

J a n M O R A W S K I

**Morfoskopia i skład mineralny piasków plażowych polskiego wybrzeża
Bałtyku i Morza Czarnego (wybrzeża Rumunii i Bułgarii)**

Морфоскопия и минеральный состав пляжевых песков польского побережья
Балтийского моря и побережья Черного моря (побережья Румынии и Болгарии)

Morphoskopie und mineralische Zusammensetzung von Strandsanden der pol-
nischen Ostseeküste und der Küste des Schwarzen Meeres (Küsten Rumäniens
und Bulgariens)

WSTĘP

Badania piasków plażowych południowych wybrzeży Bałtyku pro-
wadzone były od dawna, głównie przez badaczy niemieckich, zajmu-
jących się przede wszystkim zawartością w piaskach: rudy, granatu,
kwarcu, cyrkonu itp. Przegląd najważniejszych publikacji niemieckich
na ten temat zamieszczają w swojej pracy J. Łoziński i H. Masicka
(7). W okresie międzywojennym piaski plażowe Helu badał W. Wą-
tock i (17), który oznaczył skład mineralny ciemnej ławicy z plaży
w Jastarni. W ostatnich latach ukazało się kilka prac o piaskach plażo-
wych polskiego wybrzeża Bałtyku. E. Sawicka (14) oznaczyła skład
mineralny 14 próbek z obszaru całego polskiego wybrzeża od wyspy
Wolin aż po półwysep Hel. Obtoczeniem ziarn kwarcu frakcji 0,2—
—0,5 mm z plaży w Wisłę na wyspie Wolin zajmowali się A. Kar-
czewski i W. Stankowski (4). J. Morawski (10) analizował
piaski plażowe nizinnej części wyspy Wolin¹; obok składu mineralnego

¹ Zajmował się także ułożeniem otoczaków w strefie plaży objętej zasięgiem
falowania, procesem staczania żwirów przez fale morskie oraz składem petro-
graficznym i morfometrią żwirów plażowych. Należy zwrócić uwagę, że podob-
nym zagadnieniem zajęła się Maria Jahn w pracy „Otoczaki plażowe jako wskaź-
nik rozwoju brzegu morskiego” (Galets de plage comme indice du développement
de la cote). Acta Universitatis Wratislaviensis, nr 39, Studia Geograficzne V,
Wrocław 1965.

badał obtoczenie ziarn kwarcu w dwu frakcjach: 0,25—0,50 mm i 0,50—1,00 mm. We wschodniej części wybrzeża tej wyspy wykonał potem szczegółowe badania nad minerałami ciężkimi piasków plażowych i wdmowych R. Chlebowski (1).

J. Łoziński i H. Masicka (7) zbadali 40 próbek piasku plażowego z wybrzeża Zatoki Gdańskiej od Mierzei Wiślanej do Półwyspu Helskiego. Wydzielili oni zespoły obejmujące 32 rodzaje minerałów, stwierdzili też, że stosunek amfibolu do granatu związany jest z procesem wzbogacania piasku plażowego w składniki ciężkie pod wpływem działania fal morskich. Zagadnieniem zróżnicowania osadów piaszczystych strefy brzegowej w Darłównu i Uście zajmował się ostatnio R. Racinowski (13).

BUDOWA GEOLOGICZNA POLSKICH WYBRZEŻY BAŁTYKU A ZACHODNICH WYBRZEŻY MORZA CZARNEGO

Polskie wybrzeża Bałtyku zbudowane są głównie z osadów czwartorzędowych w postaci glin zwałowych i z różnego typu osadów piaszczystych. Te właśnie osady glacialne są zasadniczym źródłem alimentacyjnym piasków plażowych. Ich wykształcenie decyduje także w dużym stopniu o składzie mineralnym piasków plażowych, a częściowo również o stopniu obróbki ziarn mineralnych, zwłaszcza ich głównego składnika — kwarcu.

Utwory glacialne, zwłaszcza osady okruchowe, utworzone są ze skał różnych typów i różnego wieku, które przytransportowane zostały przez lodowiec z północy. Mimo że w Polsce północnej utwory glacialne zalegają na osadach trzeciorzędowych i mezozoicznych, to jednak skały tych starszych formacji nie odgrywają w budowie naszych wybrzeży większej roli. W strefie wybrzeża odsłaniają się one na powierzchni sporadycznie i na niewielkiej przestrzeni. Margle i łyły doggeru występują w okolicy Kamienia Pomorskiego, odsłonięcie wapieni malmu znajduje się około 3 km na wschód od Dziwnowa, margle górnokredowe występują w okolicy Trzęsacza, piaski i łyły z lignitem tworzą częściowo „kry” znane z okolic Rozewia, Chłapowa, obszaru Kępy Oksywskiej i okolic Orłowa.

Wybrzeża Morza Czarnego nie były zlodowacone w okresie czwartorzędowym i w związku z tym mają zupełnie odmienną budowę geologiczną niż wybrzeża Bałtyku. Materiał detrytyczny, z którego utworzone są piaski plażowe, pochodzi ze skał występujących tu w większości na złożach pierwotnych.

Budowa geologiczna wybrzeży rumuńskich przedstawia się następująco. Na północy, w sąsiedztwie z granicą ZSRR, rozciąga się wielka delta Dunaju, utworzona z holocenijskich aluwów. Blisko wybrzeży, w południowo-zachodniej części delty, występuje mało zwarta pokrywa lessu i osadów lessopodobnych. Spod tych utworów odsłaniają się miejscami utwory starszych formacji kredy górnej i środkowego triasu. Środkowy odcinek wybrzeży, rozciągający się na południe od delty Dunaju aż po Konstancę, ma budowę niejednorodną, na północy odsłaniają się na powierzchni na dużej przestrzeni osady sylurskie. W kierunku południowym na osadach sylurskich zalega less i utwory lessopodobne. Jedynie w dolnym biegu rzeki Casimcea, na osadach sylurskich, występują utwory jury górnej. Niewielkie płaty utworów jurajskich i kredowych odsłaniają się spod lessu na północo-zachód od Konstancy. Na obszarze rozciągającym się na południe od tego miasta aż po granicę z Bułgarią występują na powierzchni osady wykształcone w postaci lessów i utworów lessopodobnych, spod których w wielu miejscach odsłaniają się osady sarmackie, a w trzech miejscach także utwory jury górnej.

W północno-wschodniej części Bułgarii, wzdłuż granicy z Rumunią, w strefie wybrzeży występują podobnego typu osady jak po stronie rumuńskiej, a więc lessy i utwory lessopodobne, spod których odsłaniają się większe partie osadów sarmackich. Dalej w kierunku południowym, aż do obszaru rozciągającego się w dolnym biegu rzeki Kamczyja, na południe od Warny występują w strefie wybrzeży osady sarmackie i utwory środkowego miocenu typu Chokrak Karagan. Na południe od tej rzeki pojawiają się osady dolnego i środkowego eocenu. Dalszy odcinek wybrzeży, po granicę turecką, zbudowany jest głównie z osadów senońskich, wśród których spotyka się paleocenijskie plutony typu monzonitów i granitów, a na samym wybrzeżu miejscami płaty osadów eocenijskich i sarmackich.

Bardzo charakterystyczne jest też wykształcenie senonu — jest to śródziemnomorski typ senonu, występujący w południowej Bułgarii. Osady senońskie tworzyły się w długiej, wąskiej, nieckowatej strefie ciągnącej się od Morza Czarnego po granicę z Jugosławią. Nad marglis-tymi osadami senonu wszędzie występuje materiał piroklastyczny i lawy andezytowe, zajmujące duże przestrzenie między miastami Yambo i Burgas, gdzie spotyka się je w obecności latytów. Wyższe osady senońskie przechodzą w serię podobną do fliszu, której miąższość przekracza 2000 m. Należy podkreślić, że większa część utworów senońskich, piroklastycznych i wulkanicznych, w południowej Bułgarii zaliczana jest do mastrychtu.

Opracowując próbki piasków plażowych obu mórz, pochodzące z odmiennych obszarów alimentacyjnych, autor podjął próbę przedstawienia ich najważniejszych cech w oparciu o skład mechaniczny i mineralny piasków, obtoczenie i zmatowienie głównych składników. Określono też udział materiału organicznego (okruchy skorupki mięczaków, otwornice itp.), a więc węglanu wapnia.

Materiał piaszczysty, tworzący na wybrzeżach obu mórz mniej lub bardziej rozległe plaże, pochodzi ze skał wybrzeży niszczonej przez abrazję morską, zostaje też częściowo wyrzucany na brzeg przez fale rozmywające płycizny nadbrzeżne, w podobny sposób jak np. na Mierzei Łebskiej, co wykazał w swojej pracy A. Marsz (8).

Do badań laboratoryjnych pobrano próbki piasku z plaż obu mórz w odległości około 1 m od linii wodnej. Na polskim wybrzeżu próbki zostały zebrane na odcinku od Świnoujścia na wyspie Uznam aż po Mikoszewo leżące w delcie Wisły. Pochodzą one z plaż położonych w okolicach następujących miejscowości: 1) Świnoujście, 2) Chorzelin, 3) Międzyzdroje, 4) Gosań, 5) Dziwnów, 6) Rewal, 7) Kołobrzeg, 8) Mielno, 9) Jarosławiec, 10) Łeba, 11) Jastarnia, 12) Hel, 13) Orłowo, 14) Sopot, 15) Oliwa, 16) Mikoszewo. Piaski plażowe z wybrzeży Morza Czarnego zebrano poczynając od Mamai Nowej w Rumunii aż po miejscowość Kiten leżącą w południowej Bułgarii, blisko granicy tureckiej. Próbkę pochodzą z okolic następujących miejscowości: I. Mamaia Nowa, II. Mamaia Stara, III. Konstanca, IV. Eforie N, V. Eforie S, VI. Złote Piaski, VII. Warna, VIII. Burgas², IX. Primorsko N, X. Primorsko S i XI. Kiten (ryc. 3).

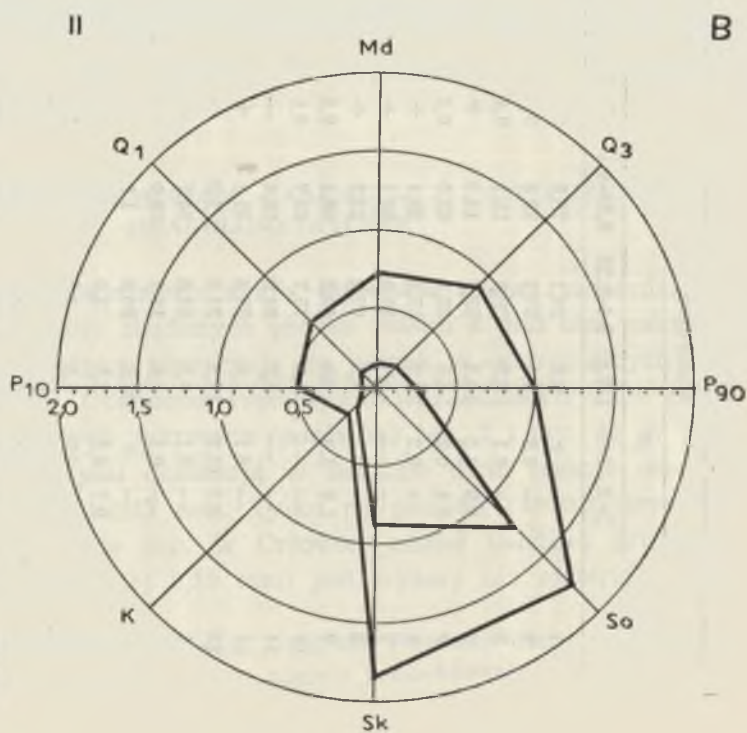
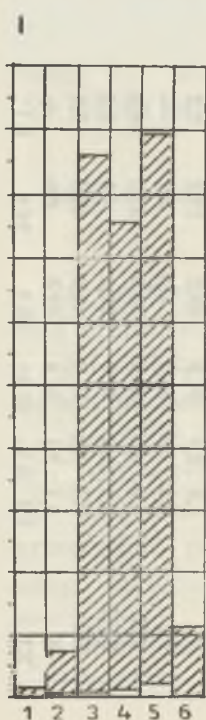
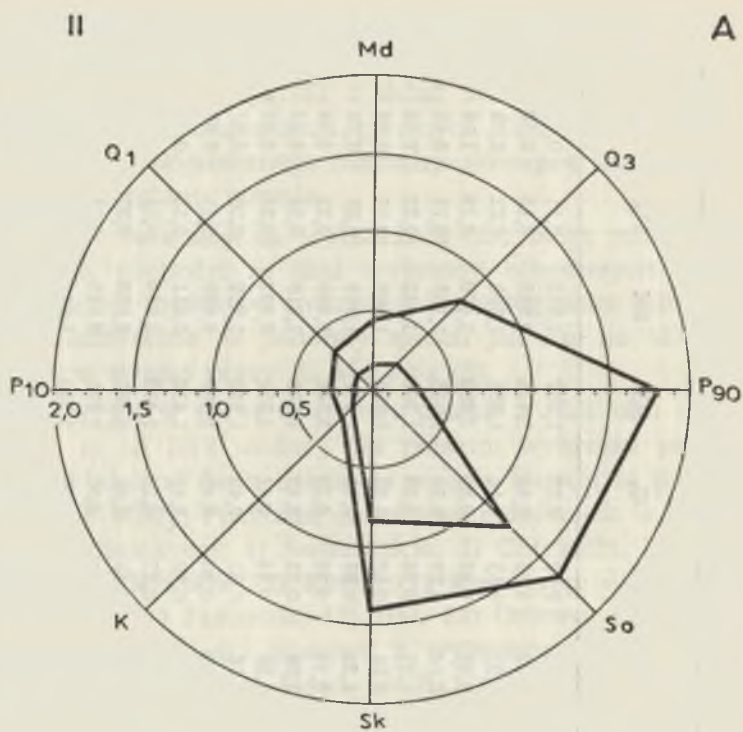
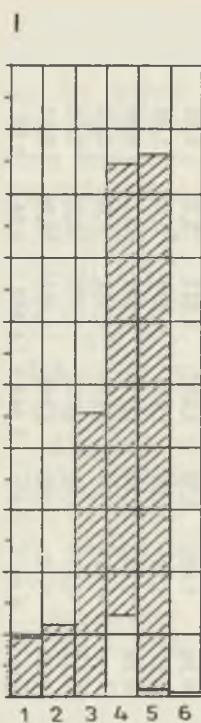
SKŁAD GRANULOMETRYCZNY, PARAMETRY I WSPÓŁCZYNNIKI GRANULOMETRYCZNE

Na podstawie wykonanych analiz sitowych można stwierdzić, że skład granulometryczny zbadanych próbek piasku z plaż obu mórz jest na ogół podobny. Różnice zaznaczają się jednak w ekstremalnych wartościach parametrów. Obliczone współczynniki granulometryczne zawierają się także w innych zakresach (porównaj tab. 1 i ryc. 1). W piaskach plażowych Bałtyku dominują w zasadzie dwie frakcje osadu — 0,25—0,50 mm i 0,10—0,25 mm. Tylko na plażach rozciągających się bezpośrednio przy klifie (np. w Orłowie) udział bardziej gruboziarnistego materiału (powyżej 0,50 mm) jest wyższy niż materiału drob-

² Próbkę tę uzyskałem z Katedry Geografii Fizycznej UMCS od prof. dra H. Maruszczaka, za co wyrażam w tym miejscu podziękowanie.

Tab. 1. Charakterystyka granulometryczna piasków plażowych Bałtyku i Morza Czarnego
Granulometrische Charakteristik von Strandsanden der Ostsee und des Schwarzen Meeres

Nr próbki	Uziarnienie w %						Wskaźnik		Md	Q ₄	SO	SK	P ₁₀	P ₉₀	K
	B						uziarn.	U=A/B							
	> 2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	< 0,1									
1	—	+	0,8	24,1	75,0	0,1	0,008	0,13	0,18	0,25	1,387	1,003	0,11	0,38	0,222
2	—	—	0,8	12,0	57,2	29,8	0,2	0,147	0,32	0,44	1,414	0,945	0,13	0,58	0,244
3	—	—	0,1	8,9	79,8	11,1	0,1	0,099	0,28	0,35	1,253	1,006	0,22	0,50	0,177
4	9,9	4,3	18,8	52,7	14,3	+	0,492	0,28	0,40	0,80	1,690	1,400	0,19	1,80	0,161
5	0,4	0,2	4,5	32,8	62,0	0,1	0,054	0,14	0,20	0,33	1,535	1,155	0,12	0,45	0,283
6	—	—	0,2	22,3	57,4	20,1	+	0,290	0,27	0,36	1,360	1,042	0,22	0,78	0,205
7	—	—	+	13,9	86,1	+	0,000	0,14	0,17	0,22	1,250	1,066	0,12	0,30	0,222
8	—	0,2	9,6	67,2	23,0	+	0,107	0,26	0,33	0,42	1,271	1,003	0,20	0,50	0,267
9	1,0	1,3	6,0	43,2	48,1	0,1	0,090	0,16	0,26	0,38	1,541	0,899	0,12	0,50	0,289
10	—	—	0,5	75,7	23,7	0,1	0,005	0,26	0,32	0,40	1,240	1,016	0,14	0,46	0,219
11	—	—	4,7	84,9	10,4	—	0,049	0,28	0,34	0,41	1,211	0,993	0,25	0,48	0,283
12	—	0,1	1,4	77,4	21,1	+	0,015	0,26	0,30	0,40	1,240	1,016	0,16	0,57	0,171
13	8,5	11,2	45,5	33,0	1,9	+	1,865	0,17	0,30	0,45	1,627	0,850	0,13	0,93	0,175
14	—	0,1	9,2	65,6	24,7	0,4	0,101	0,20	0,30	0,41	1,432	0,911	0,13	0,50	0,284
15	—	0,1	8,6	13,1	78,0	0,2	0,107	0,13	0,17	0,28	1,467	1,259	0,11	0,48	0,203
16	—	+	38,8	60,0	1,2	+	0,634	0,32	0,43	0,61	1,381	1,056	0,27	0,87	0,242
I	0,1	4,2	3,5	2,0	89,3	0,9	0,084	0,13	0,17	0,21	1,271	0,945	0,11	0,25	0,286
II	0,1	1,0	2,5	1,5	93,3	1,6	0,038	0,13	0,16	0,20	1,240	1,016	0,11	0,23	0,292
III	0,5	0,7	0,8	1,0	85,5	11,5	0,020	0,12	0,15	0,18	1,225	0,960	0,09	0,23	0,214
IV	—	0,4	20,5	74,0	5,0	0,1	0,264	0,29	0,38	0,48	1,287	0,908	0,26	0,70	0,215
V	0,8	2,0	34,5	49,2	13,3	0,2	0,545	0,30	0,48	0,70	1,527	0,911	0,19	0,95	0,263
VI	0,2	7,2	86,2	4,3	2,1	—	14,825	0,57	0,72	0,90	1,256	0,989	0,52	1,00	0,344
VII	0,6	4,0	29,0	33,5	32,5	0,4	0,506	0,19	0,35	0,60	1,777	0,931	0,13	0,90	0,266
VIII	0,4	4,2	63,8	27,4	4,0	0,2	2,164	0,40	0,60	0,83	1,486	0,922	0,28	0,98	0,307
IX	0,1	1,2	10,7	40,2	47,6	0,2	0,122	0,16	0,27	0,40	1,581	0,878	0,12	0,58	0,261
X	0,1	2,1	34,4	57,5	6,0	+	0,577	0,32	0,43	0,61	1,381	1,861	0,26	0,87	0,238
XI	1,6	3,7	11,8	58,2	24,6	0,1	3,048	0,26	0,34	0,47	1,344	1,057	0,14	0,80	0,159



noziarnistego. Jak wynika z tab. 1, dominujące frakcje piasku zawierają się w następujących granicach: frakcja 0,10—0,25 mm stanowi od 1,2% do 86,1%, a frakcja 0,25—0,50 mm od 13,1% do 84,9%. Według B. Krygowskiego (5) te właśnie frakcje dominują w osadach czwartorzędowych występujących na obszarze całej Polski.

W piaskach plażowych z wybrzeży Rumunii i Bułgarii obok wymienionych frakcji dużą rolę odgrywa także frakcja bardziej gruboziarnista 0,50—1,00 mm, która osiąga nawet do 86,2% na plaży w Złoty Piaskach. Podkreślić należy, że we wszystkich analizowanych próbkach piasków plażowych rumuńskich i bułgarskich wybrzeży Morza Czarnego materiał organicznego pochodzenia występuje w dużej ilości, zwłaszcza we frakcjach powyżej 0,25 mm, tak że niektóre próbki uważać należy raczej za piaski wapienne, zawierające duży procent kwarcu. Udział detrytus organicznego w piaskach obu mórz przedstawiony jest w tab. 2.

Procentowy udział poszczególnych frakcji w piaskach z wybrzeży Morza Czarnego jest bardzo zmienny, zależy od ilości i wielkości detrytus wapiennego i waha się w następujących granicach: frakcja 0,10—0,25 mm występuje w ilości od 2,1% do 93,3%, frakcja 0,25—0,50 mm stanowi od 1,0% do 75,6%, a frakcja 0,50—1,00 mm od 0,8% do 86,2%. Pozostałe frakcje nie odgrywają większej roli. Piaski plażowe Morza Czarnego są bardziej zróżnicowane pod względem granulometrycznym niż analogiczne na polskim wybrzeżu Bałtyku. Na wybrzeżu Rumunii, od Mamai po Konstancę, przeważają piaski drobnoziarniste, dominuje frakcja 0,10—0,25 mm, natomiast od miejscowości Eforie aż po Kiten, leżący blisko granicy tureckiej w Bułgarii, przeważają piaski średnioziarniste ze znacznym udziałem frakcji 0,50—1,00 mm.

Zmienność składu granulometrycznego wywiera duży wpływ na zakresy wskaźników uziarnienia, obliczone według wzoru B. Krygowskiego (1956). Dla piasków z polskiego wybrzeża Bałtyku zawierają

Ryc. 1. Diagram ilustrujący ekstremalne granice udziału frakcji oraz zakresy parametrów i współczynników granulometrycznych piasków plażowych Bałtyku (A) i Morza Czarnego (B). Frakcje: 1) > 2 mm, 2) 2,0—1,0 mm, 3) 1,0—0,5 mm, 4) 0,5—0,25 mm, 5) 0,25—0,1 mm, 6) $< 0,1$ mm

Extreme Grenzen des Fraktionanteils sowie Bereiche der Parameter und granulometrischen Koeffizienten der Strandsande der Ostsee (A) und des Schwarzen Meeres (B). Fraktionen: 1) über 2 mm, 2) 2,0—1,0 mm, 3) 1,0—0,5 mm, 4) 0,5—0,25 mm, 5) 0,25—0,1 mm, 6) unter 0,1 mm

Tab. 2. Udział detrytusu wapiennego pochodzenia organicznego w piaskach plażowych polskich wybrzeży Bałtyku oraz rumuńskich i bułgarskich wybrzeży Morza Czarnego (procenty ilościowe)

Anteil (in Prozentmengen) des kalkhaltigen Detrituses organischer Herkunft in Strandsanden der polnischen Küsten der Ostsee sowie der rumänischen und bulgarischen Küsten des Schwarzen Meeres

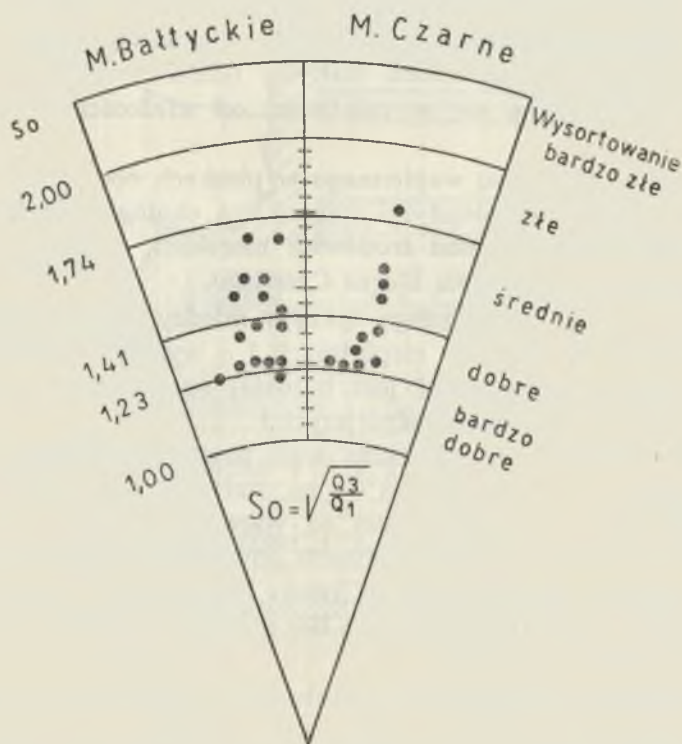
Nr próbki	Frakcja w mm		
	0,10—0,25	0,25—0,50	0,50—1,00
1	0,2	1,8	2,9
2	2,0	1,0	2,5
3	3,0	3,0	1,8
4	1,2	1,6	2,0
5	2,0	2,5	3,0
6	0,5	1,0	4,0
7	0,2	0,6	×
8	0,6	0,8	4,5
9	3,0	2,5	2,0
10	0,5	1,0	1,0
11	—	—	—
12	1,0	—	0,5
13	0,4	0,7	0,6
14	—	—	2,2
15	—	0,2	0,7
16	0,5	0,9	0,4
I	15,0	82,0	97,0
II	11,0	91,0	99,5
III	13,5	69,0	99,0
IV	28,0	81,0	99,7
V	62,0	84,0	99,8
VI	32,0	17,0	12,0
VII	27,0	22,0	16,0
VIII	36,0	49,0	46,0
IX	43,7	42,0	45,9
X	41,0	42,7	72,0
XI	40,0	51,5	56,0

Znak — oznacza poniżej 0,1%; znak × brak frakcji.

Das — Zeichen bedeutet unterhalb 0,1%; das × Zeichen — Fraktion fehlt.

się one w przedziale od 0,005 do 1,865, a dla piasków plażowych z rumuńskich i bułgarskich wybrzeży Morza Czarnego — od 0,020 do 14,625. Także zakresy parametrów granulometrycznych są odmienne; wartości ich zestawiono w tab. 1. Stopień wysortowania piasków, obliczony według wzoru P. D. Traska $So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$, zawiera się dla piasków plażowych Bałtyku w granicach od 1,211 do 1,690, a analogicznie dla piasków z wybrzeży Morza Czarnego — od 1,225 do 1,777.

Piaski plażowe Bałtyku mają stopień wysortowania³ od bardzo dobrego (Jastarnia) do średniego (Gosań), natomiast piaski plażowe M. Czarnego — od bardzo dobrego (Konstanca) do złego (Warna). Piaski



Ryc. 2. Punkty projekcyjne stopni wysortowania piasków plażowych Bałtyku i Morza Czarnego. Stopień wysortowania według P. D. Traska (1932), granice wysortowania według H. Fuechtbauera (1959)

Projektionspunkte der Aussortierungsgrade von Strandsanden der Ostsee und des Schwarzen Meeres. Aussortierungsgrad nach P. D. Trask (1932), Aussortierungsgrenzen nach A. Fuechtbauer (1959)

³ Stopień wysortowania według Fuechtbauera (1959): do 1,23 — osad bardzo dobrze wysortowany; do 1,41 — osad dobrze wysortowany; do 1,74 — osad średnio wysortowany; do 2 — osad źle wysortowany i powyżej 2 — osad bardzo źle wysortowany.

z wybrzeży rumuńskich są na ogół lepiej wysortowane niż piaski z wybrzeży bułgarskich. Stopień wysortowania piasków obu mórz jest mniej więcej podobny, dominuje wysortowanie dobre i średnie. Wartości pozostałych współczynników: asymetrii (Sk) i kurtozy (K) różnią się zakresami (tab. 1).

DETRYTUS WAPIENNY POCHODZENIA ORGANICZNEGO W PIASKACH PLAŻOWYCH

Główną cechą odróżniającą piaski plażowe obu mórz jest duży udział detrytusu wapiennego w piaskach plażowych wybrzeży Rumunii i Bułgarii. Detrytus stanowią przeważnie drobne okruchy bądź nawet całe juwenilne wapienne skorupki małych ślimaków, małży, otwornic i małżoraczków. Na wybrzeżach Bałtyku udział wapieni w piaskach jest nieznaczny i waha się w zależności od wielkości frakcji od 0,0 do 4,5%.

Różny udział detrytusu wapiennego w piaskach obu mórz niewątpliwie związany jest z odmiennymi warunkami ekologicznymi, jakie istnieją w strefie litoralnej obu środowisk morskich, a także z występowaniem wapieni na wybrzeżu Morza Czarnego.

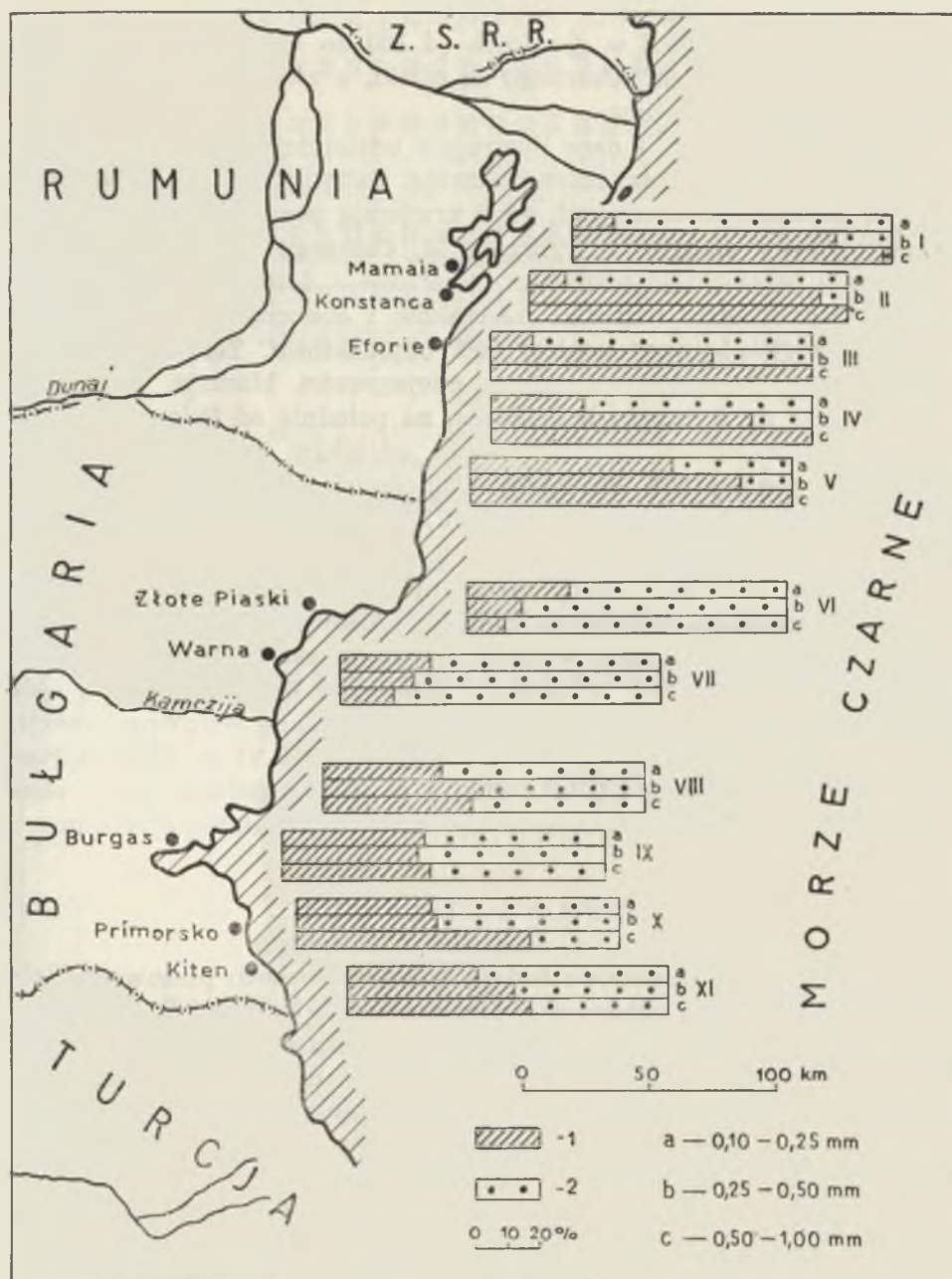
Rozwojowi życia organicznego sprzyja między innymi temperatura i zasolenie mórz. W morzach cieplejszych i o wyższym zasoleniu fauna żyjąca w strefie przybrzeżnej jest bardziej urozmaicona i często też liczniejsza niż w morzach chłodniejszych.⁴

W Morzu Czarnym temperatura wód powierzchniowych przy wybrzeżach wynosi w lecie 27—28°C, na Bałtyku zaś tylko 18—20°C. Zasolenie Bałtyku uzależnione jest od wlewów słonych wód z Morza Północnego i zmienia się w warstwach powierzchniowych od 10‰ na południo-zachodzie do 2,4‰ na północy. Natomiast w warstwach powierzchniowych Morza Czarnego (do 200 m głęb.) wartość zasolenia waha się w granicach 15—18‰.

Pod względem ekologicznym płytkie wody przybrzeżne Bałtyku są bardziej ubogim środowiskiem życia niż analogiczne w Morzu Czarnym. Przytoczone wyżej czynniki warunkują tak duży udział detrytusu organicznego w piaskach plażowych M. Czarnego.

Należy podkreślić, że rozmieszczenie biomasy planktonu w wodach powierzchniowych M. Czarnego według L. A. Zienkiewicza (18) wynosi w strefie wybrzeży bułgarskich i rumuńskich przeważnie powy-

⁴ Na przykład piaski oligoceńskie na Wyżynie Lubelskiej nie zawierają niemal zupełnie detrytusu wapiennego, podczas gdy w piaskach miocenkich jest on bardzo liczny.



Ryc. 3. Procentowy udział detrytusu wapiennego w piaskach plażowych Rumunii i Bułgarii; 1—detrytus wapienny, 2—kwarc
 Prozentanteil des Kalkdetritus in Strandsanden Rumäniens und Bulgariens;
 1—Kalkdetritus, 2—Quarz

żej 150 mg/m³, podczas gdy na pozostałym obszarze tego morza waha się z małymi wyjątkami w granicach od 100 do 150 mg/m³. Typowymi osadami w tej części M. Czarnego są piaski, a zwłaszcza piaski z muszlami, oraz muł z *Mytilus*.

Zamieszczone w tab. 2 dane ilustrujące udział detrytusu wapiennego⁵ w osadach plażowych obu mórz wskazują, że tylko osady plażowe Bałtyku są piaskami kwarcowymi, gdyż zawierają ponad 90% kwarcu, natomiast utwory plażowe z wybrzeży M. Czarnego reprezentowane są przeważnie przez piaski wapienne utworzone z detrytusu organicznego (ułamki bądź drobne muszelki mięczaków i otwornice), z zawartością materiału niewapiennego poniżej 50% objętościowo. Ten typ piasków występuje w Rumunii, w okolicy miejscowości Mamaia, Konstanca i Eforie, oraz na wybrzeżu bułgarskim, na południe od Primorsko i koło miejscowości Kiten. Piaski z innych odcinków wybrzeża zawierają przeważnie poniżej 50% okruchów wapiennych. Minimalne ilości węglanów, przeciętnie około 20%, występują w piaskach plażowych okolic Warny i Złotych Piasków.

W obrębie badanych frakcji zaznaczają się pewne różnice w udziale wapieni. W piaskach plażowych Bałtyku zróżnicowanie w udziale wapieni jest stosunkowo mało wyraźne i trudno jest tu zauważyć jakieś prawidłowości, natomiast w osadach plażowych M. Czarnego na ogół zwiększa się ilość okruchów węglanowych wraz ze wzrostem frakcji. W dwu tylko przypadkach (próbka VII z Warny i VI ze Złotych Piasków) stwierdzono sytuację odwrotną, a w jednej (próbka VIII z okolicy Burgas) — najwyższy udział wapieni we frakcji 0,25—0,50 mm.

MORFOLOGIA ZIARN KWARCU

Jak wynika z wykonanych badań, tylko w piaskach plażowych Bałtyku dominuje kwarc, natomiast analogiczne osady wybrzeży rumuńskich i bułgarskich M. Czarnego utworzone są z piasków wapiennych z dużą ilością kwarcu bądź piasków kwarcowo-wapiennych. Obtoczenie ziarn kwarcu określono na podstawie 5-stopniowej skali, zamieszczonej w pracy autora z r. 1965 (11). Analizowano kwarc z trzech frakcji osadu 0,10—0,25 mm, 0,25—0,50 mm i 0,50—1,00 mm.

W piaskach plażowych polskiego wybrzeża Bałtyku zaznacza się niewielka przewaga ziarn częściowo obtoczonych (CO) nad obtoczonymi (O). Ziarna kanciaste (K) występują w niewielkiej ilości, do 5%. Ziarn ostrokrawędzistych (typ „O”) nie spotyka się. Różnice w obtoczeniu ziarn

⁵ W skład detrytusu wchodzi ułamki skorup mięczaków bądź nawet całe drobne juwenilne skorupki, otwornice, małżoraczki i okruchy skał wapiennych.

pomiędzy poszczególnymi frakcjami są nieznaczne. Nieco lepiej aniżeli piaski z zachodniego odcinka naszego wybrzeża obtoczone są piaski Zatoki Gdańskiej.

W piaskach plażowych M. Czarnego udział ziarn częściowo obtoczonych jest przeciętnie wyższy niż w piaskach Bałtyku i ziarna te wyraźnie dominują. Udział ziarn obtoczonych jest znacznie mniejszy (około $2-2,5\times$) od udziału w piaskach plażowych Bałtyku. Ziarna kanciaste są również nieliczne i występują w ilości do 8%. Piaski plaż rumuńskich są lepiej obtoczone niż piaski z wybrzeża Bułgarii.

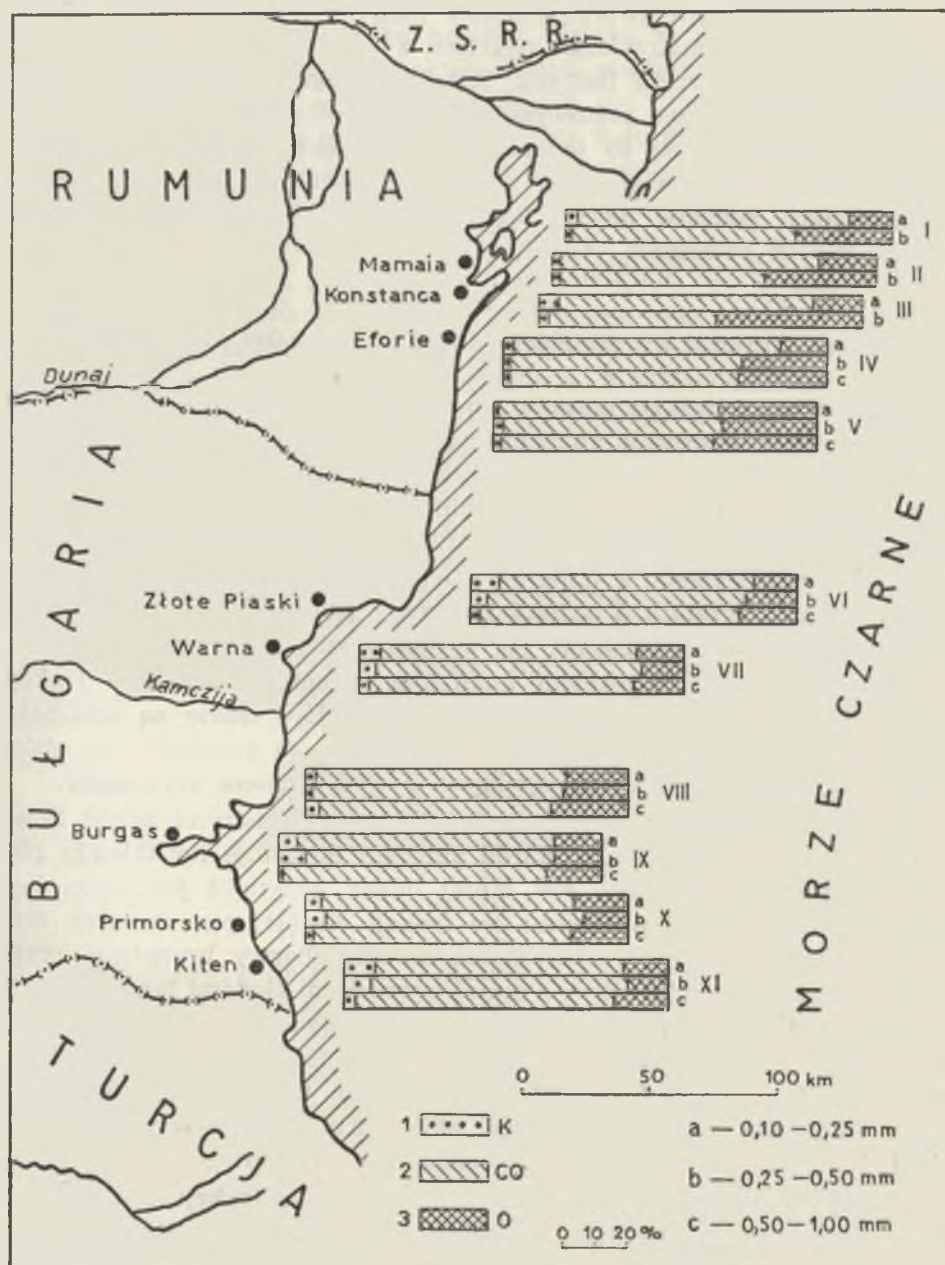
Zestawiając wyniki badań morfoskopowych, należy stwierdzić, że piaski plażowe M. Czarnego są słabiej obtoczone od piasków plażowych Bałtyku.⁶

W celu uzupełnienia charakterystyki morfoskopowej ziarn kwarcu analizowano stopień zmatowienia ich powierzchni. Z licznych badań wynika, że zmatowienie powierzchni ziarn kwarcu związane jest najsilniej z działalnością wiatru na obszarach pustynnych. Ostatnio jednak Ph. H. K u e n e n i W. G. P e r d o k (6) na podstawie badań doszli do wniosku, że zmatowienie ziarn kwarcu w minimalny sposób wywołane jest mechaniczną działalnością wiatru i wody, a główną jego przyczyną jest akcja chemiczna roztworów, przy czym szczególne jej natężenie występuje na obszarach pustynnych. Mimo że zmatowienie ziarn kwarcu może być wywołane różnymi przyczynami, procentowy udział ziarn o różnym stopniu zmatowienia niewątpliwie kształtować się będzie odmiennie w różnych środowiskach sedymentacyjnych.

Zmatowienie ziarn kwarcu w piaskach plażowych Bałtyku przedstawia się następująco: we frakcji 0,10—0,25 mm występuje na ogół niewielka przewaga ziarn błyszczących nad częściowo matowymi. Ziarna matowe są bardzo nieliczne i stanowią przeciętnie mniej niż 5%. We frakcji 0,25—0,50 mm przeważają ziarna częściowo matowe nad błyszczącymi, a udział ziarn matowych jest około dwukrotnie wyższy niż we frakcji 0,10—0,25 mm. We frakcji 0,50—1,00 mm stosunki są podobne jak we frakcji 0,25—0,50 mm, nieznacznie wzrasta jednak udział ziarn matowych.

Uogólniając, można stwierdzić, że tylko we frakcji 0,10—0,25 mm przeważają nieznacznie ziarna błyszczące, natomiast we frakcjach grubszych występuje stała przewaga ziarn częściowo matowych, przy zwiększającym się udziale ziarn całkowicie matowych w miarę zwiększania się wielkości ziarn.

⁶ Tylko w jednej próbce, pochodzącej z wybrzeża na południe od Eforie, obtoczenie ziarn kwarcu jest zbliżone do obtoczenia kwarcu w piaskach plażowych Bałtyku.



Ryc. 4. Obtoczenie ziarn kwarcu w piaskach plażowych Rumunii i Bułgarii; 1—ziarna kanciaste (K), 2—ziarna częściowo obtoczone (CO), 3—ziarna obtoczone (O)

Abrundung der Quarzkörner in rumänischen und bulgarischen Strandsanden; 1—kantige Körner (K), teilweise abgerundete Körner (CO), 3—abgerundete Körner (O)

Zmatowienie ziarn kwarcu piasków plażowych M. Czarnego jest na ogół podobne do zmatowienia kwarców z badanych stanowisk na plażach polskiego wybrzeża Bałtyku. Różnice polegają na nieco większym udziale ziarn częściowo matowych (CM) w piaskach M. Czarnego, przy czym nie zaznacza się to jednak we wszystkich badanych próbkach. Analiza zmatowienia ziarn obu środowisk litoralnych nie daje jeszcze dostatecznych podstaw do wyciągnięcia szerszych wniosków odnośnie warunków ich powstania.

SKŁAD MINERALNY FRAKCJI CIĘŻKIEJ PIASKÓW PLAŻOWYCH

Skład frakcji ciężkiej piasków plażowych z polskiego wybrzeża Bałtyku był już kilkakrotnie analizowany (7, 11, 13, 14, 17), wyniki badań są na ogół zbliżone. Wszyscy badacze stwierdzają we frakcji ciężkiej duży procent, a nawet przewagę, minerałów stosunkowo mało odpornych na wietrzenie chemiczne, jak amfibol i granat. Obok wymienionych w dużej ilości występują minerały nieprzezroczyste (przeważnie różne tlenki żelaza i tytanu), a stosunkowo mały procent stanowią minerały bardzo odporne na wietrzenie, jak cyrkon i rutyl.

Zbliżone wyniki uzyskałem analizując minerały ciężkie z frakcji 0,10—0,25 mm. Wśród analizowanych minerałów liczne są amfibole. Osiągają one często duże rozmiary, okruchy ich są kanciaste, nie obtoczone, ze śladami łupliwości, zgodnymi z wydłużeniem kryształów.

Podobne obserwacje dotyczące tego minerału poczynił przed kilku laty R. Chlebowski (1). Wśród amfiboli dominuje hornblenda zielona, hornblenda brunatna jest mniej liczna, aktynolit jest natomiast bardzo rzadki. Udział piroksenu we frakcji ciężkiej jest znacznie niższy od udziału amfiboli, spotyka się okruchy barwy brunatnej, przeważnie kanciaste, nieforemne, z mniej wyraźnymi śladami łupliwości niż u amfiboli. Granaty, podobnie jak w innych osadach czwartorzędowych na terenie naszego kraju, są licznie reprezentowane i w niektórych próbkach ilość ich jest większa niż amfiboli. Granaty są przeważnie słabo obtoczone, przeważają wśród nich ziarna różowe o różnych odcieleniach, mniej liczne są granaty bezbarwne i brunatne.

Należy podkreślić, że minerały dominujące we frakcji ciężkiej piasków plażowych, jak granaty i amfibole oraz niemal wszystkie pozostałe minerały (z wyjątkiem tylko apatyty i łuszczyków), są słabiej obtoczone od analogicznych minerałów ciężkich występujących w czwartorzędowych piaskach rzecznych i wydmych na obszarze Polski.

Obok granatów i amfiboli znaczny procent frakcji ciężkiej stanowią minerały nieprzezroczyste, tj. przeważnie różne tlenki żelaza. Inne mi-

nerały ciężkie odgrywają mniejszą rolę w piaskach i występują w ilości od ułamka procenta do kilku procent. Należą do nich: turmalin, staurolit, dysten, epidot, cyrkon, rutyl, biotyt, muskowit, andaluzyt, apatyt i sfen. Wygląd tych minerałów pokrywa się z opisami analogicznych minerałów ciężkich z piasków plażowych Bałtyku (1, 10, 14).

Charakterystyka minerałów ciężkich z wybrzeża M. Czarnego przedstawia się następująco. Skład mineralny piasków plażowych z wybrzeży rumuńskich i bułgarskich różni się znacznie od składu frakcji ciężkiej piasków plażowych z polskiego wybrzeża Bałtyku. Na naszym wybrzeżu zaznacza się we frakcji ciężkiej wyraźna przewaga amfiboli i minerałów z grupy granatów, natomiast na wybrzeżach rumuńskich dominują na północy chloryt i muskowit (Mamaia, Konstanca), a na południu (Eforie) amfibol i granat. Na wybrzeżach bułgarskich we frakcji ciężkiej najważniejszą rolę odgrywają pirokseny, amfibole i epidoty, mniej-

Tab. 4. Udział głównych grup mineralnych w piaskach plażowych Bałtyku i Morza Czarnego, w procentach
Anteil (in Prozentwerten) der führenden Mineraliengruppen von Strandsanden der Ostsee und des Schwarzen Meeres

Nr próbki	Cyrkon+rutyl +turmalin	Epidot+amfibol +piroksen	Granat	Chloryt +muskowit
1	4	71	20	5
2	5	49	42	4
3	8	53	38	1
4	4,5	69	26,5	—
5	5	68	26	1
6	2	76	20	2
7	4	80	16	—
8	1,5	69	28	1,5
9	5	56	38	1
10	7	63	28	2
11	6	83	11	—
12	8	52	37	3
13	3	47	49	1
14	11	27	62	—
15	2	39	58	1
I	1	15	—	84
II	—	28	1,5	70,5
III	0,5	12	4	83,5
V	3	58	36	3
VII	3,5	57	4,5	35
VIII	0,5	97,5	1	1
IX	1	86	8	5
X	2,2	94,5	3,3	3
XI	1	92	3	4

szy jest udział granatu, a minerały stabilne, jak rutyl, cyrkon i turmalin, występują sporadycznie. Stopień obróbki mechanicznej wszystkich niemal minerałów ciężkich jest słabszy w piaskach plażowych na wybrzeżu M. Czarnego niż na wybrzeżu Bałtyku. W piaskach plażowych z wybrzeża M. Czarnego jest tak dużo węglanów pochodzenia organicznego, że mimo kilkakrotnego przemywania w HCl znaczna ich część w czasie wydzielania w bromoformie dostaje się do frakcji ciężkiej.

Główne minerały ciężkie mają następujący pokrój:

Chloryt: występuje w postaci jasnozielonych blaszek, przeważnie częściowo zaokrąglonych, rzadziej całkowicie zaokrąglonych, od przeświecających do prawie przezroczystych. Barwy interferencyjne ultrabłękitne, znaczna część chlorytów izotropowa. Niektóre chloryty zawierają czarne wrostki.

Muskowit: tworzy bezbarwne blaszki, przeważnie częściowo zaokrąglone, część z czarnymi wrostkami (tlenki żelaza).

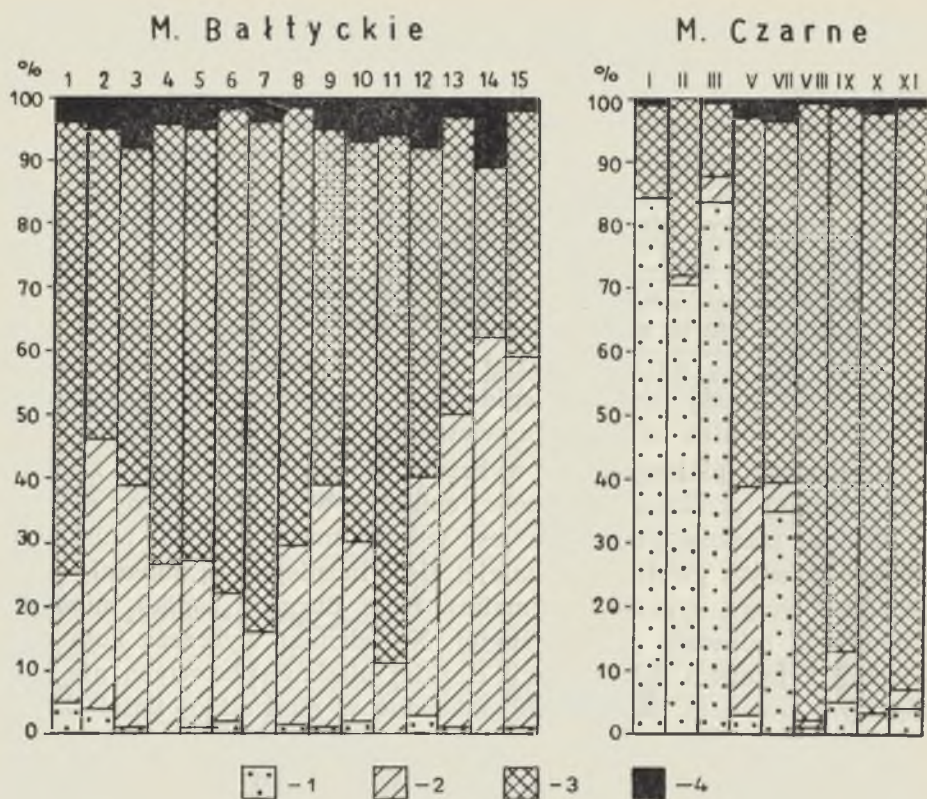
Amfibole: występują głównie w okruchach zupełnie nie obtoczonych, rzadziej częściowo obtoczonych. Okruchy amfiboli przeważnie zielone, różnych odcieni: niebieskozielone, ciemnozielone, ciemnobrunatnozielone, z mniej lub bardziej wyraźnie zaznaczoną łupliwością w kierunku wydłużenia. Pleochroizm przeważnie wyraźny.

Pirokseny: nieforemne, kanciaste lub bardzo słabo obtoczone ziarna i krótkie słupy, barwy zielonej, różnych odcieni. Niektóre z czarnymi wrostkami. Pleochroizm słaby. Amfibole i pirokseny są często zygzakowato zakończone i przypominają wyglądem koguci grzebienie.

Epidoty: zielonawożółte, nieforemne, kanciaste lub częściowo obtoczone ziarna i słupki. Niektóre kryształy porysowane na powierzchni. Częste obrazy osiowe, prostopadłe do jednej osi optycznej. Pleochroizm słaby.

Pokrój amfiboli, piroksenów i niektórych epidotów — bardzo do siebie zbliżony, gdyż występują przeważnie w nieforemnych, grubych okruchach, w wielu przypadkach cechy optyczne nie dawały wystarczających podstaw do ich rozróżnienia. W związku z tym skład mineralny frakcji ciężkiej przedstawiono za pomocą diagramów ilustrujących stosunki pomiędzy minerałami o różnej odporności na procesy wietrzenia (ryc. 5), które ujęto w 3 grupy: 1) minerały bardzo odporne na wietrzenie chemiczne, jak: cyrkon, rutyl i turmalin, 2) minerały małej odporności, jak: epidot, amfibol, piroksen i granat⁷, 3) muskowit i minerały z grupy chlorytów. Ostatnia grupa reprezentuje minerały o pokroju blaszko-

⁷ Na diagramach, w obrębie tej grupy minerałów, oddzielnie zaznaczono granat, gdyż w piaskach plażowych Bałtyku jest on często minerałem dominującym.



Ryc. 5. Diagram ilustrujący udział wyodrębnionych grup minerałów ciężkich w piaskach plażowych Bałtyku i Morza Czarne; 1—cyrkon, rutyl, turmalin, 2—epidot, amfibol, piroksen, 3—granat, 4—muskowit, chloryt

Anteil einer ausgesonderten Schwermineraliengruppe in Strandsanden der Ostsee und des Schwarzen Meeres; 1—Zirkon, Rutil, Turmalin, 2—Epidot, Amphibol, Pyroxen, 3—Granat, 4—Muskowit, Chlorit

watym, które łatwo przenoszone są na duże odległości. Minerale zaliczone do tej grupy dominują w piaskach plażowych Rumunii. Według B. Molnara (9) duży udział chlorytu jest charakterystyczny dla osadów panońskich.

Odnosnie licznie występujących w piaskach plażowych Rumunii minerałów blaszkowych, reprezentowanych przez minerale z grupy muskowitu i chlorytu, należy podkreślić, że muskowit jest minerałem odpornym na procesy wietrzenia chemicznego i pochodzi może ze skał magmowych, zwłaszcza z pegmatytów i skał pochodzenia hydrotermalnego oraz ze skał metamorficznych, a chloryt ze skał metamorficznych, zwłaszcza łupków chlorytowych. Najpospolitsze chloryty według K.

Smulikowskiego (15, s. 170) powstają głównie przez wtórne przeobrażenie różnych magmowych lub metamorficznych krzemianów magnezowo-żelazistych, jak: pirokseny, amfibole, biotyt, granaty itp., w warunkach hydrotermalnych, rzadziej wietrzeniowych.

Skład mineralny piasków plażowych z wybrzeży Rumunii wskazuje, że frakcja ciężka jest zubożała i występuje w niej zaledwie kilka gatunków minerałów. Może jest to związane z bardziej odległymi źródłami alimentacji, gdyż w strefie wybrzeży występują skały osadowe, wśród których dominują less i utwory lessopodobne.

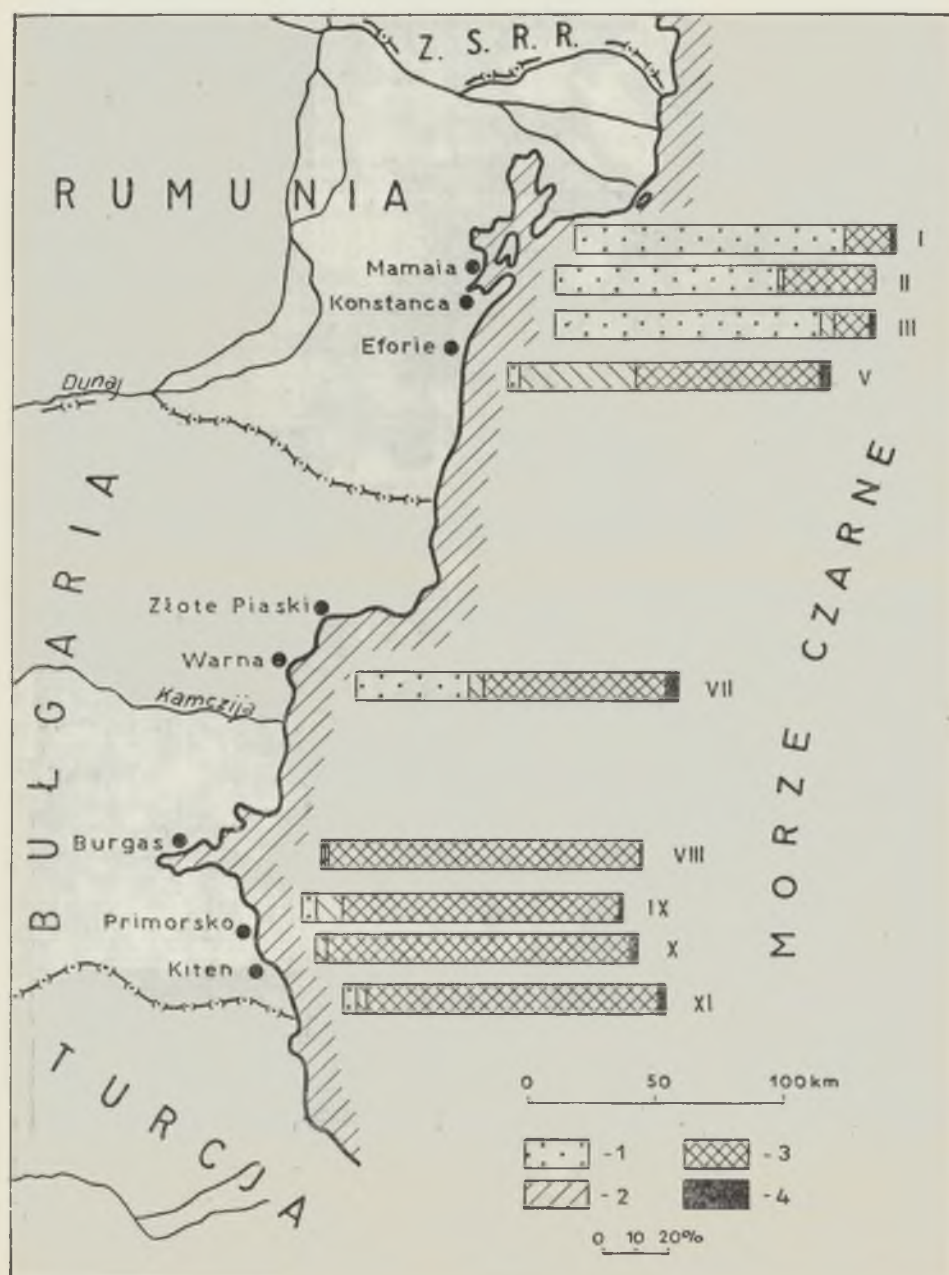
W okolicy Eforie skład mineralny piasków plażowych ulega zmianie, zmniejsza się wyraźnie udział chlorytu i muskowitu, wzrasta ilość minerałów z grupy amfiboli, epidotów i piroksenów, liczniejsze nieco są minerały bardzo odporne na wietrzenie, jak cyrkon i rutyl.

W piaskach plażowych na wybrzeżu Bułgarii przeważają minerały grupy drugiej (pirokseny, amfibole i epidoty). W okolicy Warny we frakcji ciężkiej piasków plażowych jest jeszcze znaczny udział muskowitu, ale ilość chlorytu gwałtownie maleje; nieco liczniejsze są minerały grupy pierwszej (rutyl, cyrkon i turmalin). Koło Burgas⁸ zanika muskowit, a dominują minerały grupy drugiej. Na odcinku wybrzeża koło miejscowości Primorsko skład frakcji ciężkiej piasków plażowych nie ulega większym zmianom, pojawia się ponownie w niewielkiej ilości chloryt.

W piaskach plażowych na polskim wybrzeżu Bałtyku stosunki pomiędzy wydzielonymi grupami minerałów są nieco inne — wyższy jest udział minerałów stabilnych zaliczonych do grupy pierwszej (cyrkonu, rutylu i turmalinu) niż na plażach Rumunii i Bułgarii. Obecność większej ilości tych minerałów we frakcji ciężkiej piasków plażowych Bałtyku mogłaby wskazywać na to, że w obszarze alimentacyjnym znajdowały się skały osadowe mechanicznego pochodzenia, jak np. piaskowce lub piaski starszego wieku.⁹ Jednocześnie zaś duży udział minerałów mało odpornych (granaty, amfibole, pirokseny i epidoty) świadczy o bezpośrednim pochodzeniu ich ze skał krystalicznych. Taki właśnie mieszany materiał skalny występuje w morenach. Skład frakcji ciężkiej wskazuje na to, że piaski plażowe Bałtyku powstały głównie przez rozmycie i przerobienie osadów morenowych. W obrębie minerałów grupy drugiej zaznacza się jakby „antagonizm” pomiędzy granatem a pozostałymi minerałami mało odpornymi — amfibolem, piroksenem i epidotem. Wzrost udziału granatu we frakcji ciężkiej wiąże się zawsze ze zmniej-

⁸ Koło Burgas w piaskach plażowych występują, tworząc czarne smugi, znaczne koncentracje magnetytu, cyrkonu i zielonego piroksenu.

⁹ Koncentracja minerałów stabilnych w skałach osadowych wynika z ich odporności, gdyż mogą one przetrwać nawet kilka cykli sedimentacyjnych.



Ryc. 6. Procentowy udział grup mineralnych o różnej odporności na procesy wietrzenia w piaskach plażowych Rumunii i Bułgarii; 1—muskowit, chloryt, 2—granat, 3—epidot, amfibol, piroksen, 4—cyrkon, rutil, turmalin
 Prozentanteil der Mineralgruppen von verschiedener Widerstandsfähigkeit auf Verwitterung in Strandsanden Rumäniens und Bulgariens; 1—Muskowit, Chloryt, 2—Granat, 3—Epidot, Amphibol, Pyroxen, 4—Zirkon, Rutil, Turmalin



Ryc. 7. U góry — piaski plażowe Bałtyku z Jarosławca. Ziarna piasku różnej wielkości z przewagą ziarn częściowo obtoczonych i obtoczonych. U dołu — piaski plażowe Morza Czarnego z miejscowości Primorsko. Większe okruchy muszli mięczaków na tle drobnych, częściowo obtoczonych ziarn kwarcu

Fot. autor

Oben: Strandsande der Ostsee aus dem Ort Jarosławiec. Sandkörner verschiedener Grössen mit einer Überzahl teilweise abgerundeter und abgerundeter Körner. Unten: Strandsande des Schwarzen Meeres aus dem Ort Primorsko. Grössere Muschelkrummen von Weichtieren (*Mollusca*) auf Grund feiner, teilweise abgerundeter Quarzkörner

Phot. des Verfassers

szaniem się ilości amfibolu, piroksenu i epidotu w tej samej frakcji ziarn.

Podobne stosunki pomiędzy granatem a amfibolem zaobserwowali J. Łoziński i H. Masicka (7) oraz R. Chlebowski (1). Zmiany te wiążą wymienieni autorzy z ziarnistością osadu. Według R. Chlebowskiego (1) w piaskach plażowych odgrywa rolę różna odporność minerałów na działanie chemiczne wody morskiej i działanie mechaniczne fal. W piaskach najsilniej przerobionych, a więc najbardziej drobnoziarnistych, pozostają w przewadze granaty jako minerały odporniejsze od amfibolu.

Porównując stosunek granatu do pozostałych minerałów mało odpornych — amfiboli, piroksenów i epidotów — zauważyć można, że w piaskach drobnoziarnistych udział granatu jest niższy niż w piaskach gruboziarnistych, natomiast w piaskach drobnoziarnistych występuje więcej amfiboli, piroksenów i epidotów niż w piaskach gruboziarnistych. Stosunki takie zaobserwowałem prawie we wszystkich badanych próbkach piasków plażowych z polskiego wybrzeża Bałtyku. W piaskach plażowych Morza Czarnego korelacja taka nie występuje, a granaty są we frakcji ciężkiej bardzo nieliczne. Podobne stosunki pomiędzy amfibolami i granatami zaobserwowała M. Turnau-Morawska (16) w utworach rzecznych doliny Bugu. W wodzie płynącej ma miejsce segregacja ziarn mineralnych według ich kształtu. Granaty bardziej kuliste opadają wraz z grubszy piaskiem, a amfibole o pokroju przeciekowym niesione są dalej i osadzają się z piaskiem drobniejszym.

Gromadzenie się granatu w piaskach plażowych gruboziarnistych, a amfibolu, piroksenu i epidotu w drobnoziarnistych wyjaśniam podobnie jak J. Łoziński i H. Masicka. Jest to spowodowane mechaniczną działalnością fal, powodującą rozdrobnienie niektórych minerałów odznaczających się dobrą łupliwością (amfibole i pirokseny). Dlatego udział ich w piaskach drobnoziarnistych jest wyższy niż w gruboziarnistych. Granat nie wykazujący dobrej łupliwości, a mający nieco większy ciężar właściwy gromadzi się raczej w piaskach gruboziarnistych. W procesie tym najważniejszą rolę odgrywa rozdrabnianie ziarn oraz selekcja pod względem kształtu i ciężaru ziarn. Najwyższe ilości granatów zaobserwowane zostały w piaskach plażowych ze Świnoujścia, Rewala, Kołobrzegu i Łeby, minimalne zaś z Chorzelina, Jarosławca, Orłowa i Mikoszewa. Największy udział minerałów z grupy amfiboli, piroksenów i epidotów stwierdzony został w piaskach z Chorzelina, Jarosławca, Helu i Sopotu. Obserwacje te nie są całkowicie zgodne z badaniami E. Sawickiej (14), która wyróżniła na polskim wybrzeżu 3 prowincje mineralogiczne: 1) prowincja granatu (wybrzeża wyspy Wolin, okolicie Darłowa i półwysep Hel), 2) prowincja amfiboli i piroksenów (obszar



Ryc. 8. Minerale ciężkie z piasków plażowych Morza Czarnego. Kolumny: 1 — muskowity, 2 — chloryty, 3 — granaty, 4 — epidoty, amfibole i pirokseny

Fot. autor

Schwermineralien von Strandsanden des Schwarzen Meeres. In vertikalen Säulen: 1 — Muskowite, 2 — Chlorite, 3 — Granate, 4 — Epidote, Amphibole und Pyroxene

Phot. des Verfassers

wybrzeża od Ustki aż po nasadę Półwyspu Helskiego i 3) obszar mieszany (rozciągający się na wschód od ujścia Dziwny aż po Mielno).

Zestawiając wyniki analiz morfoskopowych ziarn kwarcu oraz spostrzeżenia nad obtoczeniem minerałów ciężkich w piaskach plażowych obu mórz, można stwierdzić znacznie słabszy stopień obtoczenia tych minerałów w piaskach plażowych Morza Czarnego, zwłaszcza na plażach Bułgarii, w porównaniu z piaskami plażowymi Bałtyku. Słaby stopień obtoczenia piasków plażowych nasuwa przypuszczenie, że na wybrzeżu bułgarskim pochodzą one bezpośrednio ze zniszczenia skał macierzystych, występujących w strefie brzegowej Morza Czarnego, a więc że znajdują się na złożu pierwotnym. Obtoczenie ziarn kwarcu jest na całym odcinku wybrzeża podobne, nieco większy udział ziarn obtoczonych obserwuje się tylko na wybrzeżach Rumunii, zwłaszcza koło Eforie.

Na polskim wybrzeżu Bałtyku ziarna kwarcu są lepiej obtoczone, najwyższe wartości obtoczenia występują w rejonie Zatoki Gdańskiej — od Helu po ujście Wisły. Prawdopodobnie jest to związane z rozyniciem wydm, które istniały na tym odcinku wybrzeża przed transgresją litto-rinową, a piaski uprzednio przerobione eolicznie wchodzą dzisiaj w skład piasków plażowych. Można by to także tłumaczyć wpływem Wisły, znoszącej obecnie i w okresie polodowcowym osady piaszczyste, które dzisiaj pokrywają dno Zatoki Gdańskiej. Osady te mogły wejść w skład piasków plażowych. Przypuszczenie to nie byłoby całkowicie zgodne z doświadczeniami Ph. H. Kuenena, który udowodnił, że wpływ środowiska rzecznoego na obróbkę ziarn kwarcu jest minimalny. Trzeba by także przyjąć, że wody Wisły przynosiły ziarna kwarcu już uprzednio eolicznie przerobione.

LITERATURA

1. Chlebowski R.: Minerały ciężkie piasków plażowych i wydmowych wybrzeża wyspy Wolin. Uniw. Warszawski, Wydz. Geologii, Biul. Geol., t. 4, Warszawa 1964.
2. Fuechtbauer H.: Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine „Erdöl und Kohle”, 12, Hamburg 1959.
3. Jowczew I. S. M.: Polezni iskopajemi na NR Bułgaria. Sofia 1960.
4. Karczewski A., Stankowski W.: Z badań wybrzeża morskiego na Pomorzu Zachodnim. Zeszyty Nauk. Uniw. im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Geografia, nr 3, Poznań 1960.
5. Krygowski B.: Z badań granulometrycznych nad utworami plejstoceniowymi w Polsce Zachodniej (Granulometric Investigations of the Pleistocene of Western Poland). I. G. Biul., 100, Z badań czwartorzędu w Polsce, t. 7, Warszawa 1956.
6. Kuenen P. H., Perdok W. G.: Experimental Abrasion. 5. Frosting and Defrosting of Quarz Grains. The Journ. of. Geology, v. 70, nr 6, Univ. of Chicago.

7. Łoziński J., Masicka H.: Badania minerałów ciężkich w piaskach plażowych Zatoki Gdańskiej (Recherches sur les minéraux lourds dans les sables littoraux du Golf de Gdańsk). Roczn. Pol. Tow. Geol., t. XXXII, z. 4, Kraków 1962.
8. Marsz A.: Geneza wydm łąbskich w świetle współczesnych procesów brzegowych. Poznańskie Tow. Przyjaciół Nauk. Wydz. Mat.-Przyr., Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, t. IV, z. 4, Poznań 1966.
9. Molnar B.: Adatok a Duna — Tisza köze fiatal harmadidőszaki és negyedkori rétegeinek tagolásához és származáshoz nehézasvány-összetétel alapján. Földtani Közlöny, 95, kötet, 2. füzet, Budapest 1965.
10. Morawski J.: Charakterystyka mineralno-petrograficzna oraz morfometria piasków i żwirów z wybrzeża wyspy Wolin. (A Mineralogic, Petrographic and Morphometric Characteristics of Sand and Gravels from Wolin Island). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. XVI (1961), 1, Lublin 1963.
11. Morawski J.: Osady piaszczyste Wyżyny Lubelskiej. Uniw. Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydz. Biol. i Nauk o Ziemi, Lublin 1965.
12. Neuman G.: Die absolute Topographie des physikalischen Meeresniveau und die Oberflächenströmungen des Schwarzen Meeres. Ann. Hydr. Marit. Meteorol., vol. 70, nr 9, 1942.
13. Racinowski R.: Litologia i dynamika tworzenia się osadów piaszczystych strefy brzegowej w Darłównku i Ustce (Lithology and Origin of Sands of the Littoral Zone at Darłówek and Ustka). Roczn. Pol. Tow. Geol., t. XXXV, z. 1, Kraków 1965.
14. Sawicka E.: Minerale ciężkie w piaskach plażowych polskiego wybrzeża Bałtyku. I. G. Biul. 10, Warszawa 1953.
15. Smulikowski K.: Minerale skałotwórcze. Warszawa 1955.
16. Turnau-Morawska M.: Utwory rzeczne doliny Bugu między Terespołem a Wyszakowem (Fluvial Deposits in the Bug Valley between Terespol and Wyszaków). Państw. Inst. Geol., Biul. 68, Warszawa 1952.
17. Wątocki W.: Piasek granatowy z Helu nad Bałtykiem (Der Granatsand von Hel am Baltischen Meer). Bull. intern. Acad. Pol. A, 1928.
18. Zienkiewicz L. A.: Fauna i biologiczeskaja produktiwnost' moria. T. II, Moria SSSR, Sowieteskaja Nauka, Leningrad 1947.

РЕЗЮМЕ

Проведены сравнительные исследования минерального состава и морфоскопии зерен пляжевых песков польского побережья Балтийского моря и пляжевых песков румынского и болгарского побережий Черного моря. Эти исследования представляют попытку сравнения песков побережий, характеризующихся различной геологической структурой. Побережья Балтийского моря построены, главным образом, из четвертичных образований, сформированных в виде валунных глин и разного типа песчаных осадков, а древние мезозойские и третичные образования не играют в структуре большой роли.

Побережья Черного моря не входили в границы плейстоценового континентального оледенения и поэтому они построены из пород разного типа и возраста, начиная от силурских осадков и кончая голоценовыми аллювиями, которые образуют дельту Дуная.

Гранулометрический состав пляжевых песков обоих морей в общем сходен. Различия отмечаются лишь только в крайних величинах параметров, а также в других границах гранулометрических коэффициентов (рис. 1, табл. 1). Кроме того пляжевые пески Черного моря являются более дифференцированными в гранулометрическом отношении. Степень отсортирования пляжевых песков обоих морей преимущественно аналогична, на побережьях Балтийского моря она колеблется от хорошего к среднему, на побережьях Черного моря — от очень хорошего к плохому.

Главнейшая черта пляжевых песков Черного моря — это большое участие известкового детрита, особенно в грубых фракциях (табл. 2). В его состав входят мелкие крошки или даже целые молодые раковины улиток, пелециподов, острокодов и фораминиферов. Зато на побережьях Балтийского моря отложения известнякового детрита не превышают нескольких процентов.

Окатанность зерен кварца была анализирована на основе пятибалловой шкалы и представлена в работе автора в 1965 году (11), и выглядит следующим образом: в пляжевых песках польского побережья Балтийского моря отмечается незначительный перевес зерен частично окатанных (СО) над окатанными (О). Угловатые зерна (К) составляют приблизительно 5%. Зерна с острыми краями не встречаются (тип „О”). Разницы в окатывании зерен между отдельными фракциями незначительны. Несколько лучше окатаны пески Гданьского залива, чем пески западного участка польского побережья.

Участие частично окатанных зерен в пляжевых песках Черного моря в среднем выше, чем в песках Балтийского моря, а окатанных зерен значительно меньше (приблизительно в 2—2,5 раза). Угловатые зерна также немногочисленны и составляют 8%. Пески румынских пляжей лучше окатаны, чем пески побережья Болгарии.

Матовость поверхности зерен кварца следующая: в пляжевых песках Балтийского моря блестящие зерна незначительно преобладают во фракциях 0,1—0,25 мм, а в грубых фракциях выступает постоянный перевес частично матовых зерен с преобладанием полностью матовых зерен по мере увеличения их размеров.

Матовость зерен кварца пляжевых песков Черного моря в общем аналогична и отличается только большим преобладанием частично матовых зерен в некоторых пробах (СМ).

Минеральный состав тяжелой фракции пляжевых песков Балтийского моря указывает на то, что в ней выступает большой процент минералов, считаемых относительно малоустойчивыми против химического выветривания, как амфиболы и гранаты, зато небольшой процент приходится на минералы очень устойчивые против выветривания, как циркон и рутил. Гранаты чаще слабо скатаны и большее количество из них составляют*розовые зерна разных оттенков, а бесцветные и коричневые гранаты немногочисленны. В некоторых пробах гранаты преобладают над амфиболами. Другие минералы, как турмалин, ставролит, дистен, эпидот, циркон, рутил, биотит, мусковит, андалузит, апатит и титанит, играют гораздо меньшую роль. Кроме того, значительный процент тяжелой фракции приходится на непрозрачные минералы.

На румынском побережье Черного моря в окрестностях Мамая и Констанцы в тяжелой фракции преобладают хлориты и мусковит, а на юге около Эфории — амфибол и гранат. На болгарских побережьях большее участие принадлежит пироксену, амфиболу и эпидоту, а меньшее — гранату. Очень устойчивые минералы, как рутил, циркон и турмалин, встречаются спорадически.

Степень механической обработки почти всех тяжелых минералов слабее, чем на польском побережье.

На основании устойчивости минералов против выветривания их разделили на три группы: I группа — очень устойчивые минералы против химического выветривания: циркон, рутил и турмалин, II группа — минералы малоустойчивые: эпидот, амфибол, пироксен и гранат; III группа — мусковит и минералы, принадлежащие к группе хлоритов.

Последняя группа представляет собой минералы в форме очень тонких плиток, которые могут перемещаться на большие расстояния. В минеральном составе пляжевых песков на румынском побережье выступает несколько видов минералов при отчетливом превосходстве хлоритов и мусковитов. Это указывает на скудность тяжелой фракции. В пляжевых песках Болгарии преобладают, в общем, минералы второй группы с меньшим или большим участием минералов первой и третьей групп.

В пляжевых песках польского побережья преобладают устойчивые минералы, принадлежащие к первой группе, однако, доминирует вторая группа, представленная, главным образом, гранатами и амфиболами.

На польском побережье в мелкозернистых песках участие граната меньше, чем в грубозернистых песках; обратное наблюдается с амфиболами, пироксенами и эпидотами. Это явление можно объяснить тем, что амфиболы и пироксены обладают превосходным свойством расщепления и под действием морских волн распадаются на мелкие крошки, собираясь в мелкозернистых песках.

Более слабая степень окатанности минеральных зерен пляжевых песков Черного моря, особенно на пляжах Болгарии, указывает на то, что пески образуются при разрушении пород, выступающих в береговой зоне, а следовательно они находятся на первичном месторождении. Зато на польском побережье окатанность зерен песка лучше, причем лучше всего окатанные пески выступают на пляжах Гданьского залива и могут происходить от размыва дюн, которые существовали в этом районе еще до литориновой трансгрессии.

ОБЪЯСНЕНИЯ К РИСУНКАМ И ТАБЛИЦАМ

Рис. 1. Максимальные и минимальные участия фракций, размеры параметров и гранулометрических коэффициентов пляжевых песков Балтийского (А) и Черного морей (В). Фракции: 1 — выше 2 мм, 2 — 2—1 мм, 3 — 1—0,5 мм, 4 — 0,5—0,25 мм, 5 — 0,25—0,1 мм, 6 — ниже 0,1 мм.

Рис. 2. Проекционные пункты степеней отсортирования пляжевых песков Балтийского и Черного морей. Степень отсортирования по П. Д. Траска (1932), границы отсортирования по Фюхтбауэру (1959).

Рис. 3. Процентное участие известкового детрита в пляжевых песках Румынии и Болгарии; 1 — известковый детрит, 2 — кварц.

Рис. 4. Окатывание зерен кварца в пляжевых песках Румынии и Болгарии: 1 — угловатые зерна (К), 2 — частично окатанные зерна (СО), 3 — окатанные зерна (О).

Рис. 5. Участие выделенных групп тяжелых минералов в пляжевых песках Балтийского и Черного морей: 1 — циркон, рутил, турмалин, 2 — эпидот, амфибол, пироксен, 3 — гранат, 4 — мусковит, хлорит.

Рис. 6. Процентное участие минеральных групп с различной устойчивостью против процессов выветривания в пляжевых песках Румынии и Болгарии: 1 — мусковит, хлорит, 2 — гранат, 3 — эпидот, амфибол, пироксен, 4 — циркон, рутил, турмалин.

Рис. 7. Вверху — пляжевые пески Балтийского моря из Ярославца. Зерна песка различной величины с преобладанием частично окатанных и окатанных зерен.

Рис. 8. Тяжелые минералы пляжевых песков Черного моря. Колонны: 1 — мусковиты, 2 — хлориты, 3 — гранаты, 4 — эпидоты, амфиболы и пироксены.

Табл. 1. Гранулометрическая характеристика пляжевых песков Балтийского и Черного морей.

Табл. 2. Участие известкового детрита органического происхождения в пляжевых песках польского побережья Балтийского моря, а также румынских и болгарских побережий Черного моря (в процентах). Знак минус обозначает ниже 0,1%, знак х — отсутствие фракции.

Табл. 3. Окатывание и потускнение зерен кварца в пляжевых песках Балтийского и Черного морей. К — угловатые зерна, СО — частично окатанные зерна, О — окатанные зерна, В — блестящие зерна, СМ — частично матовые зерна, М — матовые зерна.

Табл. 4. Участие главнейших минеральных групп в пляжевых песках Балтийского и Черного морей (в процентах).

ZUSAMMENFASSUNG

Der Verfasser führte Vergleichsuntersuchungen über die mineralische Zusammensetzung und die Morphoskopie von Sandkörnern der polnischen Ostseeküste und der rumänischen und bulgarischen Küste des schwarzen Meeres durch. Es ist eine Vergleichsuntersuchung von Sanden der Küsten verschiedenen geologischen Baues. Die Ostseeküste ist hauptsächlich aus Quartärgebilden erbaut, welche aus Geschiebelehm und verschiedenartige sandige Ablagerungen auftreten. Ältere mesozoische und Triasgebilde spielen im Bau der Küsten keine grössere Rolle ab.

Die Küsten des Schwarzen Meeres waren durch den pleistozänen Landeiseinfluss nicht mit eingefasst und in ihrem Bau haben Felsen verschiedener Art und verschiedener Formationen ihren Anteil, von silurischen Ablagerungen beginnend bis an den holozänen Alluvionen, welche das Donaudelta bauen, endend.

Die granulometrische Zusammensetzung der Strandsande beider Meere ist im allgemeinen ähnlich. Unterschiede treten nur in extremen Parameterwerten auf, sowie in anderen Bereichen der granulometrischen Koeffizienten (Abb. 1 und Tab. 1). Weiterhin sind die Strandsande des Schwarzen Meeres granulometrisch stärker differiert. Der Sortierungsgrad der Strandsande beider Meere ist meist ähnlich; an der Ostseeküste schwankt er von guter bis zur mittelguten Sortierung, an den Schwarzmeerküsten von sehr guter bis zur schlechten.

Ein Hauptmerkmal der Strandsande des Schwarzen Meeres ist ein grosser Anteil von Kalkgeröll (Kalkdetritus), hauptsächlich in gröberen Fraktionen (Tab. 2). Es sind feine Gesteinstrümmer oder sogar auch juvenile Schnecken-, Muschel-, Ostracoda-, sowie Foraminiferengehäuse. An der Ostseeküste überschreitet dagegen der Anteil des Kalkdetrituses kaum einige Prozent.

Die Abrundung der Quarzkörner nach der fünfstufigen Abrundungsskala gemessen, die in der Abhandlung des Verfassers vom Jahre 1965 (11) veröffentlicht wurde, stellt sich folgend dar: Strandsande der polnischen Ostseeküste weisen ein kleines Prozentübergewicht teilweise abgerundeter Körner (CO) über den abgerundeten (O) auf. Kantige Körner (K) treten in kleinen Mengen bis 5% auf. Scharfkantige Körner (Typus „O“) trifft man nicht an. Unterschiede in der Kornabrundung der einzelnen Fraktionen sind minimal. Ein wenig besser abgerundet sind Sande aus der Bucht von Gdańsk, als jene die in dem westlichen Küstenabschnitt Polens auftreten.

Der Anteil teilweise abgerundeter Körner ist durchschnittlich in Strandsanden des Schwarzen Meeres höher als in jenen der Ostsee. Diese Körner dominieren sehr deutlich. Der Anteil teilweise abgerun-

deter Körner ist wesentlich niedriger (etwa $2-2,5\times$) als der in Strandsanden der Ostsee angetroffenen. Kantige Körner treten ebenfalls selten auf und betragen bis 8%. Sande rumänischer Strände sind besser abgerundet als die Bulgariens.

Die Oberflächenmattierung von Quarzkörnern ist folgende: in Strandsanden der Ostsee überwiegen nur minimal in der Fraktion 0,1—0,25 mm glänzende Körner, jedoch in gröberen Fraktionen tritt ein Übergewicht teilweise matter Körner auf mit einem ansteigendem Anteil völlig matter Körner bei anwachsenden Korngrössen.

Die Mattierung der Quarzkörner von Strandsanden des Schwarzen Meeres ist im allgemeinen ähnlich, unterscheidet sich jedoch nur in manchen Proben durch einen grösseren Anteil teilweise mattierter Körner (CM).

Die mineralische Zusammensetzung der Schwerfraktion in Strandsanden der Ostseeküste weist darauf hin, dass dort ein grosser Prozentsatz solcher Mineralien auftritt, die verhältnismässig als schwach widerstandsfähig gegen chemische Verwitterung angesehen werden: Amphibole und Granate. Einen sehr niedrigen Prozentsatz bilden Mineralien, die gegen Verwitterung sehr widerstandsfähig sind, solche wie Zirkone und Rutil. Granate sind meist schwach abgerundet, es überwiegen rosa gefärbte Körner in verschiedenen Farbtönen. Weniger zahlreich treten farblose und braune Granate auf. In manchen Proben überwiegen Granate über Amphibolen. Andere Minerale, solche wie Turmalin, Staurolith, Disthen, Epidot, Zirkon, Rutil, Biotit, Muskowit, Andalusit, Apatit und Sphen spielen hier eine mindere Rolle ab. Ausserdem weisen undurchsichtige Mineralien in der Schwerfraktion einen wesentlichen Prozentsatz auf.

An der rumänischen Schwarzmeerküste in der Umgegend von Mamaia und Constanca dominieren in der Schwerfraktion Chlorite und Muskowite, im Süden bei Eforie Amphibole und Granate. An der bulgarischen Küste überwiegen Pyroxene, Amphibole und Epidote, einen kleineren Anteil haben Granate. Jedoch sehr beständige Minerale, solche wie Rutil, Zirkon und Turmalin treten nur sporadisch auf.

Der mechanische Abschleifungsgrad fast aller Schwermineralien ist schwächer als an der polnischen Küste.

Der Verfasser sonderte drei Mineraliengruppen auf Grund ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Verwitterungseinflüsse aus. Der ersten Gruppe zählte er Minerale an, die gegen chemische Verwitterungseinflüsse sehr widerstandsfähig sind, solche wie Zirkon, Rutil und Turmalin. Der zweiten Gruppe gehören Minerale von schwacher Widerstandsfähigkeit an: Epidot, Amphibol, Pyroxen und Granat, der dritten Gruppe — Muskowit und Minerale der Chloritgruppe.

Die letzte Gruppe repräsentieren Minerale mit Plättchenschichtung, welche leicht auf weite Entfernungen übertragen werden können. In der Mineralienzusammensetzung der Strandsande Rumäniens treten kaum einige Mineralarten auf, wobei Chlorite und Muskowite dominieren. Dies weist darauf hin, dass die Schwerfraktion dort verarmt ist. In Strandsanden Bulgariens überwiegen in allegemeinen Mineralien der zweiten Gruppe, bei minderem oder grösserem Anteil derer, die in der ersten und dritten Gruppe auftreten.

In Strandsanden der polnischen Küste ist der Anteil widerstandsfähiger Mineralien, solcher die zur ersten Gruppe angerechnet wurden, höher. Es dominieren jedoch Mineralien der zweiten Gruppe, die hauptsächlich durch Granate und Amphibole repräsentiert wird.

An der polnischen Küste ist in feinkörnigen Sanden der Anteil der Granate minder, als in grobkörnigen Sanden; umgekehrt ist es mit dem Anteil von Amphibolen, Pyroxenen und Epidoten. Diese Erscheinung wäre wohl damit zu deuten, dass Amphibole und Pyroxene eine ausgezeichnete Spaltbarkeit besitzen und durch den Einfluss der Meerwellen splintern, um sich dann in den feinkörnigen Sanden wieder zu sammeln.

Ein schwächerer Abrundungsgrad der Mineralkörner in Strandsanden des Schwarzen Meeres, hauptsächlich an dem Strand Bulgariens weist darauf hin, dass diese Sande aus vernichteten Felsen der Küstenzone entstehen, also sie befinden sich auf ihrem ursprünglichen Muttergesteinsgebiet. An der polnischen Küste ist die Kornabschleifung der Sande besser, wobei die am besten abgeschliffenen Sande in der Bucht von Gdańsk anzutreffen sind und aus Dünenauswaschungen stammen können, welche auf diesem Gebiet noch vor der litorinen Transgression Platz hatten.