

Mikromorfologia powierzchni ziarn kwarcowych jako wskaźnik procesów glacialnych zapisanych w osadach różnej litologii (góry Serra da Estrela, Portugalia)

Barbara Woronko^{*1}, Gonçalo Vieira²

¹*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa*

²*Universidade de Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa, Portugalia*

Analiza mikromorfologii powierzchni ziarn kwarcowych w SEM jest jednym z narzędzi, wykorzystywanych do odtworzenia warunków panujących w środowisku glacialnym, zarówno kopalnym zapisanym w osadach, jak i współczesnym (Mahaney 1995, 2002, Mahaney, Kali 2000, Tulaczyk i in. 1998, Rose, Hart 2008, Helland, Holmes 1997, Shapr, Gomez 1986). Na podstawie mikrostruktur obecnych na powierzchni ziarn kwarcowych pochodzących ze środowiska glacialnego próbowano znaleźć zależność między miąższością lodu i odległością, na jaką mogły być transportowane ziarna, a ich kształtem, częstością występowania i wielkością mikrostruktur (Mahaney i in. 1988, Mahaney 1995, 2001). Pozwala to określić mechanizmy odpowiedzialne za kruszenie i abrazję w środowisku glacialnym.

Analiza mikromorfologii powierzchni ziarn kwarcowych została wykorzystana do odtworzenia procesów związanych z akumulacją osadów glacialnych (gliny morenowej, bruków), charakteryzujących się różną litologią, w górach Serra da Estrela (Portugalia) i porównanie ich z osadami zwietrzelinowymi, będącymi potencjalnym źródłem osadów glacialnych. Próbowano ustalić, czy mikromorfologia ziarn kwarcowych ma odzwierciedlenie w osadach różnie wykształconych.

Położenie terenu badań

Serra da Estrela to granitowy masyw górski rozciągający się w centralnej Portugalii, stanowiący

część pasma górskiego Iberian Central Cordillera. Najwyższe partie masywu to rozległe dwa plateau, rozdzielone uskokiem o przebiegu NNE-SSW, na którym założone są doliny Zêzer i Alforfa. Wyższe (wschodnie) wznosi się na wysokość 1400–1993 m n.p.m., niższe (zachodnie) nie przekracza 1750 m n.p.m. W czasie vistulianu w górach rozwijał się lodowiec typu fieldowego oraz lodowce dolinne, o łącznej powierzchni 66 km² (Vieira 2004, 2008). Na wyższym plateau wśród form lodowcowych dominują wyglądy lodowcowe i roches moutonnées. Ostańców i pokryw wietrzeniowych nie ma bądź występują w postaci niewielkich powierzchni (Vieira 2008). Rzeźba glacialna na zachodnim plateau zaznacza się na wysokości 1500–1700 m n.p.m., w postaci niewielkich form erozyjnych oraz moren. W przeciwieństwie do plateau wschodniego duże powierzchnie pokrywają zwietrzeliny. Z lodowcami dolinnymi związane są U-kształtne doliny pogłębione do głębokości 1200 m n.p.m., cyrki lodowcowe, tarasy kemowe i moreny.

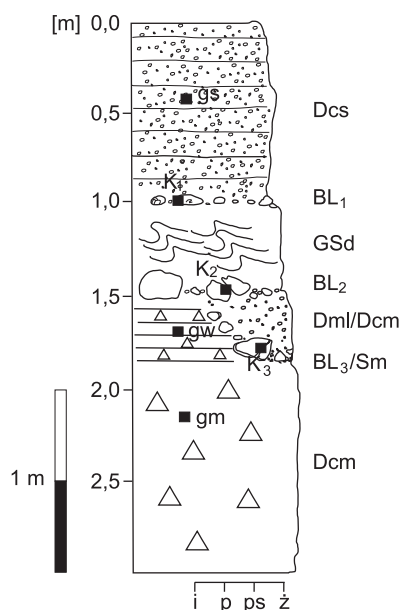
Badaniom poddano osady lodowcowe odsłaniające się w Lagoa Seca, na zachodnim plateau. Są one reprezentowane przez jednowarstwową miąższości diamictonów żwirowo-piaszczystych o słabo zaznaczonym warstwowaniu horyzontalnym (Dcs), zalegający bezpośrednio na bruku (BL₁) (ryc. 1). Najprawdopodobniej jest to materiał związany z procesami stokowymi. Poniżej leżą osady żwirowo-piaszczyste o wyraźnie zaburzonej strukturze (GSd). One również zalegają na bruku (BL₂), który tworzą kamienie o wielkości dochodzącej nawet do 40 cm. Wśród nich pojawiają się klasty pęknięte. Poniżej występuje glina

* e-mail: bworonko@uw.edu.pl

zwałowa o wyraźnej dwudzielności, ujawniającej się w strukturze osadów (ryc. 1). Reprezentuje ona osady typu glina bazalna. Strop stanowi diamikton piaszczysto-pylasty o wyraźnej laminacji (Dml) i łupliwości równoległej do powierzchni terenu. W stropie tejże gliny występuje rozcięcie o głębokości około 0,5 m podkreślone kolejnym brukiem (BL₃), w którym również występują głazy pokruszone i przemieszczone. Przestrzeń między fragmentami pokruszonych kamieni tworzących bruki BL_{1,2,3} (ryc. 1) wypełnione są osadem piaszczysto-żwirowym dobrze przemytym. Poniżej zalega masywny diamikton piaszczysto-pylasty z dużą ilością kamieni (Dcm).

Metody

Pięć próbek (K₁, K₂, K₃, gw, gm) osadów reprezentujących poszczególne serie osadów glacialnych ze stanowiska Lagao Seca, jedną osadów stokowych (gs) oraz jedną (s) zwietrzelin skał granitowych (saprofit) (ryc. 1) budujących jeden z ostańców wietrzniowych na zachodnim plateau, obszarze nie objętym zlodowaceniem, poddano analizie mikromorfologii powierzchni ziarn kwarcowych (0,8–1,0 mm) w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM). Próbkę K₁, K₂ i K₃ reprezentują osady żwirowo-piaszczyste wypełniające szczeliny pomiędzy pokruszonymi fragmentami głazów i względem siebie przesuniętymi. Każdorazowo przeprowadzono badania losowo wybranych 20–25 ziarn kwarcowych frakcji 1,0–0,8 mm, zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Mahaney (2002). Identyfikacji mikrostruktur dokonywano przy powiększeniu od 100 do 4000 razy.



Ryc. 1. Profil litologiczny osadów na stanowisku Lagao Seca, z miejscem zaznaczenia poboru próbek do analiz SEM. Kod litofacjalny wg Evans, Benn (2004)

Wyniki badań – dyskusja

Ziarna pochodzące z saprolitu (s) wyraźnie różnią się od próbek osadów glacialnych (K₁, K₂ i K₃, gw i gm) zdecydowanie mniejszą częstością występowania mikrostruktur będących efektem niszczenia mechanicznego ziarn (ryc. 2), z czym wiąże się brak ostrokrawędzistych ziarn, i niewielkim udziałem powierzchni świeżych, reprezentowanych przede wszystkim przez *fracture face*. W głównej mierze ich powierzchnia była kształtowana przez wietrzenie chemiczne, szczególnie intensywne oskorupianie, maskujące wszystkie mikrostruktury oraz zaokrąglające krawędzie i naroża. Podobne cechy mikrokreżby mają ziarna pochodzące z osadów stokowych (ryc. 2), których źródłem najprawdopodobniej były okoliczne zwietrzeliny. Natomiast ziarna reprezentujące osady glacialne (K₁, K₂, K₃, gw i gm) charakteryzuje powszechna obecność mikrostruktur związanych z mechanicznym niszczeniem ziarn: dużych przełamów muszlowych (>10 μm) (*conchoidal fractures*), *arc-shaped steps*, *linear steps*, *subparallel linear steps* (ryc. 2). Są one powszechnie związane ze środowiskiem glacialnym (np. Tulaczyk i in. 1998, Mahaney 2002, Evans, Benn 2004, Rose, Hart 2008).

mikrostruktury/numer próbki	s	k1	k2	k3	gs	gw	gm
low relief	○	●	○	○	●	●	●
medium relief	●	●	●	○	○	●	●
high relief	●	●	●	○	○	○	○
high frequency fractures		●	●	●		●	●
low frequency fractures	○	○	●	●	●	○	○
edge rounding	●	●	●	●	●	●	●
sharp features		●	●	●	●	●	●
abrasion fatigue							
abrasion features	○	●	●	●	●	●	●
fresh surface	●	●	●	●	●	●	●
amorphous ppt	●	●	●	●	●	●	●
dissilution surface	○	●	●	●		○	●
lattice shattering							
arc-shaped steps	○	●	●	●	○	●	●
chattermarks		○	●	●		●	●
conchoidal fracture (>0,010mm)	○	●	●	●	●	●	●
fracture faces	●	●	●	●	●	●	●
linear steps		●	●	●	○	○	●
subparallel linear fractures	○	●	●	●	●	●	●
micro steps							
parallel ridges	○	○	●	●	○	●	●
radial fractures		○	○	○		○	○
sawtooth fractures			●	○			
craters	○	○	●	○			○
crenate gouges			○			●	○
V-shaped percussion cracks				○		○	○
mechanically upturned plates							
bulbous edges							
curved grooves			○			○	
deep troughs		○	○	○			
straight grooves		○	○	○	○	●	○
depressions							
elongated depressions		○	○	○			
adhering particles		●	●	●	●	●	●
preweathered surface	●	●	●	●	●	●	●

● 75–100% ● 50–75% ● 25–50% ○ 1–25%

Ryc. 2. Udział procentowy mikrostruktur na powierzchni ziarn kwarcowych frakcji 0,8–1,0 mm reprezentujących osady glacialne i stokowe na stanowisku Lagao Seca i saprolit

Ponadto pojawiają się mikrostruktury typu chattermarks, które uważa się za diagnostyczne dla środowiska glacialnego, glin typu lodgement till (Mahaney 2002). Równocześnie na większości analizowanych ziarn zaznacza się zarówno oskorupienie (85–100%), jak i trawienia powierzchni (20–85%) (ryc. 2). Jednocześnie oba procesy wykazują różny stopień zawnosowania, od inicjalnego, do bardzo intensywnego, na powierzchni jednego ziarna. Świadczyć to może, że materiałem podlegającym egzaracji były zarówno stare zwietrzliny, jak i osady, które już wcześniej były włączane do transportu w środowisku glacialnym. Kolejne cykle glacialne były przedzielone okresami, w których dominowało wietrzenie chemiczne. Jednakże jeżeli źródłem osadów glacialnych były zwietrzliny opisywane w próbcie s, to musiały one być poddawane wielokrotnym cyklom obróbki w środowisku glacialnym. Ponadto na powierzchni wszystkich analizowanych ziarn zanotowano obecność mikrostruktur będących zapisem przedglacialnej historii ziarn (*preweathered surface*) (ryc. 2) oraz małych cząstek przylegających do powierzchni na skutek działania sił elektrostatycznych (*adhering particles*), charakterystycznych dla ziarn pochodzących ze środowiska glacialnego (Mahaney 2001).

Obecność dużych przełamów muszlowych na powierzchni ziarn kwarcu z osadów glacialnych świadczy, że podlegały one przede wszystkim procesowi kruszenia w tym w środowisku (Tulaczyk i in. 1998, Rose, Hart 2008). Hemistra i van der Meer (1998) podkreślają, że w dużej mierze jest on podyktowany obecnością wad, rys na powierzchni ziarn, odziedziczonych z etapu np. wietrzenia lub transportu. Efektem procesu kruszenia jest obecność ostrych krawędzi. Proces abrazji w środowisku glacialnym, który zachodzi w czasie rotacji lub ślizgania się ziarn (Rose, Hart 2008), w przypadku osadów z Lagoa Seca jest w niewielkim stopniu zaznaczony. Efektem tego procesu są przełamy muszlowe małych rozmiarów ($<10 \mu\text{m}$), widoczne na najbardziej wypukłych fragmentach ziarn. Oba procesy były bardziej intensywnie w osadach wypełniających szczeliny pomiędzy przesuwanymi się częściami pokruszonych kamieni (\mathbf{K}_1 , \mathbf{K}_2 i \mathbf{K}_3) i w glinie masywnej (\mathbf{gm}) niż w glinie warstwowej (\mathbf{gw}) (ryc. 2). Ponadto są one bardziej ostrokrawędziste i mają bardziej urozmaiconą mikrorzeźbę (ryc. 2). Wynikać to może z różnego uziarnienia osadów (Tulaczyk i in. 1998). Gлина warstwowania jest bardzo drobnoziarnista, z udziałem frakcji pylastej. Natomiast szczeliny wypełnia materiał piaszczysto-zwirowy, glina masywna jest gruboziarnista. Dlatego też dochodziło zdecydowanie częściej do bezpośrednich kontaktów między ziarnami, a tym samym procesowi kruszenia w osadach gruboziarnistych.

Dominujący udział mikrostruktur będących efektem kruszenia, szczególnie w osadach \mathbf{K}_1 , \mathbf{K}_2 i \mathbf{K}_3 i \mathbf{gm} , może wskazywać, że ciśnienie wody porowej w

strefie subglacialnej nie było niskie i przeważały deformacje kruche (Mahaney 1995). W tych warunkach dochodziło do częstych kolizji ziarn (Tulaczyk i in. 1998). Jednakże obecność mikrostruktur powstających w procesie abrazji może wskazywać na znaczący wzrost ciśnienia wody porowej i powstawania deformacji ciągłych (Mahaney 1995), co potwierdza analiza płytek cienkich. Niewielki udział mikrostruktur będących efektem rycia także może to potwierdzać. Taki obraz może wskazywać na zmienne warunki panujące w stopie lodu. Ponadto procesy te mogły zachodzić w temperaturze bliskiej punktowi topnienia lodu (Mahaney 1995). Mahaney (1995) wiąże częstość pojawiania się mikrostruktur typu *conchoidal fracture*, *linear steps* czy *subparallel linear steps* z określoną miąższością lodu i dystansem, na jaki były transportowane ziarna. Maksymalna miąższość lodu w górach Serra da Estrela wynosiła 344 m w dolinie Zezer (Vieira 2004, 2008), a dystans, na jaki były transportowane osady – 3–4 km. Jednakże w przypadku badanych osadów częstotliwość pojawiania się wyżej wymienionych mikrostruktur jest wyższa, niż sugerują to badania Mahaney (1995).

Literatura

- Evans D.J., Benn D.I. 2004. A practical guide to the study of glacial sediments. Arnold, London.
- Krinsley D.H., Doornkamp J.C. 1973. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge Univ. Press.
- Mahaney W.C. 1995. Pleistocene and Holocene glacier thicknesses and/or transport histories inferred from microtextures and quartz particles. *Boreas*, 24: 293–304.
- Mahaney W.C. 2002. Atlas of sand grain surface textures and applications. Oxford University Press.
- Mahaney W.C., Kalm V. 1995. Scanning electron microscopy of Pleistocene tills in Estonia. *Boreas*, 24: 13–29.
- Rose K.C., Hart J.K. 2008. Subglacial comminution in the deforming bed. Inferences from SEM analysis. *Sedimentary Geology*, 203: 87–97.
- Tulaczyk S., Kamb B., Schierer R.P., Engelhardt H.F. 1998. Sedimentary processes at the base of a West Antarctic Ice Stream: constraints from textural and compositional properties of subglacial debris. *Journal of Sedimentary Research*, 68, 3: 487–496.
- Vieira, G. 2004. Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela. Ambientes frios do Plistocénico Superior e dinâmica Aactual. PhD. Thesis, University of Lisbon, Portugal.
- Vieira G. 2008. Combined numerical and geomorphological reconstruction of the Serra da Estrela plateau icefield, Portugal. *Geomorphology*, 97: 190–207.