

SUBAERALNE UTWORY WĘGLANOWE; ZARYS PROBLEMATYKI

UKD 552.54:552.14:551.466.7:001.4].001(438+100)

Stale rosnące zainteresowanie subaeralnymi utworami węglanowymi wynika zarówno z ich znaczenia w odtwarzaniu historii geologicznej rejonu i korelacji, jak i znaczenia surowcowego; z subaeralnymi osadami węglanowymi związane są bowiem złoża wielu metali (8, 1, 18 i in.), a powstanie wtórnej porowatości w rezultacie rozpuszczenia ziarn aragonitowych w środowisku wadycznym stwierdzono w wielu skałach zbiornikowych dla węglowodorów (np. 6). W następstwie tego zainteresowania powiększa się szybko liczba stanowisk kopalnych węglanowych osadów subaeralnych na obszarze Polski. W ciągu ostatnich kilku lat zostały one opisane m.in. z dinantu okolic Krzeszowic (23), permu okolic Krzeszowic (23), niecki śródsudeckiej (34) i północnosudeckiej (21), Polski zachodniej (24, 25) i północnej (26), retyku okolic Zawiercia i Lublińca (12, 27) oraz miocenu okolic Krakowa (23)."

Celem niniejszej pracy jest zwięzłe przedstawienie najważniejszych problemów związanych z powstawaniem i stwierdzaniem osadów wadycznych. Rozwinięcie niektórych zagadnień znajdują Czytelnicy w innych pracach poświęconych osadom wadycznym, które będą zamieszczone w numerze 8 „Przeglądu Geologicznego”. Problematyka martwic (podsumowana niedawno na łamach „PG” – 33) oraz krasu postformacyjnego będzie tu pominięta.

PROBLEMY TERMINOLOGICZNE

Subaeralne utwory węglanowe powstają w górnej części strefy międzyplywowej, w strefie nadplywowej oraz powyżej tej strefy. Niektórzy autorzy (np. 10) skłonni są oddzielić „czyste” subaeralne osady węglanowe powstające powyżej strefy nadplywowej od osadów powstających w strefie nadplywowej i międzyplywowej, na które oddziałują w zmiennym stopniu procesy związane z depozycją morską i procesy subaeralne; uważają bowiem oni, że te drugie osady są często poligeniczne i takie oddzielenie wpłynie korzystnie na dokładność rekonstrukcji paleośrodowisk, a w szczególności pozwoli – jak uważają M. Esteban i C.F. Klappa (10) – na uniknięcie porównań inkrustacji koniatolitowych stwierdzonych w strefach międzyplywowej i nadplywowej Zatoki Perskiej (28) z osadami caliche i speleotemami. Czy jest to jednak celowe i praktycznie możliwe w przypadku utworów kopalnych?

Wielu autorów (3, 4, 30) zwraca uwagę na związek występowania czwartorzędowych utworów caliche ze środowiskiem perylitoralnym i jak się wydaje, brak jest podstaw do tak arbitralnego podziału subaeralnych utworów węglanowych jak to czynią M. Esteban i C.F. Klappa (10). Pierwszym dowodem istnienia subaeralnej powierzchni

odslonięcia jest zdaniem Estebana i Klappy pojawienie się porostów endolitycznych. Ponieważ granica kolonizacji przez porosty nie jest zazwyczaj rozpoznawalna w stanie kopalnym, bardziej praktyczną granicę wyznacza pojawienie się diagenetycznych facji krasowej i caliche (10, s. 10), a cechy diagnostyczne tych facji (podane przez wspomnianych autorów) pojawiają się już w strefie „morskiego caliche” (przykładem są np. ryzolity – por. 10, Fig. 2b). Z drugiej strony utwory wykazujące wszystkie cechy speleotemów (ryc. 1C) i jako takie określane spotyka się zarówno w holocenicznych (np. młodszych niż 3000 lat – 11), jak i starszych (np. 2) sekwencjach perylitoralnych. Wszystko to skłania do neutralnego określenia wszystkich osadów powstałych w różnych strefach środowiska ekspozycji subaeralnej jako **osady wadyczne**. Stosowanie takiego terminu jest zasadne ponadto z tego względu, iż cechą szczególną środowiska ekspozycji subaeralnej jest to, że środowisko to jest **środowiskiem diagenetycznym**. Oznacza to, że osady powstałe w różnych środowiskach depozycyjnych są poddane działaniu identycznych procesów subaeralnych; zostało to np. dobrze udokumentowane w wapieniu cechsztyńskim Polski zachodniej (25). Należy przy tym podkreślić, że stwierdzenie dawnych subaeralnych powierzchni ekspozycji jest często trudne (zob. przykłady w: 10) i bardzo często łatwiej jest rozpoznać efekty ekspozycji niż samą powierzchnię ekspozycji.

POWSTAWANIE UTWORÓW SUBAERALNYCH

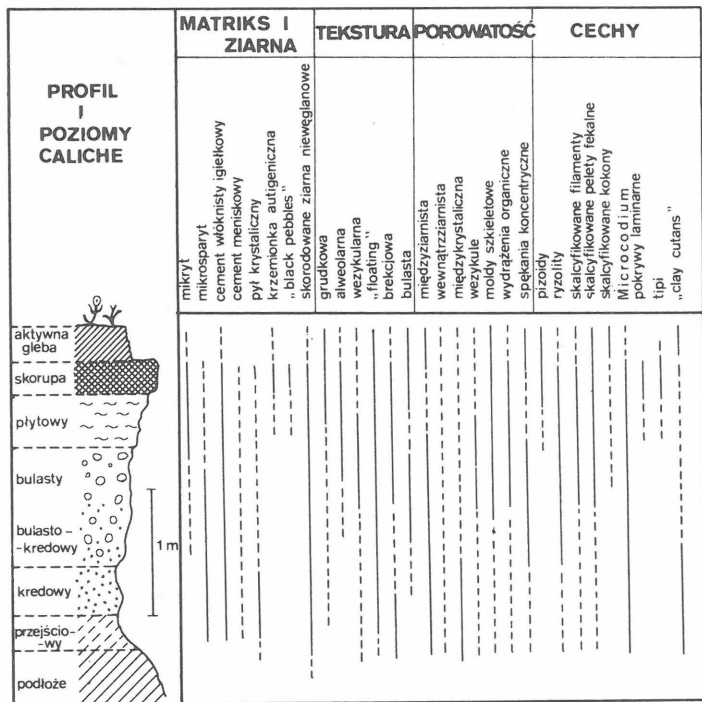
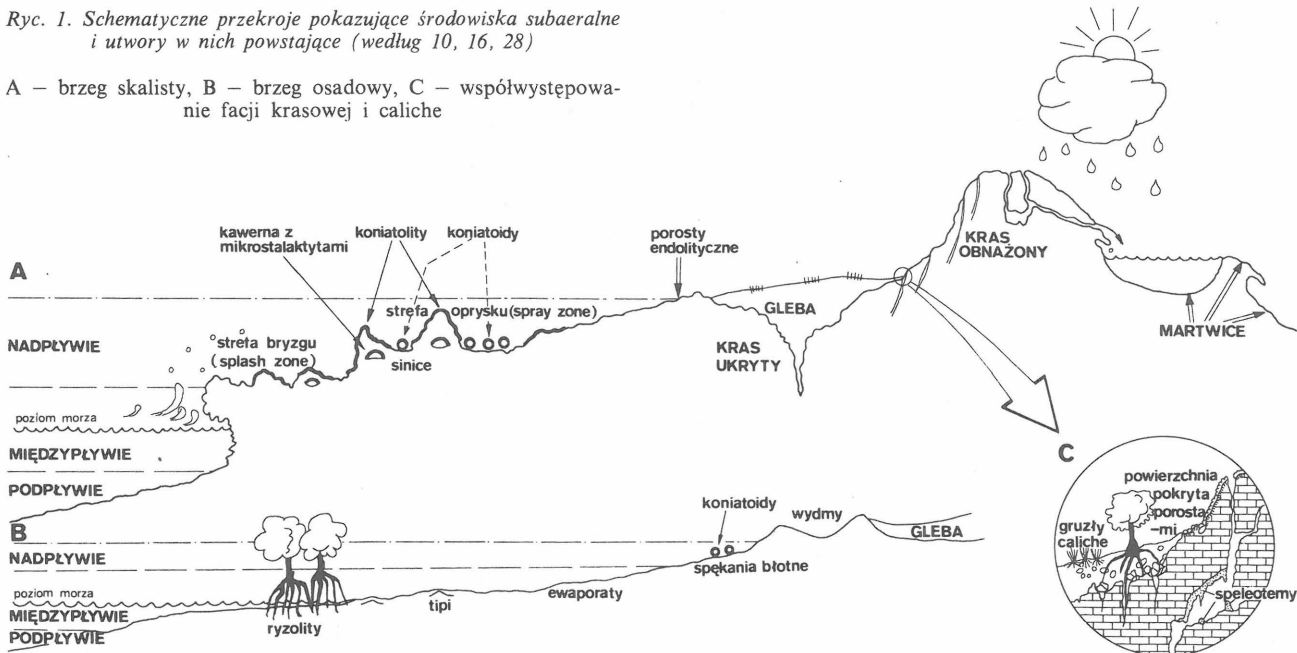
Utwory subaeralne mogą tworzyć się zarówno na podłożu skalnym (ryc. 1A), jak i osadowym (ryc. 1B), na obszarze kontynentów i ich wybrzeżach. Kiedy zostają subaeralnie osłonięte utwory macierzyste węglanowe, konsekwencją jest rozwój dwóch facji diagenetycznych: krasowej i caliche. Obie te facje nie wykluczają się wzajemnie (ryc. 1A, 1C) i każda z nich może modyfikować działanie drugiej.

Rezultatem krasu są: powierzchniowa i podpowierzchniowa rzeźba terenu, speleotemy oraz struktury kolapsyjne, a z niektórymi klimatycznymi typami krasu związane są rezydualne utwory glebowe takie jak *terra rosa* i lateryty, dość często stwierdzane w obrębie kopalnych sekwencji węglanowych. Gleby związane z krasem mogą ewoluować w kierunku bogatych w węglany gleb typu caliche.

Dobrze wykształcony profil caliche (kompletna sukcesja pionowa poziomów odrębnych morfologicznie) przedstawiony na ryc. 2 powstaje w rezultacie wzajemnego oddziaływania różnych czynników (10). Najpierw następuje wietrzenie podłoża macierzystego, a następnie zwietrzały

Ryc. 1. Schematyczne przekroje pokazujące środowiska subaeralne i utwory w nich powstające (według 10, 16, 28)

A – brzeg skalisty, B – brzeg osadowy, C – współwystępowanie facji krasowej i caliche



Ryc. 2. Wyidealizowany profil caliche i zasięg głównych cech w jego obrębie według M. Estebana i C.F. Klappy (10)

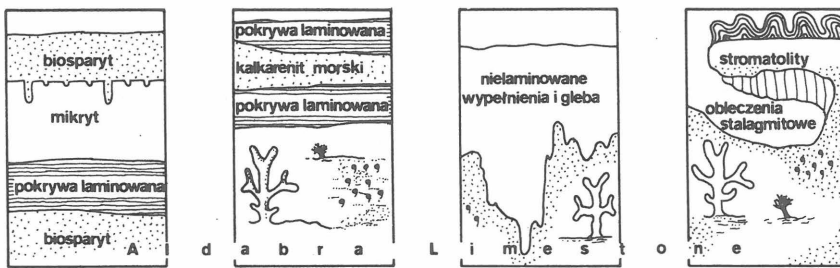
detrytus przekształca się w glebę. Duża porowatość i przepuszczalność powodują, że woda meteoryczna szybko przez takie utwory przecieka, co wymusza na roślinach intensywny rozwój korzeni ku dołowi, ku lokalnemu zwierciadłu wody. Ten rozwój korzeni powoduje modyfikację pierwotnej struktury gleby i przyczynia się do dezintegracji podłoża (17). W rezultacie zmian biologicznych i fizykochemicznych tego podłoża tworzy się poziom przejściowy profilu caliche (ryc. 2), a precypitacja węglanu wapnia (bez znaczącej cementacji) prowadzi do powstania poziomu kredowego. W miarę akumulacji węglanu wapnia maleje porowatość i przepuszczalność, a biogeniczne składniki gleby mogą zostać skalcyfikowane, tworząc głównie pionowo zorientowane nodule węglanowe (poziom bulasty).

Od pewnego momentu, kiedy to wodzie łatwiej jest poruszać się poziomo niż pionowo w glebie, większość roślin zaczyna rozwijać lateralnie systemy korzeniowe i związane z nimi ryzolity tworzą zasadniczą część poziomu płytowego profilu caliche. Dalsza akumulacja węglanu wapnia powoduje zmniejszenie intensywności procesów glebotwórczych, a cementacja kalcytem niskomagnezowym prowadzi do lityfikacji profilu glebowego i powstania poziomu skorupy*. Tak powstały profil caliche (a zwłaszcza skorupa) jest poddany działaniu procesów modyfikujących lub niszczących: w rezultacie niszczącej działalności korzeni roślin powstają ryzobrekcje, a dalsza pedoturbacja prowadzi do przerobienia skorupy brekciowo-zlepionkowej, która następnie może być modyfikowana przez zjawiska krasowe.

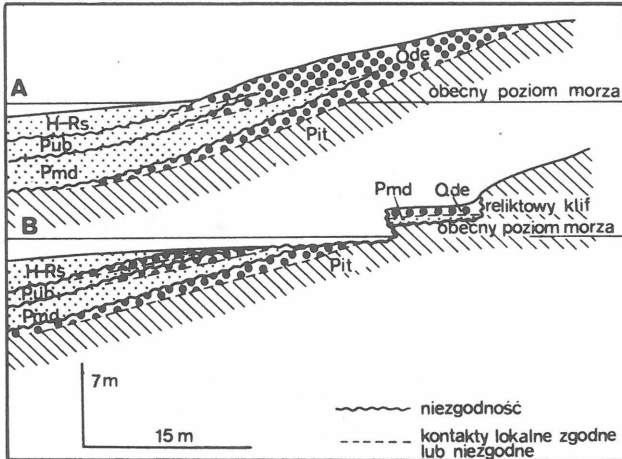
Przedstawiona sukcesja zjawisk prowadzi do powstania idealnego profilu caliche (ryc. 2). Choć takie idealne profile spotyka się – zwłaszcza na obszarze kontynentów – nierzadko, to z reguły obserwuje się zupełnie inne sukcesje poziomów, przede wszystkim na wybrzeżach, gdzie wcale często w obrębie profilu caliche spotyka się przewarstwienia osadów morskich, co stwierdzono, m.in., w czwartorzędowych utworach Kenii (4), na wyspie Aldabra (ryc. 3) i w zachodniej Australii (ryc. 4). Do szczególnie dobrze poznanych profili caliche związanych z czwartorzędowymi wapieniami morskimi należą caliche Barbadosu (15, 14) oraz w rejonie Shark Bay w zachodniej Australii (29); te drugie zostaną tutaj krótko scharakteryzowane.

Idealny profil składa się z kilku poziomów (ryc. 5), przy czym bardzo często obserwuje się powtarzalność poszczególnych poziomów lub też obecność poziomów złożonych (29). Podłożem jest eolianit. Rozwój profilu caliche zaczyna się z utworzeniem cienkiego poziomu glebowego w nieskonsolidowanym eolianicie. Powyżej i poniżej tego poziomu tworzą się „ooidy kalkretowe”, przy czym w miarę precypitacji węglanu wapnia poniżej poziomu glebowego następuje lityfikacja oraz zastępowanie osadu macierzystego – w rezultacie powstaje poziom

* Ta część profilu caliche jest często określana terminem „kalkret”, zgodnie z definicją G.W. Lamplougha (19, 20), ale w powszechnym użyciu terminy: caliche i kalkret są traktowane jako synonimy (np. 13, 29, 31, 22).

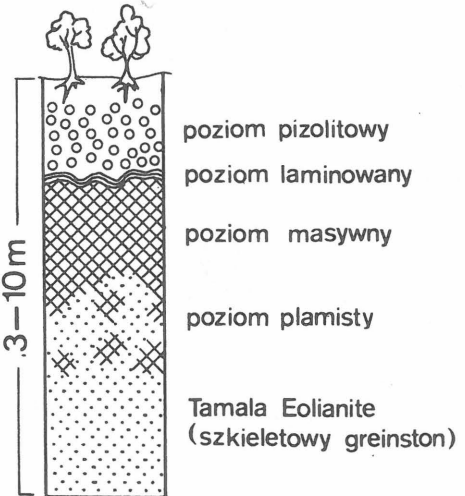


Ryc. 3. Utwory przykrywające Aldabra Limestone (według 3)



Ryc. 4. Przewarstwienia utworów morskich i kalkretu w rejonie Shark Bay (według 29)

A – przekrój wyidealizowany, B – przekrój ukazujący morskie klify wycięte w trakcie faz morskich, Qde – Formacja Depuch, H-Rs – sekwencja od holocenu do dziś, Pub – formacja Bibra, Pmd – formacja Dampier, Pit – Tamala Eolianite



Ryc. 5. Wyidealizowany profil caliche w rejonie Shark Bay (według 29)

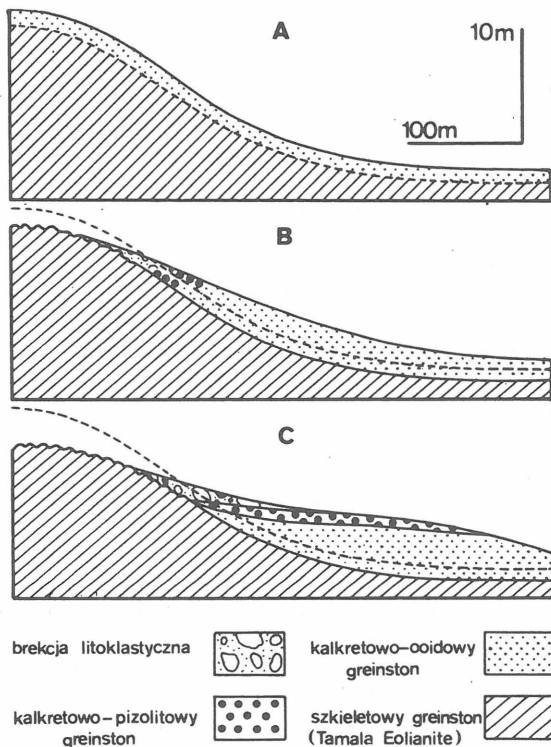
plamisty. Dalsza akumulacja węglanu wapnia w górnej części poziomu plamistego prowadzi do powstania poziomu masywnego, a następnie – na nim – poziomu laminowanego. W miarę spełznięcia gleby (ryc. 6) następuje odsłonięcie skalichfikowanego eolianitu na szczytach grzbietów i jego erozja; litoklasty zostają wymieszane z „oidami kalkretowymi” i obleczone powłokami, tworząc w ten sposób poziom pizolitowy (ryc. 6).

Utwory caliche zbudowane są z kalcytu niskomagnezowego, chociaż na obszarze Abu Dhabi (Zatoka Perska) stwierdzono (ryc. 1A) także pokrywy (zwane tam koniatolitami – 28) oraz wadoidy zbudowane z aragonitu i w mniejszej ilości z kalcytu wysokomagnezowego (32). Pokrywy te są uważane przez wielu badaczy za caliche („morskie caliche”), a inny skład mineralny wynikać ma z odmiennego składu chemicznego wody porowej (32, ale zob. też 9).

W kalkretach Kalahari stwierdzono (36), obok kalcytu niskomagnezowego, także kalcyt wysokomagnezowy oraz – w mniejszych ilościach – aragonit. Obecność kalcytu wysokomagnezowego tłumaczy się tam szybką precypitacją, a ponadto precypitacją w utworach rozwiniętych na doloomitach i przez podniesienie kapilarne z płytkich wód gruntowych w depresjach solnych (36).

STWIERDZANIE UTWORÓW SUBAERALNYCH

Istnienie odsłonięcia subaeralnego można stwierdzić w rezultacie badań terenowych i laboratoryjnych, uwzględniając przy tym ogólne prawidłowości regionalne (takie jak położenie na paleowyniesieniach czy obecność wahań poziomu morza). W świadectwie kopalnym spotyka się zarówno subaeralne facje ekspozycji będące następstwem globalnych cykli poziomu morza rządzonego tektoniką płyt (35), jak również niezależnie od globalnych epizodów,



Ryc. 6. Rozwój facji Depuch w rejonie Shark Bay (według 29)

A – powstanie cienkiej gleby na utworach Tamala Eolianite, B – spełznianie gleby, C – akumulacja greinstonów kalkretowo-oidowych w miejscach o małym spadku

1–6: obserwowane cechy na wybranych przykładach. (1–4: czwartorzęd, 5–6: cechsztyn): 1 – Barbados (15, 14), 2 – Floryda (7), 3 – Shark Bay, Zach. Australia (29), 4 – Hiszpania (5, 10), 5 – wapień cechsztynski, rejon Wrocławia (25), 6 – dolomit główny, okolice Kalisza (24).

	1	2	3	4	5	6
Cechy diagnostyczne						
ryzolity	+	.		+		+
tekstura alweolarna	+	+		+		+
<i>Microcodium</i> Glück				+		
skalcyfikowane kokony			+	+		
tangencjalne igielkowe włókna						
kalcytu nisko-Mg	+	+				
wadoidy	+	+	+	+	+	
peloidy	+	+	+	+	+	+
„clay cutans”				+		
spękania koncentryczne			+	+	+	
Cechy często obserwowane, niediagnostyczne						
struktury porostowe				+		
lubinit				+		
„black pebble”				+		
„floating texture” i skorodowane ziarna węgl.		+	+	+		
wezykule i tekstura wezykularna						
struktury tipi						
sekwencje spłykania z powierzchnią odsłonięcia				+		
zbrekcjowanie nietektoniczne	+	+	+		+	
struktura grudkowa*	+				+	+
mikrosparyt	+	+			+	
cementy: meniskowy, grawitacyjny				+		
diageneza wadyczna			+		+	
skalcyfikowane filamenty	+	+		+		
skalcyfikowane pelety fekalne				+		
mikrodrażenia	+	+	+	+		
litoklasty powyżej przerwy sedymentacyjnej				+		
laminarne pokrywy mikrytowe	+		+		+	
osady kredowe poniżej przerwy sedymentacyjnej						
zabarwienie tlenkami żelaza			+	+	+	
pył krystaliczny	+					

* Struktura grudkowa jest często następstwem mikrytyzacji ziarn, przy czym w procesie mikrytyzacji związanej ze środowiskiem wadycznym granice pomiędzy materiałem zmienionym i niezmienionym są często niewyraźne i zamazane (4).

np. w następstwie sedymentacji o charakterze spłykania. Te drugie mają znaczenie lokalne, tym niemniej z nimi najczęściej ma się do czynienia.

W tabeli przytoczono diagnostyczne i niediagnostyczne, ale często obecne, cechy subaeralnej facji ekspozycji. Należy się przy tym zastrzec, że po pierwsze, cechy te – wzięte osobno – stwierdza się w środowiskach całkowicie różnych, a po drugie, że wiele subaeralnych powierzchni ekspozycji może **nie zawierać** charakterystycznych cech (10). Jak z tego ostatniego wynika, brak takich cech niekoniecznie oznacza, że dany utwór nie reprezentuje subaeralnej facji ekspozycji. Ponadto należy wziąć pod uwagę, że chociaż powstawanie wyraźnie laminowanych pokryw caliche jest zjawiskiem częstym, to takie poziomy nie zawsze się tworzą lub ulegają późniejszej erozji. Z tych też względów bardzo ważne jest rozpoznanie strefy zmian utworu macierzystego znajdującej się poniżej poziomu skorupy (7), a w tym zwrócenie szczególnej uwagi na diagenezę meteoryczną. W niektórych przypadkach możliwe jest wyróżnienie okresów ekspozycji subaeralnej, biorąc pod uwagę działanie procesów diagenetycznych zachodzących pod wpływem meteorycznej słodkiej wody (np. 25), choć brak modeli diagenezy holocenów utworów węglanowych w znacznym stopniu utrudnia taką procedurę.

- Arakel A.V., Mc Conchie D. – Classification and genesis of calcrete and gypsite lithofacies in paleodrainage systems of inland Australia and their relationship to carnotite mineralization. *J. Sed. Petrol.* 1982 no. 4.
- Assereto R., Folk R.L. – Diagenetic fabrics of aragonite, calcite and dolomite in an ancient peritidal-spelean environment: Triassic Calcarea Rosso, Lombardy, Italy. *Ibidem*, 1980 no. 2.
- Braithwaite C.J.R. – Petrology of palaeosols and other terrestrial sediments on Aldabra, Western Indian Ocean. *Philos. Trans. Roy. Soc. London* 1975 vol. 273B no. 921.
- Braithwaite C.J.R. – Calcrete and other soils in Quaternary limestones: structures, processes and applications. *J. geol. Soc. London* 1983 no. 3.
- Calvet F., Julia R. – Pisoids in the caliche profiles of Tarragona (N.E. Spain). [W:] *Coated Grains* (ed. T.M. Peryt), Springer 1983.
- Carbonate Petroleum Reservoirs: A Casebook (eds. P.O. Roehl, P.W. Choquette), Springer 1984.
- Coniglio M., Harrison R.S. – Holocene and Pleistocene caliche from Big Pine Key, Florida. *Bull. Canad. Petrol. Geol.* 1983 vol. 31 no. 1.
- Dzuiński S., Sass-Gutkiewicz M. – Comments on the genesis of the eastern Alpine Zn–Pb deposits. *Mineral. Deposita* 1977 vol. 12.
- Esteban M. – Vadose pisolite and caliche. *AAPG Bull.* 1976 no. 12.
- Esteban M., Klappa C.F. – Subaerial exposure environment. *AAPG Mem.* 1983 no. 33.
- Ferguson J., Burne R.V., Chambers L.A. – Lithification of peritidal carbonates by continental brines at Fisherman Bay, South Australia, to form a megapolygon/spelean limestone association. *Jour. Sed. Petrol.* 1982 no. 4.
- Gąsiorowski S.M. – Zarys historii wapienia woźnickiego. *Prz. Geol.* 1984 nr 4.
- Goudie A. – On the definition of calcrete deposits. *Zeit. Geomorph.* 1972 vol. 16.
- Harrison R.S. – Caliche profiles: indicators of near-surface subaerial diagenesis, Barbados, West Indies. *Bull. Canad. Petrol. Geol.* 1977 vol. 25 no. 1.
- James N.P. – Holocene and Pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: criteria for subaerial exposure. *J. Sed. Petrol.* 1972 no. 4.
- Julia R. – Travertines. *AAPG Mem.* 1983 no. 33.
- Klappa C.F. – Brecciation textures and tepee structures in Quaternary calcrete (caliche) profiles from eastern Spain: the plant factor in their formation. *Geol. Jour.* 1980 vol. 15 no. 2.
- Kyle J.R. – Economic aspects of subaerial carbonates. *AAPG Mem.* 1983 no. 33.
- Lampough G.W. – Calcrete. *Geol. Mag.* 1902 vol. 9.
- Lampough G.W. – Geology of the Zambesi Basin around Batoka Gorge. *Q.J. geol. Soc. London* 1907 vol. 63.
- Mroczkowski J., Skowronek C. – Osady czerwonego spągowca w Iwinach (niecka północno-sudecka). *Geol. sudetica* 1980 vol. 15 no. 1.
- Netterberg F. – Geology of Southern African calcretes: 1. Terminology, Description, Macrofeatures, and Classifications. *Trans. Geol. Soc. South Africa* 1980 vol. 83.

23. Paszkowski M. — Gleby kopalne na podłożu węglanowym jako wskaźnik paleośrodowiska. *Prz. Geol.* 1984, nr 8.
24. Peryt T.M. — Osady caliche w cechsztyńskim dolicie głównym (Ca 2) okolic Kalisza. *Prz. Geol.* 1983 nr 4.
25. Peryt T.M. — Sedymentacja i wczesna diagenaza utworów wapienia cechsztyńskiego w Polsce zachodniej. *Prace Inst. Geol.* 1984 no. 109.
26. Peryt T.M., Piątkowski T.S. — Osady caliche w wapieniu cechsztyńskim zachodniej części syneklizy perybałtyckiej. *Kwart. Geol.* 1976 nr 3.
27. Piekarska E. — Strefy mikrofacjalne wapienia woźnickiego. *Prz. Geol.* 1984 nr 4.
28. Purser B.H., Loreau J.P. — Aragonitic, supratidal encrustations on the Trucial Coast, Persian Gulf. [W:] *The Persian Gulf* (ed. B.H. Purser), Springer 1973.
29. Read J.F. — Calcrete deposits and Quaternary sediments, Edel province, Shark Bay, Western Australia. *AAPG Mem.* 1974 no. 22.
30. Read J.F. — Calcretes and their distinction from stromatolites. [W:] *Stromatolites* (ed. M.R. Walter), Elsevier 1976.
31. Reeves C.C.Jr. — Caliche: Origin, classification, morphology, and uses. *Estacado Books*, Lubbock 1976.
32. Scholle P.A., Kinsman D.J.J. — Aragonitic and high-magnesian calcite caliche from the Persian Gulf — a modern analog for the Permian of Texas and New Mexico, *J. Sed. Petrol.* 1974 no. 3.
33. Szulc J. — Geneza i klasyfikacja wapiennych osadów martwicowych. *Prz. Geol.* 1983 nr 4.
34. Śliwiński W. — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej. *Geol. Sudetica* 1980, vol. 15 no. 2.
35. Vail P.R., Mitchum R.M.Jr., Thompson S. III — Global cycles of relative changes of sea level. *AAPG Mem.* 1977 no. 26.
36. Watts N.L. — Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology* 1980 no. 6.