

JAN ŁOZIŃSKI, HALINA MASICKA

BADANIA MINERAŁÓW CIĘŻKICH W PIASKACH PLAŻOWYCH ZATOKI GDAŃSKIEJ

(3 Fig.)

Recherches sur les minéraux lourds dans les sables littoraux du golfe de Gdańsk

(3 Fig.)

Treść. Z piasków plażowych Zatoki Gdańskiej na obszarze od Mierzei Wiślanej do Półwyspu Helskiego wydzielono minerały ciężkie. Zespoły obejmują 32 rodzaje minerałów, wśród których występują także minerały mniej trwałe, jak amfibole i pirokseny, oraz stwierdzono obecność monacytu. Zwrócono uwagę na zmienną ilość granatu i amfibolu w koncentratkach i wykazano, że stosunek amfibolu do granatu $\frac{A}{G}$ związany jest z procesem wzbogacania piasku plażowego w składniki ciężkie działaniem fal morskich. Stwierdzono, że stosunek ten wskazuje, o ile zespół czynników meteorologicznych i hydrodynamicznych ma wpływ na powstawanie piasku wzbogaconego w minerały ciężkie.

WSTĘP

Piaszczyste wybrzeża południowe Bałtyku od dawna stanowiły przedmiot zainteresowania głównie dzięki lokalnemu występowaniu ciemnych ławic piasku wzbogaconego mechanicznym działaniem fal morskich w składniki ciężkie, a zwłaszcza rudę (magnetyt, ilmenit i i.). Dlatego też najdawniejsze publikacje stanowią opisy piasków magnetytowych pojawiających się na plażach meklemberskich (Tetens, 1764) lub wysp przybrzeżnych (Deecke, 1888) albo dotyczą analiz chemicznych piasków tytanomagnetytowych (Mähl, 1824). Badania niemieckie prowadzone intensywniej od lat trzydziestu, a związane z poszukiwaniem nowych baz surowcowych dotyczą terenów wybrzeża meklemberskiego, gdzie spotyka się szczególnie liczne ławice ciemnych piasków wzbogaconych w minerały ciężkie (Kleinsorge — 1938, Engelhardt — 1937, Bülow 1951, Hellmers 1952). Przeprowadzono także prace poszukiwawcze na przestrzeni całego wybrzeża niemieckiego zarówno Bałtyku, jak i Morza Północnego (Wasmund 1938, Lamcke 1937, 1938). Prowadzone były również studia nad genezą ciemnych ławic w piasku plażowym, przy czym starano się określić warunki lokalne geograficzne i morfologiczne sprzyjające tworzeniu się „złóż” aluwialnych oraz rozważano wpływ warunków meteorologicznych na regenerację i destrukcję tych złóż (Bülow 1951). Wreszcie Engelhardt (1937)

zajmował się mechanizmem powstawania ławic piasku wzbogaconego w składniki ciężkie wskutek działania fal morskich w oparciu o formułę Stokesa - Oseny, określającą prędkość opadania cząstek w ośrodku ciekłym i zmodyfikowane wzory Newtona dla określenia tarcia przy wleczeniu ziarn różnych gatunków minerałów po dnie.

W rozważaniach brano przeważnie pod uwagę zawartość rudy, granatu i kwarcu. W nielicznych tylko pracach można znaleźć pełną listę minerałów występujących w piaskach plażowych Bałtyku (Engelhardt 1937, Hellmers 1952).

Piaski plażowe polskiego wybrzeża Bałtyku były badane przez Wątcickiego (1928), który podał skład minerałów występujących w ciemnej ławicy napotkanej na plaży w Jastarni. Następnie Sawicka (1953) określiła skład mineralny 14 próbek pobranych dorywczo na przestrzeni całego polskiego wybrzeża od wyspy Wolin do Helu.

Ponieważ dotychczas w nielicznych badaniach polskiego wybrzeża nie zajmowano się mineralogią piasków Zatoki Gdańskiej, Stacja Morska PAN w Sopocie włączyła do tematyki swych prac badania mineralogiczne osadów wybrzeża i dna Zatoki Gdańskiej, które zostały wykonane przy współpracy Katedry Mineralogii i Petrografii UJ w Krakowie.

Materiał plażowy został pobrany w terenie przez mgr H. Masicką (Sopot), która opracowała część geomorfologiczną i fizjograficzną; część mineralogiczną opracował mgr Jan Łoziński (Kraków).

Artykuł niniejszy jako pierwszy etap szerszego opracowania dotyczy badania mineralogicznego piasków plażowych.

Autorowie dziękują prof. drowi A. Gawłowi za cenne uwagi krytyczne i przejrzenie rękopisu pracy.

METODYKA POBIERANIA PRÓB I BADANIA MINERAŁÓW CIĘŻKICH

Spośród licznych próbek piasku plażowego pobranych z wybrzeża Zatoki Gdańskiej od Mierzei Wiślanej do Półwyspu Helskiego przebadano 40. W przypadku, gdy w pewnym rejonie wybrzeża pojawiały się wyraźne ciemne ławice piasku wzbogaconego w ciężkie składniki, badano próbę tego piasku obok próby zwykłego jasnego piasku plażowego. W lokalizacji prób badanych orientuje załączona mapka (fig. 1).

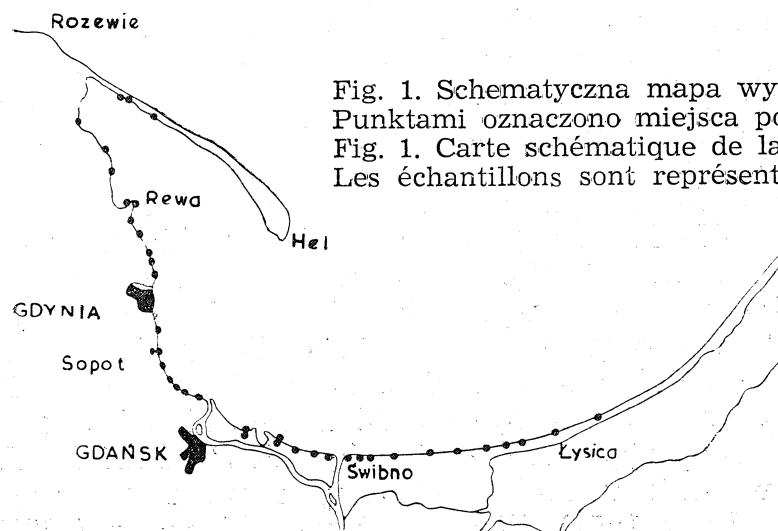


Fig. 1. Schematyczna mapa wybrzeża Zatoki Gdańskiej
Punktami oznaczono miejsca pobrania próbek
Fig. 1. Carte schématique de la côte de la baie de Gdańsk
Les échantillons sont représentés par des points

Próbki piasku plażowego rozdzielono na dwie frakcje mechaniczne przy użyciu sita o średnicy oczek 0,50 mm. Ponieważ frakcje złożone z ziarn o wymiarach większych od 0,50 mm oprócz nielicznych ziarn granatu (rzadziej rud) zazwyczaj całkiem nie zawierają minerałów ciężkich, koncentraty ciężkie wydzielono bromoformem o ciężarze właściwym 2,90 tylko z frakcji ziarn o średnicy poniżej 0,50 mm. Wszystkie frakcje zostały zważone, następnie dla każdej próbki obliczono zawartość minerałów ciężkich w procentach wagowych. Do oznaczenia składu mineralnego frakcji ciężkich sporządzono stałe nie szlifowane preparaty w balsamie kanadyjskim. W każdym preparacie liczono 300 — 500 ziarn, wyniki następnie zostały wyrażone w procentach.

OPIS MINERAŁÓW CIĘŻKICH

Turmalin tworzy najczęściej ziarna anhedralne przeważnie wydłużone. Ziarna słupkowe spotyka się bardzo rzadko. Najliczniej reprezentowana jest odmiana brunatna o silnym pleochroizmie: n_x — bladożółtawy, n_y — ciemnopomarańczowy lub n_x — jasnobrunatny, n_z — ciemnobrunatny (prawie czarny). Turmaliny niebieskie są rzadkie i stwierdzono je jedynie w piaskach z rejonu Sopot i Jelitkowa.

Cyrkon występuje głównie w postaci ziarn anhedralnych obtoczonych, rzadko euhedralnych, przeważnie jednak o zaokrąglonych krawędziach piramidy. Ziarna cyrkonu są bezbarwne — ziarna zabarwione żółtawo lub fioletowawo oraz ziarna ciemne o budowie pasowej spotyka się bardzo rzadko.

Granat tworzy ziarna anhedralne najczęściej izometryczne bladoróżowe lub rzadziej bezbarwne.

Rutyl jest zwykle ciemnoczerwono brunatny, ziarna barwy miodowożółtej rzadkie. Ziarna są anhedralne, często nieco wydłużone.

Anataz. Ziarna żółtawe z dostrzegalną niekiedy łupliwością według (001).

Brukityt tworzy ziarna anhedralne żółtawe o silnej dyspersji.

Tytanit występuje w postaci ziarn anhedralnych obtoczonych barwy bladobrunatnej.

Staurolit występuje zazwyczaj w postaci ziarn anhedralnych, rzadziej w formie słupków o zaokrąglonych krawędziach. Barwa pomarańczowobrunatna z pleochroizmem w odcieniach do bladożółtawego.

Dysten tworzy ziarna bezbarwne w postaci większych tabliczek z widocznymi szczelinami łupliwości, a niekiedy także spotyka się ziarna dobrze obtoczone. Rzadko widoczny jest pleochroizm od bezbarwnego do barwy niebieskiej.

Andaluzyt. Ziarna anhedralne pleochroiczne od bezbarwnego do barwy różowej. Niekiedy posiada znaczną ilość wrostków.

Sylimanit tworzy ziarna bezbarwne, żółtawe lub zielonawe, wydłużone, dobrze obtoczone, z widocznymi szczelinami łupliwości. Nierzadkie są także ziarna obtoczone o budowie włóknistej (fibrolit).

Biotyt występuje w postaci ziarn blaszkowych brunatnych.

Chloryt tworzy ziarna o pokroju blaszkowym, zielone, słabo pleochroiczne.

Epidot jest barwy żółtozielonawej, pleochroiczny i tworzy ziarna anhedralne obtoczone.

Klinozoizyt — ziarna bezbarwne podobnej formy, jak epidot, lecz wykazujące anomalne barwy interferencyjne.

Zoizyt — ziarna żółtawe wykazujące subnormalne barwy interferencyjne. Znalezione ziarna zoizytu należą do odmiany, której $2V$ jest bliski zera.

Ortyt — ziarna brunatne słabo pleochroiczne. Znikanie światła względem wydłużenia ukośne.

Amfibol występuje w formie ziarn anhedralnych, a także często subhedralnych z wyraźnymi szczelinami łupliwości, względem których znikanie światła jest ukośne (kątem 12° — 20°). Wyraźny pleochroizm w barwach zielonych, zielonobrunatnych do zielononiebieskawych.

Augit tworzy ziarna anhedralne barwy brunatnawej, rzadko bezbarwne. Łupliwość zwykle jest dostrzegalna — znikanie światła ukośne (kątem 44° — 56°).

Enstatyt — ziarna bezbarwne z dostrzegalną łupliwością.

Hypersten tworzy ziarna o pokroju krótkosłupkowym z dostrzegalną łupliwością i pleochroizmem od barwy bladozielonawej do różowej.

Oliwin — ziarna anhedralne, izometryczne, bezbarwne.

Korund — ziarna zaokrąglone, bezbarwne lub niebieskawe.

Monacyt — ziarna żółtobrunatnawe, zaokrąglone.

Apatyt — ziarna bezbarwne, izometryczne lub wydłużone.

Topaz — ziarna bezbarwne, izometryczne.

Glaukonit tworzy ziarna zaokrąglone zielone o agregatowej budowie.

Grupa „minerałów nieprzejrzystych” obejmuje ilmenit, hematyt (martyt) i nigryn. Magnetyt wydzielono za pomocą magnesu przed sporządzeniem preparatów i ilości jego podane są w procentach wagowych.

Ilościowy skład mineralny frakcji ciężkich zestawiono w tabelach umieszczonych przy opisie poszczególnych jednostek morfologicznych wybrzeża Zatoki Gdańskiej. Materiał pobrany z brzegów Zatoki Gdańskiej zawiera stosunkowo duży zespół minerałów ciężkich obejmujący 32 ich rodzaje. Minerale te występują w ilościach bardzo różnych, wobec czego można wydzielić kilka grup ze względu na częstość ich występowania. Jako pierwszą grupę minerałów, które występują we wszystkich badanych piaskach i stanowią składniki stałe koncentratów ciężkich, należy wymienić następujące: ilmenit, hematyt, magnetyt, granat, amfibol, staurolit, dysten, turmalin, cyrkon i rutil, przy czym często granat, magnetyt, ilmenit, hematyt i amfibol są składnikami dominującymi. Do drugiej grupy zaliczyć trzeba minerale takie, jak: augit, hypersten i glaukonit, które są obecne w małych ilościach w przeważającej części koncentratów. Pozostałe minerale stanowią trzecią grupę, jako występujące w śladach nie we wszystkich koncentratkach (andaluzyt, apatyt, anataz, klinozoizyt, syllibmanit, chloryt, topaz), lub też w drobnych śladach (zoizyt, enstatyt, brukit, biotyt, oliwin, korund, monacyt, ortyt)¹.

¹ Minerale trzeciej grupy niewątpliwie występują w piaskach plażowych całego badanego obszaru, lecz ponieważ zawartość ich jest mała, przy liczeniu 500 ziarn jest małe prawdopodobieństwo ich napotkania. Monacyt np. został wydzielony z dużej próbki piasku plażowego drogą przeróbki mechanicznej, dzięki jego własnościom magnetycznym i wysokiemu ciężarowi właściwemu. (Przem. Chem. t. 40, z. 3 — 1961).

CHARAKTERYSTYKA BRZEGÓW ZATOKI GDAŃSKIEJ

Zatoka Gdańska ograniczona jest od strony wschodniej regularnym łukiem Mierzei Wiślanej. Południowy odcinek stanowią osady aluwialne delty Wisły, zachodni zaś brzeg ograniczony jest wysoczyzną plejstocenską, która ciągnie się z przerwami aż do nasady Półwyspu Helskiego.

Mierzeja Wiślana o długości 50 km (w naszych granicach 31 km) powstała z nagromadzenia materiału piaszczystego prawdopodobnie w czasie transgresji litorynowej. Przeciętna szerokość jej wynosi około 1 km (od 500 m do 2 km). Linia brzegowa od strony morza jest wyrównana, zaś od strony Zalewu urozmaicona licznymi zatoczkami i akumulacyjnymi małymi wypustami. Na Mierzei Wiślanej występują zespoły wydmy o znacznej nieraz wysokości (Łysica — 30 m).

Partię środkową wybrzeża Zatoki Gdańskiej wypełniają aluwia delty Wisły ograniczone od morza pasmem wydmy i szeroką plażą o łagodnym nachyleniu. Wydmy te o zmiennej wysokości maleją na odcinku Wisłoujście — Sopot, formując jedynie niski wał na zapleczu plaży.

Na wysokości Gdańska wysoczyzna plejstocenska, otaczająca Żuławy zbliża się na odległość 5 km do brzegu. Stąd łagodnym łukiem podchodzi do Sopotu. Na północnym krańcu Sopotu w Kamiennym Potoku osiąga plażę, a w eksponowanej partii Kępy Redłowskiej, Oksywskiej, Puckiej oraz Swarzewskiej narażona jest na bezpośrednie ataki fali sztormowej.

Na podstawie badań geomorfologicznych wybrzeży Zatoki Gdańskiej proponuje się podzielić brzeg poczynając od wschodniej granicy na następujące jednostki:

1. Mierzeja Wiślana,
2. brzeg delty Wisły,
3. płaski brzeg akumulacyjny z zapleczem wysoczyzny plejstocenskiej,
4. brzeg Kępy Redłowskiej,
5. niski zatorfiony brzeg doliny Chylonki,
6. brzeg Kępy Oksywskiej,
7. płaski brzeg pradoliny Redy,
8. brzeg Kępy Puckiej,
9. niski brzeg doliny Płutnicy,
10. brzeg Kępy Swarzewskiej,
11. Półwysep Helski.

CHARAKTERYSTYKA POSZCZEGÓLNYCH ODCINKÓW PLAŻY ZATOKI GDAŃSKIEJ

Odcinek I. Mierzeja Wiślana

Plaże na tym odcinku brzegu odznaczają się znaczną szerokością, która przeciętnie wynosi około 40 m, a w niektórych miejscach przekracza nawet 60 m.

Uziarnienie piasków mało zróżnicowane, jedynie materiał wzięty z wałów brzegowych młodszych, jak i starszych odznacza się większą różnorodnością i przewagą frakcji o średnicy 1 — 0,5 mm. Materiał wydmy lub pobrany u podnóża wydmy wykazuje duże przesortowanie i zdecydowaną przewagę ziarn o ϕ 0,25 — 0,125 mm (mediana = 0,25 mm).

Smugi ciemne o bardzo małej miąższości występują na tym odcinku brzegu rzadko w pobliżu wydmy przedniej lub na granicy zasięgu fali

sztormowej. W wykonanych wkopach rzadko napotymano koncentraty minerałów ciężkich w postaci bardzo cienkich warstewek.

Piaski plażowe Mierzei Wiślanej zawierają znikomą ilość składników ciężkich. Zespoły minerałów ciężkich charakteryzuje znaczna stosunkowo ilość amfibolu i glaukonitu.

Tabela 1

Próbka Nr. Echantillon no	1	2	3	4
Frakcja powyżej $\varnothing$ 0,5 mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	7,3	13,3	0,6	13,5
Frakcja poniżej $\varnothing$ 0,5 mm grains à diamètre inf. de 0,5 mm	92,7	86,7	99,4	86,5
Minerały ciężkie (Min. lourds)	0,10	0,05	0,40	0,30
Magnetyt (Magnétite)	(+)	(+)	(+)	(+)
Turmalin (Tourmaline)	2	—	2	1
Cyrkon (Zircon)	1	—	1	1
Granet (Grenat)	4	—	4	8
Rutyl (Rutile)	1	—	—	—
Dysten (Disthène)	1	—	1	2
Syllimanit (Sillimanite)	—	—	—	1
Biotyt (Biotite)	—	14	—	—
Chloryt (Chlorite)	—	—	—	1
Epidot (Epidote)	3	—	—	—
Amfibol (Amphibole)	25	18	14	13
Augit (Augite)	3	—	3	9
Hypersten (Hipersthène)	—	—	1	2
Topaz (Topaze)	1	—	—	—
Glaukonit (Glaucanie)	6	14	22	5
Minerały nieprzejrzyste Minéraux opaques	53	54	51	53

Odcinek II. Brzeg delty Wisły

Plaże w rejonie ujścia Wisły odznaczają się przeciętną szerokością 30 — 40 m. Materiał piaszczysty pobrany z wydmy znajdujących się na zapleczu plaży lub w najbliższym sąsiedztwie płotków zabezpieczających przednią wydmy odznacza się dobrym wysortowaniem. Krzywe uziarnienia piasków pobranych w pobliżu linii brzegowej wskazują, że badany materiał jest mało zróżnicowany. Poczynając od Świbna (lewy brzeg ujścia Wisły) plaże zbudowane są z piasków bardziej zróżnicowanych pod względem granulometrycznym.

Minerały ciężkie występują w małych ilościach w postaci smug lub skupisk najczęściej na granicy zasięgu fali sztormowej lub na przedpolu wydmy przedniej.

Zebrane w tabeli 2 wyniki badania minerałów ciężkich wykazują, że w rejonie delty Wisły spotyka się zespoły znacznie bogatsze niż w rejonie Mierzei Wiślanej, zawierające bowiem 28 rodzajów minerałów. Jakkolwiek ilość składników ciężkich waha się w granicach od 0,14 do 0,69%, spotkać można także piaski wzbogacone w minerały ciężkie, jak np. próbka nr 7 (okolice Stegny) zawierająca 2,39%, zaś próbka (nr 16) pobrana z ciemnej ławicy w rejonie Górek Wschodnich — 43,8% minerałów

Tabela 2

Próbka Nr. (Échantillon no)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Frakcja powyżej $\varnothing$ 0,5 mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	0,6	1,2	0,2	0,4	0,05	0,1	32,7	-	6,2	-	1,5	-	7,4	17,7
Frakcja poniżej $\varnothing$ 0,5 mm grains à diamètre inf. de 0,5 mm	99,4	98,8	99,8	99,6	99,95	99,9	67,3	100,0	93,8	100,0	98,5	100,0	92,6	82,3
Minerały ciężkie (Min. lourds)	0,69	0,14	2,39	0,33	0,14	0,46	0,24	0,53	0,23	0,52	0,23	43,80	0,29	0,12
Magnetyt (Magnetite)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	(+)	1,7	+	(+)
Turmalin (Tourmaline)	1	1	1	1	3	4	4	8	9	2	5	+	3	4
Cyrkon (Zircon)	1	3	5	2	1	+	5	3	4	3	1	6	1	3
Grenat (Grenat)	13	7	24	17	10	11	21	26	27	27	13	58	20	22
Rutyl (Rutile)	2	-	3	2	+	1	1	+	2	-	-	+	1	+
Anatez (Anatase)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Brookit (Brookite)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Tytanit (Titanite)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Staurolit (Staurolite)	2	-	2	2	3	4	2	3	3	6	4	3	2	3
Dysten (Disthène)	4	1	2	3	3	4	3	+	1	2	5	+	1	4
Andaluzyt (Andalousite)	+	-	-	+	+	2	+	3	+	+	-	-	+	+
Syllimanit (Sillimanite)	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	+	-	+	+
Biotyt (Biotite)	+	2	+	+	+	2	-	-	-	-	1	-	-	-
Chloryt (Chlorite)	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+
Epidot (Epidote)	4	3	2	4	5	5	3	3	5	3	-	+	3	2
Klinozoizyt (Clinzoisite)	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Zoizyt (Zoisite)	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amfibol (Amphibole)	19	15	7	19	29	17	15	24	16	13	10	1	29	17
Augit (Augite)	3	2	1	2	3	4	3	4	1	3	4	+	2	+
Diopsyd (Diopside)	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enstatyt (Enstatite)	-	-	+	-	+	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Hypersten (Hyperstène)	1	1	+	1	-	1	2	+	1	1	-	+	2	+
Oliwin (Olivine)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Apatyt (Apatite)	+	1	1	1	1	2	-	-	1	-	-	-	-	+
Topaz (Topaze)	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glaukonit (Glaucanie)	5	3	1	2	4	2	2	1	1	+	4	-	+	2
Minerały nieprzejrzyste Mineraux opaques	43	56	51	41	35	39	37	24	27	39	53	29	36	38

ciężkich. Głównymi składnikami wydzielonych koncentratów są granat i amfibol oraz minerały nieprzejrzyste. Stosunek amfibolu do granatu jest zmienny: w piaskach o większej ilości składników ciężkich dominuje granat przy równoczesnym znacznym zubożeniu w amfibol. Glaukonit występuje w mniejszych ilościach niż w piaskach pobranych z odcinka I.

Odcinek III.

Płaski brzeg akumulacyjny od Martwej Wisły po rzekę Kaczą odznacza się zmienną szerokością plaży w granicach 19 — 67 m. Plaże na tym odcinku Zatoki Gdańskiej od strony lądu otoczone są pasmem wydm. Materiał pobrany przy linii wody, jak i w środku plaży odznacza się dużym zróżnicowaniem. Przeważają zdecydowanie frakcje grubsze. Mediany wynoszą ϕ 0,21 — 1,5 mm.

Plaże są uczęszczane przez cały rok, wskutek czego utrudnione jest prowadzenie obserwacji nagromadzeń minerałów.

Tabela 3

Próbka Nr. Echantillon no	19	20	21	22	23
Frakcja powyżej ϕ 0,5 mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	10,3	6,5	1,0	9,9	23,4
Frakcja poniżej ϕ 0,5 mm grains à diamètre inf. de 0,5 mm	89,7	93,5	99,0	90,1	76,6
Minerały ciężkie (Min. lourds)	0,51	0,26	0,25	0,96	0,44
Magnetyt (Magnétite)	+	—	+	+	+
Turmalin (Tourmaline)	3	3	6	2	3
Cyrkon (Zircon)	1	10	10	5	2
Granat (Grenat)	17	25	19	22	19
Rutyl (Rutile)	—	1	+	+	2
Anatazy (Anatase)	—	—	—	+	—
Brookit (Brookite)	—	—	—	+	—
Staurolit (Staurotide)	2	4	3	3	3
Dysten (Disthène)	3	3	4	3	3
Andaluzyt (Andalousite)	1	+	+	—	+
Syllimanit (Sillimanite)	+	+	+	2	—
Biotyt (Biotite)	1	—	—	—	+
Chloryt (Chlorite)	—	+	+	—	—
Epidot (Epidote)	4	4	7	9	7
Klinozoisyt (Clinzoisite)	—	—	+	2	—
Ortyt (Orthite)	—	—	+	—	—
Amfibol (Amphibole)	24	21	20	27	19
Augit (Augite)	2	2	2	+	3
Enstatyt (Enstatite)	—	—	—	+	—
Hypersten (Hipersthène)	2	1	1	—	1
Korund (Corindon)	—	—	—	—	1
Apatyt (Apatite)	1	+	—	+	—
Glaukonit (Glaucanie)	—	—	—	2	2
Minerały nieprzejrzyste Mineraux opaques	39	25	26	19	34

Piaski pobrane w tym rejonie brzegu Zatoki Gdańskiej zawierają małe ilości składników ciężkich (0,25% — 0,96%). Podobnie, jak w badanym materiale pobranym z poprzednio opisanego odcinka wybrzeża, w wydzielonych koncentratkach ciężkich składnikami głównymi obok minerałów nieprzejrzystych są granat i amfibol. Ilości tych minerałów są w przybliżeniu wyrównane, tak że stosunek amfibolu do granatu jest bliski jedności. Zauważyć ponadto można zwiększenie ilości cyrkonu, a także nieznaczny wzrost ilości epidotu.

Odcinek IV. Brzeg Kępy Redłowskiej

Odnacza się on wąską plażą zbudowaną z piasków, otoczków i głazów. Bezpośrednio do kilkumetrowej plaży przylega stroma ściana wysoczyzny plejstoceniowej, której urwiste brzegi klifowe narażone są na ataki fali sztormowej.

Minerały ciemne występują na powierzchni plaży najczęściej u stóp urwistej ściany wysoczyzny. Smugi wzbogaconych piasków o długości 2 — 5 m, szerokości 0,5 — 2,0 m, miąższości 3 — 5 cm zalegają z przerwami wokół eksponowanego przylądka. Spotykano również nieznaczne akumulacje koncentratów przy linii wody.

Tabela 4

Próbka Nr Echantillon no	24	25	26
Frakcja powyżej $\varnothing 0,5$ mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	14,8	4,0	0,8
Frakcja poniżej $\varnothing 0,5$ mm grains à diamètre inf. de 0,5 mm	85,2	96,0	99,2
Minerały ciężkie (Min.lourds)	1,98	51,3	54,4
Magnetyt (Magnétite)	0,1	5,1	5,0
Turmalin (Tourmaline)	2	+	+
Cyrkon (Zircon)	2	3	2
Grenat (Grenat)	52	56	62
Rutyl (Rutile)	+	1	+
Anataz (Anatase)	—	—	+
Staurolit (Staurotide)	3	3	3
Dysten (Disthène)	+	1	+
Andaluzyt (Andalousite)	—	—	+
Chloryt (Chlorite)	—	—	+
Epidot (Epidote)	2	1	1
Klinozoizyt (Clinozoïsite)	+	—	—
Amfibol (Amphibole)	4	1	+
Augit (Augite)	+	—	+
Hypersten (Hipersthène)	—	—	+
Glaukonit (Glaucanie)	+	—	+
Minerały nieprzejrzyste Minéraux opaques	34	34	29

Piaski wybrzeża Kępy Redłowskiej są w wysokim stopniu wzbogacone w składniki ciężkie. Próbkę nr 24 pobrana została w miejscu, gdzie występował piasek jasny, makroskopowo nie zdradzający wzbogacenia w minerały ciężkie.

Obserwuje się duże wzbogacenie wydzielonych koncentratów ciężkich w granat i magnetyt, przy równoczesnym zaniku amfibolu oraz piroksenów i dystenu.

Odcinek V.

Z tego odcinka nie zebrano materiałów z uwagi na zabudowę wybrzeża.

Odcinek VI. Brzeg Kępy Oksywskiej

Jest to brzeg klifowy o wysokości około 20 m, dochodzącej w punkcie kulminacyjnym do 40 m. W bezpośrednim sąsiedztwie klifu plaża zwęża się prawie do całkowitego zaniku. Urwisko Kępy Oksywskiej chronione jest opaską betonową, do której od strony morza przylegają głązy wielkości 1 — 3 m. Plaża na ogół wąska odznacza się materiałem piaszczystym znacznie zróżnicowanym. Około 70% stanowi frakcja o średnicy ziarn 1,0 — 0,5 mm (mediana 0,4 — 0,7 mm). Minerale ciężkie tworzą nieznaczne ciemne smugi przy linii wody oraz u stóp urwiska.

Tabela 5

Próbka nr Échantillon no	27	28	29	30
Frakcja powyżej Ø 0,5 mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	0,2	47,9	67,0	28,8
Frakcja poniżej Ø 0,5 mm grain à diamètre inf. de 0,5 mm	99,8	52,1	33,0	71,2
Minerały ciężkie (Min. lourds)	40,3	0,52	1,08	0,51
Magnetyt (Magnétite)	1,8	0,1	0,4	0,1
Turmelin (Tourmaline)	+	2	1	+
Cyrkon (Zircon)	1	10	+	+
Granat (Grenat)	58	20	32	19
Rutyl (Rutile)	+	1	+	1
Anataz (Anatase)	—	—	—	+
Staurolit (Staurotide)	4	2	5	1
Dysten (Disthène)	4	5	+	2
Andaluzyt (Andalousite)	+	—	—	+
Biotyt (Biotite)	—	+	—	—
Chloryt (Chlorite)	—	—	+	—
Epidot (Epidote)	4	6	+	1
Amfibol (Amphibole)	8	16	10	9
Augit (Augite)	+	1	1	1
Enstatyt (Enstatite)	—	—	—	+
Hypersten (Hipersthène)	—	+	—	—
Apatyt (Apatite)	+	+	—	1
Glaukonit (Glaucanie)	+	+	—	1
Minerały nieprzejrzyste Minéraux opaques	20	37	49	62

Badane piaski plażowe brzegu Kępy Oksywskiej wykazują bardzo zmienną zawartość minerałów ciężkich (0,5 — 1 — 40%). Ilość granatu i magnetytu bardzo szybko wzrasta w piaskach silnie wzbogaconych przy równoczesnym zubożeniu w amfibol.

Odcinek VII. Brzeg pradoliny Redy

W szerokim, płaskim brzegu pradoliny Redy można wydzielić brzeg piaszczysty wraz z cyplem Rewskim i niski brzeg torfiasty. Pierwszy, oddzielony od zaplecza pradoliny Redy enklawą piaszczystą, posiada plażę o szerokości do 20 m. Plaże te zbudowane są z piasków gruboziarnistych oraz żwirików, miejscami zaś występują wały otoczek. W rejonie Mechlinek plaża osiąga szerokość 71 m (mediana piasków tej plaży 0,5 do 1,0 mm). W połowie szerokości plaży zaobserwowano ciemne smugi o szerokości około 1 m, długości 2 m. Poza tym nie napotkano wyraźnie uwiadaczających się swą ciemniejszą barwą piasków wzbogaconych w minerały ciężkie ani na powierzchni plaży, ani też w wykonanych wkopach.

Linia brzegowa przebiegająca od Mechlinek w kierunku północnym zmienia ten kierunek od nasady cypla Rewskiego na zachodni. Plaża zanika.

Tabela 6

Próbka nr Echantillon no	31	32	33
Frakcja powyżej Ø 0,5 mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	2,1	49,9	10,6
Frakcja poniżej Ø 0,5 mm grains à diamètre inf. de 0,5 mm	97,9	50,1	89,4
Minerały ciężkie (Min.lourds)	1,21	1,14	19,70
Magnetyt (Magnétite)	0,1	+	0,3
Turmalin (Tourmaline)	3	1	+
Cyrkon (Zircon)	4	+	+
Granat (Grenat)	31	38	56
Rutyl (Rutile)	2	+	+
Anataz (Anatase)	+	—	—
Tytanit (Titanite)	—	+	+
Staurolit (Staurotide)	3	3	3
Dysten (Disthène)	5	3	2
Syllimanit (Sillimanite)	—	1	—
Chloryt (Chlorite)	+	—	—
Epidot (Epidote)	3	1	+
Zoizyt (Zoisite)	—	—	+
Amfibol (Amphibole)	9	10	6
Augit (Augite)	1	7	1
Enstatyt (Enstatite)	—	—	+
Hypersten (Hipersthène)	+	—	+
Oliwin (Olivine)	+	—	—
Apatyt (Apatite)	+	+	+
Topaz (Topaze)	—	+	—
Glaukonit (Glaucanie)	—	+	+
Minerały nieprzejryste Minéraux opaques	37	34	28

Z powyższego zestawienia wynika, że piaski omawianego rejonu zawierają nieco większe ilości składników ciężkich (powyżej 1%). Skład wy-

dzielonych koncentratów wykazuje przewagę granatu nad amfibolem, co szczególnie zaznacza się w próbce nr 33 pobranej z miejsca plaży, gdzie widać było nieznaczne wzbogacenie w składniki ciemne.

Odcinek VIII. Niski brzeg Kępy Puckiej

Jest on w wielu miejscach bezpośrednio podmywany przez morze. Plaże wąskie (3 do 5 m szerokości) zbudowane są z piasków drobnoziarnistych z nieznaczną domieszką ziarn grubszych. Materiał plażowy dobrze przesortowany z przeważającą frakcją 0,125 mm.

Minerały ciemne zaobserwowano w postaci smug około 2 — 3 m długości w odległości kilku metrów od lustra wody lub tuż przy linii wody.

Odcinek IX. Dolina Płutnicy

Linia wybrzeża biegnie prosto na północ. Torfy oraz roślinność słodkowodna wchodzi w morze. Plaży brak.

Odcinek X.

Kępa Swarzevska opada stromym urwiskiem na wąską plażę o szerokości 2 — 3 m. Plaża zbudowana jest z piasków o różnorodnym uziarnieniu (mediana 0,6 — 1,2 mm). Na odcinku Swarzewa brzeg klifowy cofa się i oddala od Małego Morza, u stóp morenowej Kępy rozpościera się terasa przybrzeżna, która dalej na północ przechodzi w torfowisko ciągnące się aż do nasady Półwyspu Helskiego.

Tabela 7

Próbka nr. Echantillon no	34	35	36
Frakcja powyżej $\varnothing$ 0,5 mm grains à diamètre sup. de 0,5 mm	10,0	0,7	29,2
Frakcja poniżej $\varnothing$ 0,5 mm grains à diamètre inf. de 0,5 mm	90,0	99,3	70,8
Minerały ciężkie (Min. lourds)	52,5	3,42	4,69
Magnetyt (Magnétite)	6,8	0,1	1,1
Turmalin (Tourmaline)	—	1	+
Cyrkon (Zircon)	4	4	15
Granat (Grenat)	37	25	25
Rutyl (Rutile)	2	3	2
Anataz (Anatase)	+	—	+
Staurolit (Staurotide)	1	2	1
Dysten (Disthène)	+	5	+
Epidot (Epidote)	2	6	1
Klinozoizyt (Clinozoïsite)	—	+	+
Amfibol (Amphibole)	1	11	1
Augit (Augite)	—	1	+
Enstatyt (Enstatite)	—	+	—
Hypersten (Hipersthène)	—	+	—
Oliwin (Olivine)	—	+	—
Apatyt (Apatite)	—	+	—
Monacyt (Monazite)	—	—	+
Minerały nieprzejrzyste mineraux opaques	52	41	53

Badane piaski z rejonu Kępy Puckiej i Kępy Swarzewskiej wyróżniają się większą zawartością minerałów ciężkich. Zarówno próbki pobrane z ciemnych smug, jak i miejsc plaży gdzie nie są one widoczne, wykazują dużą przewagę granatu nad amfibolem. W próbce nr 36 stwierdza się liczniejszy cyrkon oraz obecność monacytu.

Odcinek XI. Półwysep Helski

Płaskie, piaszczyste wybrzeża Półwyspu Helskiego od strony Zatoki porośnięte są roślinnością wydmową. Plaże są bardzo wąskie i chronione przed atakami fal opaskami. Spotyka się liczne ławice piasku ciemnego zalegające wąskie plaże w zasięgu fal. Pobrane przy linii wody próbki wykazują duże wzbogacenie w minerały ciężkie. Koncentraty składają się głównie z granatu, magnetytu i minerałów nieprzejrzystych. Niekiedy widoczne jest nieznaczne wzbogacenie w cyrkon. Pozostałe minerały oprócz rutilu, staurolitu i epidotu występują w drobnych śladach.

Tabela 8

Próbka nr Echantillon no	37	38	39	40
Frakcja powyżej Ø 0,5 mm grains à diamètre sup.de 0,5 mm	0,09	0,36	0,54	16,7
Frakcja poniżej Ø 0,5 mm grains à diamètre inf.de 0,5 mm	99,91	99,64	99,46	83,3
Minerały ciężkie (Min.lourds)	80,81	74,73	81,49	47,26
Magnetyt (Magnétite)	10,28	8,79	10,19	1,2
Turmalin (Tourmaline)	+	+	+	2
Cyrkon (Zircon)	11	6	4	2
Granat (Grenat)	27	46	44	53
Rutyl (Rutile)	1	2	1	1
Staurolit (Staurotide)	2	1	1	3
Dysten (Disthène)	+	+	1	2
Syllimanit (Sillimanite)	-	+	-	+
Epidot (Epidote)	2	1	1	4
Klinozoizyt (Clinzoisite)	-	-	-	+
Amfibol (Amphibole)	+	-	+	1
Augit (Augite)	+	-	+	1
Hypersten (Hipersthène)	-	+	-	+
Topaz (Topaze)	-	+	-	-
Glaukonit (Glaucanie)	-	1	-	-
Minerały nieprzejrzyste Mineraux opaques	55	41	47	30

ZEBRANIE WYNIKÓW BADANIA MINERAŁÓW CIĘŻKICH I WNIOSKI

Wszystkie badane piaski plażowe posiadają zespoły pod względem składu minerałów ciężkich w zasadzie jakościowo podobne. Można by więc określić zespół minerałów charakteryzujący, jako zespół o przeciętnym składzie, piaski plażowe Zatoki Gdańskiej. Jednakże ilościowy stosunek wzajemnego współwystępowania poszczególnych minerałów jest bardzo zmienny, co w szczególności dotyczy takich minerałów, jak granat i amfibol. Granat jest składnikiem dominującym w piaskach silnie wzbogaco-

nych w minerały ciężkie, podczas gdy amfibol wykazuje przewagę liczebną nad granatem w piaskach zwykłych plażowych, które odznaczają się znikomą zawartością składników ciężkich. Ilustruje to tabela 9, w której zestawiono średni skład koncentratów ciężkich wszystkich badanych piasków (kolumna 1), następnie średni skład piasków o małej zawartości składników ciężkich („piasek zwykły” — kolumna 2), średni skład piasków o wysokiej zawartości składników ciężkich („piasek wzbogacony” — ko-

Tabela 9

Minerał Mineral	1 Średnia zawartość min.ciężk. quantité moyenne de minéraux lourds	2 Piasek zwykły sable normale	3 Piasek o skł. pośredn. sable á min.lourds	4 Piasek wzbogac. sable riche en min.lourds
Turmalin (Tourmaline)	2	2	4	1
Cyrkon (Zircon)	3	2	4	4
Granat (Grenat)	27	8	21	43
Rutyl (Rutile)	1	+	1	1
Anatez (Anatase)	+	+	+	+
Brukit (Brookite)	+	+	+	+
Tytanit (Titanite)	+	+	—	+
Staurolit (Staurotide)	2	1	3	3
Dysten (Disthène)	2	2	3	2
Andaluzyt (Andalousite)	+	+	+	+
Syllimenit (Sillimanite)	+	+	+	+
Biotyt (Biotite)	+	3	+	+
Chloryt (Chlorite)	+	+	+	+
Epidot (Epidote)	3	3	4	2
Klinozoiżyt (Clinzoisite)	+	—	+	+
Zoiżyt (Zoisite)	+	—	+	+
Ortyt (Orthite)	+	—	+	—
Amfibol (Amphibole)	13	19	18	4
Augit (Augite)	2	3	2	1
Diopsyd (Diopside)	+	+	—	+
Enstatyt (Enstatite)	+	+	+	+
Hypersten (Hypersthène)	+	1	+	+
Oliwin (Olivine)	+	—	+	—
Korund (Corindon)	+	—	+	—
Apatyt (Apatite)	+	1	+	+
Monacyt (Monazite)	+	—	—	+
Topaz (Topaze)	+	+	+	+
Glaukonit (Glaucanie)	2	7	1	+
Minerały nieprzejryste Minéraux opaques	40	47	35	38
Magnetyt (Magnétite)	1,6	+	0,1	2,6

lumna 4) oraz piasków o pośredniej w stosunku do poprzednich zawartości składników ciężkich (kolumna 3).

Można by uważać, że zmienność stosunku ilości amfibolu do ilości granatu, jakie zawiera badany piasek plażowy, związana jest z procesem wzbogacania piasku w minerały ciężkie działaniem mechanicznym fal morskich. Amfibol dzięki swej łupliwości może ulegać rozkruszeniu pod wpływem czynników mechanicznych i ziarna jego, jako wolniej opadające z uwagi na mniejsze rozmiary, niższy od granatu ciężar właściwy i kształt różny od izometrycznego, będą przez fale wypłukiwane z piasku plażowego i osadzane na dnie. Potwierdzają to będące w toku badania osadów z dna Zatoki Gdańskiej.

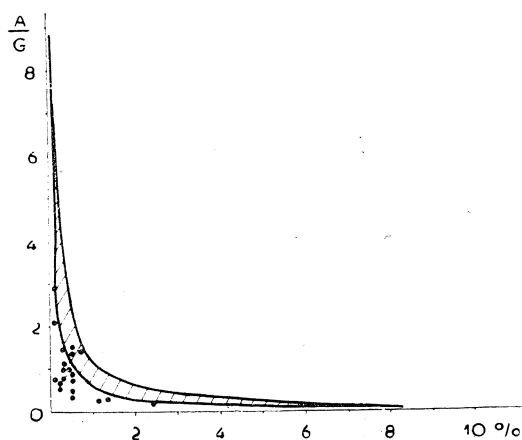
W piaskach silnie wzbogaconych w minerały ciężkie, które zawierają dużo granatu przy minimalnych ilościach amfibolu, stosunek amfibolu do granatu ($\frac{A}{G}$) zawsze jest bliski zera. Z drugiej zaś strony w piaskach o minimalnej zawartości składników ciężkich często stosunek amfibolu do granatu jest większy od 1,5. Ponieważ w piasku o niskiej zawartości minerałów ciężkich spotyka się także stosunek amfibolu do granatu mniejszy od jedności, można by przypuścić, że w rejonach brzegu, skąd badany piasek pochodzi, zachodzi lokalne wzbogacanie w minerały ciężkie (z przewagą granatu), lecz powstałe ławice uległy destrukcji i „rozcieńczeniu” piaskiem lekkim. Zilustrować to można wykresem (Fig. 2), w którym oś odciętych przedstawia procent składników ciężkich w piasku (od 0 do 10%), zaś na osi rzędnych odłożony jest stosunek amfibolu do granatu ($\frac{A}{G}$)

Fig. 2. Wykres wartości stosunku amfibol: granat w zależności od zawartości minerałów ciężkich w piasku plażowym. Na osi odciętych podano procent minerałów ciężkich, na osi rzędnych wartość stosunku amfibol:

$$\text{granat } \frac{A}{G}$$

Fig. 2. Diagramme du rapport amphibole-grenat, sur l'abscisse des minéraux lourds, sur l'ordonnée: valeur du rapport amphibole-

$$\text{-grenat } \frac{A}{G}$$



Zależność stosunku $\frac{A}{G}$ od procentowej zawartości składników ciężkich w piasku tworzy w diagramie pewną strefę o kształcie przypominającym hiperbolę. Punkty leżące na wykresie poniżej krzywej odpowiadałyby piaskom zebranych z miejsc, gdzie powstałe niegdyś ciemne smugi uległy destrukcji.

Zmienną zawartość granatu i amfibolu w piaskach plażowych Zatoki Gdańskiej można również przedstawić z uwzględnieniem minerałów nieprzejrzystych w postaci diagramu trójkątnego.

Jest widoczne, że punkty reprezentujące piaski nie wzbogacone w minerały ciężkie układają się blisko boku amfibol — nieprzejrzyste, punkty zaś odpowiadające piaskom silnie wzbogaconym przez fale leżą blisko lub nawet na linii granat — nieprzejrzyste¹. Punkty pozostałych piasków

¹ Ponieważ przed sporządzeniem preparatów z piasków został wydzielony magnetyt, punkty oznaczające piaski silnie wzbogacone są na wykresie przesunięte nieco dalej od naroża „nieprzejrzyste 100%”, co nie wpływa na czytelność wykresu.

zajmują pozycje pośrednie. Diagram podzielono więc prostymi odpowiadającymi określonymu stosunkowi $\frac{A}{G}$. Wobec tego pole wykresu leżące na prawo od prostej oznaczającej $\frac{A}{G} = 1,5$ zajmowałyby punkty odpowiadające piaskom nie wzbogaconym w składniki ciężkie. Od tejże linii na lewo do boku „granat-nieprzejryste” punkty powinny odpowiadać piaskom coraz to bardziej wzbogaconym w minerały ciężkie. Ponieważ punkty leżące na wykresie w strefie pomiędzy prostymi $\frac{A}{G} = 0,5$ i $\frac{A}{G} = 1,5$, reprezentują piaski o zawartości składników ciężkich poniżej 1%, strefę tę można by uważać za charakterystyczną dla piasków pochodzących z rejonu wybrzeża, gdzie okresowo tworzą lokalnie ławice silnie wzbogacone w minerały ciężkie, lecz przy niekorzystnych zmianach warunków meteorologicznych (Bülow 1951) oraz profilu plaży (Engelhardt 1937) łatwo ulegają one zniszczeniu i silnemu rozcieńczeniu piaskiem plażowym.

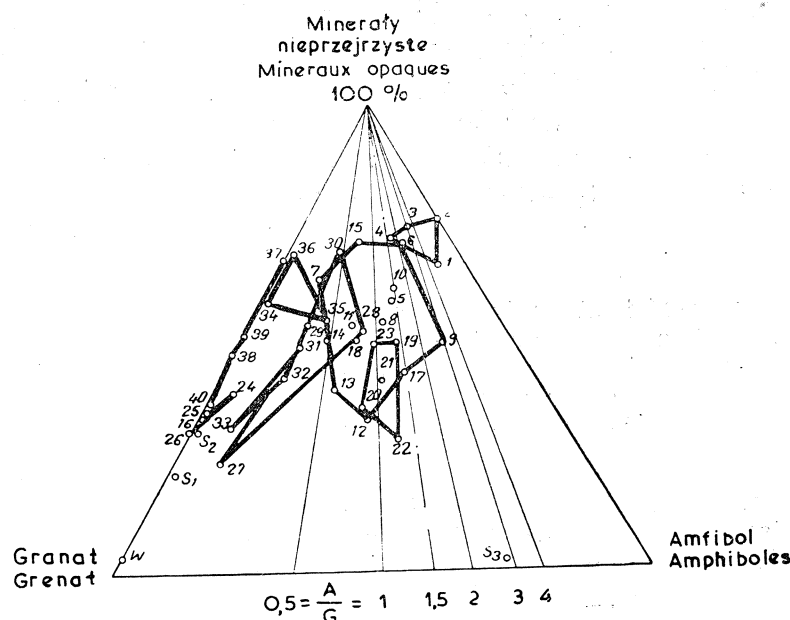


Fig. 3. Wykres trójskładnikowy (amfibol, granat, minerały nieprzejryste). Kółkami oznaczono próbki, grubą linią zakreślono pola, jakie zajmują próbki z poszczególnych odcinków wybrzeża

Fig. 3. Graphique triangulaire (amphibole, grenat, minéraux opaques). Les échantillon sont représentés par des cercles, ceux provenant d'une même partie de la côte sont entourées par un trait épais

Przy rozważaniu stosunku amfibolu do granatu w piaskach pobranych z poszczególnych odcinków badanego wybrzeża Zatoki Gdańskiej jest widoczne, że odcinek pierwszy (Mierzeja Wiślana) charakteryzuje wysoka wartość $\frac{A}{G}$. Mogłoby to dowodzić, że w rejonie tym nie ma warunków sprzyjających tworzeniu ławic piasku wzbogaconego w minerały ciężkie. Punkty odpowiadające piaskom z tego odcinka brzegu leżą na prawo od linii $\frac{A}{G} = 1,5$.

W rejonie delty Wisły (odcinek II) istnieją okresowo warunki korzystne tworzeniu ławic silnie wzbogaconych, lecz również zachodzi intensywne niszczenie powstałych ławic, co wynika także z przeprowadzonych obserwacji w terenie. Punkty odpowiadające zbadanym z tego odcinka

piaskom obejmują szeroką strefę pośrodku wykresu (pomiędzy $\frac{A}{G} = 0,3$ a $\frac{A}{G} = 3$).

Odcinek III (płaski brzeg akumulacyjny z zapleczem wysoczyzny plejstoczeńskiej) wykazuje podobne warunki tworzenia i destrukcji ławic piasku ciężkiego jak odcinek II. Punkty leżą wąską strefą w partii centralnej wykresu.

Inny zupełnie obraz na wykresie tworzą punkty odpowiadające piaskom pobranym z odcinka IV (brzeg Kępy Redłowskiej). Piaski są tak silnie wzbogacone w minerały ciężkie, że nawet pewne przemieszanie z piaskiem lekkim nie zmienia stosunku amfibol-granat. Być może, że silnie turbulentny ruch wody, jaki powoduje odbicie fali od klifowego brzegu, w wybitnym stopniu sprzyja tworzeniu ciemnych ławic piasku ciężkiego.

Na brzegu Kępy Oksywskiej (odcinek VI) zachodzą podobne zjawiska, jak na poprzednio opisanym odcinku IV, lecz lokalnie ławice ciemne ulegają znacznej destrukcji, co uwidacznia się także na wykresie.

Płaski brzeg pradoliny Redy (odcinek VII), a właściwie jego partia piaszczysta (Mechlinki — Rewa) oraz wybrzeża Kępy Puckiej i Swarzewskiej (odcinki VIII i X) tworzą piaski dość znacznie wzbogacone w minerały ciężkie. Wreszcie piaski pobrane z Półwyspu Helskiego wykazują dużą zawartość składników ciężkich — odpowiednie punkty leżą na wykresie prawie na linii granat-nieprzejrzyste.

Dla porównania uwzględniono na wykresie analizę mineralogiczną piasku z ciemnej smugi (94,3% min. ciężkich) z Jastarni opisaną przez Wątockiego (1928) oraz kilka analiz Sawickiej (1953) dotyczących piasków z okolic najbliższych badanego rejonu, a więc: Władysławowo — piasek z ciemnej smugi (S_1), Hel — piasek z ciemnej smugi (S_2) oraz Karwia — piasek plażowy (S_3). W piaskach tych, podobnie jak w obecnie przebadanym materiale, stosunek amfibolu do granatu jest wskaźnikiem mechanicznego wzbogacenia piasków plażowych działaniem fal morskich¹.

W opracowaniu niniejszym wykazano na przykładzie amfibolu i granatu, że badanie stosunków ilościowego współwystępowania minerałów o różnym ciężarze właściwym i różnej odporności na czynniki mechaniczne w morskich piaskach plażowych, może dać obraz mechanicznej działalności fal oraz wskazywać, o ile zespół czynników meteorologicznych i hydrodynamicznych w określonym rejonie wybrzeża sprzyja powstawaniu ławic piasku wzbogaconego w składniki ciężkie.

Stacja Morska Polskiej Akademii Nauk

Sopot

Katedra Mineralogii i Petrografii

Uniwersytetu Jagiellońskiego

Kraków

¹ Już po oddaniu niniejszego artykułu do druku autor otrzymał pracę o koncentracji minerałów ciężkich w piaskach łotewskiego wybrzeża (W.G. Ulst, J.J. Majore, 1960). Z zamieszczonych tablic wynika, że również w piaskach plażowych wybrzeża łotewskiego stosunek amfibolu do granatu wiąże się z procesem naturalnego wzbogacania piasków w składniki ciężkie, podobnie, jak wykazano w badaniach wybrzeża Zatoki Gdańskiej.

WYKAZ LITERATURY
BIBLIOGRAPHIE

- Bülow K. (1951), Schwermineral-Seifen an der Mecklenburgischen Ostseeküsten. Ein Beitrag zur Frage der Entstehung und Umbildung von Litoralseifen. *Archiv für Lagerstättenforschung* 81.
- Deecke W. (1888), Über den Magneteisensand der Insel Ruden. *Mitt. d. naturw. Ver. f. Neuvorpommern u. Rügen* 20, 140.
- Engelhardt W. (1937), Über Schwermineralsande der Ostseeküste zwischen Warnemünde und Darßerort und ihre Bildung durch die Brandung. *Zeitschr. f. angew. Mineralogie*, B. 1, H. 1.
- Hellmers J.H. (1952), Die Schweren Mineralien der Sande der deutschen Ostseeküste. *Geologie* I, H. 3.
- Kleinsorge H. (1938), Granatsäume von der Ostsee bei Niendorf. *Neues Jahrb. f. Mineral.* Beil. A. 74.
- Lamcke K. (1937), Natürliche Anreicherungen von Schwermineralien im Küstengebiet. *Geol. d. Meere* 1, s. 106.
- Lamcke K. (1938), Mineralogische und chemische Untersuchungen an Erzseifen der deutschen Nord- und Ostseeküsten. *Geologische Rundschau* B. 29, H. 3/5.
- Ludwig G. (1953), Untersuchungs- und Darstellungsmethoden von Schwermineralanalysen. *Geologie* Jhg. 3.
- Mähl G.P.S. (1828), Chemische Untersuchungen des Titaneisensandes von Warnemünde. Rostock.
- Sawicka E. (1953), Minerale ciężkie w piaskach plażowych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Biul. Inst. Geol.* Warszawa.
- Tetens I.M. (1764), Von dem mecklenburgischen magnetischen Sande. *Gelehrte Beyträge zn den Mecklemb.-Schwerinschen Nachrichten*. 42 Stück. Schwerin.
- Ulst W.G., Majore J.J. (1960), O raspriedienii i usłowijach koncentracji tiażelych minerałow w pieskach łatwijskiego pobierieżia. *Trudy Instituta Akadem. Nauk Łatwijskoj SSR*, Riga.
- Wasmund E. (1938), Die Schwerminerallagerstätten der deutschen Küsten. *Geolog. Rundschau* B. 19, H. 3/5.
- Wątocki W. (1928), Der Granatsand von Hel am Baltischen Meer. *Bull. Ac. Pol. Sc. Séria A*.

RÉSUMÉ

Dans les sables des plages de la baie de Gdańsk sur le territoire du cordon littoral de la Vistule à la presqu'île de Hel, on a séparé les minéraux lourds. Les ensembles comprennent 32 genres de minéraux, parmi lesquels on trouve aussi des minéraux moins résistants comme les amphiboles et les pyroxènes et on a même constaté la présence de monazite. On a constaté la quantité variable de grenat et d'amphibole dans les concentrations et on a démontré que le rapport de l'amphibole par rapport au grenat $\frac{A}{G}$ est lié avec le processus d'enrichissement du sable de plage en éléments lourds provoqué par les vagues marines. Ce rapport a été analysé sur le matériel pris des plages à unités morphologiques déterminées de la côte de la baie de Gdańsk et on a constaté qu'il peut démontrer si l'association des éléments météorologiques et hydrodynamiques dans une région donnée de la côte est favorable à la formation des bancs de sable enrichis en minéraux lourds.

On a examiné 40 échantillons de sable pris sur la côte de la baie de Gdańsk. On a déterminé microscopiquement dans une fraction mécanique les minéraux lourds à diamètre de grain inférieur à 0,5 mm. La composition minérale quantitative des fractions lourdes a été résumée dans les tableaux situés à côté de la description des différentes unités géomorphologiques de la côte de la baie de Gdańsk.

Les recherches démontrent que le matériel pris sur la côte de la baie de Gdańsk contient un grand ensemble comprenant 32 genres de minéraux lourds parmi lesquels: l'ilménite, l'hématite, la magnétite, le grenat, l'amphibole, la staurotite, la disthène, la tourmaline, le zircon, la rutile, sont les éléments stables, dans les échantillons du terrain examiné en entier. Souvent le grenat, la magnétite, l'ilménite, l'hématite, et l'amphibole sont les éléments dominants. Les minéraux, augite, hypersthène et glauconie sont présents en petites quantités dans la plus grande partie des concentrations, (Andalousite, apatite, anatase, clinozoïsite, sillimanite, chlorite, topaze) se montrent à l'état de traces mais pas dans toutes les concentrations; et à l'état de faibles traces: zoïsite, enstatite, brookite, biotite, olivine, corindon, monazite, orthite¹.

À la base des recherches géomorphologiques des côtes de la baie de Gdańsk on propose de diviser la côte, en commençant par l'est en unités suivantes:

1. Cordon littoral de la Vistule,
2. Bord du delta de la Vistule,
3. Bord de la plage d'accumulation,
4. Bord de Kępa Redłowska,
5. Bord tourbeux de la vallée de Chylonka,
6. Bord de Kępa Oksywska,
7. Rive basse de l'ancienne vallée de Reda,
8. Bord de Kępa Pucka,
9. Rive basse de la vallée de Płutnica,
10. Bord de Kępa Swarzewska,
11. Presqu'île de Hel.

Rassemblement des résultats des recherches et conclusion.

Bien que les sables des plages examinées possèdent des groupements de minéraux lourds qualitativement semblables, on remarque des grandes différences dans la quantité de grenat et d'amphibole. Le grenat est l'élément dominant dans les sables fortement enrichis en minéraux lourds, mais l'amphibole montre une prédominance sur le grenat dans les sables ordinaires des plages à petite quantité d'éléments lourds (tableau 9). On pourrait dire que la variation du rapport amphibole — grenat est liée avec le processus d'enrichissement du sable en minéraux lourds grâce à l'action mécanique des vagues marines. L'amphibole grâce à son clivage peut s'émietter sous l'influence des éléments mécaniques et ses grains, tombant plus lentement à cause de leurs dimensions plus petites, de leur densité inférieure à celle du grenat et de leur forme autre qu'isométrique seront lavés du sable de plage par les vagues, et déposés sur le fond. Les

¹ Les minéraux dernièrement cités se trouvent sans doute dans les sables de tout le terrain examiné, mais puisque leur quantité est petite, en comptant 500 grains, il est peu probable de les rencontrer. La monazite par exemple a été extraite d'un grand échantillon de sable de plage par brassage mécanique (Przem. chem. 40, 3 — 1961).

recherches actuelles des dépôts du fond de la baie de Gdańsk l'approuvent.

Dans les sables fortement enrichis en éléments lourds le rapport de la quantité amphibole-grenat ($\frac{A}{G}$) est toujours proche de zéro. Dans les sables à quantité minimale de minéraux lourds ce rapport est souvent supérieur à 1,5 (figure 2).

Le rapport ($\frac{A}{G}$), dépendant du pourcentage des éléments lourds dans le sable forme une certaine zone à forme rappelant une hyperbole. Les points qui se trouvent sur le diagramme au dessus de la courbe, répondraient aux sables rassemblés aux endroits où les sombres bancs de sable, formés naguère, enrichis en minéraux lourds se sont détruits.

La variation de quantité d'amphibole et de grenat en citant aussi les minéraux opaques est démontrée aussi sous forme de graphique triangulaire. Il est évident que les points représentant les sables non enrichis en minéraux lourds se posent tout près du côté des „amphiboles-opaques” et les points correspondants aux sables fortement enrichis se trouvent tout près ou même sur la ligne „grenat-opaque”. Puisque les points qui se trouvent sur le diagramme dans la zone comprise entre les droites $\frac{A}{G} = 0,5$ et $\frac{A}{G} = 1,5$ représentent les sables à quantité d'éléments lourds inférieur à 1%, on peut considérer cette zone comme caractéristique pour les sables provenant de la région de la côte, où périodiquement se forment localement des bancs de sables fortement enrichis en minéraux lourds, mais que les variations non favorables des conditions météorologiques (Bülow) ainsi que le profil de la plage (Engelhardt) détruisent facilement; le sable de plage causant un fort délayage de ces bancs.

En considérant le rapport amphibole-grenat dans les sables pris dans les unités géomorphologiques particulières de la côte de la baie de Gdańsk on constate que le district I (Cordon littoral de la Vistule) possède une grande valeur de $\frac{A}{G}$. Ceci peut démontrer que dans cette région il n'y a pas de conditions favorables à l'enrichissement du sable en minéraux lourds et les points correspondants aux sables de cette région se trouvent à droite de la droite $\frac{A}{G} = 1,5$. Dans la région du delta de la Vistule (II-ème partie) il y a périodiquement des conditions favorables à la formation de bancs sombres mais aussi ont lieu leurs intenses destructions. (ceci est prouvé par les observations faites sur le terrain). La partie III montre de semblables conditions de formations et de destructions des bancs de sable lourd. Les points correspondants aux sables de ces régions se trouvent au centre du diagramme.

Les sables de la région IV (bord de Kępa Redłowska) sont fortement enrichis en minéraux lourds. Peut-être le mouvement turbulent de l'eau causé par le retrait de la vague, de la falaise, aide en grande partie à l'enrichissement du sable en minéraux lourds. Sur le bord de Kępa Oksywska (région VI) ont lieu des phénomènes semblables à ceux de la région IV, mais, localement les bancs sombres subissent une grande destruction, visible, sur le diagramme. On remarque un plus grand enrichissement en minéraux lourds dans la direction Nord—Est. Les sables de la région VII (bord de la vallée de Reda) ainsi que du bord de Kępa Pucka (VIII) et de Swarzewska (X) montrent un assez remarquable enrichissement en minéraux lourds qui atteint son maximum au bord de la presqu'île de Hel.

Les points situés sur le diagramme correspondent à l'analyse du sable de la bande de sable de Jastarnia (presqu'île de Hel) décrite par Wątocki (1928) ainsi qu'à quelques analyses des sables de plage des environs les plus proches de la région examinée et étudiée par Sawicka (1953): Władysławowo — le sable de la bande sombre (S_1), Hel — sable de la bande sombre (S_2), Karwia — sable de plage (S_3) affirment les conclusions précédentes, que le rapport amphibole-grenat est un indice de l'enrichissement mécanique des sables de plage sous l'influence des vagues marines.

Dans cette étude on a démontré par l'exemple de l'amphibole et du grenat que la recherche des rapports de la semi-présence quantitative des minéraux à différentes quantités et à différentes résistances aux éléments mécaniques dans les sables des plages marines peut donner un tableau de l'action mécanique des vagues et démontrer si l'association des éléments météorologiques et hydrodynamiques dans une région déterminée de la côte est favorable à la formation des bancs de sable enrichis en éléments lourds.

*Station maritime
de l'Académie Polonaise des Sciences
Sopot
Chaire de Minéralogie et Pétrographie
de l'Université Jagellonne
Cracovie*