczną

Nadawa			Koncentrat						Odpady					
Zawartość		Stosunek $\frac{\text{CaCO}_3}{\text{B}_2\text{O}_3}$	Wychód, %	Zawartość		Stosunek $\frac{\text{CaCO}_3}{\text{B}_2\text{O}_3}$	Zawartość		Wychód, %	Uzysk, %		Stosunek $\frac{\text{CaCO}_3}{\text{B}_2\text{O}_3}$	Uzysk, %	
B ₂ O ₃	CaCO ₃			B ₂ O ₃	CaCO ₃		B ₂ O ₃	CaCO ₃		B ₂ O ₃	CaCO ₃		B ₂ O ₃	CaCO ₃
3,5	–	–	29,5	9,81	–	–	82,5	–	70,5	0,87	–	–	17,5	–
6,7	12	1,8	42,3	11,58	8,57	0,74	73,0	30,0	57,7	3,13	14,5	4,64	27,0	70,0
8,4	22	2,6	65,4	11,70	10,50	0,90	91,3	31,3	34,6	2,15	43,7	20,40	8,7	68,7