

ANDRZEJ BARCZUK

Geneza konkrecji kalcytowych w szarogłazach kulmu Gór Bardzkich

CALCAREOUS CONCRETIONS IN THE CULMIAN GRAYWACKES OF THE BARDO MTS (SUDETES)

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono charakterystykę petrograficzną i mineralogiczną konkrecji o spoiwie kalcytowym, występujących w utworach kulmu środkowej części Gór Bardzkich. Podjęto próbę wyjaśnienia genezy tych konkrecji rozpatrując możliwe przyczyny ich tworzenia się, sposoby wymiany materiału między osadem macierzystym a powstającymi w nim konkrecjami oraz prawdopodobnie źródła substancji węglanowej. Na podstawie wyników analiz uznano konkrecje za wczesnodiaogenetyczne, a ponadto określono w przybliżeniu warunki fizykochemiczne ich powstawania.

WSTĘP

W utworach kulmu środkowej części regionu bardzkiego występują liczne konkrecje o spoiwie kalcytowym, mające często idealnie kuliste kształty (pl. 1—2). Spotykane są one między innymi w dobrze odsłoniętej skarpie, ciągnącej się wzdłuż drogi Bardo Śląskie — Opolnica, oraz w niewielkich odkrywkach na wzgórzu Łupianka; sporadycznie występują one także w innych odsłonięciach pomiędzy Łupianką a Bardem Śląskim (fig. 1).

Utwory kulmu zawierające konkrecje wykształcone są w postaci monotonnej, nierozpoziomowanej stratygraficznie serii naprzemianległych szarogłazów, łupków i rzadziej — mułowców i zlepieńców szarogłazowych należących zapewne do wizenu (Oberc 1957, 1966; Teisseyre 1958, 1961; Żakowa 1963). Z dotychczasowych autorów badających te utwory (por. także Dathe 1901, Finckh 1926, Bederke 1929) nikt o występowaniu tutaj konkrecji nie wspomina.

Przeprowadzone przez autora badania petrograficzne (Barczuk 1969) pozwoliły wydzielić w omawianych utworach zawierających konkrecje

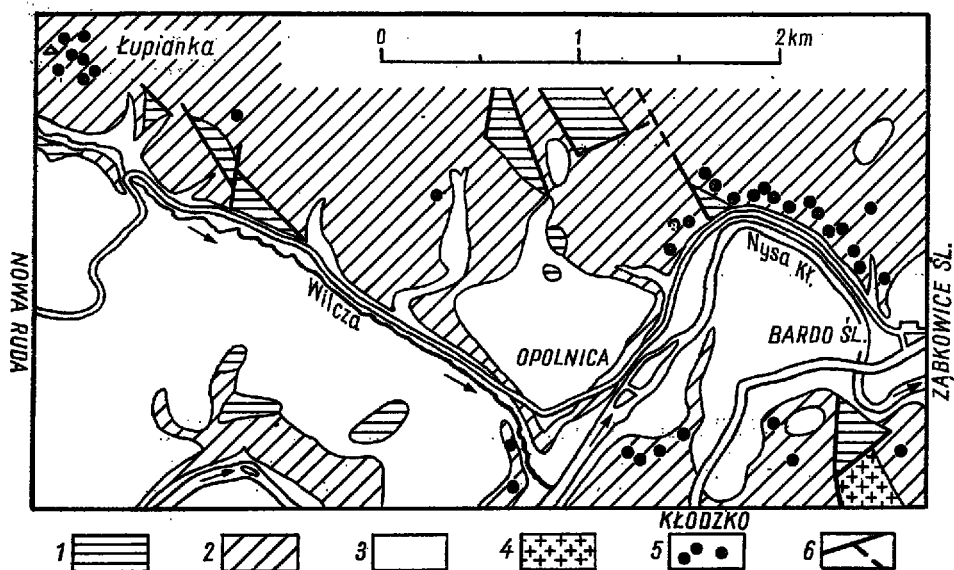


Fig. 1

Schematyczny szkic geologiczny badanego terenu (wg Finckha 1926)

1 dewon dolny, 2 karbon, 3 czwartorzęd, 4 granodioryt (intruzja kłodzko-ziostocka), 5 miejsca występowania konkrecji, 6 uskoki

Geological sketch-map of the investigated area (after Finckh 1926)

1 Lower Devonian, 2 Carboniferous, 3 Quaternary, 4 granodiorite, 5 location sites of concretions, 6 faults

dwa kompleksy litostratygraficzne, charakteryzujące się przewagą materiału klastycznego pochodzenia bądź metamorficznego (gnejsowego), bądź wulkanicznego (keratofirowego). W obu kompleksach zaobserwowano też pojedyncze, cienkie i nieregularne przeławicenia węgliste. Analogie litologiczne z udokumentowanymi paleontologicznie utworami północno-zachodniej części regionu bardzkiego (Oberc 1957, Żakowa 1963) pozwalają przypuszczać, że serie zawierające konkrecje odpowiadają wiekowi wizenowi środkowemu i częściowo wizenowi górnemu (por. Barczuk 1969).

Autor pragnie złożyć serdeczne podziękowanie dr hab. A. Radwańskiemu za krytyczne przejście maszynopisu pracy.

SPOSÓB WYSTĘPOWANIA KONKRECJI

Badane konkrecje występują wyłącznie w ławicach szarogłazów o różnej frakcji (od mułowców do zlepieńców), natomiast nie pojawiają się nigdy w licznych i stosunkowo grubych (do kilkunastu metrów miąższości) przeławiceniach łupków ilasto-kwarcowych. Charakterystyczny jest przy tym fakt, że konkrecje nigdy nie przechodzą przez powierzchnie spagowe lub stropowe ławic.

Wśród badanych konkrecji można wyróżnić megaskopowo dwie odmiany:

1. Konkrecje posiadające wyraźne powierzchnie oddzielności od otaczającej skały, a cechujące się regularnymi, z reguły niemal idealnie kulistymi kształtami (pl. 1 i 2). Ich barwa jest zbliżona do barwy skały otaczającej. Powierzchnie oddzielności mają na ogół gładkie, tylko miejscami lekko pomarszczone, zwłaszcza w dolnych partiach konkrecji (pl. 1, fig. 2). Średnica konkrecji waha się od kilku centymetrów do jednego metra. Konkrecje te są wyraźnie twardsze i bardziej odporne na wietrzenie niż otaczająca skała, często więc wystają ze ścian odkrywek, a dzięki powierzchniom oddzielności — wypadają ze ścian (pl. 2, fig. 2).

2. Konkrecje bez powierzchni oddzielności z otaczającą skałą cechują się niezbyt regularnymi kształtami (pl. 3). Nie wystają one ze ścian odkrywek, wietrzejąc równocześnie ze skałą otaczającą, od której wyróżniają się jedynie nieco jaśniejszym zabarwieniem i mniejszą twardością. Ich wielkości są różne; średnica waha się od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Konkrecje te wykazują często ślady półplastycznych odkształceń — są one wtedy nieco porozciągane lub pozgniatane. W wielkich przypadkach konkrecje wietrzeją szybciej niż skały macierzyste, przechodząc w miękką, brunatną zwietrzelinę, która niekiedy zastępuje całkowicie pierwotny materiał konkrecji.

Rozmieszczenie konkrecji w profilu pionowym cechuje się regularnością. W poszczególnych ławicach występują z reguły konkrecje tego samego typu i o zbliżonej wielkości (pl. 2, fig. 2). Charakterystyczne jest, że konkrecje nieregularne, miękkie, bez powierzchni oddzielności występują w najgrubszym w badanym profilu kompleksie szarogłazów „skalistych” (por. Barczuk 1969). Ten 30-metrowej miąższości kompleks ograniczony jest od spągu i stropu pakietami łupków ilasto-kwarcowych o porównywalnej miąższości (od kilku do kilkunastu metrów), zawierającymi cienkie, nieregularne przeławicenia węgliste. Konkrecje regularne grupują się natomiast głównie ponad kompleksem szarogłazów „skalistych”, w niezbyt grubych ławicach szarogłazów (o średniej miąższości ok. 0,5—1,0 m), poprzedzielanych wyjątkowo kilkucentymetrowymi wkładkami łupkowymi.

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA KONKRECJI

Struktura poszczególnych konkrecji jest zgodna ze strukturą skały otaczającej: np. konkrecje występujące w szarogłazach o frakcji psamitowej zawierają okruchy detrytyczne tej właśnie frakcji. Również teksturą konkrecji odpowiada teksturze skały otaczającej: na ogół jest zbita i bezkierunkowa, rzadziej — słabo równoległa (pl. 4, fig. 1a, b). W niektórych konkrecjach o zdeformowanych kształtach zaznaczają się lekkie zaburzenia równoległości tekstury. Wszystkie zbadane konkrecje zawierają w centrum drobne skupienia substancji organicznej (pl. 4, fig. 1a, b).

Skład mineralny konkrecji jest odmienny niż skład skały otaczającej. Różnica polega głównie na zastąpieniu spoiwa typu masy wypełniającej, charakterystycznego dla wszystkich odmian szarogłazów, spoiwem kalcytowym, które jest wyraźnie gru-

bokkrystaliczne (największe kryształy osiągają powierzchnię kilku cm^2). Większe różnie krystalograficznie zorientowane kryształy zamykają w sobie liczne okruchy detrytyczne w formie półkilitowych wrostków. Miejscami spoiwo może być także drobnokrystaliczne (pl. 5, fig. 1) lub nawet pelityczne.

Skład mineralny okruchów detrytycznych w skałach otaczających oraz w konkrecjach jest natomiast bardzo podobny: kwarc, skalenie, okruchy skał magmowych (głównie wulkanicznych — pl. 7, fig. 1—2), okruchy skał metamorficznych i osadowych (tab. 1 oraz fig. 2).

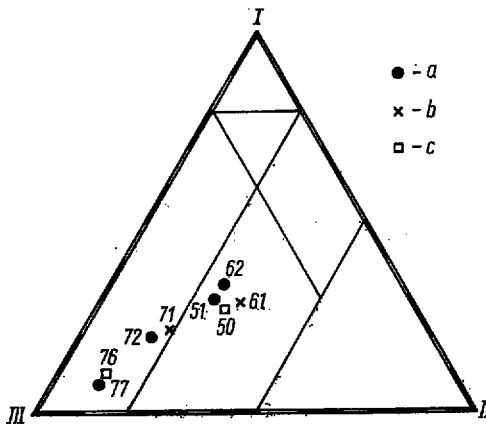


Fig. 2
Trójkąt klasyfikacyjny (wg Lydki 1955)
analizowanych konkrecji oraz skał otaczających

I kwarc, II skalenie + kaolinit, III okruchy skał + minerały lśnące + minerały ciemne

a konkrecje, b szarogłazy drobnoziarniste, c szarogłazy gruboziarniste i zlepocowate

Classification triangle (after Lydka 1955) of the concretions and surrounding rocks

I quartz, II feldspars + kaolinite, III detrital material + micaceous minerals + dark minerals

a concretions, b fine-grained graywackes, c coarse-grained and conglomeratic graywackes

W obrębie konkrecji widoczna jest silna korozja poszczególnych składników przez kalcyt (pl. 7, fig. 1; pl. 8, fig. 1—2) aż do utworzenia pseudomorfoz po pierwotnych minerałach. Kalcyt zastępuje najłatwiej masę wypełniającą, następnie plagioklasy (od zasadowych do kwaśnych), skalenie potasowe, minerały ciemne, chloryty oraz okruchy skał zawierających wymienione składniki. Efekty procesów karbonatyzacji zaznaczają się również w bezpośrednim otoczeniu konkrecji, zanikając już zupełnie w odległości kilku centymetrów od granic konkrecji. W dalszej odległości kalcyt występuje (prócz drobnych okruchów detrytycznych) jedynie w postaci cienkich żyłek, przecinających także konkrecje, a więc wyraźnie od nich późniejszych (pl. 5, fig. 2; pl. 6, fig. 1).

Procesy chlorytyzacji są również silniej rozwinięte w konkrecjach, niż w skale otaczającej. Konkrecje zawierają z reguły całkowite pseudomorfozy chlorytowe po biotycie oraz innych, nie określonych bliżej minerałach ciemnych, natomiast otaczające skały zawierają biotyt, amfibole i pirokseny znacznie słabiej schlorytyzowane. W obrębie szarogłazów zaznacza się zresztą lokalne wzbogacenie w chloryty występujące w formie drobnych, nieregularnych skupień w masie wypełniającej.

Procesy kaolinizacji, serycytyzacji i albityzacji skaleni przejawiają się z niezbyt wielką intensywnością zarówno w konkrecjach jak i w skałach otaczających.

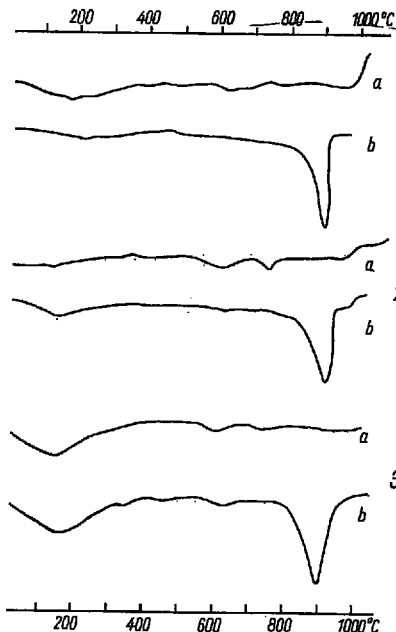
Ważnym składnikiem konkrecji jest wtórny piryt, który zawsze współwystępuje z kalcytowym spoiwem. Tworzy on stosunkowo duże (do kilku milimetrów), automorficzne kryształy (pl. 4, fig. 2) lub agregaty kryształów, które z reguły zawierają nieregularne półkilitowe wrostki pierwotnych składników konkrecji — masy wypełniającej, okruchów kwarcu, skaleni oraz różnych skał (pl. 6, fig. 2). Kryształy pirytu występują najliczniej w zewnętrznej strefie konkrecji; miejscami drobne kryształy występują także w niektórych większych okruchach detrytycznych, zwłaszcza skał.

Tabela (Table) 1

Skład mineralny konkrecji i skał z ich bezpośredniego otoczenia (% obj.)
 Mineral composition of concretions and surrounding rocks (% vol.)

Nr próbki	Rodzaj skały	Kwarc	Skałenie	Okruchy skał magmowych	Okruchy skał metamorficznych	Okruchy skał osadowych	Wyszczyki, chloryty i inne minerały ciężkie	Masa wypelniająca lub kalcyt
BARDO ŚLĄSKIE	77 konkrecja	5,0	6,9	20,2	10,8	26,2	2,5	28,4
	76 zlepienie	8,8	8,1	27,5	18,1	24,4	1,8	11,3
BARDO ŚLĄSKIE	62 konkrecja	13,7	10,6	1,7	4,9	4,9	5,3	58,9
	61 szarogłaz	18,2	20,5	2,6	12,1	5,8	4,0	36,8
ŁUPIANKA	Ł-3 szarogłaz	16,5	16,0	1,5	8,5	1,0	1,5	55,0
	Ł-2 konkrecja	5,0	5,5	1,0	11,0	1,0	1,0	75,5
	Ł-1 szarogłaz	10,5	10,5	1,0	9,5	1,0	1,5	66,0

Fig. 3



Krzywe DTA konkrecji i skał otaczających
 Warunki pomiaru: masa próbki ok. 1,0 g, szybkość ogrzewania ok. 10°C/min., substancja porównawcza Al_2O_3 , czułość DTA 1/10

- 1 — odmiana gruboziarnista z okolic Barda Śląskiego (całość próbki); a konkrecja (próbka 62), b szarogłaz (próbka 61)
- 2 — odmiana średnioziarnista z okolic Barda Śląskiego (frakcja ilasta); a konkrecja (próbka 67), b szarogłaz (próbka 68)
- 3 — odmiana średnioziarnista z rejonu Łupianki (frakcja ilasta); a konkrecja (próbka Ł-1), b szarogłaz (próbka Ł-2)

DTA curves of concretions and surrounding rocks

Measurement conditions: weight of sample c. 1.0 g, rate of heating c. 10°C/min., comparative substance — Al_2O_3 , DTA sensitivity 1/10

- 1 — coarse-grained variety from Bardo Śląskie (complete sample); a concretion (sample 62), b graywacke (sample 61)
- 2 — medium-grained variety from Bardo Śląskie (clay fraction); a concretion (sample 67), b graywacke (sample 68)
- 3 — medium-grained variety from Łupianka (clay fraction); a concretion (sample Ł-1), b graywacke (sample Ł-2)

Nieliczne (poza lyszczykami i chlorytem) minerały przezroczyste frakcji ciężkiej wyseparowane z konkrecji reprezentowane są przez apatyt, cyrkon, epidot, turmalin, rutyl i augit. Natomiast szarogłaz z bezpośredniego otoczenia konkrecji zawiera jako główny składnik hornblendę zieloną.

Wietrzenie konkrecji zachodzi koncentrycznie — od zewnątrz ku środkowi, co przejawia się głównie utlenianiem pirytu, przeobrażaniem skałeni w mieszaninę nie określonych bliżej minerałów ilastych i ługowaniem kalcytu. Produkty wietrzenia mają brunatną barwę, są dość miękkie i mało zwięzłe.

Analizy DTA i TG wykazały (fig. 3 i 4) w konkrecjach obecność znacznych ilości kalcytu (w niektórych konkrecjach kalcyt zawiera drobne domieszki manganu — próbki 41 i 77, fig. 4), mniejszych ilości pirytu oraz mieszaniny nie określonych bliżej minerałów ilastych. Derywatogramy skał z bezpośredniego otoczenia poszczególnych konkrecji różnią się brakiem reakcji charakterystycznej dla kalcytu; pozostałe reakcje są podobne jak dla konkrecji (fig. 3). „Kora” zwietrzeliwna konkrecji jest pozbawiona kalcytu i pirytu, natomiast zawiera mieszaninę bliżej nie określonych minerałów ilastych z przewagą prawdopodobnie illitu (próbka 77, fig. 4).

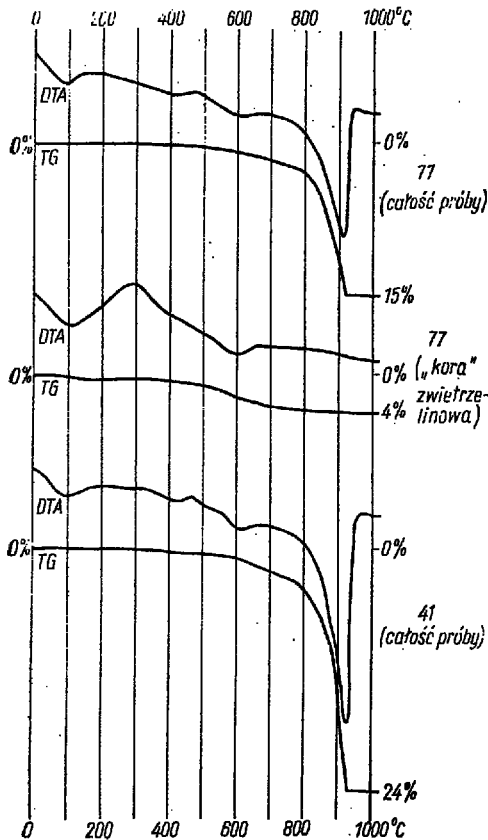


Fig. 4

Krzywe DTA i TG konkrecji

Warunki pomiaru: masa próbki 0,3 g, szybkość ogrzewania ok. 10°C/min., substancja porównawcza Al_2O_3 , czułość TG 100 mg, czułość DTG i DTA 1/10

DTA and TG curves of concretions

Measurement conditions: weight of sample 0.3 g, rate of heating c. 10°C/min, comparative substance Al_2O_3 , sensitivity of TG 100 mg, sensitivity of DTG and DTA 1/10

WARUNKI POWSTAWANIA KONKRECJI

Przedstawiony materiał analityczny wskazuje, że badane konkrecje tworzyły się najprawdopodobniej w półplastycznych, słabo skonsolidowanych osadach, na niewielkiej głębokości pod ich górną powierzchnią. Na taki wczesnodiaogenetyczny charakter konkrecji wskazuje przede wszyst-

kim ich forma, plastyczne deformacje kształtu, wyraźnie wtórny charakter spoiwa kalcytowego oraz efekty procesów karbonatyzacji pierwotnych składników mineralnych.

Jak sądzić można z literatury przedmiotu, większość konkrecji powstaje właśnie w pierwszych etapach diagenety (por. Pettijohn 1957; Weeks 1957; Vital 1959; Strakhov 1960; Botvinkina 1960; Seibold 1962; Chilingar, Bissell & Wolf 1967; Müller 1967; Degens 1968), choć nie brak oczywiście także przykładów konkrecji tworzących się w innym okresie, w tym również synsedymenacyjnych (por. Amstutz & Bubenicek 1967). Wśród konkrecji kalcytowych Pantin (1958) wyróżnił trzy odmiany genetyczne: 1) syngenetyczne, utworzone w osadach morskich w czasie depozycji osadów; 2) diagenetyczne, uformowane już po depozycji osadów, ale przed zakończeniem procesów kompaktacji i konsolidacji; 3) epigenetyczne, utworzone po kompaktacji i konsolidacji osadów otaczających. Stosunkowo najpełniejszy obraz warunków powstawania różnych konkrecji podaje G. Müller (1967), według którego w morskich osadach ilastych konkrecje powstają w etapie tzw. płytkiego zasypania (*shallow-burial stage*). W osadach tego typu, o porowatości rzędu 40–80%, przyrost temperatury środowiska w stosunku do stanu pierwotnego (sprzed powstania konkrecji) waha się od 0 do +15°C, zaś ciśnienia — od 0 do około 50 kg/cm²; głębokość powstawania konkrecji pod górną powierzchnią osadu może wynosić od 0 do około 300 m, zaś czas ich wzrostu — od 10⁴ do 10⁵ lat; charakterystyczne jest, że podobne warunki są także optymalnymi dla powstawania siarczków.

Na podstawie współwystępowania w badanych konkrecjach kalcytu i pirytu o wyraźnych cechach jednoczesnej krystalizacji, a także stosunkowo dużych ilości substancji organicznej, można w przybliżeniu określić warunki fizykochemiczne panujące w osadach w miejscach tworzenia się tych konkrecji. Parageneza kalcyt-piryty jest trwała (por. Krumbain & Garrels 1952, Polański & Smulikowski 1969), jeżeli wody denne środowiska sedymentacyjnego cechuje pH powyżej 7,8, natomiast Eh poniżej —2,0. O silnej redukcyjności środowiska sedymentacji świadczy występowanie wśród badanych osadów cienkich przelawień węglistych oraz drobnych skupień substancji organicznej. Skupienia takie występują również we wszystkich zbadanych konkrecjach. Ich centralne położenie w poszczególnych konkrecjach wskazuje, że należy uważać je za przyczynę uruchamiającą migrację węglanów, a w konsekwencji powodującą proces tworzenia się konkrecji.

Materiał organiczny, rozkładając się w odpowiednich warunkach, może wytwarzać m.in. amoniak lub aminy, alkalizujące w ograniczonej przestrzeni środowisko. Takie lokalne warunki fizykochemiczne powodują spadek rozpuszczalności węglanów i wytrącanie ich z nasyconych roztworów intergranularnych. Wskutek tego w roztworach maleje koncentracja węglanów i wówczas dla wyrównania stężeń rozpoczyna się migracja kwaśnych węglanów z otoczenia w stronę miejsc o obniżonej rozpuszczalności (por. Lippmann 1955, Larsen & Chilingar 1967). Uruchamia się w ten sposób stały prąd dyfuzyjny, dostarczający nowych porcji określonych składników. Rozważane procesy, połączone ze stałym wzrostem konkrecji, kontynuują się aż do końca okresu wytwarzania się amoniaku i wyrówna-

nia stężeń, lub też do wyczerpania się węglanów w otaczającym środowisku (por. Lippman 1955).

Fakt, że badane konkrecje występują wyłącznie w skałach o grubszej frakcji, a nie ma ich w licznych i stosunkowo grubych pakietach łupków ilasto-kwarcowych, świadczy również o tym, że istotny wpływ na tworzenie się konkrecji ma porowatość i przepuszczalność osadów. Cechy te warunkują bowiem zdolność migracji roztworów w osadach oraz łatwość ucieczki CO_2 z osadów podczas ich diagenезы.

Źródła wtórnego kalcytu, budującego omawiane konkrecje, wydają się być dość różnorodne. Znaczne ilości kationów Ca^{2+} w osadach dolnokarbońskich pochodziły zapewne z przydennych wód morskich, które prawdopodobnie były nasycone węglanem wapnia, o czym świadczy pojawienie się lokalnie w regionie bardzkim facji wapienia węglowego (por. Oberc 1957, 1966). Kation Ca^{2+} mógł być dostarczany do basenu bardzkiego z erodowanego wapiennego podłoża dewońskiego, a także z wietrzejących na otaczającym lądzie minerałów glinokrzemianowych skał krystalicznych, z których zbudowane są masywy otaczające strukturę bardzką. Pewne ilości Ca^{2+} mogły też pochodzić z węglanowych okruchów detrytycznych, występujących w osadach dolnokarbońskich, które były rozpuszczane przez roztwory intergranularne, zakwaszone CO_2 . Dwutlenek węgla potrzebny do tych ostatnich reakcji tworzył się w procesie utleniania substancji organicznej w pierwszych etapach postsedymentacyjnych przeobrażeń (por. Muraviev 1971). Część kationów Ca^{2+} dostarczana była również z rozkładu, zachodzącego już w obrębie składanych osadów, najmniej trwałych glinokrzemianów okruchowych, które w badanych skałach noszą ślady rozmaitych procesów wtórnych (karbonatyzacji, chlorytyzacji, serycytyzacji, kaolinizacji), przy czym niektóre z tych procesów zaznaczają się w samych konkrecjach nieco silniej niż w otaczającej skale.

Współwystępowanie w badanych utworach dwu odmian konkrecji wydaje się być związane z różną szybkością powstawania konkrecji, co z kolei wynika z różnej przepuszczalności otaczającego osadu, wywołanej m.in. jego teksturą oraz obecnością lub brakiem izolujących pakietów łupkowych.

Konkrecje miękkie, nieregularne, bez powierzchni oddzielności od skały otaczającej, tworzyły się w osadach narastających szybko. Świadczy o tym duża miąższość kompleksu szarogłazów skalistych, skład mineralny i tekstura budujących go skał oraz brak przelawień łupkowych. Po osadzeniu kompleks ten został przykryty grubym pakietem łupków ilasto-kwarcowych, zaś izolacja taka ograniczyła silnie migrację roztworów między osadami a wodami przydennymi basenu oraz utrudniła ucieczkę CO_2 z tych osadów. Wzrost konkrecji uległ w rezultacie znacznemu zahamowaniu, choć nie zakończył się całkowicie, gdyż w ciągu stosunkowo krótkiego czasu stężenia roztworów mogły pozostać jeszcze niewyrównane. Kation

Ca^{2+} mógł więc dyfundować dalej, nawet już po zakończeniu procesów konsolidacji osadów. Wytrącający się następnie węglan wapnia na wcześniejszych konkrecjach zacierał ich granice z otoczeniem.

Konkrecje twarde, bardziej regularne, oddzielone wyraźnymi powierzchniami od skał otaczających tworzyły się w stosunkowo cienkich warstwach szarogłazów, pozbawionych izolujących przeławień łupkowych, przy mniejszym ciśnieniu warstw nadległych i słabszej kompaktacji. Duża łatwość ucieczki CO_2 oraz niczym nie utrudniona migracja roztworów intergranularnych nasyconych węglanami powodowały, że konkrecje te mogły rosnąć stosunkowo szybko, co doprowadzało do szybkiego wyrównania stężeń roztworów w osadzie. Całkowity wzrost i konsolidacja konkrecji mogły w tych warunkach zakończyć się jeszcze przed konsolidacją osadów otaczających, co w konsekwencji spowodowało wytworzenie między nimi powierzchni oddzielności.

WNIOSKI KOŃCOWE

Badane konkrecje są utworami wczesnodiagenetycznymi, które powstawały w półplastycznym osadzie, na niewielkiej głębokości pod jego górną powierzchnią. Przyczyną warunkującą powstanie tych konkrecji było wytworzenie się lokalnego odchylenia od ogólnych warunków fizykochemicznych panujących w osadach: prawdopodobnie miejscami, wskutek rozkładu substancji organicznej bez dostępu tlenu, powstało środowisko alkaliczne i silnie redukcyjne (pH powyżej 7,8; zaś Eh poniżej —2).

Czynnikami umożliwiającymi wzrost konkrecji były zapewne porowatość i przepuszczalność osadów, pozwalające na migrację roztworów intergranularnych i ucieczkę CO_2 z osadów.

Przyczynami hamującymi w końcu wzrost konkrecji było wyrównanie warunków fizykochemicznych w osadach, wyczerpanie się źródeł węglanu wapnia w osiągalnym otoczeniu oraz, w mniejszym stopniu — pełna konsolidacja osadów.

Źródłami węglanu wapnia, nasycającego roztwory intergranularne w osadach dolnokarbońskich basenu bardzkiego były prawdopodobnie wody przydenne tego basenu, a ponadto, na mniejszą skalę — rozkładające się w osadach najmniej trwałe, okruchowe glinokrzemiany i okruchy skał węglanowych.

*Institut Geochemii, Mineralogii i Petrografii
Uniwersytetu Warszawskiego
02-089 Warszawa, Al. Zwirki i Wigury 93
Warszawa, w lutym 1973 r.*

LITERATURA CYTOWANA

- AMSTUTZ G. C. & BUBENICEK L. 1967. Diagenesis in sedimentary mineral deposits. In: LARSEN G. & CHILINGAR G. V. (Eds.). Diagenesis in sediments — Developments in Sedimentology, vol. 8. Elsevier. Amsterdam.

- BARCZUK A. 1969. Petrografia utworów dolnego dewonu i dolnego karbonu między Bardem Śląskim a Opolnicą. Praca magisterska. Archiwum Instytutu Geochemii, Mineralogii i Petrografii Wydziału Geologii Uniw. Warsz. (*niepublikowane — unpublished*). Warszawa.
- BEDERKE E. 1929. Die varistische Tektonik der mittleren Sudeten. — Fortschr. Geol. Paläont., Bd. 7, H. 23. Berlin.
- BOTVINKINA L. N. 1960. Diagenetic stratification. — Dokl. Akad. Nauk SSSR, Earth Sci. Sect. 125. Moskva.
- CHILINGAR G. V., BISSELL H. J. & WOLF K. H. 1967. Diagenesis of carbonate rocks. In: LARSEN G. & CHILINGAR G. V. (Eds.). Diagenesis in sediments — Developments in Sedimentology, vol. 8. Elsevier. Amsterdam.
- DATHE E. 1901. Die Lagerungsverhältnisse des Oberdevon und Culm am Kalkberge bei Ebersdorf in Schlesien. — Jb. Preuss. Geol. Landesanstalt, Bd. 21. Berlin.
- DEGENS E. T. 1966. Geochemie der Sedimente. Stuttgart.
- FINCKH L. 1926. Geologische Karte des Deutschen Reiches 1:25 000, Erläuterungen zu Blatt Frankenstein. Berlin.
- KRUMBEIN W. C. & GARRELS R. M. 1952. Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. — J. Geol., vol. 60. Chicago.
- LARSEN G. & CHILINGAR G. V. 1967. Introduction. In: LARSEN G. & CHILINGAR G. V. (Eds.). Diagenesis in sediments — Developments in Sedimentology, vol. 8. Elsevier. Amsterdam.
- LIPPMANN F. 1955. Ton, Geoden und Minerale des Barrême von Hoheneggelsen. — Geol. Rundschau, Bd. 43, H. 2. Stuttgart.
- LYDKA K. 1955. Studia petrograficzne nad permokarbonem krakowskim (Petrographic studies concerning Permo-Carboniferous of the Cracow region). — Biul. Inst. Geol. 97. Warszawa.
- MÜLLER G. 1967. Diagenesis in argillaceous sediments. In: LARSEN G. & CHILINGAR G. V. (Eds.). Diagenesis in sediments — Developments in Sedimentology, vol. 8. Elsevier. Amsterdam.
- MURAVIEV V. I. 1971. Karbonaty terrigennych porod — indykatory stadii post-sedimentatsyonnogo preobrazovania (Carbonates of terrigenous rocks as indicators of postsedimentary transformation stages). In: Epigenez i yego mineralnye indykatory (Epigenesis and its mineral indicators). *Iz-vo Nauka*. Moskva.
- OBERC J. 1957. Region Gór Bardzskich (Sudety). *Wydawn. Geol.* Warszawa.
- 1966. Ewolucja Sudetów w świetle teorii geosynklin. — *Prace Inst. Geol.*, vol. 47. Warszawa.
- PANTIN H. M. 1958. Rate of formation of a diagenetic calcareous concretion. — J. Sedim. Petrol., vol. 28, nr 3. Menasha.
- PETTIJOHN F. J. 1957. Sedimentary Rocks. *Harper & Brothers*. New York.
- POLAŃSKI A. & SMULIKOWSKI K. 1969. Geochemia. *Wydawn. Geol.* Warszawa.
- SEIBOLD E. 1962. Kalk-Konkretionen und karbonatisch gebundenes Magnesium. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 26, August. Oxford.
- STRAKHOV N. M. 1960. Osnovy teorii litogeneza, T. 1. Moskva.
- TEISSEYRE H. 1958. Sedymentacja, paleogeografia i tektonika karbonu dolnego w Sudetach Środkowych (Sedimentation, paleogeography and tectonics of the Lower Carboniferous in the Middle Sudetes). — *Kwartalnik Geol.*, vol. 2. no. 3. Warszawa.
- 1961. On the problem of unconformity between the Lower and Upper Carboniferous in the Middle Sudetes. — *Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. Sci. Géol. Géogr.*, vol. 9, no. 1. Varsovie.

- VITAL D. A. 1959. Carbonate concretions in Mesozoic deposits of Russian platform. In: Towards knowledge of diagenesis of sediments. Moskva.
- WEEKS L. G. 1957. Origin of carbonate concretions in shales, Magdalena Valley, Colombia. — Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 68. Washington.
- ŻAKOWA H. 1963. Stratygrafia i zasięgi fałdalne karbonu dolnego w Sudetach (Stratigraphy and facial extents of the Lower Carboniferous in Sudetes). — Kwartalnik Geol., vol. 7, no. 1. Warszawa.

SUMMARY

ABSTRACT: The report presents the petrographic and mineralogic analyses of the early-diagenetic calcite concretions from the Culm graywackes of the Bardo Mts (Central Sudetes). On the basis of their structure and mineralogic composition, an attempt has been made to determine the physico-chemical conditions of their formation. An analysis of the adjacent sediments has, moreover, suggested the source of the carbonate substance of which the concretions are composed.

CHARACTERISTICS OF THE CONCRETIONS

The investigated concretions are most numerous in the Culm deposits (probably Middle/Upper Visean boundary — cf. Zakowa 1963, Oberc 1966) in the vicinity of Bardo Śląskie (Fig. 1) in the Bardo Mts, Central Sudetes.

The concretions occur in layers of graywackes, conglomerates and mudstones, never within the shale intercalations. Here and there they are cut by tectonic planes. They may be divided into two types: 1) concretions without surfaces of separation from the surrounding rock, somewhat irregular in shape (Pl. 3, Figs 1—2), and occurring in the thickest graywacke complexes delimited at the top and bottom by thick shale layers; 2) concretions separated from the surrounding rock by distinct surfaces, regularly spherical in shape (Pl. 1, Figs 1—2; Pl. 2, Figs 1—2), and occurring in medium thick graywacke layers without shale intercalations.

In thin sections the differences between these two types of concretions are not detectable, and both texture and fabric of particular concretions are analogous with the surrounding rocks. The mineral composition of detrital constituents is similar, too (Table 1 and Fig. 2). The calcitic cement in the concretions (Pl. 5, Fig. 1) differs, however, from that in the surrounding rocks (chloritized matrix — Pl. 5, Fig. 2). Moreover, all the concretions display the effects of carbonatization of the fragments of various rocks and minerals (Pl. 7, Figs 1—2; Pl. 8, Figs 1—2). Most susceptible to the above process are: the matrix, plagioclases, potash feldspars, various dark minerals and rock fragments containing these minerals (Table 1). The automorphic secondary pyrite (Pl. 4, Fig. 2) often contains poikilitic inclusions of the matrix, quartz, feldspars, also fragments of other rocks (Pl. 6, Fig. 2). All the concretions contain in their cores minute accumulations of organic substance (Pl. 4, Figs 1a—b).

The thermal-differential and X-ray analyses have shown the cement of the concretions to be calcite with a small admixture of miscellaneous indeterminate clay minerals, and sometimes containing slight amounts of manganese (Figs 3 and 4).

ORIGIN OF THE CONCRETIONS

The form of the concretions, deformations in their shape, the distinctly secondary character of the calcite cement and the effects of carbonatization of the primary mineral constituents suggest these concretions to be the products of early diagenesis. Their formation probably took place in semiplastic, poorly solidified sediments, at a small depth below the bottom surface (cf. Weeks 1957; Strakhov 1960; Chilingar, Bissell & Wolf 1967; Müller 1967; Degens 1968). The coexistence in the concretions of organic substance with calcite and pyrite displaying features of simultaneous crystallization (Pl. 6, Fig. 1) reasonably suggest their local development in an alkaline and reductive medium (pH above 7.8, Eh below -2 ; cf. Krumbain & Garrels 1952). Such physico-chemical conditions could have prevailed owing to the decay of organic substance without the access of oxygen. The resulting differences in the dissolubility of carbonates in the sediments caused the differences in the concretion of carbonates in intergranular solutions, and this in turn mobilized processes of the diffusive equalization of concentrations (cf. Lippmann 1955, Larsen & Chilingar 1967). These processes, accompanied by uninterrupted growth of the concretions, continued until the attainment of an equilibrium of the physico-chemical conditions and of equal concentration in the intergranular solutions.

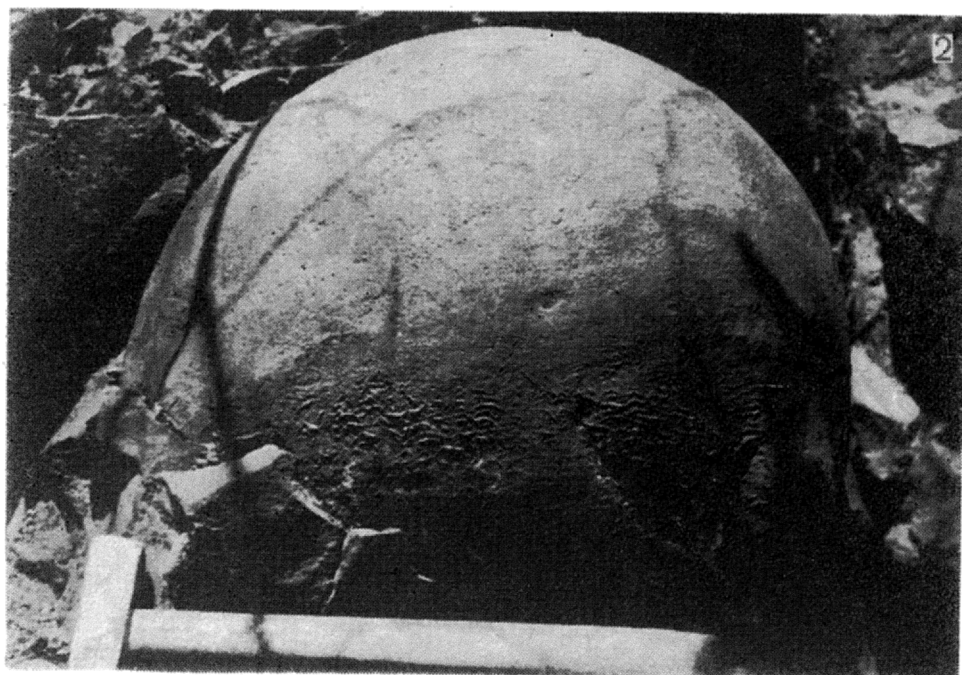
The mode of the occurrence of the two concretion types and the sequence of the adjacent sediments reasonably suggest the main factor controlling the rate of the formation of concretions and the form of their development, namely the ability for migration of intergranular solutions in the sediments and the ready escape of CO_2 — practically speaking — the porosity and permeability of the sediments. The escape of CO_2 from the sediments during their diagenesis moves the equilibrium of reactions taking place in the sediments into formation of solid carbonates (Larsen & Chilingar 1967, Degens 1968).

The source of the concretion-building calcite was most likely in the bottom waters of the Bardo basing, migrating into sediments laid down on the floor of the basin, and permeated with CaCO_3 , as is indicated by the local Carboniferous Limestone facies in the nearby areas (cf. Oberc 1957, 1966). Moreover, certain amounts of the Ca^{2+} cation may have been supplied from weathering detrital aluminosilicates and carbonates. The CO_2 demand was probably made up by the simultaneous oxidation of the organic substance (cf. Muraviev 1971).

The hypergenic weathering of the concretions, taking place concentrically, from the core to the rim, consists in the leaching of calcite, the alteration of feldspars into a mixture of indeterminate clay minerals and the oxydation of pyrite (Fig. 4)

The discussed concretions represent a very spectacular effect of post-sedimentary processes within the Culm sequence of the Bardo Mts. Their further investigations should result in full recognition of diagenesis of these poorly recognized gray-wacke-shale deposits.

*Institute of Geology, Mineralogy and Petrography
of the Warsaw University
02-089 Warszawa, Al. Zwirki i Wigury 93
Warsaw, February 1973*

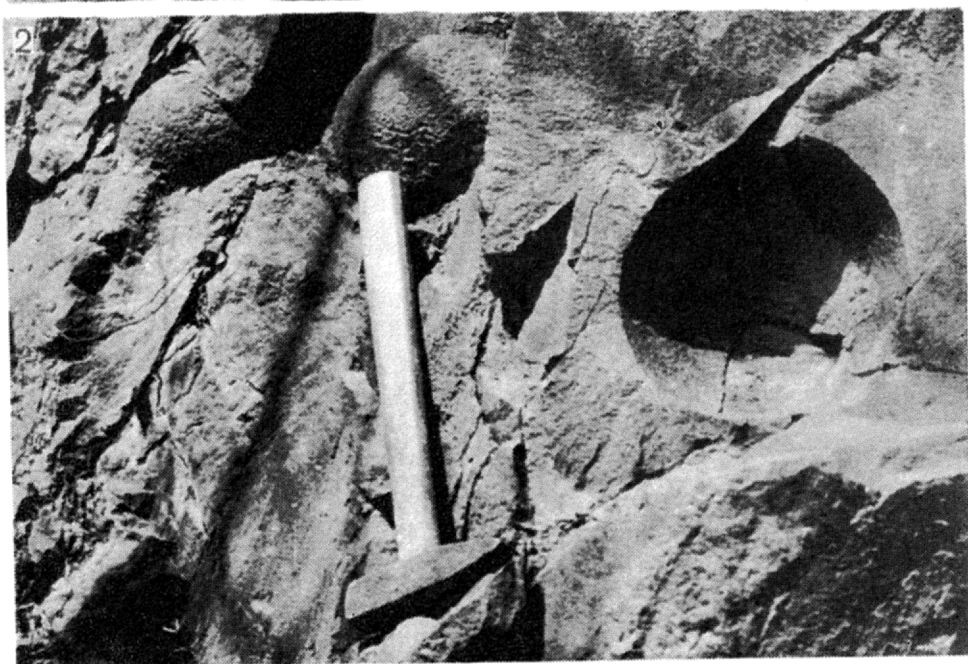


1 — Konkrecja (odmiana 1) wypreparowana przez wietrzenie z otaczających szarogłazów, Opolnica.

2 — Zmarszczenia na powierzchni jednej z większych konkrecji, Opolnica.

1 — Concretion (variety 1) exposed due to weathering from surrounding graywacke, Opolnica.

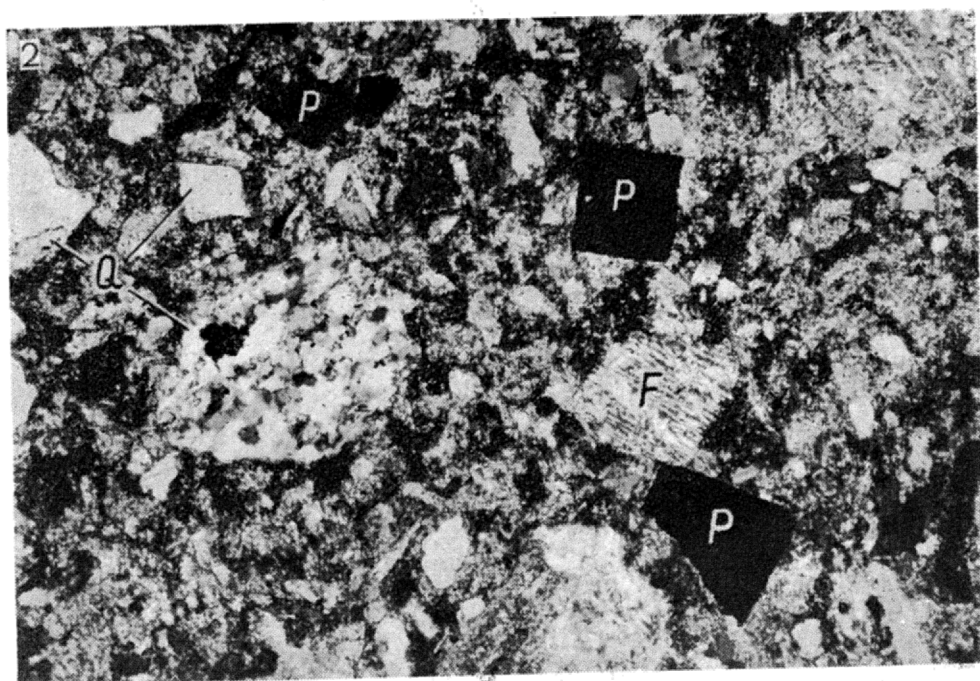
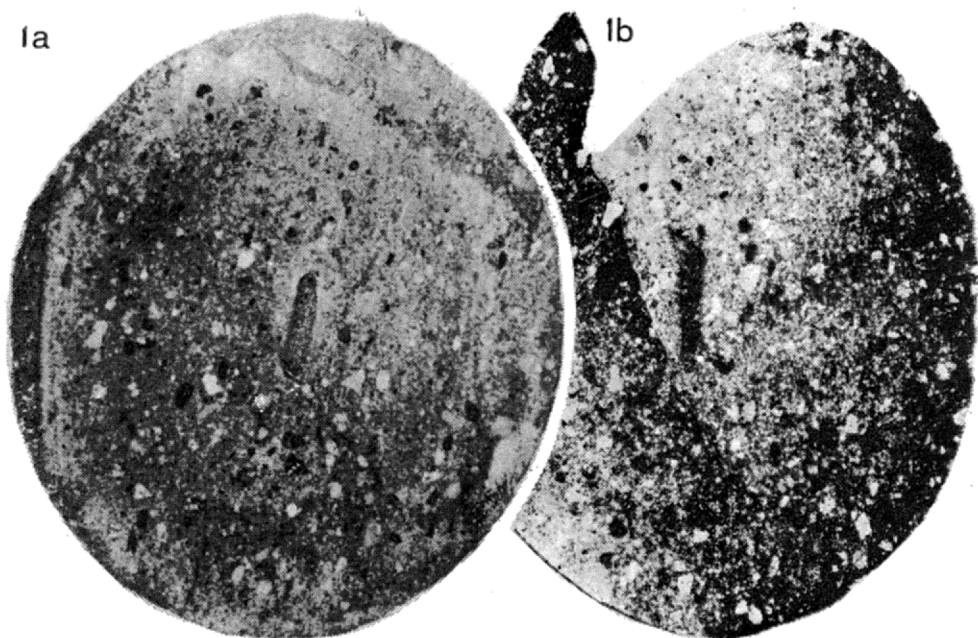
2 — Wrinkles on surface of large concretion, Opolnica.



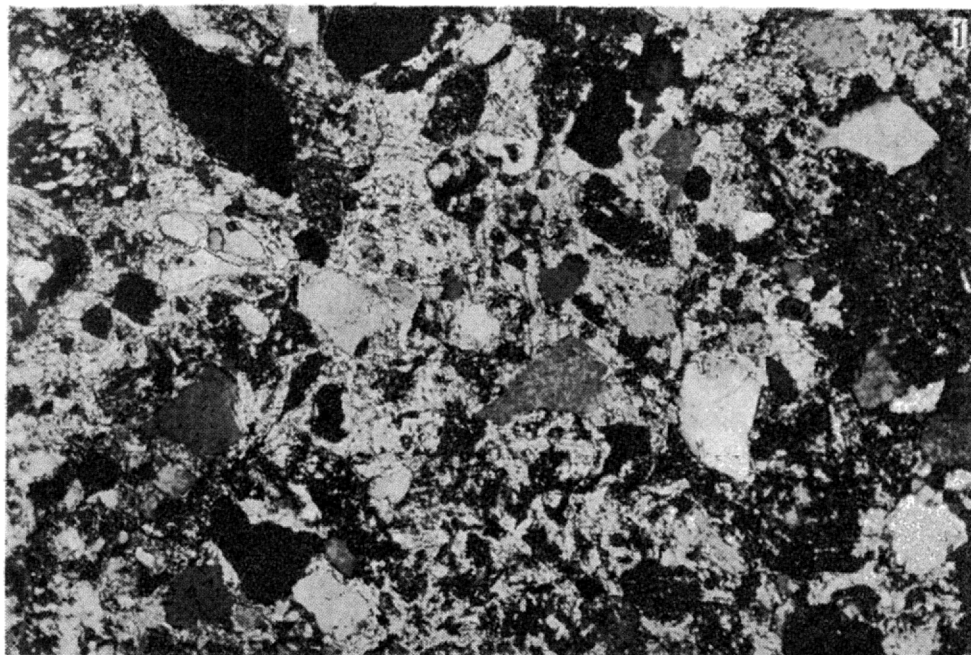
- 1 — Największa konkrecja o średnicy przekraczającej 1 metr, Opolnica.
 2 — Ławica szarogłazowa z zespołem konkrecji o zbliżonej wielkości; z prawej zagłębienie po konkrecji, Opolnica.
 1 — Largest concretion, over 1 m in diameter, Opolnica.
 2 — Graywacke layer with concretions similar in size; at right, a hollow after a concretion fallen-out; Opolnica.



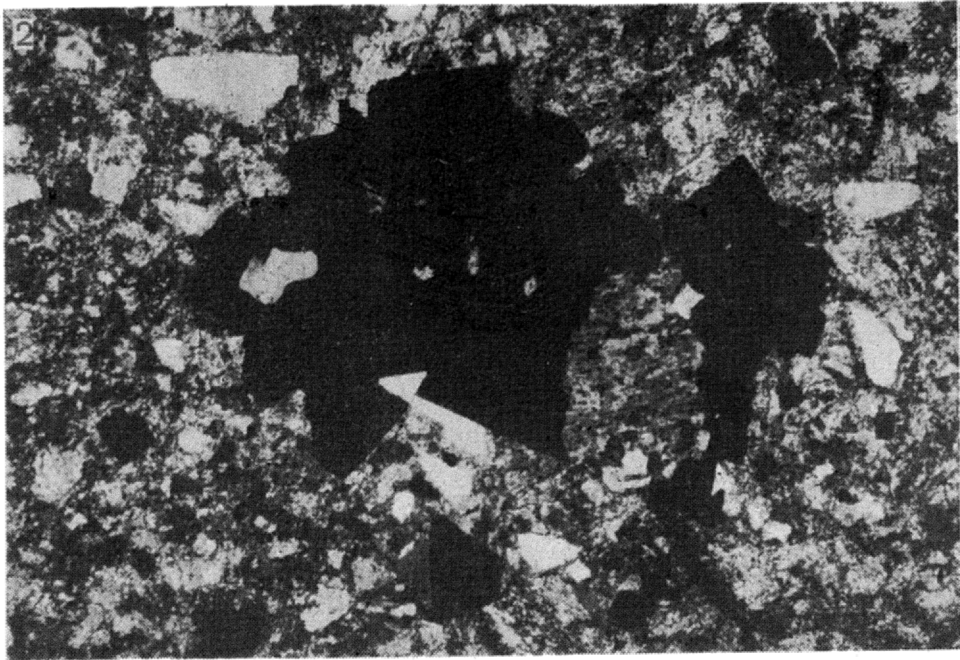
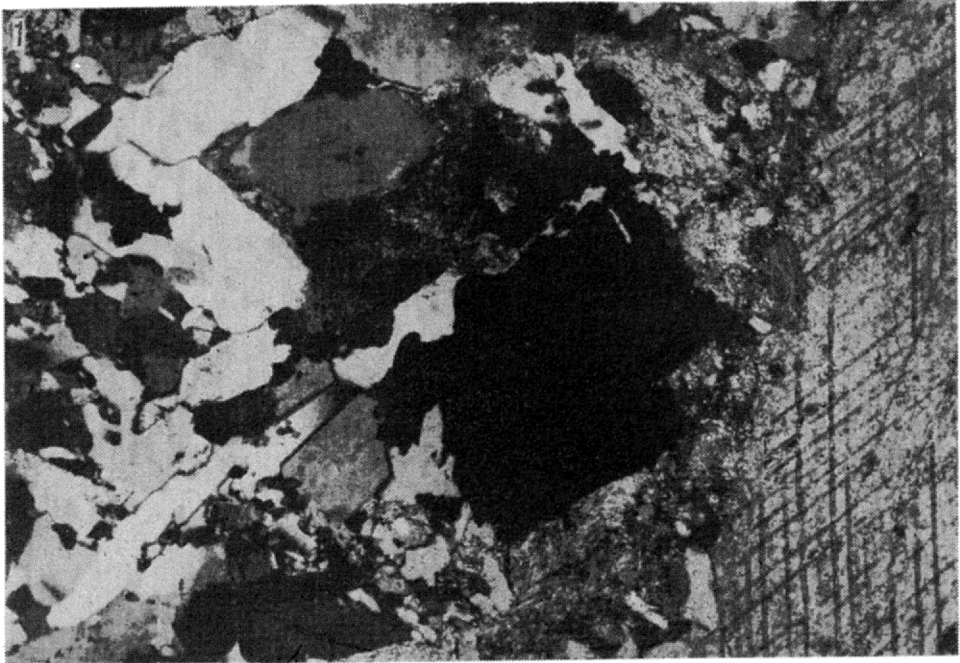
- 1 — Grupowe występowanie konkrecji drugiej odmiany — drobnych, słabo wyróżniających się z otoczenia, o nieregularnych kształtach; kompleks szarogłazów „skalistych”, okolice Barda Śląskiego.
- 2 — Pojedyncza, lekko zwietrzała konkrecja odmiany drugiej; lokalizacja ta sama.
- 1 — Minute, poorly discernible, irregularly shaped concretions (variety 2); complex of "budden" graywackes near Bardo Śląskie.
- 2 — An isolated, slightly weathered concretion (variety 2); locality the same.



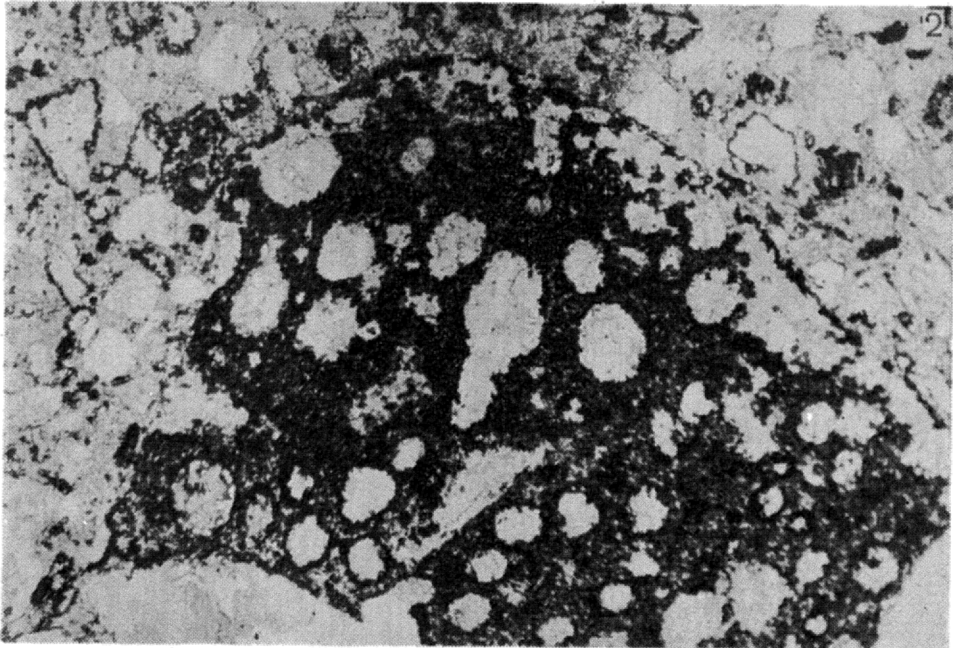
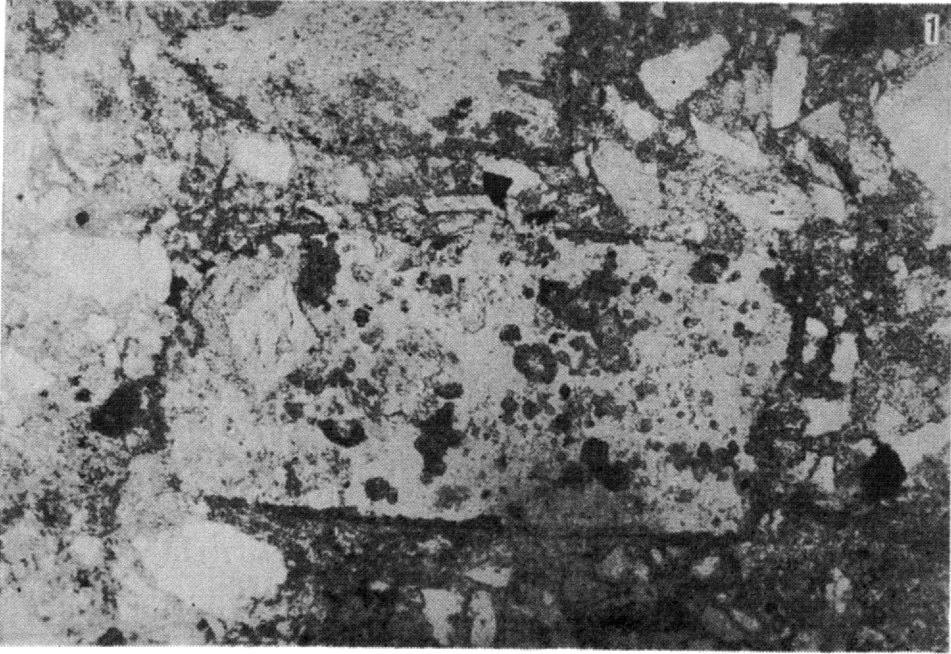
- 1 — Przekrój (1a naszlif, 1b płytka cienka) typowej konkrecji o słabo zaznaczającej się teksturze równoległej; w środku widoczne skupienie substancji organicznej, na obwodzie — strefa zwietrzała; w. nat.
- 2 — Obraz mikroskopowy fragmentu tej samej konkrecji: widoczne ziarna kwarcu (Q), zserycytizowanego plagioklastu (F) oraz kryształy wtórnego pirytu (P); X 25, nikole skrzyżowane
- 1 — Section (1a and thin section 1b) through typical concretion showing a poorly distinguishable parallel structure; in the center, concentrations of organic substance; in the periphery, zone of weathering; nat. size.
- 2 — Microscopic view of a fragment of the same concretion: grains of quartz (Q), sericitized plagioclase (F) and crystals of secondary pyrite (P); X 25, nicols crossed.



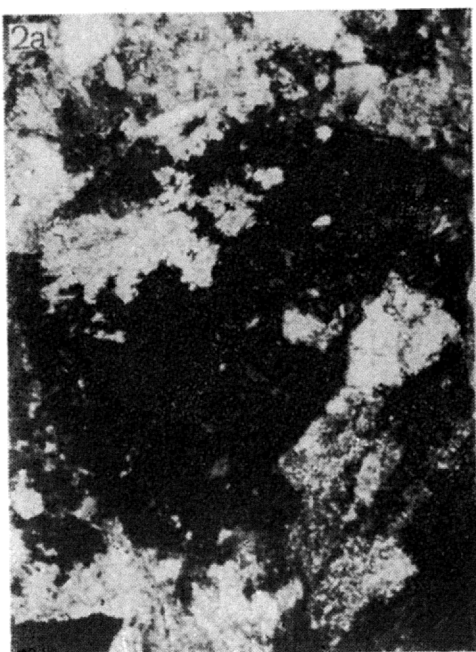
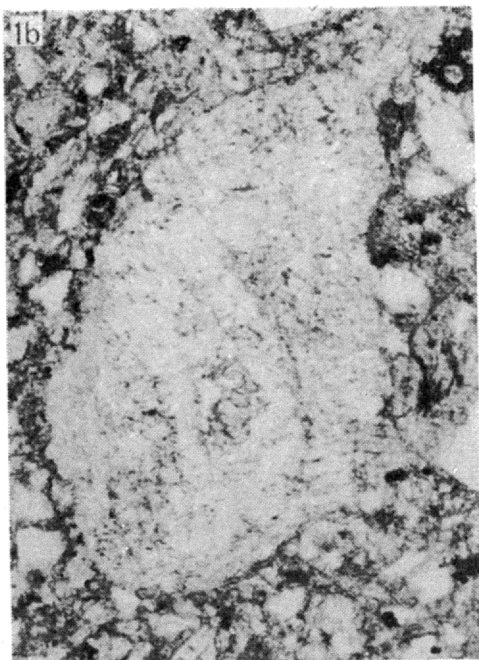
- 1 — Fragment typowej konkrecji: widoczne okruchy różnych minerałów i skał oraz wtórne spoiwo kalcytowe (jasnoszare); X 25, nikole skrzyżowane.
- 2 — Szarogłaz z bezpośredniego otoczenia konkrecji: widoczna masa wypełniająca, różnorodne okruchy detrytyczne oraz drobne żyłki kalcytowe; X 25, nikole skrzyżowane.
- 1 — Fragment of typical concretion, showing detritus of various minerals and rocks, also secondary calcite cement (light-gray); X 25, nicols crossed.
- 2 — Graywacke from the neighbourhood of the concretion presented in preceding figure, showing matrix, diverse detrital material and minute calcite veins; X 25, nicols crossed.



- 1 — Żyłka kalcytowo-kwarcowa tnąca kongrecję; w środku widoczny wtórny piryt; $\times 25$, nikole skrzyżowane.
- 2 — Kryształy wtórnego pirytu, zamykającego w poikilitowych wrostkach pierwotne składniki skał — masę wypełniającą, kwarc, skalenie; $\times 25$, nikole skrzyżowane.
- 1 — Calcite-quartz veinlet cutting the concretion; secondary pyrite visible in the center; $\times 25$, nicols crossed.
- 2 — Crystals of secondary pyrite enclosing in poikilitic inclusions such primary rock constituents as matrix, quartz, feldspars; $\times 25$, nicols crossed.



- 1 — Okruch keratofiru z drobnymi, nieregularnymi skupieniami korodującego kalcytu; $\times 25$.
 2 — Okruch melafiru (pęcherze wypełnione minerałami ilastymi); $\times 25$.
 1 — Fragment of keratophyre with minute, irregular patches of the corroding calcite; $\times 25$.
 2 — Fragment of melaphyre (vesicles filled with clay minerals); $\times 25$.



- 1 — Okruch plagioklazu o niewyraźnej, normalnej budowie pasowej, korodowany od środka kalcytem; $\times 150$, nikole skrzyżowane (1a) oraz bez analizatora (1b).
- 2 — Okruch chlorytu (?skaly zieleńcowej), korodowanego od brzegu kalcytem; $\times 150$, nikole skrzyżowane (2a) oraz bez analizatora (2b).
- 1 — Fragment of plagioclase with indistinct zonal structure, from the core corroded by calcite; $\times 150$, nicols crossed (1a) and ordinary light (1b).
- 2 — Fragment of chlorite (?greenstone) with calcite corrosion starting from the rims; $\times 150$, nico.s crossed (2a) and ordinary light (2b).