

Z Katedry Geologii UMCS
Kierownik: prof. dr Czesław Pachucki

Jan MORAWSKI

Spostrzeżenia nad odpornością i typami granatów w piaskach różnych środowisk sedimentacyjnych

Beobachtungen über die Widerstandsfähigkeit und die Granattypen
in Sanden verschiedener Sedimentationsmilieu's

Granat jest jednym z głównych minerałów frakcji ciężkiej osadów piaszczystych, duży udział tego minerału występuje zwłaszcza w piaskach czwartorzędowych, szeroko rozprzestrzenionych na obszarze naszego kraju. Grupa granatu obejmuje wiele minerałów, wśród których szczególnie dużo występuje w dwóch szeregach izomorficznych: almandynu (pirop, almandyn, spessartyn) i andradytu (grossular, andradyt, uwarowit). Poszczególne ogniwa granatów wg K. S m u l i k o w s k i e g o (33, s. 34) bardzo rzadko występują w przyrodzie w stanie czystym, przeważnie zaś jako kryształy mieszane, przy czym granat chromowy (uwarowit) nigdy prawie nie odgrywa istotnej roli skałotwórczej.

Jak wynika z badań minerałów ciężkich występujących w różnych utworach czwartorzędowych na obszarze Polski, a także w niektórych osadach starszego wieku, główną rolę wśród granatów odgrywa szereg almandynu, którego obecność we frakcji ciężkiej stwierdzili: M. T u r n a u - M o r a w s k a (39), B. A d a m c z y k (1), A. J a w o r s k i (12), M. K r y s o w s k a (16), R. C h l e b o w s k i (4), J. M o r a w s k i (22) i wielu innych.

Większość granatów w piaskach czwartorzędowych ma barwę różową o rozmaitych odcieniach, obok granatów tej barwy występują często w większej ilości granaty bezbarwne, zwłaszcza we frakcjach drobniejszych. Ziarna granatu detrytycznego, jako składnika frakcji ciężkiej piasków, pochodzić mogą z różnego typu skał.

Najbardziej rozpowszechnione są według A. G. B i e t i e c h t i n a (2, s. 507) granaty pochodzenia kontaktowo-metasomatycznego, powstałe

w wyniku oddziaływania przeważnie kwaśnych magm na skały węglanowe w stosunkowo wysokich temperaturach. Granaty są najbardziej rozpowszechnione w skarnach. Towarzyszą one stale złożom magnetytowym pochodzenia kontaktowego. Rzadsze są złoża granatów (głównie almandyny) powstałe na skutek działania magm kwaśnych na zasadowe skały metamorficzne. Granaty rozpowszechnione są również w łupkach krystalicznych, mikowych, chlorytowych, talkowych, amfibolowych i innych. Natomiast w skałach magmowych (K. Smulikowski — 33, s. 40) granaty są na ogół rzadkie, akcesoryczne lub przywiązane do pewnych typów.

Duża koncentracja granatu w osadach (M. Turnau-Morawska — 40, s. 106) może występować w przypadku, gdy źródłem alimentacji były łupki krystaliczne, sporadycznie natomiast pojawia się w osadach piaszczystych, dla których źródłem materiału były starsze skały osadowe.

Zdania o odporności tego minerału na wietrzenie chemiczne i obróbkę mechaniczną są w wielu przypadkach bardzo rozbieżne. Zagadnienie to jest przedmiotem dyskusji wielu geologów, na co zwraca uwagę M. Turnau-Morawska (41). Szereg badaczy jak F. Friese (7), F. I. Pettijohn (25), K. Smulikowski (33), M. Kryśowska (14), A. Teofilak (34) i szereg innych, zaliczają ten minerał do bardzo trwałych, natomiast C. Dryden i K. Dryden (6), K. H. Sindowski (30), W. D. Grimm (8), H. Williams, F. I. Turner, C. M. Gilbert (43) i inni uważają granat za minerał nieodporny. Nawiązując do badań K. H. Sindowskiego (30), T. H. Andela i R. Weyla, W. D. Grimm (8) umieszcza granat w jednym szeregu z augitem, hornblendą i apatytem, natomiast H. Williams, E. I. Turner i C. M. Gilbert (43, s. 297) stawiają granat na samym niemal końcu szeregu minerałów tworzących grupę minerałów nieodpornych, do których zaliczają oni rzadkie minerały autigeniczne. Uszeregowanie minerałów tej grupy według wzrastającej odporności jest następujące: oliwin, piroksen, plagioklaz zasadowy, amfibol, andezyn, oligoklaz, sfen, epidot, andaluzyt, staurolit, cyjanit, sylimanit, magnetyt, ilmenit, granat i spinel. Według ich klasyfikacji granat byłby w grupie minerałów nieodpornych jednym z najtrwałszych minerałów.

M. Turnau-Morawska (40) uważa, że granat zaliczyć należy do minerałów o pośredniej, lub jeszcze nie ustalonej odporności. Podobnego zdania jest A. G. Bietiechtin (2), który uznaje granat za minerał stosunkowo trwały pod względem chemicznym.

Zagadnienie trwałości granatu w osadach piaszczystych można rozpatrywać z różnych punktów widzenia, biorąc pod uwagę procentowy udział tego minerału we frakcji ciężkiej, stopień obtoczenia ziarn, wy-

stępowanie kryształów korozyjnie powyżeranych i szczątkowych form szkieletowych oraz obecność produktów wietrzenia tego minerału.

Obserwacje W. D. Grimma (8, s. 162) wskazują, że granaty ulegając procesowi wietrzenia mogą pokryć się warstewką limonitu na skutek przemian chemicznych, a powierzchnia ich może przyjmować nawet strukturę schodową jak informuje A. S. Zaporozcewa (45). Wydaje się jednak, że granaty są minerałami stosunkowo trwałymi pod względem chemicznym, gdyż przy wietrzeniu skał przechodzą do aluwialnych złóż okruchowych.

Według K. Smulikowskiego (33, s. 40) granat należy do najczęściej spotykanych minerałów ciężkich w klastycznych skałach osadowych, co jest wynikiem jego trwałości i odporności chemicznej.

Badania frakcji ciężkiej piasków z obszaru Lubelszczyzny wykonane przez M. Turnau-Morawską (37, 38, 39), J. Trembaczowskiego (36) i J. Morawskiego (22) wskazują, że udział granatu w piaskach czwartorzędowych tego regionu jest przeciętnie dziesięciokrotnie większy niż w piaskach starszego wieku (kredowych i trzeciorzędowych). Nasuwa się oczywiście pytanie, czym jest to uwarunkowane — czy procesami wietrzenia, które niejako „zubożyły” starsze piaski w łatwiej wietrzejące minerały, czy innymi źródłami alimentacji tych osadów. W pierwszym przypadku główną rolę przypisać należy wietrzeniu chemicznemu, w drugim zaś decydujący wpływ na skład mineralny piasków miało źródło zasilania, z którego przynoszone były okruchy skalne obfitujące w granat. Źródłem alimentacyjnym piasków czwartorzędowych występujących na terenie naszego kraju były skały przetransportowane przez lodowiec z obszaru Skandynawii, co wykazał już dawno S. Małkowski (21). Nie należy się też dziwić, że niektórzy geolodzy, jak np. K. Sindowski (31, s. 671) uważają granat, hornblendę, epidot, występujące w piaskach górnooligocenkich na terenie Niemiec, za minerały północnego pochodzenia (ze Skandynawii).

Kwestia, który z czynników jest ważniejszy, trudna jest do rozstrzygnięcia, gdy bierze się pod uwagę tylko procentowy udział granatu w osadach różnego wieku.

Wietrzenie odgrywa niewątpliwie dużą rolę, ale jak się wydaje nie jest czynnikiem decydującym, gdyż obok granatu spotyka się w osadach przedczwartorzędowych minerały łatwo wietrzejące. W piaskach albskich z Annopola (A. Jahn i M. Turnau-Morawska — 10, s. 287) obok granatu występuje piroksen i biotyt, a w piaskach sarmackich z Gruszowa piroksen wielokrotnie przeważa nad granatem.

Piaski mezozoiczne i trzeciorzędowe z różnych regionów Polski zawierają we frakcji ciężkiej przeważnie mało granatu, przeciętnie do kilku procent, czasem tylko więcej — S. Biskupski (3), M. Tur-

na u - M o r a w s k a (37), A. J a h n i M. T u r n a u - M o r a w s k a (10), K. Ł y d k a (20), T. P r z y b y ł o w i c z (27), M. C h o r o w s k a (5) i inni.

Nie jest to oczywiście regułą; w analizowanym przez K. Ł y d k ę (20) pstrym piaskowcu udział granatu we frakcji ciężkiej osiąga nawet 61,4% (Alwernia). Badania K. Ł y d k i (19) i wielu innych autorów wykazały, że granat jest typowym i dominującym składnikiem frakcji ciężkiej osadów karbonu produktywnego i kulmu Śląska. Z badań M. K r y s o w s k i e j (15, 16) nad minerałami ciężkimi w osadach jury brunatnej okolic Krzeszowic i w utworach miocenijskich obszaru śląsko-krakowskiego wynika, że granat stanowi nieraz znaczny procent frakcji ciężkiej, w osadach jurajskich okolic miejscowości Nowa Krystyna aż 58,0%. W miocenijskich osadach piaszczystych udział granatu jest zmienny: w dolnotortoijskich piaskach heterosteginowych, występujących w północnej części obszaru śląsko-krakowskiego, ilość granatu dochodzi zaledwie do 3,1%, a w dolnotortoijskich piaskowcach w Przeciszowie (16, s. 34) waha się od 10% do 39,1%.

W piaskach sarmackich (podpiętro buhłowskie) z okolic Proszowic (16, s. 82) udział granatu waha się w granicach od 28,8% do 52,8%, podczas gdy na Lubelszczyźnie w osadach sarmackich granat stanowi około 0,1% frakcji ciężkiej.

Tak silne zróżnicowanie udziału granatu w osadach tego samego wieku nie może być spowodowane jedynie procesami wietrzenia chemicznego. Ważną rolę odgrywa tu przede wszystkim typ skał, które są źródłem alimentacji osadów miocenijskich, odległość zbiornika sedymentacyjnego od tego źródła i rodzaj transportu.

W piaskach czwartorzędowych obserwuje się także niekiedy silne zróżnicowanie w procentowym udziale granatu, mimo że minerał ten jest przeważnie dominującym składnikiem frakcji ciężkiej. W piaskach plażowych występują nieraz smugi, w których granat jest niemal wyłącznym składnikiem, a z drugiej strony w niektórych próbkach piasków plażowych, jak np. z wybrzeża Wyspy Wolin, analizowanych przez R. C h l e b o w s k i e g o (4), ilość granatu we frakcji ciężkiej spada do poniżej 1%. Analogiczne zróżnicowanie w udziale granatu w piaskach czwartorzędowych z Katarzynowa zaobserwował J. W o j c i e c h o w s k i (44), gdzie ilość tego minerału w jednych próbkach wynosi 27—29%, w innych zaś spada do 1%, a nawet do zera. Podobne zmiany w udziale granatu występują też i w osadach rzecznych. K. N a w a r a (23) stwierdziła, że ilość granatu we frakcji ciężkiej (0,5—0,06 mm) we współczesnych piaskach Czarnego Dunajca wahała się od 2,9% do 26,0%, a w piaskach Białego Dunajca od 0% do 18,3%, w piaskach zaś Dunajca od 4,7% do 40,2%. W podanych przypadkach na skład mineralny wpływa

głównie selekcja wywołana działaniem wody względnie wiatru, powodująca wzbogacenie bądź zubożenie osadu w ten składnik mineralny.

Mała ilość granatów we frakcji ciężkiej piasków albskich, oligoceńskich i mioceńskich na Lubelszczyźnie, mogłaby wskazywać, że wraz z wiekiem maleje ilość granatu, ale teza ta byłaby słuszna tylko w tym przypadku, gdyby analogiczne stosunki występowały i w innych regionach naszego kraju, a badane piaski zostały utworzone w takich samych warunkach, tzn. do zbiornika sedymentacyjnego przynoszony byłby de-

Tab. 1 Udział różnych typów granatów we frakcji ciężkiej piasków
(frakcja 0,10—0,25 mm; procenty ilościowe)

Anteil verschiedener Granattypen in der Schwermineralfraktion der Sande
(Fraktion 0,10—0,25 mm; Mengenprozent)

| Numery próbek Probennummer | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Udział we frakcji ciężkiej der Schwermineralien Anteil in der Fraktion | | 2,7 | 1,4 | 0,1 | 19,0 | 37,0 | 24,0 | 39,0 | 48,0 | 51,0 | 17,9 | 18,0 |
| Typy granatów według barwy Granattypen nach ihrer Färbung | bezbardwy — farblos | 57,0 | 62,0 | 57,2 | 14,6 | 23,9 | 24,0 | 27,7 | 19,5 | 18,1 | 31,0 | 37,7 |
| | jasnoróżowy — hellrosa | 34,0 | 22,2 | 25,7 | 46,5 | 48,7 | 60,0 | 49,6 | 52,4 | 54,0 | 55,0 | 51,0 |
| | różowy — rosa | 6,0 | 12,0 | 11,4 | 23,2 | 23,9 | 9,0 | 15,6 | 18,7 | 19,8 | 6,0 | 4,4 |
| | jasnożółty — hellgelb | 2,0 | 1,9 | 5,7 | — | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 0,8 | 0,9 | 3,0 | — |
| | żółty — gelb | — | — | — | 1,2 | — | — | 0,7 | 1,6 | 0,9 | 2,0 | 1,6 |
| | jasnobrunatny — hellbraun | — | — | — | 8,5 | 1,7 | 1,0 | 2,9 | 3,9 | 3,6 | 1,0 | 2,6 |
| | brunatny — braun | — | — | — | 3,6 | 0,9 | 5,0 | 2,1 | 3,1 | 2,7 | 1,0 | 1,7 |
| | inne — andere | 1,0 | 1,1 | — | 2,4 | — | — | — | — | — | 1,0 | — |

Rodzaj i miejsce pochodzenia próbek piasków: I — piaski albskie (Annopol); II — oligoceńskie (Lubartów); III — sarmackie (Czułczyce); IV — fluwioglacjalne (Rejowiec) i V — (Międzyrzec Podlaski); VI — terasowe (Dzierzkowice) i VII — (Zembożyce); VIII — wydmore (Zwierzyńiec) i IX — (Puławy); X — plażowe (Łeba) i XI — (Jarosławiec)

Art und Standorte der Sandproben: I — albische Sande; II — oligozäne Sande; III — sarmatische Sande; IV—V — fluvioglaziale Sande; VI—VII — Terrassen-sande; VIII—IX — Dünensande; X—XI — Strandsande

trytyczny materiał skalny w jednakowej ilości, pochodzący stale z tych samych obszarów alimentacyjnych, a to najczęściej trudne jest do udowodnienia.

Okruhowy materiał skalny, z którego tworzyły się piaskowce i piaski albskie na Wyżynie Lubelskiej przynoszony był z niewielkich odległości, a według M. Turnau-Morawskiej (37, s. 55): „Sedymentacja odbywała się w strefie przybrzeżnej, a materiału dostarczały odsłonięte w tej strefie skały osadowe o spoiwie żelazistym i małej zwięzłości, zawierające kwarc granitów oraz skał metamorficznych. Z tychże skał czerpały osady albu swe minerały ciężkie, niektóre z nich charakterystyczne dla skał metamorficznych. Jedynie obecność piroksenu w osadach albu świadczy, że oprócz materiału skał osadowych z minerałami ciężkimi we wtórnym łóżysku, musiał się do niego przyłączyć nieznaczny procent składników skał magmowych, docierających z pierwotnego źródła”.

Podczas transgresji dolnooligocenińskiej detrytyczny materiał skalny, z którego tworzyły się osady morskie szeroko rozprzestrzenione w Polsce północnej i środkowej pochodził z kilku obszarów alimentacyjnych. Natomiast klastyczne osady sarmackie na Lubelszczyźnie powstawały głównie z przerobienia piasków oligocenijskich przez transgredujące morze i osadzania ich na złożu wtórnym przy równoczesnym domieszaniu materiału detrytycznego, pochodzącego z masywów, które w tym czasie ulegały wypiętrzeniu i równocześnie procesom denudacji. Stwierdzone w piaskach sarmackich okolic Chełma i Rejowca przez M. Turnau-Morawską (38, s. 171) plagioklaz, piroksen oraz rzadki co prawda amfibol, są minerałami mało odpornymi zarówno na wietrzenie fizyczne jak i chemiczne, mało jest prawdopodobne, aby w stanie względnie świeżym przetrwały kilka cykli sedymentacyjnych. Są to składniki skał typu diabazów i mogły się dostać do basenu morza sarmackiego zarówno ze wschodu, jak i z zachodu, choćby z terenu Gór Świętokrzyskich.

Według K. Łydki (18) utwory sarmackie przybrzeżnej strefy morza dolno-sarmackiego, występujące na południowo-wschodnim krańcu Gór Świętokrzyskich, tworzyły się z materiału pochodzącego ze skał starszego trzeciorzędu, osadów turońskich i prawdopodobnie cechsztyńskich.

Zagadnienie pochodzenia materiału detrytycznego piasków czwartorzędowych, występujących na terenie Polski (z wyjątkiem Karpat i częściowo Sudetów), nie jest trudne do wytłumaczenia. Piaski te miały swoje główne źródło alimentacyjne na obszarze Fennoskandii, gdzie szeroko rozprzestrzenione są skały krystaliczne. Pewien udział miały także osady podłoża, po którym przesuwiał się lodowiec. Z badań S. Małkowskiego (21, s. 38) wynika, że piaski czwartorzędowe są produktem rozkładu najrozmaitszych skał; na skały głębinowe wskazuje obecność kwarcu z inkluzjami ciekłymi i mikroklinu, z łupków krysta-

licznych pochodzą zaś granat, turmalin, staurolit, dysten, sylimanit, andaluzyt.

Czynnikiem, który wywarł decydujący wpływ na tak duży udział granatów w piaskach czwartorzędowych Lubelszczyzny jest ich źródło alimentacji, gdyż skały podłoża zawierają we frakcji ciężkiej niewielkie ilości tego minerału. Na przykład w piaskach albskich udział granatu wynosi 2,7%, w piaskach oligoceńskich 1,4%, a w silnie zwietrzałych piaskach sarmackich tylko około 0,1%.

Procentowy udział granatu we frakcji ciężkiej piasków nie może stanowić wystarczającego kryterium do określenia odporności tego minerału na wietrzenie chemiczne, gdyż w wielu przypadkach niemożliwe jest określenie pierwotnej ilości granatu w badanym osadzie.

Duże znaczenie w procesie wietrzenia granatu ma według M. T u r n a u - M o r a w s k i e j (41, s. 366) stan zachowania, w jakim dostał się on do osadu bezpośrednio ze skały, w której powstał. W skałach metamorficznych, zmienionych drogą diaforezy, granat jest częściowo schlorytyzowany i w takim stanie łatwo ulega zniszczeniu w czasie wietrzenia i transportu. Natomiast granat pegmatytów oraz skał z głębszej strefy metamorfizmu może być minerałem odpornym na czynniki zarówno wietrzenia, jak i transportu.

Więcej światła na proces wietrzenia chemicznego może rzucić obecność kryształów wyraźnie zniszczonych przez korozję chemiczną. Granaty tego typu opisywali K. H. S i n d o w s k i (30) i W. D. G r i m m (8), obecność takich granatów stwierdza także T. P r z y b y ł o w i c z (27, s. 163). Kryształy granatu, które ulegają korozji, mają powierzchnię nierówną, znajdują się na niej nieregularnego kształtu zagłębienia, niektóre tak znacznych rozmiarów, że z kryształu granatu pozostaje czasem tylko forma szkieletowa. Duży udział takich właśnie form korozyjnych może świadczyć o intensywności wietrzenia granatu w osadach różnych środowisk.

Mimo wielu poczynionych obserwacji, może nasuwać się wątpliwość, czy obecność szczątkowych form szkieletowych granatów w osadach jest wynikiem wietrzenia chemicznego. Formy korozyjne kryształów w osadach detrytycznych mogą mieć związek także ze skałami macierzystymi, gdzie mogły powstać na skutek procesów hydrotermalnych. Według K. S m u l i k o w s k i e g o (33, s. 41) almandyn i granat zwyczajny w granitach jest zwykle reliktowy, w postaci powyżeranych ziaren, co świadczy o pochodzeniu z rozpląniętych gnejsów. W niektórych lawach, jak dacyt i andezyt, również spotyka się go w reliktowych powyżeranych ziarnach, co dowodzi, iż lawy wchłonęły w siebie dużo ksenolitów, łupków krystalicznych albo nawet powstały ze stopienia tych łupków.

Szereg jednak obserwacji wskazuje, że wietrzenie chemiczne granatu zachodzi w skałach osadowych. Według K. H. Sindowskiego (30, s. 8) granat ulega łatwo korozji i rozkładowi pod działaniami dwutlenku węgla i kwasów humusowych. A. S. Zaporozcewa (45) stwierdza, że najlepszym środowiskiem dla tworzenia się powierzchni schodowej granatów jest środowisko, w którym krystalizuje kaolinit i wydzielają się tlenki żelaza.

Z pracy K. H. Sindowskiego (30) i badań W. D. Grimma (8) wynika, że w osadach o różnym stopniu zwietrzenia obserwuje się wyraźne różnice w procentowym udziale granatu we frakcji ciężkiej.

Sprawa odporności chemicznej granatu nie powinna być traktowana jednostronnie, wyłącznie jako efekt wietrzenia. Formy korozyjne tego minerału spotykane w osadach mało zwietrzałych mogą występować na złożu wtórnym i mogły powstać na skutek korozji hydrotermalnej i innych procesów magmowych, bądź metamorficznych (diastoreza), odbywających się w skałach macierzystych. Zwracają na to uwagę K. Smulikowski (33) i M. Turnau-Morawska (41).

Mimo tych zastrzeżeń obliczanie procentowego udziału form korozyjnych w osadach klastycznych powinno być uwzględniane dla szerszej charakterystyki osadów. Może też być jednym z wielu kryteriów służącym do wyciągnięcia wniosków o procesach wietrzenia, zwłaszcza w tych przypadkach, gdy procentowy udział form korozyjnych w osa-

Tab. 2. Obtoczenie granatów i udział form korozyjnych we frakcji ciężkiej
Abrundung der Granate und Anteil der Korrosionsformen in der

| Lp. | Numery próbek Probennummer | I | | | II | | | III | | | IV | | |
|-----|--------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|
| | | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 1 | Typ ziarna granatu Typus des Granatkornes | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Obtoczone (O) abgerundete Granate(O) | — | — | — | 9 | — | — | 1 | 2 | — | 17 | — | 8 |
| 3 | Częściowo obtoczone (CO) teilweise abgerundete (CO) | 30 | 40 | 24 | 30 | 22 | 43 | 39 | 37 | 39 | 25 | 8 | 31 |
| 4 | Nie obtoczone (K) nicht abgerundete (K) | 70 | 60 | 76 | 61 | 78 | 57 | 60 | 61 | 61 | 58 | 92 | 61 |
| 5 | Korozyjne (D) Korrosionsformen (D) | 24 | 27 | 19 | 8 | 9 | — | 46 | 40 | 54 | 19 | 17 | 25 |

A — granat ogółem (Granat allgemein); B — granat bezbarwny (Granat farblos);
Rodzaj i miejsce pochodzenia próbek jak na tabeli 1
Art und Standorte der Proben wie auf Tabelle 1

dach podobnej genezy i wieku (np. w piaskach czwartorzędowych) jest silnie zróżnicowany w zależności od środowiska i warunków ich akumulacji.

W badanych piaskach obliczono procentowy udział ziarn wyraźnie korozyjnie powyżeranych, a wyniki obliczeń zamieszczone zostały w tab. 2. Największy procent granatów korozyjnie uszkodzonych występuje w piaskach przedczwartorzędowych, sarmackich i albskich. Tylko piaski oligoceńskie zawierają mało form korozyjnych; są to jednak piaski mało zwietrzałe, o czym świadczy duża liczba zawartych w nich ziarn świeżego glaukonitu.

W osadach czwartorzędowych najwięcej ziarn korodowanych spotyka się w gruboziarnistych piaskach fluwioglacjalnych (Międzyrzec Podlaski, Rejowiec), najmniej w piaskach plażowych z okolic Łeby, stosunkowo mało w piaskach terasowych i wydmych z obszaru Lubelszczyzny. Mniejszy udział ziarn korodowanych w piaskach wydmych w porównaniu z piaskami fluwioglacjalnymi, można by tłumaczyć w ten sposób, że część z nich uległa obtoczeniu na skutek obróbki mechanicznej, która jest najintensywniejsza w środowisku eolicznym, co potwierdzają doświadczenia P. H. Kuenena (17) jak i badania autora (22) nad piaskami Wyżyny Lubelskiej.

Formy korozyjne występują zarówno wśród granatów bezbarwnych jak i granatów o zabarwieniu różowawym, przeciętnie jednak więcej

piasków (frakcja 0,10—0,25 mm; procenty ilościowe)
Schwermineralienfraktion der Sande (Fraktion 0,10—0,25 mm; Mengenprozent)

| V | | | VI | | | VII | | | VIII | | | IX | | | X | | | XI | | |
|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 3 | — | 3 | 10 | — | 10 | 7 | 3 | 9 | 21 | 16 | 20 | 29 | 25 | 31 | 3 | — | 3 | 3 | — | 2 |
| 44 | 10 | 44 | 71 | 67 | 75 | 67 | 48 | 72 | 70 | 40 | 79 | 62 | 60 | 62 | 47 | 45 | 49 | 42 | 35 | 33 |
| 53 | 90 | 53 | 19 | 33 | 15 | 26 | 49 | 19 | 9 | 44 | 1 | 9 | 15 | 7 | 50 | 55 | 48 | 55 | 65 | 65 |
| 17 | 18 | 15 | 8 | 8 | 3 | 13 | 13 | 14 | 9 | 8 | 9 | 9 | 15 | 7 | 5 | 3 | 6 | 16 | 16 | 22 |

C — granat różowawy (Granat hellrosa)

ziarn korodowanych spotyka się wśród granatów bezbarwnych. Natomiast korodowane granaty brunatne są bardzo nieliczne i występują raczej sporadycznie; mogłoby to wskazywać, że ten rodzaj granatów jest najbardziej odporny na wietrzenie.

Obserwacje powyższe być może potwierdzają spostrzeżenia W. Wiernadzkiego i S. W. Kurbatowa (42), którzy są zdania, że jedynie andradyt i uwarowit są wśród granatów trwałe, gdyż powstają z roztworów wodnych. Także L. M. Stupkina (32, s. 344) stwierdza na podstawie wykonanych doświadczeń, że kwasoodporność granatów zwiększa się w kierunku andradyt-pirop-grossular, a ich niejednakową odporność tłumaczy różną trwałością ich krystalograficznych struktur.

Stosunkowo duży udział granatów korodowanych w piaskach albskich i sarmackich jest wynikiem wtórnych przeobrażeń spowodowanych wietrzeniem. Piaski albskie ulegały procesom wietrzenia chemicznego w początkach trzeciorzędu, w eocenie. Według W. Póżyryckiego (26) podczas eocenu panował klimat ciepły i wilgotny, sprzyjający dzięki obfitości wód gruntowych, zasobnych w kwasy humusowe, intensywnemu wietrzeniu chemicznemu. Natomiast piaski sarmackie, które powstały ze zwietrzenia osadów dolnooligocenских, ulegały procesom wietrzenia chemicznego w końcu sarmatu i prawdopodobnie także w pliocenie, na co wskazują badania M. Turnau-Morawskiej (37).

Obecność stosunkowo dużej ilości form korozyjnych granatów w gruboziarnistych piaskach fluwioglacjalnych może być uwarunkowana typem osadu. Na zależność taką zwraca uwagę M. Kryśowska (16, s. 97) twierdząc, że postęp wietrzenia chemicznego zależy od charakteru petrograficznego osadu.

Wniosek ten autorka opiera na fakcie, że minerały najmniej odporne, jak amfibol, andaluzyt i sylimanit, występują w niedużych ilościach w wapieniach i iłach, przy braku ich w osadach piaszczystych. Wysuwa też przypuszczenie, że być może iły oraz zbite i twarde wapienie ostrygowe jako trudno przepuszczalne stanowiły ochronę przed chemicznym ługowaniem krążących wód. Podobnego zdania jest H. Sindowski (30), który uważa, że granat może być chroniony przed wietrzeniem przez pokrycie młodszymi osadami.

Argumentacja oparta na spostrzeżeniach poszczególnych geologów co do odporności granatu na wietrzenie chemiczne jest rozmaita.

W. D. Grimm (8) stwierdza, że granat jest podatny na wietrzenie i już w osadach mało zwietrzałych występują formy korozyjne, jak zagłębienia i wyżeryny, zatoki, brodawki, dziury i formy szkieletowe, a ziarna często pokryte są warstewką limonitu. Natomiast M. Turnau-Morawska (40, s. 103) podkreśla, że granat jest niewątpliwie częściej spotykany w osadach przerobionych niż hornblenda.

M. K r y s o w s k a (16, s. 98) wnioskuje z dużej ilości granatu w osadach miocenijskich, zbudowanych z materiału kilkakrotnie przerobionego, dochodzi do wniosku, że przemawia to za odpornością granatów, które prawdopodobnie należą do grupy almandynu, a może także do almandynu z domieszką grossularu.

Zestawiając wyniki badań i poglądy różnych autorów co do odporności granatu na wietrzenie chemiczne oraz dodając własne obserwacje nad występowaniem form korozyjnych granatów w piaskach, można wyciągnąć wniosek, że granaty są minerałami raczej o średniej odporności, trudniej wietrzejącymi niż minerały z grupy piroksenu i amfibolu.

SPOSTRZEŻENIA NAD ODPORNOCIĄ GRANATU NA OBRÓBKĘ MECHANICZNĄ

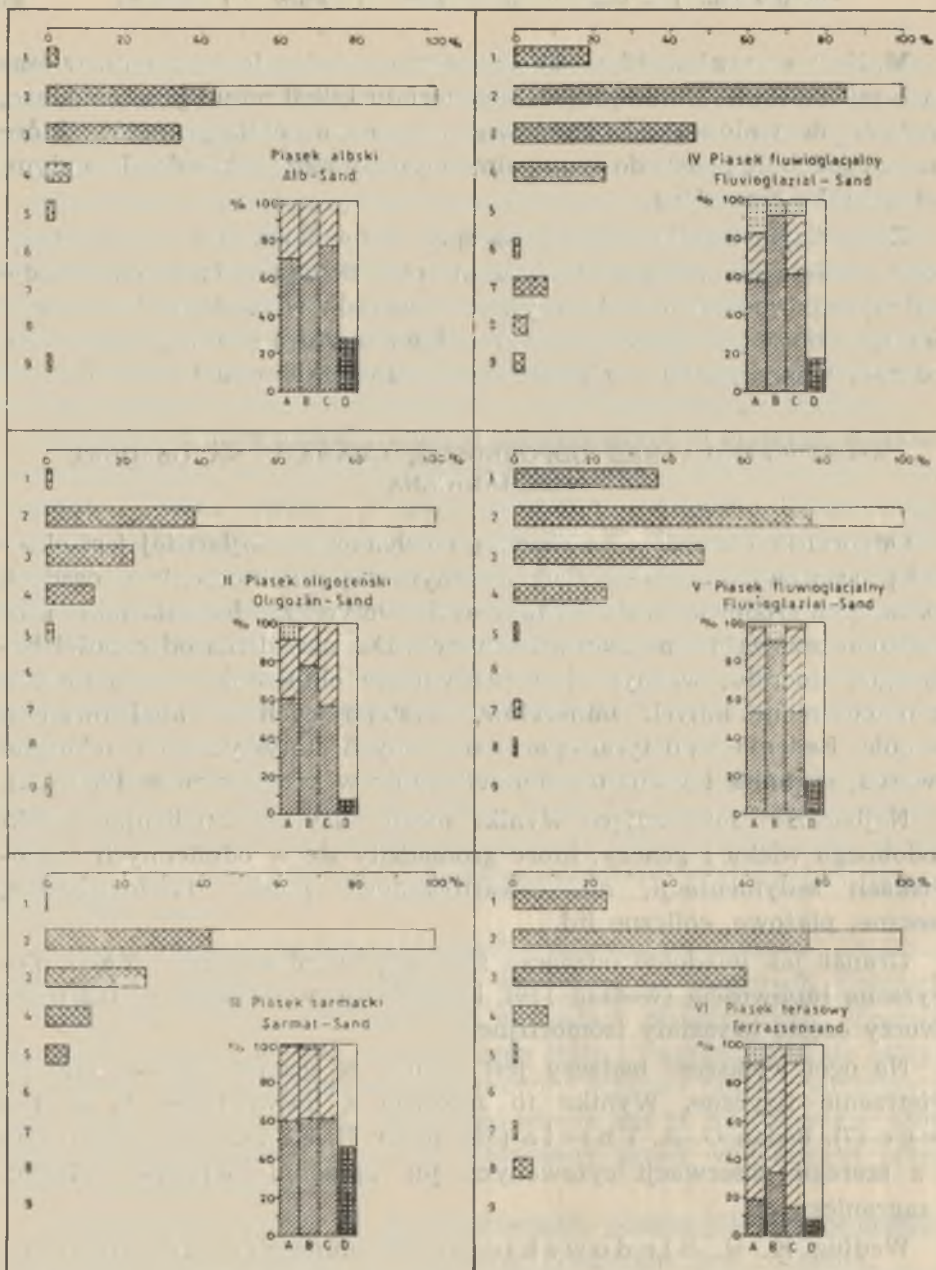
Odporność minerałów na obróbkę mechaniczną najłatwiej jest określać procentowym udziałem ziarn o różnym stopniu obtoczenia w osadach rozmaitych środowisk sedymentacyjnych. Dotychczas badania takie prowadzono przeważnie na ziarnach kwarcu. Dla określenia odporności badanego minerału, ważnym jest porównanie obtoczenia tego minerału z obtoczeniem innych minerałów, występujących w analizowanym zespole. Badania tego typu oparte na danych statystycznych, odnośnie kwarcu, cyrkonu i granatu zamieścił autor w pracy z roku 1965 (22).

Najbardziej interesujące wyniki można uzyskać analizując piaski podobnego wieku i genezy, które gromadziły się w odmiennych środowiskach sedymentacji, np. czwartorzędowe piaski fluwioglacjalne, rzeczne, plażowe, eoliczne itd.

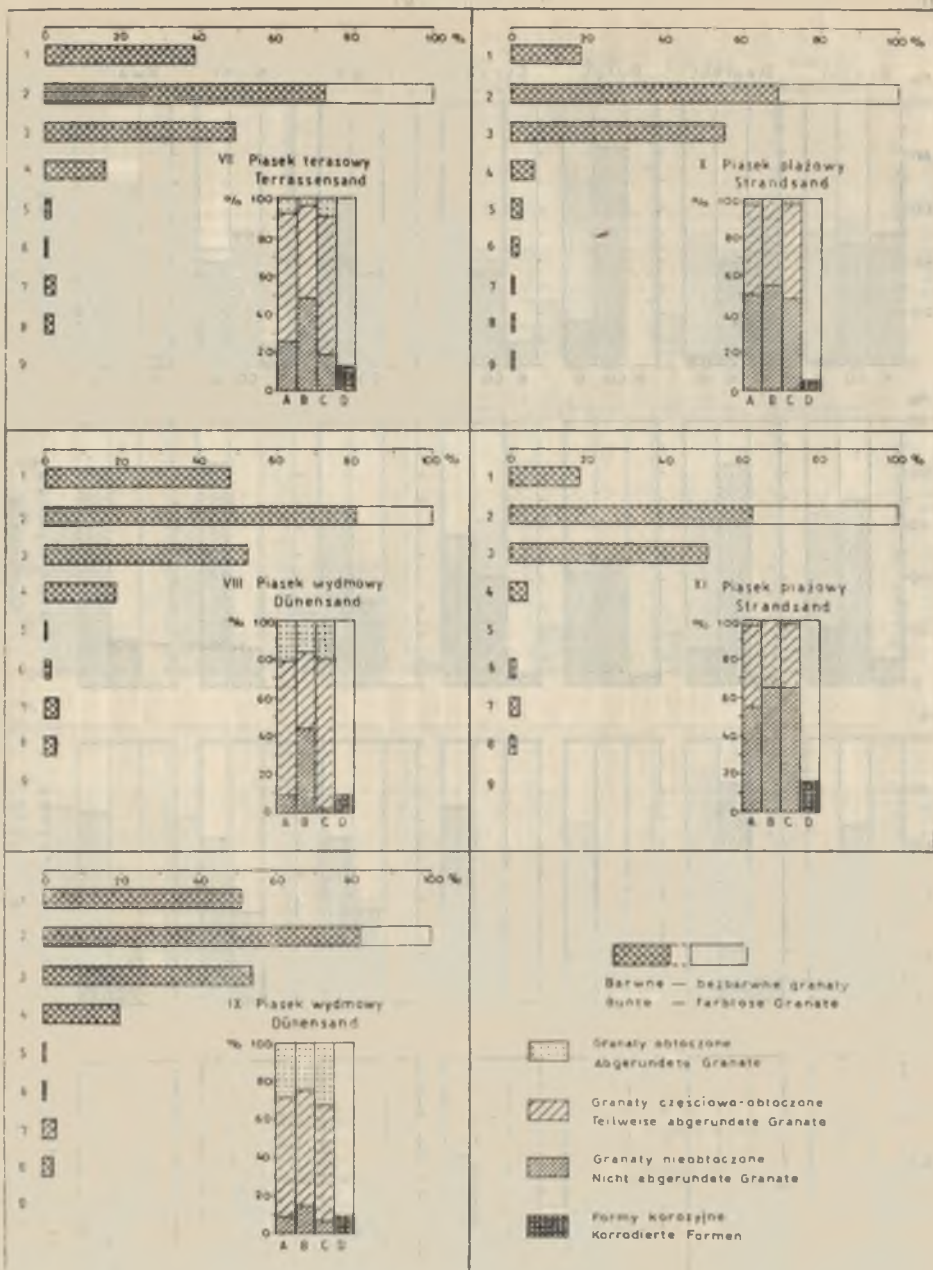
Granat jak wiadomo odznacza się dużą twardością (6,5—7,5) i niewyraźną łupliwością (według 110), krystalizuje w układzie regularnym, tworzy często kryształy izomorfijne.

Na ogół większość badaczy jest zdania, że granat jest odporny na wietrzenie fizyczne. Wynika to zarówno z doświadczeń F. Friesego (7), badań G. A. Thiela (35), pracy H. Sindowskiego (30) i z szeregu obserwacji cytowanych już uprzednio autorów polskich i zagranicznych.

Według K. H. Sindowskiego (30) minerałami odpornymi na transport są: granat, rutil, cyrkon i topaz. Dlatego osady transportowane przez dłuższy czas lub na dużą odległość, wzbogacają się w granat. A. B. Sidorenko (29) twierdzi nawet, że granat nie ulega obtoczeniu w środowisku eolicznym. Badania obtoczenia minerałów w piaskach wydmowych na Wyżynie Lubelskiej nie potwierdziły jednak jego spostrzeżenia (J. Morawski — 22).

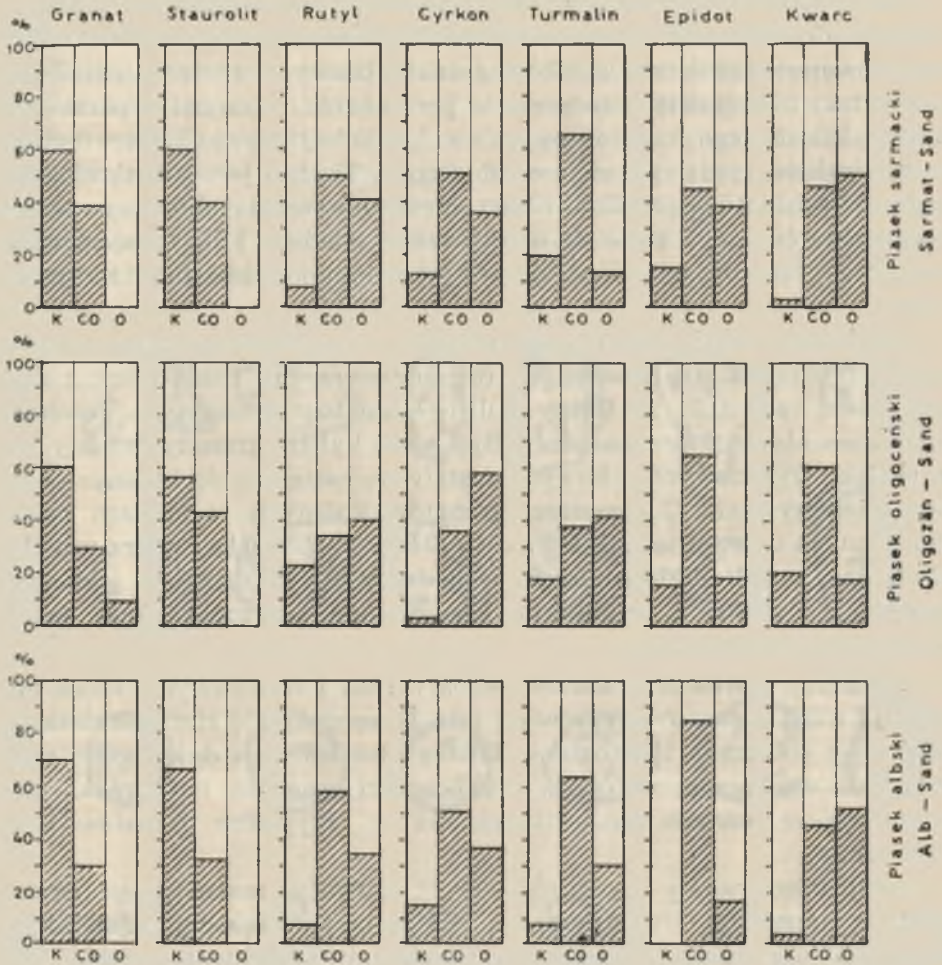


Ryc. 1. Typy granatów w piaskach różnych środowisk sedymentacyjnych; słupki do bezbarwnego, 3 — udział granatu jasnoróżowego, 4 — udział granatu różowego, jasnobrunatnego, 8 — udział granatu brunatnego, 9 — udział granatu innej barwy; Granattypen aus Sanden verschiedener Sedimentationsmilieus; Horizontale Säulen bunten zum farblosen Granat, 3 — der Anteil des hellrosa Granats, 4 — der Anteil Granats, 7 — der Anteil des hellbraunen Granats, 8 — der Anteil des braunen des Granats: A — im Allgemeinen, B — des farblosen, C — des hellrosa und rosa, D — der Prozentanteil der durch Korrosion beschädigten Granate



poziome; 1 — udział granatu we frakcji ciężkiej, 2 — stosunek granatu barwnego
 5 — udział granatu jasnożółtego, 6 — udział granatu żółtego, 7 — udział granatu
 słupki pionowe — obtoczenie granatu: A — ogółem; B — bezbarwnego, C — jasno-
 różowego i różowego, D — procentowy udział granatów uszkodzonych przez korozję
 1 — Anteil der Granate in der Schwermineralfraktion, 2 — das Verhältnis des
 des rosa Granats, 5 — der Anteil des hellgelben Granats, 6 — der Anteil des gelben
 Granats, 9 — der Anteil des anderfarbigen Granats; Vertikale Säulen — Abrundung





K — Ziarna nieobtoczone — Nicht abgerundete Körner

CO — Ziarna częściowo-obtoczone — Teilweise abgerundete Körner

Ryc. 2. Obtoczenie minerałów ciężkich i kwarcu w piaskach różnych środowisk sedymentacyjnych; procentowy udział ziarn: K — nie obtoczonych, CO — częściowo obtoczonych, O — obtoczonych

Abrundung der Schwermineralien und des Quarzes in Sanden verschiedener Sedimentationsmilieus; der Prozentanteil der Körner: K — nicht abgerundeter, CO — teilweise abgerundeter, O — abgerundeter

Na podstawie wykonanych badań nasuwają się następujące spostrzeżenia co do odporności granatu na obróbkę mechaniczną: we wszystkich analizowanych próbkach piasków granaty barwy brunatnej odznaczają się wyższym stopniem obtoczenia w porównaniu z innymi typami granatów. Ziarna tego minerału o barwie brunatnej prawie zawsze tworzą formy kuliste, rzadziej częściowo obtoczone. Trudno jest jednak określić stosunki procentowego udziału ziarn o różnym stopniu obtoczenia wśród tych granatów, gdyż stanowią one w sumie zaledwie kilka procent ogólnej ilości granatów w badanej próbce (przeciętnie od kilku do kilkunastu ziarn).

Ponieważ wśród granatów brunatnych nie zaobserwowano w badanych próbkach ziarn kanciastych (nie obtoczonych), trudno jest z całą pewnością twierdzić, że formy kuliste granatów brunatnych powstały na skutek obróbki mechanicznej. Być może kuliste granaty istniały już w skałach wyjściowych, z których dostały się następnie do badanych osadów piaszczystych. O obecności granatów kulistych w łupkach metamorficznych wspomina J. S. P e a c e y (24), a T. P. K o l e s n i k o w a (13) stwierdza, że wśród ziarn piropu pochodzących z kimberlitów jakuckich spotyka się ziarna z wypukłymi krawędziami i z zaokrągloną, jakby opływową powierzchnią.

Pomiędzy ziarnami granatów bezbarwnych i różowawych, które dominują wśród granatów (porównaj tab. 1), spotyka się ziarna kanciaste, częściowo obtoczone i obtoczone. Dlatego badanie ich daje lepsze podstawy do wyciągania wniosków o odporności granatów na obróbkę mechaniczną w różnych środowiskach niż w przypadku granatów brunatnych.

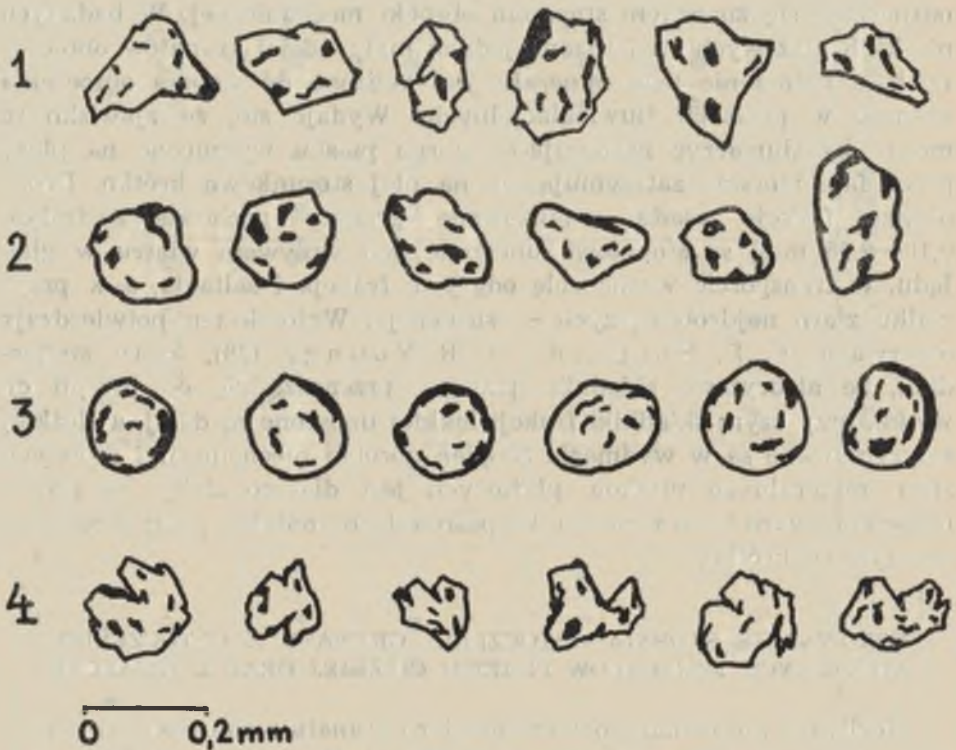
Analizując granaty barwy różowawej, zauważyć można, że w porównaniu z granatami brunatnymi, są one słabiej obtoczone, najslabszym zaś stopniem obtoczenia odznaczają się granaty bezbarwne, występujące w osadach czwartorzędowych.

Procentowy udział ziarn granatów o różnym stopniu obtoczenia przedstawiony został w tab. 2 i na ryc. 2. Z zamieszczonych danych wynika, że w poszczególnych środowiskach akumulacji maleje bądź zwiększa się ilość ziarn obtoczonych na niekorzyść pozostałych. Duży procent ziarn kanciastych występuje w morskich osadach albskich, oligoceńskich i sarmackich na obszarze województwa lubelskiego; jest on prawdopodobnie związany z bliskimi źródłami alimentacji, a przez to z krótkim transportem.

W piaskach czwartorzędowych w zależności od warunków ich akumulacji występują wyraźne różnice w obtoczeniu ziarn granatów. Najmniej ziarn kanciastych (nie obtoczonych) spotyka się w piaskach wydmych. Dane te potwierdzają doświadczenia P. H. K u e n e n a (17, s. 50),

z których wynika, że obróbka mechaniczna w środowisku eolicznym jest od 100 do 1000 razy silniejsza niż rzeczna na tym samym dystansie.

Piaski terasowe zawierają także stosunkowo niewielki procent granatów nie obtoczonych, około 2—2,5 razy więcej jednak niż w piaskach wydmowych. Prawdopodobnie spowodowane jest to tym, że badane piaski pochodzące z teras nadzalewowych Wyżnicy i Bystrzycy zostały utworzone na skutek rozmycia starszych osadów glacialnych, z których część przeszła przez fazę eoliczną, a ziarna granatu wraz z innymi minerałami uległy na tej drodze obtoczeniu.



Ryc. 3. Formy ziarn granatów występujące w piaskach różnych środowisk sedymentacyjnych; 1 — ziarna nie obtoczone, 2 — częściowo obtoczone, 3 — obtoczone, 4 — formy korozyjne

Formen der Granatkörner, die in Sanden verschiedener Sedimentationsmilieus auftreten; 1 — nicht abgerundete Körner, 2 — teilweise abgerundete, 3 — abgerundete, 4 — Korrosionsformen

Z piasków czwartorzędowych najczęściej granatów nie obtoczonych (ziarn kanciastych) zawierają piaski fluwioglacjalne, dużo też ziarn nie obtoczonych tego minerału występuje w piaskach plażowych.

Obecność dużej ilości granatów nie obtoczonych w piaskach fluwioglacjalnych, osadzonych blisko czoła lodowca, nie wymaga komentarzy, natomiast stwierdzenie znacznego udziału (17%) ziarn obtoczonych wśród granatów jest spowodowane, jak stwierdzono w analizowanych piaskach z Rejowca, dużym udziałem granatu barwy brunatnej (12,1%). Granat tego typu, jak uprzednio podkreślono, występuje niemal z reguły w ziarnach obtoczonych i częściowo obtoczonych, dlatego więc nie można w przypadku granatu brunatnego stwierdzić z całą pewnością, że obtoczenie ziarn spowodowane zostało obróbką mechaniczną.

W literaturze geologicznej panuje na ogół pogląd, że piaski plażowe odznaczają się znacznym stopniem obróbki mechanicznej. W badanych piaskach plażowych stwierdzono jednak mały udział granatów obtoczonych, a obtoczenie tego minerału jest zbliżone do stopnia obtoczenia granatu w piaskach fluwioglacjalnych. Wydaje się, że zjawisko to można by tłumaczyć następująco: ziarna piasku wyrzucone na plażę przez fale morskie zatrzymują się na niej stosunkowo krótko. Drobniejsze frakcje osadu (analizowane granaty pochodzą z frakcji 0,10—0,25 mm) są stopniowo unoszone pod wpływem wiatru w głąb lądu, w transporcie ważną rolę odgrywa frakcja i saltacja, a w przypadku ziarn najdrobniejszych — suspensja. Wniosek ten potwierdzają obserwacje F. P. Sheparda i R. Younga (28), który stwierdzili, że aleurytowe składniki piasków przenoszą się od brzegu do wydm, przy czym składniki frakcji lekkiej unoszone są dalej, a ciężkiej zatrzymywane są w wydmach. Stopień obróbki mechanicznej drobnych ziarn mineralnych piasków plażowych jest dlatego słaby, że proces obtaczania ziarn trwa w strefie bezpośredniego kontaktu plaży z morzem stosunkowo krótko.

PORÓWNANIE STOPNIA OBTOCZENIA GRANATU Z OBTOCZENIEM NIEKTÓRYCH MINERAŁÓW FRAKcji CIĘŻKIEJ ORAZ Z KWARCEM

Możliwość porównania obtoczenia ziarn granatu z obtoczeniem innych minerałów na podstawie danych statystycznych jest ważnym kryterium dla ustalenia stopnia odporności poszczególnych minerałów na czynniki mechaniczne. W tym celu przeanalizowano następujące minerały ciężkie, pochodzące z różnych środowisk sedymentacyjnych: granat, staurolit, rutyl, cyrkon, turmalin, epidot oraz główny składnik piasków — kwarc.

W wyniku badań nad osadami rzecznyymi i eolicznymi z Wyżyny Lubelskiej, udało się autorowi (22) stwierdzić, że zarówno w piaskach rzecznych, jak i eolicznych granat odznacza się słabszym obtoczeniem niż kwarc i cyrkon, co może świadczyć o jego większej odporności na obróbkę mechaniczną.

Tab. 3. Obtoczenie ziarn minerałów ciężkich i kwarcu w piaskach (frakcja 0,10—0,25 mm; procenty ilościowe)
Die Abrundung der Schwermineralkörner und des Quarzes in Sanden (Fraktion 0,10—0,25 mm; Mengenprozent)

| Mineral — Mineral Twardość w/g skali Mohsa Die Härte nach der Skala von Mohs | Granat | | Staurolit | | Rutyl | | Cyrykon | | Turmalin | | Epidot | | Kwarc | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|-----------|----|-------|-----|---------|----|----------|-----|--------|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | K | CO | O | K | CO | O | K | CO | O | K | CO | O | K | CO | O | | | | | | |
| Typ ziarna — Korntype | 6,5 | — | 7,5 | 7 | — | 7,5 | 6 | — | 6,5 | 7,5 | 7 | — | 7,5 | 6 | — | 7 | | | | | |
| XI piaski plażowe Strandsande | 55 | 42 | 3 | 53 | 43 | 4 | — | 89 | 11 | 43 | 46 | 3 | 53 | 44 | 7 | 61 | 32 | 4 | 64 | 32 | |
| X piaski plażowe Strandsande | 50 | 47 | 3 | 56 | 40 | 4 | — | 83 | 17 | 9 | 36 | 55 | — | 36 | 64 | 8 | 51 | 41 | 4 | 69 | 27 |
| IX piaski wydmore Dünensande | 9 | 62 | 29 | — | 77 | 23 | — | 55 | 45 | — | 15 | 85 | — | 14 | 84 | — | 14 | 86 | 3 | 34 | 63 |
| VIII piaski wydmore Dünensande | 9 | 70 | 21 | 3 | 83 | 14 | 3 | 47 | 50 | 3 | 41 | 56 | — | 33 | 67 | — | 15 | 85 | — | 18 | 82 |
| VII piaski terasowe Terrassensande | 26 | 67 | 7 | 9 | 83 | 8 | — | — | — | — | 25 | 75 | — | 36 | 64 | — | 36 | 64 | — | 26 | 74 |
| VI piaski terasowe Terrassensande | 19 | 70 | 10 | 25 | 75 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 34 | 64 | — | 27 | 73 | 1 | 37 | 62 |
| V piaski fluwioglacjalne fluvioglacjalne Sande | 53 | 44 | 3 | 55 | 42 | 3 | — | 67 | 33 | 10 | 40 | 50 | 6 | 56 | 38 | 6 | 67 | 27 | 4 | 56 | 40 |
| IV piaski fluwioglacjalne fluvioglacjalne Sande | 58 | 25 | 17 | 52 | 48 | — | 4 | 54 | 42 | — | 36 | 64 | 7 | 53 | 40 | 15 | 52 | 33 | 1 | 59 | 40 |
| III piaski sarmackie sarmatische Sande | 60 | 39 | 1 | 60 | 40 | — | 8 | 51 | 41 | 13 | 51 | 36 | 20 | 66 | 14 | 16 | 45 | 39 | 3 | 46 | 51 |
| II piaski oligocenske oligozane Sande | 61 | 30 | 9 | 57 | 43 | — | 24 | 35 | 41 | 4 | 37 | 69 | 19 | 39 | 42 | 16 | 65 | 19 | 21 | 61 | 18 |
| I piaski albskie albsche Sande | 70 | 30 | — | 67 | 33 | — | 7 | 58 | 35 | 14 | 50 | 36 | 7 | 63 | 30 | — | 84 | 16 | 2 | 46 | 52 |

K — ziarna nie obtoczone (nicht abgerundete Körner); CO — ziarna częściowo obtoczone (teilweise abgerundete Körner);
O — ziarna obtoczone (abgerundete Körner)

Rodzaj i miejsce pochodzenia próbek jak na tabeli 1
Art und Standorte der Proben wie auf Tabelle 1



Ryc. 4. Typy granatów występujące w piaskach różnych środowisk sedimentacyjnych na terenie Polski; rząd 1—4 — piaski czwartorzędowe: wydymowe, plażowe, terasowe i fluwioglacjalne, 5 — piaski sarmackie, 6 — piaski oligoceńskie, 7 — piaski albskie

Fot. autor

Granattypen, die in Sanden verschiedener Sedimentationsmilieus auf dem Gebiet Polens auftreten; 1—4 Reihe Quartärsande: Dünen-, Strand-, Terrassen- und fluvioglaziale Sande, 5 — sarmatische Sande, 6 — oligozäne Sande, 7 — albsche Sande

W pracy niniejszej starano się ustalić, jakie miejsce pod względem odporności na czynniki mechaniczne zajmuje granat wśród wymienionych wyżej minerałów ciężkich. Wyniki badań zamieszczono w tab. 3 oraz na ryc. 2. Ogólny wniosek, jaki można wyprowadzić z tabeli, jest następujący: obtoczenie wszystkich badanych minerałów zmienia się w zależności od środowiska, z jakiego one pochodzą. Najlepiej obtoczone są minerały pochodzące ze środowiska eolicznego, najsłabiej z piasków albskich, trzeciorzędowych i fluwioglacjalnych. Granat wykazuje mniej więcej taką samą odporność na czynniki mechaniczne jak staurolit, a być może jest nawet nieco odporniejszy. Natomiast wszystkie pozostałe minerały łącznie z kwarcem odznaczają się słabszą odpornością od granatu. Ponieważ wszystkie analizowane minerały mają mniej więcej podobną twardość, wahającą się od 6 do 7,5 stopnia w skali Mohsa, obtoczenie ich prawdopodobnie nie jest uwarunkowane tylko samą twardością. Niewątpliwie pewien wpływ na obtoczenie wywierają także takie czynniki, jak skład chemiczny, budowa krystalograficzna, łupliwość oraz procesy wietrzenia chemicznego.

Granat brunatny i cyrkon mogły dostać się do piasków już jako minerały w znacznym stopniu obtoczone. Z badań G. Hoppego (9) wynika, że obtoczone cyrkonony tworzą się nie tylko na skutek mechanicznej obróbki, ale także w wielu przypadkach na skutek krystalizacji. Powyższe uwagi prawdopodobnie mogą dotyczyć także i niektórych innych minerałów frakcji ciężkiej.

W badanych piaskach czwartorzędowych występują też minerały z grupy amfiboli. Odznaczają się one doskonałą łupliwością i w związku z tym nie są odporne na transport, gdyż rozdrabniają się na coraz mniejsze okruchy. Nie są też odporne na wietrzenie chemiczne. Należy jednak stwierdzić, że w analizowanych piaskach czwartorzędowych obtoczonych ziarn amfiboli prawie zupełnie się nie spotyka, występują tylko ziarna najwyżej częściowo obtoczone. Obserwacje te wskazują, że amfibole uznawane za nieodporne na wietrzenie i transport są jednak odporne na proces obtaczania.

Gdyby przyjąć założenie, że obtoczenie badanych minerałów powstało wyłącznie na skutek obróbki w czasie transportu w różnych środowiskach, to w porównaniu z kwarcem wyraźnie bardziej odpornymi minerałami na obróbkę mechaniczną są: granat, staurolit, rutyl. Mniejsze różnice w obtoczeniu zaznaczają się pomiędzy cyrkonem, turmalinem, epidotem i kwarcem. W piaskach wydmych Wyżyny Lubelskiej (J. Morawski — 22) cyrkon jest nieco lepiej obtoczony niż kwarc, natomiast w piaskach z doliny Bystrzycy lubelskiej obtoczenie tych dwóch minerałów jest niemal identyczne.

WNIOSKI

1. Najślabszy stopień obtoczenia granatów zaobserwowano w piaskach albskich i trzeciorzędowych.

2. Najwyższym stopniem obtoczenia wśród analizowanych osadów czwartorzędowych odznaczają się granaty pochodzące z piasków wydmych. Wysoki stopień obtoczenia mają zarówno granaty różowawe jak i bezbarwne, ostatnie są jednak nieco słabiej obtoczone, co wskazuje, że odporność zależy od typu granatu.

3. W większości środowisk granat bezbarwny jest najslabiej obtoczony, najlepiej obtoczony jest granat brunatny, a granaty różowawe zajmują stanowisko pośrednie.

4. Nie ma dostatecznych jeszcze podstaw, aby określić co jest zasadniczym powodem tak wysokiego obtoczenia granatu brunatnego.

5. Granat wykazuje mniej więcej taką samą odporność na czynniki mechaniczne jak staurolit, a być może jest nawet nieco odporniejszy. Natomiast pozostałe minerały odznaczają się słabszą odpornością od granatu.

LITERATURA

1. Adamczyk B.: Ciężkie minerały piasku z Pustyni Błędowskiej (Heavy minerals in the sands of Pustynia Błędowska). Zesz. Nauk. WSR w Krakowie, nr 2, Rolnictwo, z. 2, 1957.
2. Bietiechtin A. G.: Podstawy mineralogii. Warszawa 1955.
3. Biskupski S.: Z petrografii trzeciorzędu okolic Gólogór na północnej krawędzi Podola (Beiträge zur Petrographie der tertiären Gesteine aus der Umgebung von Gólogóry am Nordrande von Podolien). Kosmos., Ser. A, 61, Lwów 1936.
4. Chlebowski R.: Minerały ciężkie piasków plażowych i wydmych wybrzeża Wyspy Wolin. Uniw. Warszawski, Biul. Geol., t. 4, Warszawa 1964.
5. Chorowska M.: Zdjęcie szlichowe okolic Złotego Stoku ("Slick" Mapping in Złoty Stok Region). Kwart. Geol., t. 5, nr 1, Warszawa 1961.
6. Dryden L. & Dryden C.: Comparative rates of weathering of some common heavy minerals. J. Sedim. Petr., vol. 16, nr 3, 1946.
7. Friese F. W.: Untersuchungen von Mineralien auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung in Wasser. Schweiz. Min. Petr. Mitt., vol. 41, 1931.
8. Grimm W. D.: Stratigraphische und sedimentpetrographische Untersuchungen in der Oberen Süßwassermolasse zwischen Inn und Rott (Niederbayern). Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, H. 26, Hannover 1957.
9. Hoppe G.: Die Verwendbarkeit Morphologischer Erscheinungen an Akzesorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen. Abh. der Deutsch. Akad. der Wiss. zur Berlin, 1963.
10. Jahn A., Turnau-Morawska M.: Preglacjał i najstarsze utwory plejstoceńskie Wyżyny Lubelskiej (Preglacjal and the oldest Pleistocene deposits of the Lublin Upland). Państw. Inst. Geol., Biul. 65, Warszawa 1952.

11. Jaworski A.: Analiza szlichowa środkowego dorzecza Sufragańca i Bobrza w północno-zachodniej części Gór Świętokrzyskich (Slick analysis of the alluvia of the Middle Basin of Sufraganiec and Bobrza Creeks in North western Part of Święty Krzyż Mountains). *Kwart. Geol.*, t. 5, Warszawa 1961.
12. Jaworski A.: O odporności na wietrzenie niektórych minerałów szlichowych (Resistance to weathering of some slick minerals). *Przeł. Geol.*, z. 4—5, Warszawa 1962.
13. Kolesnikowa T. P.: K mineralogii jurskich otłożeń bassiejna r. Nepy. *Izw. Wost. fil. Akad. Nauk SSSR*, Nr 7.
14. Kryśowska M.: Minerale ciężkie w utworach karbońskich z Bolesławia koło Olkusza (Assemblages of heavy minerals in Carboniferous sediments perforated of Bolesław near Olkusz). *Kwart. Geol.*, t. 3, nr 4, Warszawa 1959.
15. Kryśowska M.: Zespoły minerałów ciężkich w osadach jury brunatnej okolic Krzeszowic (Assemblages of heavy minerals in Dogger sediments in the vicinity of Krzeszowice). *Materiały do geologii obszaru śląsko-krakowskiego*, t. 5. *Biul. Inst. Geol.*, nr 152, Warszawa 1960.
16. Kryśowska M.: Minerale ciężkie w utworach mioceńskich obszaru śląsko-krakowskiego (maszynopis), Kraków 1964.
17. Kuenen P. H.: Experimental abrasion. 4. Eolian action. *The Journ. of Geol.*, v. 68, nr 4, Univ. of Chicago, 1960.
18. Łydka K.: Utwory sarmackie okolic Rybnicy i Dwikoż. Szkic petrograficzny (Sarmation deposits of Rybnica and Dwikozy. District Sandomierz. Petrographical Study). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B*, vol. V (1950), Lublin 1952.
19. Łydka K.: Studia petrograficzne nad permo-karbonem krakowskim (Petrographic studies concerning the Permo-Carboniferous of the Cracov Region). *Materiały do geologii obszaru śląsko-krakowskiego*, t. I, *Inst. Geol., Biul.* 97, Warszawa 1955.
20. Łydka K.: O petrografii i sedymentacji pstrego piaskowca regionu śląsko-krakowskiego (On the Petrography and Sedimentation of the Bunter Sandstone in the Silesion Cracov Region). *Materiały do geologii obszaru śląsko-krakowskiego*, t. III. *Inst. Geol., Biul.* 108, Warszawa 1956.
21. Małkowski S.: O wydmach piaszczystych okolic Warszawy (Les dunes des environs de Varsovie). *Pr. T. N. W.*, 23, Warszawa 1917.
22. Morawski J.: Osady piaszczyste Wyżyny Lubelskiej. Studium sedymentologiczne. *Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Wydz. Biol. i Nauk o Ziemi*, Lublin 1965 (maszynopis).
23. Nawara K.: Transport i sedymentacja współczesnych piasków Dunajca i jego niektórych dopływów (Recent transport and sedimentation of sands in the Dunajec river and some of its tributaries). *Acta Geol. Pol.*, vol. XV, nr 4, Warszawa 1965.
24. Peacey I. S.: Rolled garnets from Morar Inverness-shire. *Geol. Mag.*, 98, nr 1, 1961.
25. Pettijohn F. I.: Persistency of heavy minerals and geologic age. *J. Geol.*, vol. 49, 1941.
26. Pożaryski W.: Odwapnione utwory kredowe na północno-wschodnim przedpolu Gór Świętokrzyskich. *Państw. Inst. Geol., Biul.* 75, Warszawa 1951.

27. Przybyłowicz T.: Studium petrograficzne skał klastycznych jury okolic Krakowa (Petrographic studies of clastic Jurassic rocks of the Cracow region). Arch. Miner., t. XXII (1958), z. 1, Kraków 1960.
28. Shepard F. P., Young R.: Distinguishing between beach and dune sands. J. Sediment. Petrol., 31, nr 2, 1961.
29. Sidorenko A. B.: Eołowaja diffierenciacija wieszczestwa w pustynie. Izw. Akad. Nauk SSSR. Sier. Geograf., nr 3, 1956.
30. Sindowski K. H.: Results and problems of heavy mineral analysis in Germany: a review of sedimentarypetrological papers 1936—1948. J. Sediment. Petrol., vol. 19, nr 1, 1949.
31. Sindowski K. H.: Sedimentpetrographische Charakterisierung der liegenden und hangenden Tertiärsande aus dem Braunkohlentagebau Bornhausen am Harz. Geol. Jb., B. 79, Hannover 1962.
32. Stupkina L. M.: K woprosu o chemiczeskoj prirodi granatow. Zapiski Wsies. Mineral. Obszcz. 90, nr 3, Moskwa—Leningrad 1962.
33. Smulikowski K.: Minerale skałotwórcze. Warszawa 1955.
34. Teofilak A.: Petrografia liasu i doggeru w otworze Gołdap. IG. Kwart. Geol., t. 6, z. 3, Warszawa 1962.
35. Thiel G. A.: Glacio-lacustrine sediments reworked by runnig water. J. Sedim. Petr. II, 1932.
36. Trembaczowski J.: Próba wyjaśnienia pochodzenia piasków plaży i wydm w Puławach (Origin of the beach-and dune-sands in Puławy). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. III (1948), 4, Lublin 1949.
37. Turnau-Morawska M.: Piaskowiec albski okolic Rachowa nad Wisłą (An Albian sandstone in the environment of Rachów on the Vistula-river). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. III (1948), Lublin 1949.
38. Turnau-Morawska M.: Spostrzeżenia dotyczące sedimentacji i diagenety sarmatu Wyżyny Lubelskiej (Remarks concerning sedimentation and diagenesis of Sarmatian deposits on the Lublin-Upland). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. IV (1949), 7, Lublin 1950.
39. Turnau-Morawska M.: Utwory rzeczne doliny Bugu między Terespołem a Wyszkiem (Fluvial deposits in the Bug valley between Terespol and Wyszów). Z badań czwartorzędu w Polsce, t. 4, Państw. Inst. Geol., Biul. 68, Warszawa 1952.
40. Turnau-Morawska M.: Petrografia skał osadowych. Warszawa 1954.
41. Turnau-Morawska M.: Znaczenie analizy minerałów ciężkich w rozwiązywaniu zagadnień geologicznych. Acta Geol. Pol., t. V, z. 3, Warszawa 1955.
42. Wiernandzki W. I., Kurbatow S. M.: Ziemnyje silikaty, aljumosilikaty i ich analogii. 1937.
43. Williams H., Turner F. J., Gilbert Ch. M.: Petrografia. Moskwa 1957 (przekład z angielskiego).
44. Wojciechowski J.: Essai identification des dépôts quaternaires d'après l'analyse mineralogique sur l'exemple de Katarzynów de Dąbrówka près de Łódź. Bull. Soc. Se. Lettres. Łódź, vol. XII, 11, 1961.
45. Zaporozcewa A. S.: O proischożdenii stupenczatoj powierzchni obłomocznych zieren granata mielowych otłożenij siewiera Jakutii. Dokł. Akad. Nauk SSSR, 131, nr 2, 1960.

Типы гранатов и их устойчивость в песках различных седиментационных сред

Резюме

В петрографических и геологических работах уже давно обсуждаются вопросы устойчивости граната против химического и физического выветриваний. Зачастую мнения ученых очень противоречивы. Ряд исследователей признает гранат за весьма устойчивый минерал, другие же, наоборот, считают этот минерал неустойчивым. По мнению М. Турнау-Моравской (40) гранат следует отнести к минералам со средней устойчивостью, или даже устойчивостью еще не установленной.

Многие авторы, говоря об устойчивости или неустойчивости граната, не всегда уточняют, о какой конкретно устойчивости идет речь.

Понятие прочности граната в отложениях песка можно рассматривать с различных точек зрения, принимая во внимание процентное содержание этого минерала в тяжелой фракции, степень обкатки зерен, наличие коррозионно вытравленных кристаллов и остаточных скелетных форм, а также присутствие продуктов выветривания минерала.

Автор присоединяется к польским ученым, которые свои взгляды обосновывают результатами проведенных ими исследований песчаных отложений на территории Польши от карбона до голоцена. Автор настоящей работы, устанавливая большую дифференциацию в содержании граната во всех проанализированных отложениях, подчеркивает, что этот фактор не может быть достаточным критерием для определения устойчивости граната против химического выветривания.

Анализируя наличие отчетливых коррозионных и скелетных форм граната в альбских, олигоценовых, сарматских песках и флювиогляциальных четвертичных песках, песках на террасах, дюнах и пляжах, автор приходит к заключению, что устойчивость граната зависит от его типа. Из приведенных данных следует, что гранаты скорее всего являются минералами средней устойчивости и выветриваются они труднее, чем минералы из группы пироксена и амфиболя.

На основании проведенных вычислений процентного участия зерен гранатов с различной степенью окатки следует, что устойчивость этого минерала к механической обработке зависит также от типа граната. Бесцветные гранаты являются слабо окатанными, лучше всего окатаны бурые гранаты, а розоватые гранаты являются минералами средней окатанности. Сравнительно высокая степень

окатанности бурого граната в песках всех сред может быть обусловлена не только механической обработкой.

Среди подвергнутых анализу осадков самой высокой степенью окатанности отличаются гранаты, происходившие из дюнных песков, слабее всего — из альбских и третичных песков.

По сравнению с другими тяжелыми минералами и кварцем, гранат обнаруживает приблизительно такую же устойчивость на механические факторы, как и ставролит, но возможно является даже несколько устойчивее. Вместо этого рутил, циркон, турмалин, эпидот и кварц отличаются меньшей устойчивостью.

Табл. 1. Содержание различных типов гранатов в тяжелой фракции песков (фракция 0,10—0,25 мм) в %. I. Содержание в тяжелой фракции: 2 — бесцветного граната; 3 — светлорозового; 4 — розового; 5 — светложелтого; 6 — желтого; 7 — светлобурого; 8 — бурого; 9 — прочие. Род и место происхождения проб песков: I — альбские пески; II — олигоценовые пески; III — сарматские пески; IV—V — флювиогляциальные пески; VI—VII — пески из террас; VIII—IX — пески из дюн; X—XI — пески из пляжей.

Табл. 2. Окатанность гранатов и содержание коррозионных форм в тяжелой фракции песков (фракция 0,10—0,25 мм) в %. I. Тип зерен граната: 2 — окатанные гранаты (O); 3 — частично окатанные (CO); 4 — неокатанные (K); 5 — коррозионные формы (D). Вид и место происхождения проб песков, как и в табл. 1.

Табл. 3. Окатка зерен тяжелых минералов и кварца в песках (фракция 0,10—0,25 мм) в %: K — неокатанные зерна; CO — частично окатанные зерна; O — окатанные зерна. Вид и место происхождения проб песка как и в табл. 1.

Рис. 1. Типы гранатов в песках различных седиментационных сред. Горизонтальные столбики: 1 — участие граната в тяжелой фракции, 2 — отношение граната цветного к бесцветному, 3 — участие светлорозового граната, 4 — участие розового граната, 5 — участие светложелтого граната, 6 — участие желтого граната, 7 — участие светлобурого граната, 8 — участие бурого граната, 9 — участие гранатов других цветов. Вертикальные столбики. Окатывание граната: A — всего, B — бесцветного, C — светлорозового и розового, D — процентное содержание поврежденных коррозией гранатов.

Рис. 2. Окатывание тяжелых минералов и кварца в песках различных седиментационных сред. Процентное содержание зерен: K — неокатанных; CO — частично окатанных; O — окатанных.

Рис. 3. Формы зерен гранатов, имеющих в песках различных седиментационных сред: 1 — неокатанные зерна; 2 — частично окатанные; 3 — окатанные; 4 — коррозионные формы.

Рис. 4. Виды гранатов, содержащихся в песках разных седиментационных сред на территории Польши. Ряды сверху вниз: 1—4 — четвертичные пески дюн, пляжей, террас и флювиогляциальные; 5 — сарматские пески; 6 — олигоценовые пески; — 7 альбские пески. Фото автора.

Beobachtungen über die Widerstandsfähigkeit und die Granattypen in Sanden verschiedener Sedimentationsmilieu's

Zusammenfassung

In petrographischen und geologischen Abhandlungen wird von länger her das Problem der Widerstandsfähigkeit der Granate auf chemische und physische Witterung hin untersucht. In vielen Fällen sind die Meinungen ganz verschieden, eine ganze Anzahl von Forschern nimmt Granate als ein sehr widerstandsfähiges Mineral an, andere wiederum nehmen das Gegenteil an. M. Turnau-Morawska (40) ist der Meinung, dass man Granate zu den Mineralien von mittlerer oder zur Gruppe noch nicht festgestellter Widerstandsfähigkeit anrechnen soll.

In vielen Abhandlungen kann man Suggestionen antreffen, dass Granate widerstandsfähige oder nicht widerstandsfähige Minerale sind, wobei die einzelnen Autoren nicht angeben, um was für eine Widerstandsfähigkeit es geht.

Das Problem der Dauerhaftigkeit der Granate in Sandsedimenten kann man — von verschiedenen Gesichtspunkten aus gesehen — untersuchen, sei es denn der Prozentanteil dieses Minerals in der Schwermineralienfraktion, der Abrundungsgrad der Granatkörner, das Auftreten von Kristallen, die durch Korrosion ausgehöhlt und nur als Skelettformüberbleibsel anzutreffen sind, oder Untersuchungen auf die Anwesenheit von Witterungsprodukten dieses Minerals.

Der Autor fasst Ansichten polnischer Forscher zusammen und beruft sich auf Analysen der Sandsedimente vom Gebiet Polens, welche durch diese hergestellt wurden und vom Karbon bis zum Holozän reichen. Er stellt eine grosse Differenzierung des Granatanteils in allen analysierten Sedimenten fest und beweist, dass dies kein ausreichendes Kriterium zur Feststellung der Widerstandsfähigkeit des Granats auf chemische Witterungseinflüsse sein kann.

Nach einer Analyse des Vorkommens deutlicher Korrosions- und Skelettformen des Granats in den albischen, oligozänen und sarmatischen Sanden, sowie in den quartären Fluvioglazialsanden der Terrassen, Dünen und Strände, beweist der Autor, dass die Widerstandsfähigkeit dieses Minerals mit dem Typus des Granats verbunden ist. Diese Angaben weisen darauf, dass Granate Mineralien von mittlerer Widerstandsfähigkeit sind, jedoch abwehrbarer gegen Witterungseinflüsse als Mineralien der Gruppe Pyroxen und Amphibol sind.

Sich auf prozentsätzliche Berechnungen über den Anteil der Granatkörner von verschiedener Abrundungsgrad stützend, geht hervor, dass die Widerstandsfähigkeit dieses Minerals auf mechanische Einflüsse auch vom Typus des Granats abhängt. Am wenigsten abgerundet sind farb-

lose Granate, am stärksten braune Granate, mittelstark rosafarbene Granate. Der hohe Abrundungsgrad brauner Granate die in Sanden aller Milieus auftreten braucht nicht nur allein durch mechanische Bearbeitung zustande kommen. Unter den hier einer Analyse unternehmenen Sedimente weisen einen höchsten Abrundungsgrad Granate aus den albischen und tertiären Sanden auf.

Im Vergleich mit anderen Schwermineralien und Quarzen, weisen Granate ungefähr dieselbe Widerstandsfähigkeit auf mechanische Faktoren auf, wie Staurolith- oder er ist sogar noch widerstandsfähiger als der letztere. Rutil, Zirkon, Turmalin, Epidot und Quarz sind jedoch weniger widerstandsfähig als Granat.