

CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW SEDYMENTACJI OSADÓW ZALEWU PUCKIEGO NA PODSTAWIE ANALIZY MINERAŁÓW CIĘŻKICH

UKD 552.14"312":552.517.4:549.903.12(438-17:261.246 Zalew Pucki)

W ostatnich latach opublikowano wiele prac na temat przydatności analizy składu minerałów ciężkich w badaniach sedymentologicznych (5, 4, 8, 13, 15, 17). Przedmiotem szczególnego zainteresowania jest możliwość określenia warunków dynamicznych podczas depozycji osadów na podstawie zróżnicowania składu minerałów ciężkich (8, 4, 13, 17). Prowadzone są również badania laboratoryjne, których celem jest poznanie mechanizmu tworzenia się koncentracji minerałów ciężkich w strefie brzegowej (5, 13). Badania te wykazały, że istnieje zróżnicowanie składu mineralnego osadów zależnie od warunków hydrodynamicznych (falowania i prądów), w jakich osady są deponowane. Stwierdzone zostało, iż minerały o wysokich ciężarach właściwych (magnetyt, ilmenit, granaty) przeważają w środowiskach aktywnych o przewadze procesów erozji, natomiast minerały lżejsze (amfibole, biotyt, chloryty) dominują w osadach ze środowisk o przewadze procesów akumulacji (8, 4). W badaniach współczesnych osadów strefy brzegowej południowego Bałtyku jako minerały wskaźnikowe najczęściej stosuje się granaty i amfibole.

Celem prezentowanego opracowania jest określenie: 1) składu mineralnego osadów powierzchniowych Zalewu Puckiego, 2) warunków dynamicznych, w jakich zdeponowane zostały osady Zalewu Puckiego.

Takie przedstawienie problemu spowodowane zostało brakiem tego typu opracowań dla osadów Zalewu Puckiego. Do badań wykorzystano próbki osadów pobrane podczas prac terenowych przez S. Musielaka w latach 1976–1977. Materiał ten był uprzednio przedmiotem opracowań: granulometrycznych (7), litologicznych (6) i geochemicznych (3). Wykorzystano również wyniki wykonanych dla tego rejonu w latach 1978–1979 opracowań sedymentologicznych (1, 2, 16).

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Zalew Pucki o powierzchni ok. 100 km² jest częścią Zatoki Gdańskiej, a usytuowany jest w zachodniej części Zatoki Gdańskiej (ryc. 1). Od NE ograniczony jest akumulacyjną formą Półwyspu Helskiego, a od E przez Rewę Mew i Cypel Rewski (Szpyrk). Charakter współczesnych procesów sedymentacyjnych przede wszystkim uwarunkowany jest przez batymetrię akwenu. W topografii Zalewu Puckiego wyraźnie widoczne są trzy elementy morfologiczne (ryc. 1):

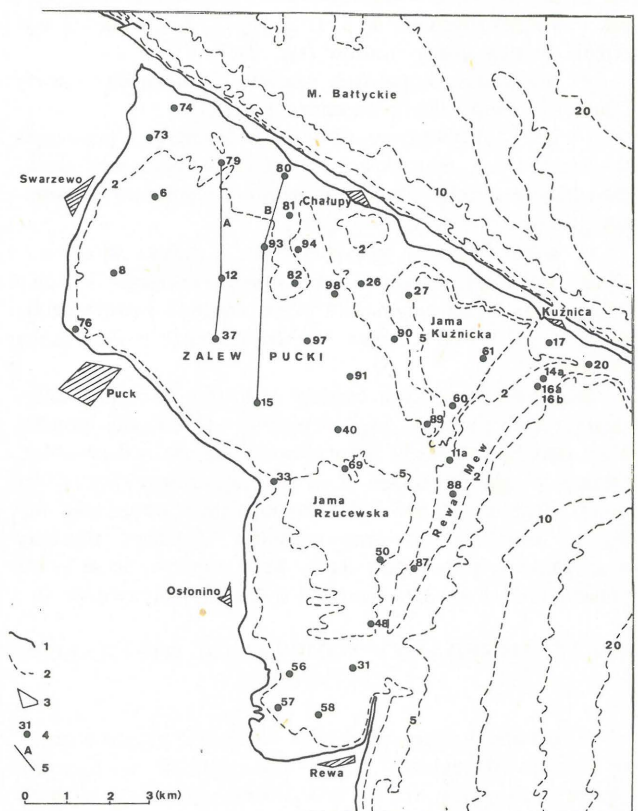
- 1) płycizny przybrzeżne, ograniczone izobatą 2 m, o bardzo urozmaiconej rzeźbie – przylegają do półwyspu,
- 2) centralna część zalewu o głębokościach 2–4 m i mało urozmaiconej rzeźbie,
- 3) obniżenie terenu o głębokościach poniżej 4 m zwane jamami: Chałupską, Kuźnicką (maks. głębokość ok. 10 m) i Rzucewską.

Warunki hydrodynamiczne Zalewu Puckiego kształtują się pod wpływem falowania i prądów przenikających z Zatoki Gdańskiej. Ich natężenie oraz wpływ na warunki sedymentacji w Zalewie Puckim ograniczone jest przez

barierę Rewy Mew i najsilniej zaznacza się we wschodniej części zbiornika. Przeprowadzone pomiary wykazują istnienie słabych prądów przydennych, osiągających prędkość 10–20 cm · s⁻¹ (J. Nowacki, materiały niepublikowane). Wpływ falowania na osady zaznacza się tylko w strefie przybrzeżnej, wysokość fal rzadko przekracza 50 cm.

Ważnym elementem dynamiki wód Zalewu Puckiego są wahania poziomu wody, których amplituda zależy od wiatrów wiejących nad całym Bałtykiem, jak i od wiatrów lokalnych. Poziom wody podnosi się przy wiatrach WSW–N–ENE, a opada przy pozostałych kierunkach. Wahania te maksymalnie dochodzą do 1 m (średnio ok. 30 cm; 12).

Spiętrzenia wód Morza Bałtyckiego podczas szczególnie silnych sztormów powodują przerwanie Półwyspu Helskiego. W czasie takich katastroficznych zmian poziomu morza silne strumienie wody mogą transportować duże ilości osadu z otwartego Bałtyku do wewnątrz Zalewu Puckiego (9, 2).



Ryc. 1. Lokalizacja punktów pobierania próbek

- 1 – linia brzegowa, 2 – izobaty, 3 – miejscowości, 4 – punkt poboru próby, 5 – linia przekroju (patrz ryc. 4)

Fig. 1. Location of sampled points

- 1 – shore line, 2 – isobaths, 3 – towns, 4 – sampled points, 5 – line of cross-section (see Fig. 4)

METODYKA BADAŃ

Wydzielanie minerałów ciężkich przeprowadzono w lejkach rozdzielaczach typu Harady o poj. 50 ml, jako cieczy rozdzielającej użyto bromoformu (CH_2Br_2) o c. wł. 2,81 g/cm³. We wstępnym etapie badań minerały ciężkie wydzielono z frakcji: 0,102 ÷ 0,15; 0,15 ÷ 0,2; 0,2 ÷ 0,25 mm. Okazało się jednak, że tylko frakcja 0,15 ÷ 0,2 mm jest w pełni przydatna do badań, pozostałe bądź występowały w zbyt małej ilości, albo też zawartość minerałów ciężkich była w nich zbyt mała, co uniemożliwiało wykonanie analiz mikroskopowych.

Badania mikroskopowe we frakcji 0,2 ÷ 0,25 mm były dodatkowo utrudnione, ze względu na znaczne zmiany korozyjne i strukturalne ziarn mineralnych. Ponadto we frakcji 0,102 ÷ 0,15 mm występowała duża ilość agregatów mineralnych i detrytus organicznego. Wiele ziarn mineralnych, szczególnie kwarcu posiadała naskorupienia tlenków Fe, substancji węglanowej, pirytu lub chalcedonu, utrudniających ich identyfikację. Powłoka tlenków żelaza zwiększała ciężar właściwy ziarn kwarcu na tyle, że przechodziły one do podfrakcji minerałów ciężkich, fałszując tym samym wynik analizy. W związku z tym część analiz powtórzono, a próbki osadu przed wykonaniem analizy poddawano działaniu rozcieńczonego HCl.

OSADY POWIERZCHNIOWE ZALEWU PUCKIEGO

Osady powierzchniowe Zalewu Puckiego doczekały się licznych opracowań zarówno sedimentologicznych, jak i litologicznych (3, 6, 7, 1, 2, 16). S. Musielak (6) wyróżnia tu trzy grupy osadów (ryc. 2):

– wychodnie kopalnych osadów limnicznych – torfy i jeziorne osady ilasto-wapienne (gytia);

– strefy aktywnej współcześnie sedimentacji piaszczysto-aleurytowej, aleurytowej i aleurytowo-pelitowej, funkcjonujące w obrębie obniżen morfologicznych jam: Chałupskiej, Kuźnickiej i Rzucewskiej;

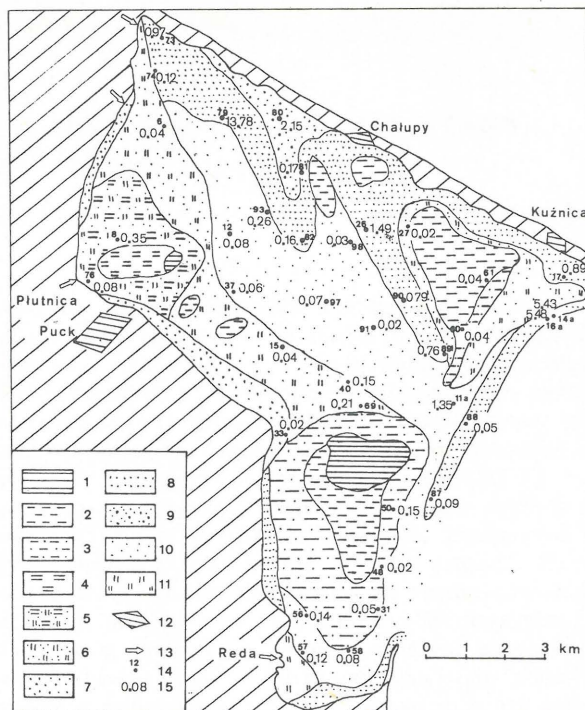
– strefa osadów piaszczystych i piaszczysto-żwirowych, które przylegają do Półwyspu Helskiego i Rewy Mew, są to przede wszystkim piaski średnio- i drobnoziarniste, a na W od Chałup – różnoziarniste z domieszką żwirów.

Rozmieszczenie tych osadów wykazuje związki z batymetrią zbiornika. W zagłębieniach o głębokości poniżej 4 m tworzą się osady aleurytowe i aleurytowo-pelitowe. Obszar o głębokościach 2–4 m zajmowany jest przez piaski drobnoziarniste i drobnoziarniste z domieszką detrytus organicznego oraz namulów. Rozległe płycizny w sąsiedztwie półwyspu i Rewy Mew zajmowane są przez piaski średnio i różnoziarniste z domieszką żwirów (6).

SKŁAD MINERALNY PODFRAKCJI MINERAŁÓW CIĘŻKICH

Wykonane analizy pozwoliły stwierdzić znaczne zróżnicowanie koncentracji minerałów ciężkich w różnych typach osadu. Zawartości procentowe wahają się od 0,02 do 13,78 (ryc. 2). Jakkolwiek związki między zawartością minerałów ciężkich a rodzajem osadu nie są określone w sposób jednoznaczny załączona mapka (ryc. 2) wskazuje na istnienie pewnych prawidłowości.

Najwyższe koncentracje minerałów ciężkich od ok. 1 do ok. 13,8% stwierdzono w strefie piasków średnioziarnistych – Piaski Zachodnie, Piaski Dziewicze – przylegających do półwyspu i po wschodniej stronie Rewy Mew



Ryc. 2. Zróżnicowanie koncentracji minerałów ciężkich w osadach powierzchniowych Zalewu Puckiego (litologia osadów wg S. Musielaka, 6)

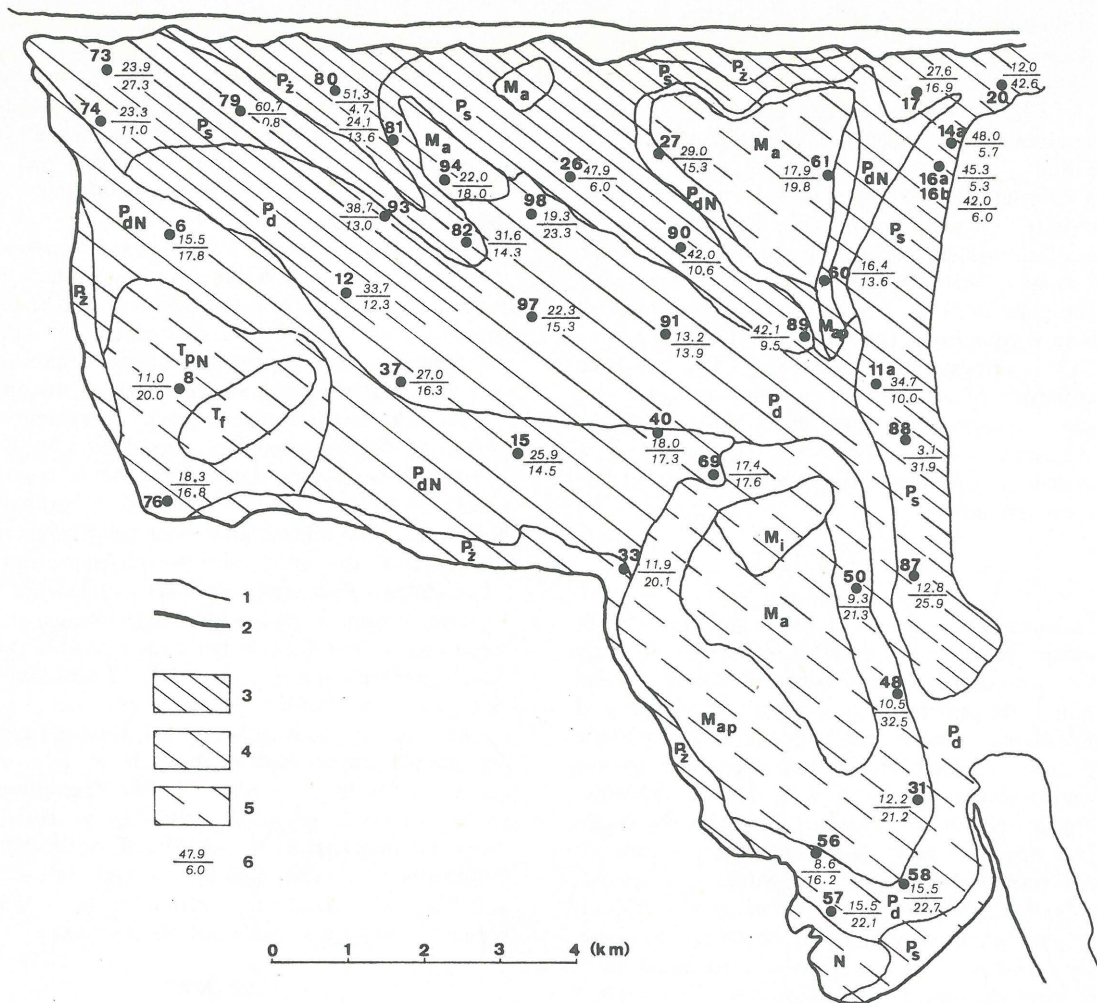
1 – osady ilaste i ilasto-wapienne, 2 – osady aleurytowe, 3 – osady piaszczysto-aleurytowe, 4 – torfy, 5 – detrytus torfowy z piaskiem i namulem organicznym, 6 – piaski drobnoziarniste z namulem, 7 – piaski średnio- i gruboziarniste, miejscami otoczaki i głazy, 8 – piaski średnioziarniste, 9 – piaski różnoziarniste ze żwirem, 10 – piaski drobnoziarniste, 11 – namuły organiczne, 12 – miejscowości, 13 – ujścia rzek i potoków, 14 – lokalizacja punktów pobierania próbek, 15 – zawartość minerałów ciężkich w % wag. we frakcji 0,15–0,20 mm

Fig. 2. Differentiation in concentration of heavy minerals in seafloor sediments in the Puck Embayment (lithology of the sediments after S. Musielak, 6)

1 – clay and clay-carbonate sediments, 2 – aleuritic sediments, 3 – sandy-aleuritic sediments, 4 – peats, 5 – peat detritus with sand and organic mud, 6 – fine-grained sands with mud, 7 – medium- and coarse-grained sands, locally pebbles and boulders, 8 – medium-grained sands, 9 – various-grained sands with gravel, 10 – fine-grained sands, 11 – organic muds, 12 – towns, 13 – mouths of rivers and streams, 14 – location of sampled points, 15 – content of heavy minerals in wt. % in the 0.15–0.20 mm fraction

(szczególnie w okresowo funkcjonujących ciśnieniach od ok. 1 do ok. 5,5%). Najniższe zawartości minerałów ciężkich od 0,02 do 0,35% stwierdzono w osadach aleurytowych, aleurytowo-piaszczystych i w piaskach średnioziarnistych – SW części Rewy Mew (ryc. 2). Nie stwierdzono natomiast istnienia zależności między zawartością procentową badanej frakcji 0,15–0,20 mm a zawartością procentową minerałów ciężkich. Najwyższe koncentracje występowały zarówno przy zawartości badanej frakcji poniżej 10% (pkt 16), jak i 30–40% (pkt 14, 89). Najniższe natomiast przy zawartości frakcji powyżej 40% (pkt 48, 91), ale także i przy zawartościach ok. 20% (pkt 76).

W wyniku przeprowadzonych badań mikroskopowych stwierdzono duże urozmaicenie składu mineralnego podfrakcji minerałów ciężkich. Zdecydowanie dominują trzy grupy minerałów: granaty, amfibole i minerały nieprzezroczyste. Skład ten jest typowy dla holocenów piasków południowego Bałtyku (8, 14, 15, 4). W zestawie minerałów



Ryc. 3. Zróżnicowanie zawartości granatów i amfiboli w osadach Zalewu Puckiego

1 – granice litologiczne, 2 – linia brzegowa, 3 – osady ze zdecydowaną przewagą granatów nad amfibolami, 4 – osady zawierające w przybliżeniu jednakowe ilości granatów i amfiboli, 5 – osady ze zdecydowaną przewagą amfiboli nad granatami, 6 – zawartość granatów (licznik) i amfiboli (mianownik) w badanej próbie, rodzaje osadów: P_z – piaski różnoziarniste ze żwirem, P_s – piaski średnioziarniste, P_d – piaski drobnoziarniste, P_{dN} – piaski drobnoziarniste z domieszką namułu, T_f – torfy, T_{pN} – detrytus torfowy z domieszką piasku i namułu organicznego, M_{ap} – muły aleurytowo-piaszczyste, M_a – muły aleurytowe, M_i – osady ilasto-wapienne, N – namuły

ciężkich z osadów Zalewu Puckiego w najwyższych ilościach występują granaty. Ich największe koncentracje stwierdzono w piaskach średnioziarnistych i różnoziarnistych z domieszką żwirów, z których zbudowane są płycizny przybrzeżne (Piaski Zachodnie, Piaski Dziewicze i wschodnia część Rewy Mew). Maksymalna zawartość procentowa granatów dochodzi do 60,7% (pkt 79), przeciętna wynosi 25,0%. Wyjątek stanowią tu piaski średnioziarniste SW części Rewy Mew, gdzie stwierdzono najniższą zawartość granatów – 3,1% (pkt 88). Natomiast ogólnie najniższe stwierdzone koncentracje granatów wiążą się ze strefami sedymentacji aleurytowej oraz aleurytowo-piaszczystej i osiągają ok. 10% (pkt 56 – 8,6%; ryc. 3).

Najwyższe koncentracje amfiboli stwierdzono w osadach aleurytowych i aleurytowo-piaszczystych, jam: Kuźnickiej i Rzucewskiej. Osiągały one maksymalnie 32,5% (pkt 48), a przeciętnie 16,6%. Podwyższone zawartości amfiboli zauważono również w piaskach drobnoziarnis-

Fig. 3. Variability in content of garnets and amphiboles in seafloor sediments in the Puck Embayment

1 – lithological boundaries, 2 – shore line, 3 – sediments with marked predominance of garnets on amphiboles, 4 – sediments yielding roughly similar amounts of garnets and amphiboles, 5 – sediments with marked predominance of amphiboles on garnets, 6 – contents of garnets (numerator) and amphiboles (denominator) in studied sample; types of sediments: P_z – various-grained sands with gravel, P_s – medium-grained sands, P_d – fine-grained sands, P_{dN} – fine-grained sands with admixture of mud, T_f – peats, T_{pN} – peat detritus with admixture of sand and organic mud, M_{ap} – aleuritic sandy muds, M_a – aleuritic muds, M_i – clay-carbonate sediments, N – muds

tych centralnej części zalewu (pkt 37 – 16,3%) oraz w piaskach średnioziarnistych SW części Rewy Mew (pkt 88 – 31,9%). Wyraźnie zubożone w amfibole są osady, gdzie przeważają granaty – piaski średnioziarniste i różnoziarniste z domieszką żwirów w północnej, najpłytszej części zalewu i we wschodniej części Rewy Mew (ok. 5%, minim. pkt 79 – 0,8%; ryc. 3).

W przeciwieństwie do granatów i amfiboli minerały nieprzezroczyste nie wykazują wyraźniejszych związków z rodzajem osadów. Osiągają one maksymalne koncentracje do 40% (pkt 56), przeciętnie 26,4. Wśród pozostałych minerałów w największych ilościach występują epidot i zoizyt. Minerały te wykazują tendencje do osiągania najwyższych koncentracji w osadach wzbogaconych w amfibole, tzn. aleurytowo-piaszczystych i aleurytowych. Ich zawartość w osadzie może maksymalnie osiągnąć 13% (przeciętnie: epidot – 8,1%, zoizyt 5,5%). Natomiast takie minerały, jak: dysten, rutyl, cyrkon, staurolit, turmalin

i pirokseny występują w osadach w podrzędnych ilościach, z rzadka tylko osiągając koncentracje dochodzące do 5% (przeciętnie dysten – 1,7%, rutyl – 1,6%, cyrkon – 2,4%, staurolit – 1,7%, turmalin – 2,1%, pirokseny – 1,6%). Ich rozmieszczenie w osadach nie wykazuje widocznych prawidłowości.

Należy również zwrócić uwagę na takie minerały, jak: biotyt, chloryty i agregaty mineralne, których występowanie w osadach wykazuje związki z obecnością: amfiboli, epidotu i zoizytu. Stanowią one istotną domieszkę podfrakcji minerałów ciężkich w piaskach drobnoziarnistych z detrytusem organicznym (pkt 6 – biotyt + chloryty – 4%, pkt 15 – agregaty mineralne 5,8%). W piaskach średnioziarnistych SW części Rewy Mew osiągają one dość znaczne koncentracje (pkt 88 – biotyt + chloryty – 6,8%, agregaty mineralne – 12,2%), natomiast w średnio i różnoziarnistych występują w minimalnych ilościach lub jest ich brak.

DYSKUSJA

Zróznicowanie właściwości fizycznych granatów i amfiboli powoduje, że minerały te w różny sposób reagują na procesy zachodzące w środowisku depozycji osadu. Granaty należą do minerałów o c. wł. ok. 4,2 g/cm³ i są to na ogół ziarna izometryczne, zaokrąglone, amfibole zaś mają c. wł. ok. 3,2 g/cm³ i zazwyczaj pokrój tabliczkowy lub słupkowy. Jednym z parametrów fizycznych wpływających w istotny sposób na transport mechaniczny osadu jest prędkość opadania ziarn. O reakcji ziarn mineralnych na przepływ transportującej cieczy decydują: ich gęstość, rozmiary i kształt (10). W przypadku minerałów lekkich głównymi czynnikami określającymi prędkość opadania są wielkość i kształt ziarn, zaś prędkość opadania ziarn minerałów ciężkich przede wszystkim zależy od ciężaru właściwego, a w mniejszym stopniu od kształtu. W związku z tym takie minerały, jak np. granaty są deponowane w większych prędkościach przepływu niż np. amfibole lub kwarc. Natomiast, aby ziarna minerałów ciężkich mogły być transportowane konieczne są większe prędkości niż dla pozostałych minerałów. W sytuacji, gdy prędkości przepływu nie osiągają wartości krytycznej dla transportu ziarn granatu, to lżejsze ziarna kwarcu i amfiboli będą wynoszone, a osad wzbogacany w granaty.

Według Rittenhause'a (1943, dane z lit. 10) w przypadku transportu osadu różnica w opadaniu ziarn granatu i kwarcu powoduje, że ziarnom kwarcu o określonej średnicy ϕ towarzyszyć w osadzie będą ziarna granatu o 0,6 ϕ mniejsze. W przypadku amfiboli i kwarcu ziarna amfiboli będą o 0,2 ϕ mniejsze niż towarzyszące im ziarna kwarcu.

W świetle powyższych spostrzeżeń i faktu, iż w osadach wzbogacanych w granaty występują podrzędne ilości amfiboli i na odwrót, uznano, że minerały te można traktować jako wskaźnik zmian w natężeniu czynników hydrodynamicznych (falowania i prądów) w trakcie depozycji osadu. Według B. Nowaka (8) i R. Kotlińskiego (4) duże koncentracje granatów w osadzie charakteryzują środowisko o dużej aktywności czynników hydrodynamicznych z przewagą procesów erozji, wysokie zawartości amfiboli zaś cechują środowisko o małej aktywności i przewadze akumulacji.

Zależności te wyraźnie potwierdza analiza mineralogiczna piasków średnioziarnistych z Rewy Mew. W osadach funkcjonujących tam licznych cieśnin międzywyspowych stwierdzono zdecydowaną przewagę granatów nad amfibolami i brak takich minerałów, jak: biotyt, chloryty i agregaty mineralne. Podobną sytuację zaobserwowano

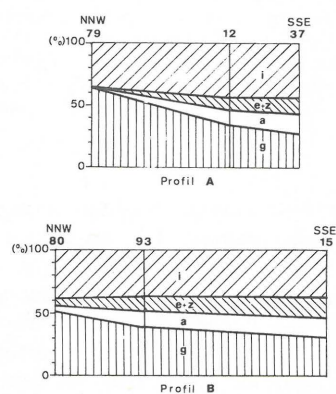
w osadach będących pod wpływem falowania i prądów falowych z Zatoki Gdańskiej (wschodnia część Rewy Mew; ryc. 3). Natomiast zupełnie odmienną sytuację obserwowano w osadach SW części Rewy Mew, osłoniętych od wpływu falowania i prądów z Zatoki Gdańskiej. Zauważa się w nich dominację amfiboli nad granatami, ponadto znaczne ilości biotyty, chlorytów i agregatów mineralnych (ryc. 3).

Porównanie rozkładu koncentracji granatów i amfiboli oraz rozmieszczenia osadów powierzchniowych Zalewu Puckiego i mapy batymetrycznej (ryc. 1 i 3) wskazuje na istnienie dość ścisłych związków pomiędzy tymi elementami. Zdecydowana przewaga granatów charakterystyczna jest dla piasków średnioziarnistych i różnoziarnistych z domieszką żwiru z rejonu płycizn przybrzeżnych, które przylegają do Półwyspu Helskiego i dla piasków średnioziarnistych wschodniej części Rewy Mew, w strefie głębokości do ok. 2 m. Podobne koncentracje granatów i amfiboli stwierdzono w piaskach drobnoziarnistych oraz drobnoziarnistych z domieszką detrytusów organicznego centralnej części Zalewu Puckiego, położonej w przedziale głębokości 2–4 m, natomiast zdecydowana przewaga amfiboli występowała w rejonach sedimentacji osadów piaszczysto-aleurytowych i aleurytowych, jam: Kuźnickiej i Rzucewskiej, na głębokościach poniżej 4 m.

Zauważa się także zmianę zawartości granatów wzdłuż osi dużych form morfologicznych w północnej części zalewu – Piaski Dziewicze i Piaski Zachodnie. Najwyższe koncentracje granatów występują w sąsiedztwie półwyspu i zmniejszają się w kierunku SE do centrum akwenu. Natomiast zawartości amfiboli w tych samych profilach kształtują się odwrotnie – najniższe są w pobliżu półwyspu i wzrastają w kierunku SE (ryc. 4).

WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają przydatność analizy mineralogicznej dla rekonstrukcji warunków, w jakich zostały zdeponowane osady powierzchniowe Zalewu Puckiego. Duże zróżnicowania składu mineralnego pod względem ilości rodzajów minerałów ciężkich – powszechnie



Rys. 4. Zmiany zawartości: granatów, amfiboli, epidotu i zoizytu w osadach piaszczystych północnej części Zalewu Puckiego (lokalizacja profili patrz ryc. 1)

g – granaty, a – amfibole, e+z – epidot i zoizyt, i – inne minerały

Fig. 4. Changes in content of garnets, amphiboles, epidote, and zoisite, in sandy sediments in northern part of the Puck Embayment (for location of cross-section see Fig. 1)

g – garnets, a – amphiboles, e+z – epidote and zoisite, i – other minerals

spotykane w morskich osadach południowego Bałtyku wskazują, że są to osady stosunkowo młode, o czym świadczą również względnie duże ilości skaleni alkalicznych, plagioklazów w podfrakcji minerałów lekkich.

Zróznicowanie koncentracji minerałów ciężkich wykazuje związek z litologią osadów Zalewu Puckiego. Najwyższe zawartości minerałów ciężkich występują w piaskach średnioziarnistych i różnoziarnistych z domieszką żwirów, natomiast najniższe stwierdzone w sąsiedztwie wychodni kopalnych osadów torfowo-bagiennych i w obszarach sedymentacji aleurytowej. Zmienne koncentracje granatów i amfiboli w osadach Zalewu Puckiego odzwierciedlają warunki, w których następowała depozycja tych osadów. Ze względu na zróżnicowanie zawartości granatów i amfiboli wydzielono trzy grupy osadów:

1. Piaski średnioziarniste i różnoziarniste z domieszką żwirów ze zdecydowaną przewagą granatów nad amfibolami. Ich zasięg jest ograniczony niemal wyłącznie do izobaty 2 m (płycizny przybrzeżne, Piaski Dziewicze, Piaski Zachodnie, wschodnia część Rewy Mew). Są to osady zdeponowane w środowisku aktywnym z przewagą procesów erozyjnych bądź osady, które po zdeponowaniu zostały zmodyfikowane przez erozyjną działalność czynników hydraulicznych.

2. Piaski drobnoziarniste i drobnoziarniste z domieszką namulów zawierają w przybliżeniu jednakowe ilości granatów oraz amfiboli, występują w przedziale głębokości 2 do 4 m, reprezentując środowisko przejściowe bez wyraźnej przewagi procesów akumulacji lub erozji.

3. Osady piaszczysto-aleurytowe i aleurytowe ze zdecydowaną przewagą amfiboli nad granatami i ze znaczną domieszką biotyту i agregatów mineralnych. Osady te reprezentują środowisko o przewadze procesów akumulacji, głównie ograniczone do obniżen morfologicznych o głębokościach poniżej 4 m. Dość powszechnie występujące na ziarnach mineralnych powłoki: limonitowe, węglanowe, piritowe i chalcedonowe zdają się świadczyć o niewielkim tempie sedymentacji i dość spokojnym jej przebiegu.

Przypuszcza się, iż osady piasków średnioziarnistych i różnoziarnistych z domieszką żwirów w północnej części Zalewu Puckiego mają charakter reliktowy i reprezentują jeden z wcześniejszych etapów rozwoju akwenu. Wskazuje na to związek koncentracji oraz składu mineralnego podfrakcji minerałów ciężkich z charakterem dynamicznym występujących tu form rzeźby dna. Nie wydaje się możliwe powstanie osadów o takim spektrum minerałów ciężkich pod wpływem współczesnych czynników hydrodynamicznych (falowania i prądów). Prawdopodobnie ich aktualne oblicze jest wynikiem przemodelowania w czasie przerwań Półwyspu Helskiego podczas katastrofalnych spiętrzeń sztormowych, taki właśnie kierunek transportu wynika ze zmian zawartości granatów i amfiboli w osadach płycizn przybrzeżnych. Współcześnie osady te są jedynie nieznacznie modyfikowane przez prądy powstające w wyniku wahań poziomu wody w Zalewie Puckim.

Autorzy pragną podziękować dr S. Musielakowi za udostępnienie próbek i zainspirowanie badań oraz za dyskusję w czasie pisania artykułu.

LITERATURA

1. Antkiewicz A. — Charakterystyka sedymentologiczna Rewy Mew. Pr. dypl. Arch. Inst. Geol. Podst. Wyd. Geol. UW. Warszawa 1979.
2. Filipowicz C. — The Virgin Sand a composed barrier fringing the Hel Peninsula. Acta Geol. Pol. 1982 nr 3—4.
3. Gołębiewski R., Musielak S. — Rozmieszczenie wybranych elementów geochemicznych w powierzchniowych osadach dennych Małej Zatoki Puckiej. Stud. i Mater. Oceanolog. 1978 nr 25.
4. Kotliński R. et al. — Litologia osadów powierzchniowych Bałtyku południowego. W: Geologia Bałtyku południowego i regionu szczecińskiego. CVII Sesja Naukowa Inst. Geol., Sopot 1984.
5. May J.P. — Selective transport of heavy minerals by shoaling waves. Sedimentology 1976 vol. 20.
6. Musielak S. — Osady i morfologia dna Zalewu Puckiego. Inż. Morska 1983 nr 1.
7. Musielak S. — Uziarnienie osadów Zalewu Puckiego. Ibidem 1984 nr 1.
8. Nowak B. — Hydrodynamiczne zróżnicowanie składu minerałów ciężkich w osadach dennych strefy przybrzeżnej południowego Bałtyku na odcinku jez. Bukowo — jez. Łebsko. W: Mater. do monogr. pol. brzegu morskiego 1963 z. 5.
9. Pawłowski S. — Charakterystyka morfologiczna wybrzeża Polski. Pozn. Tow. Przyj. Nauk. Poznań 1922.
10. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. — Sand and sandstones. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1972.
11. Rudowski S., Tobolewski J. — Barrier island on the Gull's Reef (Puck Bay Polish Baltic Coast). Acta Geol. Pol. 1973 nr 3.
12. Słomianko P. et al. — Zatoka Pucka — perspektywy rozwoju gospodarczego regionu. Stud. i Mater. Oceanolog. 1974 z. 5.
13. Stapor F.W.Jr. — Heavy mineral concentrating processes and density (shape) size equilibria in the marine and coastal dune sands of the Appalachicola, Florida, region. J. Sedim. Petrol. 1973 no. 2.
14. Wajda W. — Minerale ciężkie piasków dennych polskiego wybrzeża Bałtyku. Roczn. Pol. Tow. Geol. 1970 z. 1.
15. Wajda W. — Współzależność między składem granulometrycznym a składem mineralnym dennych osadów piaszczystych pd. Bałtyku. Biul. Inst. Geol. 1976 nr 285.
16. Witkowski A. — Charakterystyka sedymentologiczna płycizn przybrzeżnych Małej Zatoki Puckiej. Pr. dypl. Arch. Inst. Geol. Podst. Wyd. Geol. UW. Warszawa 1979.
17. Woolsey J.R., Henry V.I., Hunt J.L. — Backshore heavy — mineral concentration on Sapelo Island, Georgia. J. Sedim. Petrol. 1975 vol. 45 no. 1.

SUMMARY

In the recent bottom deposits of the Puck Bay Lagoon there occurs a very differentiated set of heavy minerals. The most abundant are three kinds of heavy minerals: garnets, amphiboles, and opaque minerals. Other minerals, like: epidote, zoisite, zircon, rutile, kyanite, staurolite, biotite and chlorite there occur in much smaller amounts. The differentiation of heavy minerals concentrations shows some connections with the type of bottom deposits. The biggest heavy minerals concentrations occur in medium sands and in verigrained sands with gravel. Whereas the smallest ones occur in aleurithic deposits. Variable concentrations of garnets and amphiboles, reflect conditions, in which sediments were deposited. There were established three groups of the deposits with the respect to differentiated concentrations of garnets and amphiboles:

1. Medium sands and varigrained sands with gravel, where the garnets prevail to amphiboles. They occur to the depth of 2 m. These sediments were deposited in an active environment with superiority of erosional conditions or it is possible that after the deposition they were modified by currents.

2. Fine sands and fine sands with silts containing almost equal amounts of garnets and amphiboles. They occur on the depth from 2 m to 4 m, and represent a transitional environment.

3. Sandy — aleurithic and aleurithic sediments with the amphiboles prevailing to garnets and with notable admixture of biotite and mineral aggregates. These sediments represent an environment with superiority of accumulative processes and they mainly occur below the depth of 4 m (Kuźnicka Hollow and Rzucewska Hollow).

The composition of heavy minerals, which occur in the sandy deposits in the northern part of the Puck Bay Lagoon, they were enriched in heavy minerals by strong streams which disrupted the Hel Peninsula during the extremely high water level increase in the Baltic Sea.

Translated by the Authors

РЕЗЮМЕ

В современных донных осадках Пуцкого залива выступает неоднородный состав тяжелых минералов. В этих осадках преобладают три группы тяжелых минералов: гранаты, амфиболы и непрозрачные минералы. В небольших количествах обнаружено такие минералы как: эпидот, циркон, рутил, дистен, хлориты и биотит.

Неоднородность концентрации тяжелых минералов проявляет связь с литологией данных осадков Пуцкого залива. Самые высокие концентрации тяжелых минералов появляются в среднезернистых песках и разно-

зернистых песках с примесью гравия. Самые малые количества этих минералов обнаружены в районах алевритового осадконакопления.

Разные концентрации гранатов и амфиболов в донных осадках Пуцкого залива отражают условия, в которых происходило накопление этих осадков. Учитывая неоднородность содержания гранатов и амфиболов выделено три группы осадков:

1. Среднезернистые пески и разноезернистые пески с примесью гравия с преобладающим большинством гранатов выше содержания амфиболов. Они выступают на глубинах до 2 м. Это осадки отложенные в активной среде с преобладанием эрозионных процессов, или осадки, которые после осаждения модифицировались гидродинамическими факторами.

2. Мелкозернистые пески и мелкие пески с примесью органического вещества, содержащие почти одинаковое количество гранатов и амфиболов. Эти осадки выступают на глубинах 2—4 м и характеризуют переходную среду, без четкого преобладания процессов аккумуляции или размыва.

3. Песчано-алевритовые и алевритовые осадки с явным преобладанием амфиболов выше гранатов и со значительной примесью биотита и минеральных агрегатов. Эти осадки характеризуют среду с преобладанием процессов аккумуляции. Они выступают главным образом в понижениях дна залива на глубинах ниже 4 м.

Состав тяжелых минералов, которые выступают в песчаных осадках северной части Пуцкого залива на глубинах до 2 м показывает, что это реликтовые отложения сложенные ранее в предыдущих этапах развития пуцкой лагуны. Ответственными за обогащение этих осадков тяжелыми минералами являются по всей вероятности течения возникающие во время штормовых прорывов Гельского полуострова.