

ANNALES  
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA  
LUBLIN — POLONIA

VOL. XXI, 4

SECTIO B

1966

Z Zakładu Geografii Fizycznej UMCS  
Kierownik: prof. dr Adam Malicki

Jan TREMBACZOWSKI

**Barchany północnego brzegu jeziora Char us nuur w Kotlinie  
Wielkich Jezior (zachodnia Mongolia)<sup>1</sup>**

Barchane des nördlichen Seeufers von Char us nuur im Becken  
der Grossen Seen (westliche Mongolei)

Na rozległych powierzchniach piasków południowej i zachodniej Mongolii występują skupienia różnych form eolicznych. Są to przeważnie wały wydmowe, pagórki oraz kopczyki (Kozłow — 3, Murzajew — 5, Masłowski i Trembaczowski — 4). W Kotlinie Wielkich Jezior nierzadko spotkać można również i małe nagromadzenia piasków eolicznych, a na ich powierzchniach niewielkie misy deflacyjne i — w ich sąsiedztwie — skupienia kopczyków piaszczystych. Wspomniane formy występują na powierzchniach różnych elementów rzeźby, nie wyłączając przełęczy, a nawet stoków górskich. O wiele rzadziej natomiast na piaszczystych obszarach południowej i zachodniej Mongolii występują barchany. Klasycznych barchanów, wykształconych na twardej powierzchniach takyrów jest bardzo mało i nie tworzą zwartych skupień. Należy podkreślić, iż łańcuchy barchanów są w Mongolii zjawiskiem raczej rzadkim. Sporadycznie jednak występują na peryferiach wielkich takyrów (Murzajew — 5).

Z przytoczonych względów niemałe wrażenie wywrzeć może łańcuch barchanów, którego poszczególne pagórki wykształcone są w postaci półwyspów albo nawet wysp wyrastających z pod tafli jeziornej. To osobliwe, być może nawet jedyne w swoim rodzaju usytuowanie łańcucha barchanów było przyczyną poświęcenia im uwagi.

<sup>1</sup> Spostrzeżenia poczynione w Mongolii w okresie prac Polskiej Ekspedycji Geologicznej (1962—1964), której kierownikiem był dr Edmund Rutkowski.

FIZYCZNO-GEOGRAFICZNA CHARAKTERYSTYKA  
JEZIORA CHAR US NUUR

Bezwzględna wysokość poziomu jeziora Char us nuur wynosi 1153 m. Jezioro to — wraz ze skalistą i górzystą wyspą Ak-baszi — zajmuje powierzchnię 1760 km<sup>2</sup>. Wydłużone w kierunku NE—SW osiąga 78 km długości, zaś jego szerokość dochodzi do 26 km. Zlewnia jeziora jest duża i wynosi 70450 km<sup>2</sup>. Jezioro Char us nuur jest zbiornikiem płytkim, o głębokości nie przekraczającej 7,5 m. Ta największa głębokość<sup>2</sup> poznana została w części środkowo-zachodniej jeziora, tuż u podstawy wysuniętej w stronę otwartego jeziora delty rzeki Kobdo. Powierzchnia tej delty opada bardzo wyraźnie i dość gwałtownie ku głębokiej rynnie o przebiegu równoległym do podstawy delty.<sup>3</sup> Południowa część jeziora jest płytka (do 2 m głębokości) i zarosnięta trzcina. Ta część jeziora<sup>4</sup> przechodzi stopniowo w zabagnioną i solonczakową nizinę nadbrzeżną. Podobnie płytka jest cała północno-wschodnia część („Chojtu dałaj”) odgradzona od głównej misy jeziornej wyspą Ak-baszi. Dno tej części zbiornika również porasta trzcina. Nieco głębsza i wolna od zarastania jest północna cieśnina, przez którą nadmiar wód jest odprowadzany do rzeki Czono-charajch („Wilczy skok”), łączącej jezioro Char us nuur z jeziorem Char nuur, odległym o około 30 km na wschód.

Brzegi jeziora Char us nuur są różnorodne, choć na ogół mało urozmaicone. Przeważnie są to brzegi piaszczyste względnie piaszczysto-żwirowe, z wyjątkiem południowej części jeziora oraz obszaru delty rzeki Kobdo, gdzie na dużych powierzchniach występują bagna z szuwarami oraz solonczaki. Tylko we wschodniej części jeziora wyraźnie zmienia się charakter brzegu. W miejscu, gdzie potężny masyw Żargalant-chajrchan schodzi do poziomu jeziora, brzeg jest skalisty.

Jezioro Char us nuur jest przepływowe. Zasilane jest głównie wodami stosunkowo dużej rzeki Kobdo. Nadmiar wody jeziornej odpływa rzeką Czono-charajch do jeziora Char nuur. Z tego względu wody jeziora Char us nuur są stosunkowo mało zasolone: 0,11—0,24 g na 1 litr (południowa część jeziora wykazuje większe zasolenie). Nieco większy

<sup>2</sup> Wartość ta różni się od hipotetycznej głębokości 15—20 m, sugerowanej przez Murzajewa (5), który w okresie swoich badań nie dysponował dokładniejszymi wskaźnikami. Dopiero latem 1963 r. po raz pierwszy pomiary głębokości całego jeziora wykonała grupa hydrogeologiczna Polskiej Ekspedycji Geologicznej w Mongolii.

<sup>3</sup> Informacja ustna od mgra L. Mączki, który dokonał pomiarów głębokości jeziora Char us nuur (Kościelniak i Mączka — 2).

<sup>4</sup> Płytkie dno jeziora szczególnie dobrze jest widoczne z samolotu w letnie, słoneczne południe. Można wówczas obserwować dość rozległe i jasne, szarawo-żółte powierzchnie mielizn, które tu i ówdzie pooddzielane są fragmentami nieco głębszego dna jeziora.

udział soli (0,26 g/l) wykazują wody jeziora Char nuur, zaś południowa część tego zbiornika o nazwie Dürge (Döröö), połączona wąską odnogą z jeziorem Char nuur, charakteryzuje się zasoleniem wynoszącym do 4,0 g.



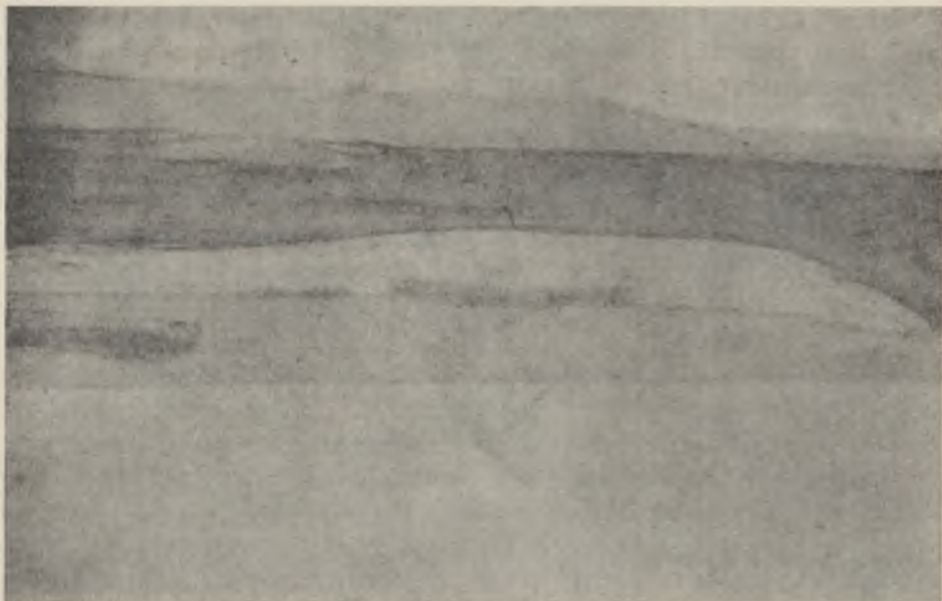
Ryc. 1. Jezioro Char us nuur i obszary przyległe; 1 — obszar występowania barchanów, 2 — rzeki stałe, 3 — rzeki okresowe, 4 — sołoncaki, 5 — bagna, 6 — punkty wysokościowe

Der See Char us nuur und anliegende Gebiete; 1 — Gebiet, auf dem Barchane auftreten, 2 — ständige Flüsse, 3 — zeitweise Wasser führende Flüsse, 4 — Salztümpel, 5 — Moore, 6 — Höhenpunkte

#### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ŁAŃCUCHA BARCHANÓW

Na północnym brzegu jeziora Char us nuur, w okolicy Dörgön-somonu<sup>5</sup>, występują piaski ze żwirami oraz — rzadziej — gliny. Utwory

<sup>5</sup> Somon — mongolska nazwa powiatu. Równocześnie wyjaśnić należy, iż usytuowanie na załączonej mapce (ryc. 1) miejscowości Dörgön jest nieaktualne, gdyż miejscowość ta przeniesiona została o kilkanaście kilometrów w kierunku zachodnim.



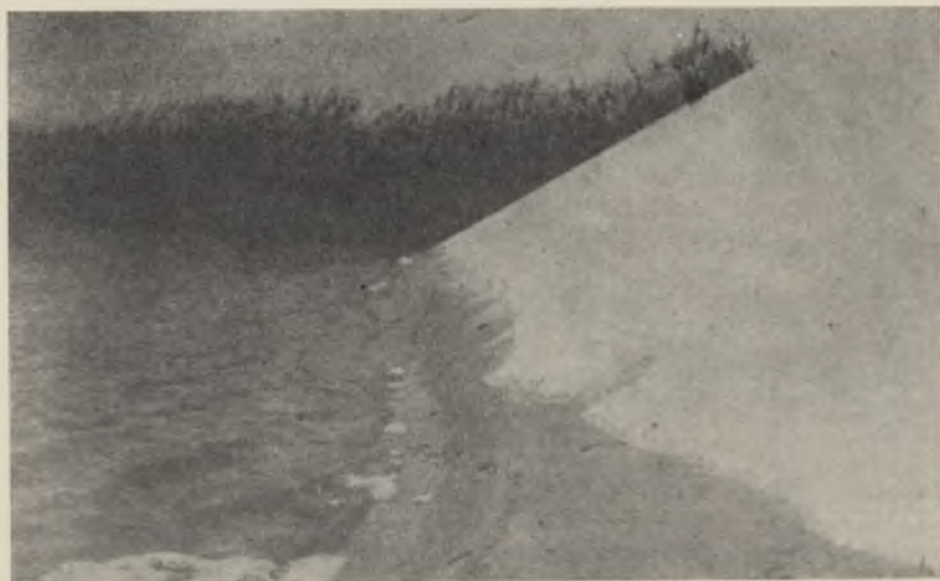
Fot. 1. Ogólny widok łańcucha barchanów. Na pierwszym planie — dowietrzny stok największego barchanu-wyspy. W środku — analizowany barchan  
 Allgemeinansicht der Barchankette. Im Vordergrund ist die Luvseite des grössten Barchans, und in der Mitte — die analysierte Düne zu sehen



Fot. 2. Jeden z barchanów zanurzonych w wodzie jeziora Char us nuur. Od strony odwietrznej — szuwary  
 Eine der Dünen, die ins Wasser des Sees Char us nuur hinabreicht. An der Leeseite ist Schilfrohr ersichtlich



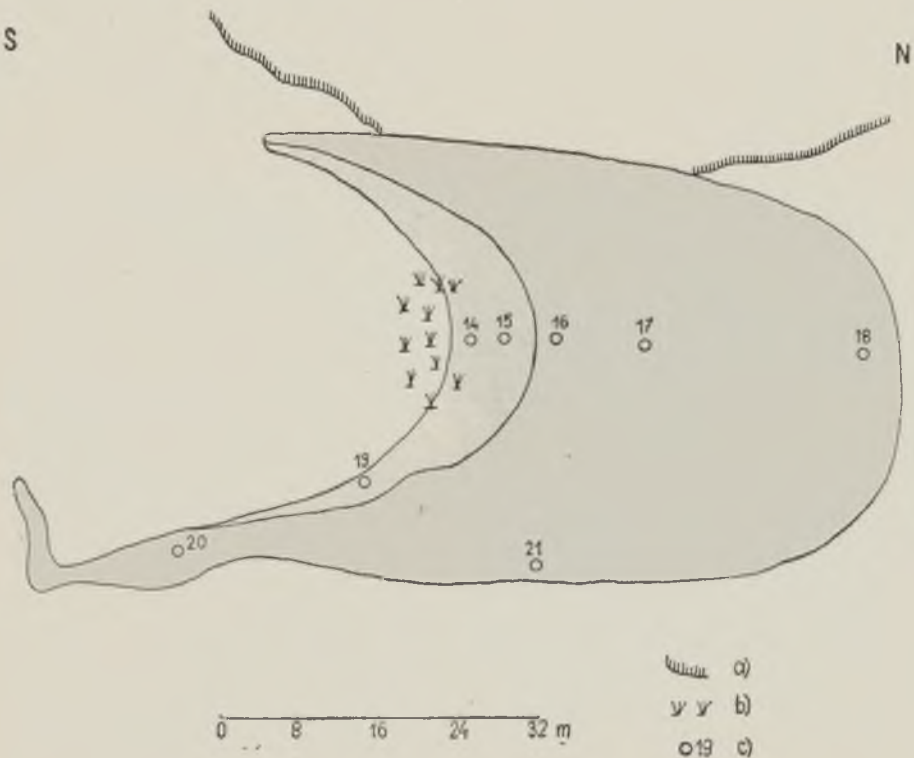
te, zabagnione gdzieś na skutek okresowych zalewów wodami jeziora, budują niską terasę jeziorną o średniej szerokości około 1 km. W NW części jeziora terasa ta wyraźnie się rozszerza i jej szerokość dochodzi do 6 km. Na jej powierzchni występują dość często piaszki eoliczne, które wyraźnym klinem wchodzą w jezioro i budują półwysp wydłużony w kierunku SE. Wzdłuż linii brzegowej tego półwyspu uformowany został łańcuch barchanów, który wyciągnięty jest w kierunku południkowym; składa się on z siedmiu pagórków wydmy, oddzielonych jeden od drugiego o kilkaset metrów (około 200—500 m). Wspólną cechą wszystkich barchanów jest fakt, iż przeważającą część ich podstaw (obwodów) oblewają wody jeziora. Ramiona wszystkich wydm otwarte są w kierunku południowym, w stronę jeziora. Wysokość barchanów jest różna i waha się od około 8—16 m i dochodzi do około 25 m. Taką wysokość osiąga ostatni w łańcuchu pagórków barchan będący wyspą; jednocześnie jest on najdalej wysunięty na południe, w stronę otwartego jeziora.



Fot. 3. Odwietrzny stok analizowanego barchanu. Na pierwszym planie — wyraźna faleza (do ok. 60 cm wysokości). W środku — szuwary u stóp wydmy  
 Leeseite der analysierten Düne. Im Vordergrund — ein deutliches Kliff  
 (bis 60 cm Höhe). In der Mitte — schilfbewachsener Fuss der Düne

Szczegółowsze badania przeprowadzono na przedostatnim pagórku, usytuowanym w bezpośrednim sąsiedztwie z barchanem największym (odległym o około 70 m). Pagórek ten wznosi się do wysokości około 8 m ponad taflę jeziora. Regularne na ogół zarysy barchanu są nieco znie-

kształcone we wschodnim ramieniu, co zaznacza się w postaci wygięcia krawędzi grzbietowej, oddzielającej stok dowietrzny od stoku odwietrznego. Równocześnie ramię to jest wyciągnięte i wydłużone w kierunku SE i przechodzi w wąski, piaszczysty wał wznoszący się do około 50 cm ponad powierzchnię wody. Stok odwietrzny barchanu nachylony jest pod kątem do  $33^\circ$ . Piaski tego stoku — w przypadku zachwiania jego równowagi — zsypują się swobodnie i równomiernie po całej jego powierzchni i wydają charakterystyczne odgłosy (skrzypienie). Stok dowietrzny jest długi i wykazuje nachylenie około  $12^\circ$ . Jego podstawa od strony wschodniej (od strony otwartego jeziora) odcina się od powierzchni wody wyraźną falezą, wysoką do 60 cm.



Ryc. 2. Plan barchanu; a — brzeg jeziora, b — roślinność (szuwały), c — miejsca pobranych prób i ich numery

Skizze des Barchan; a — Seeufer, b — Schilfrohr, c — Stellen an denen Proben entnommen wurden und ihre Bezeichnung mit Nummern

Z wydmy tej pobrano ogółem 8 prób: 5 w przekroju poprzecznym przez środkową, najwyższą część wydmy (numery prób 14—18), zaś pozostałe próby (19—21) pochodzą z różnych miejsc na wschodnim ramieniu tej formy. Uproszczony plan wydmy oraz miejsca pobrania prób

przedstawiono na ryc. 2. Wszystkie próby pochodzą z powierzchni wydmy, z głębokości do 10 cm. Oprócz wspomnianych ośmiu prób wzięty również został do analizy piasek z północnego brzegu jeziora. Miejsce pobrania tej próby (nr 22) jest odległe od badanego barchanu o około 9 km w kierunku ENE.

## MATERIAŁ WYDMY

Na materiał barchanu składają się jasne, żółtawe piaski średnioziarniste, dość dobrze wysortowane. Głównym składnikiem tego tworzywa są ziarna wielkości 0,50—0,25 mm, których średni udział wynosi 56,0%, oraz ziarna wielkości 0,25—0,10 mm, występujące w średniej ilości 43,33%. Wszystkie ziarna pozostałych frakcji występują zatem w ilości minimalnej, co ilustruje tabela 1.

Tab. 1. Uziarnienie piasków barchanu oraz utworu budującego północny brzeg jeziora Char us nuur  
Granulometrische Zusammensetzung der Sande der Sieldüne und der Gebilde des nördlichen Seeufers Char us nuur

Numer próby Probe- nummer	Udział wagowy (w %) poszczególnych frakcji ziarn w mm Gewichtsanteil (in %) der einzelnen Kornfraktionen in mm							Waga próby (w gramach) Gewicht der Probe (in Grammen)
	> 2,00	2,00— 1,00	1,00— 0,50	0,50— 0,25	0,25— 0,10	0,10— 0,06	< 0,06	
14	—	—	0,36	60,55	39,08	0,01	—	366,3
15	—	—	0,36	38,09	61,54	0,01	—	382,0
16	—	—	0,11	58,32	41,16	0,39	0,01	435,8
17	—	—	0,86	60,96	37,78	0,37	0,01	335,2
18	—	—	0,87	48,24	50,76	0,12	0,01	371,0
19	—	—	0,14	51,95	47,85	0,05	0,01	464,0
20	—	0,11	1,11	77,83	20,90	0,02	0,02	229,4
22	0,83	40,24	58,02	0,41	0,36	0,09	0,04	420,0
Średnio* Mittelwert*	—	0,01	0,52	56,00	43,33	0,11	0,01	378,1

\* bez próby nr 22 — ohne Probe Nr. 22

Na tworzywo wydmy pod względem mineralogicznym składają się głównie ziarna kwarcu. Średni ich udział w przekroju całego barchanu wynosi około 84% (tab. 3). Dopelnienie do 100% stanowią głównie ziarna skaleni oraz minerały ciężkie (tab. 4).

Reakcja piasków barchanu z 10%-owym HCl jest na ogół słaba i krótkotrwała, co wskazywałoby na nikły udział w nich substancji węglanowej.

Charakteryzując ogólnie piaski analizowanej wydmy nie można pominąć faktu występowania czarnego „kołnierza”, złożonego z tlenków żelaza (głównie magnetytu i hematytu), które osadziły się u podnóża barchanu — na poziomie około 30 cm ponad lustrem wody — w wyniku działania fali jeziornej.

**Uziarnienie piasków.** Analiza wyników uziarnienia piasków barchanu wykazuje, iż bezwzględna przewaga ziarn nie zawsze jest udziałem frakcji 0,50—0,25 mm (tab. 1). W niektórych przypadkach bowiem ziarna frakcji 0,25—0,10 mm ilościowo dorównują ziarnom grubszym albo nawet występują w przewadze nad nimi. To zróżnicowane rozmieszczenie ziarn w wydmie wykazuje jednak pewną prawidłowość uzależnioną morfologiczną charakterystyką poszczególnych elementów wydmy. Największą różnicą udziału obu wymienionych frakcji charakteryzuje się kulminacja wydmy, gdzie ziarna grubsze przeważają nad drobniejszymi o 17%. Na stoku odwiertnym ziarna obu frakcji występują w równowadze, natomiast stok dowietrzny charakteryzuje się wartościami pośrednimi: ziarno grubsze przeważa tu różnicą 10%.

Gdy chodzi o charakterystykę pozostałych frakcji, to podkreślić należy, iż wszystkie razem wzięte stanowią tylko znikomy odsetek tworzywa barchanu. Ziarna frakcji 1,00—0,50 mm częściej jednak występują na stoku dowietrznym niż na odwiertnym, a w ilości jeszcze mniejszej — na kulminacji, zaś ziarna frakcji 0,10—0,06 mm są najliczniejsze na kulminacji wydmy, a na stoku odwiertnym występują za ledwie w śladach (0,01%). Również w śladach występują ziarna najdrobniejsze (poniżej 0,06 mm), i to zarówno na kulminacji jak i na stoku dowietrznym, gdy tymczasem stok odwiertny nie zawiera ich wcale. Ogólnie można więc wnioskować, iż stok odwiertny najuboższy jest w ziarna najdrobniejsze.

**O b t o c z e n i e z i a r n k w a r c u.** Wyniki analizy obtoczenia ziarn kwarcu zamieszczone zostały w tabeli 2. Średni udział ziarn obtoczonych i średnio obtoczonych maleje systematycznie w kierunku frakcji najdrobniejszej, zaś ziarna słabo obtoczone i ostrokrawędziste wykazują zależność odwrotną.

Podobnie jak w przypadku uziarnienia, również i charakter obtoczenia i oszlifowania ziarn wykazuje zróżnicowanie uwarunkowane morfologią poszczególnych elementów wydmy. Ziarna obtoczone liczniej występują na stoku dowietrznym niż odwiertnym, zaś na kulminacji wydmy jest ich najmniej. Inaczej niż obtoczone zachowują się ziarna średnio obtoczone: najliczniej występują one na stoku odwiertnym, zaś przeciw-



Tab. 2. Obróbka mechaniczna ziarn kwarcu w piaskach barchanu oraz w utworach północnego brzegu jeziora Char us nuur  
 Mechanische Bearbeitung der Quarzkörner in Sanden des Barchan und Gebilden des nördlichen Seeufers Char us nuur

Numer próby Probe- nummer	Wielkość ziarn w mm Korn- fraktio- nen in mm	Stopień obróbki mechanicznej (w % ilościowych) Mechanische Bearbeitung (in Prozentanzahl)								
		Obtroczenie Nach dem Abrundungsgrad					Oszlifowanie Nach dem Mattie- rungsgrad			
		I	II	III	IV	V	1	2	3	
14	1,00—0,50	0,5	9,0	73,5	12,5	4,5	7,0	70,5	22,5	
	0,50—0,25	—	3,0	47,0	37,0	13,0	17,0	73,5	9,5	
	0,25—0,10	—	2,0	55,0	31,0	12,0	10,5	20,0	9,5	
15	1,00—0,50	1,0	20,0	62,5	13,0	3,5	5,5	71,5	23,0	
	0,50—0,25	—	6,0	42,5	43,0	8,5	12,5	65,5	22,0	
	0,25—0,10	—	1,5	41,0	43,0	14,5	19,0	62,0	19,0	
16	1,00—0,50	0,5	9,5	64,5	17,0	8,5	3,5	68,0	28,5	
	0,50—0,25	—	4,5	48,0	28,5	19,0	9,5	66,5	24,0	
	0,25—0,10	—	2,5	49,5	34,0	14,0	8,0	69,0	23,0	
17	1,00—0,50	0,5	16,0	67,0	13,0	3,5	2,0	60,0	38,0	
	0,50—0,25	—	7,5	46,5	33,0	13,0	12,5	62,5	25,0	
	0,25—0,10	—	2,5	35,5	44,0	18,0	15,0	63,0	22,0	
18	1,00—0,50	1,0	27,0	52,5	14,0	5,5	7,5	64,0	28,5	
	0,50—0,25	—	7,5	41,0	40,5	11,0	9,0	68,0	23,0	
	0,25—0,10	—	3,5	47,0	29,5	20,0	12,0	67,0	21,0	
19	1,00—0,50	1,0	18,0	56,5	20,0	4,5	3,0	66,0	31,0	
	0,50—0,25	—	3,0	46,0	42,0	9,0	9,0	71,0	20,0	
	0,25—0,10	—	2,5	28,5	49,0	20,0	11,5	68,0	20,5	
20	1,00—0,50	1,0	25,0	51,0	19,0	4,0	3,0	74,0	23,0	
	0,50—0,25	—	5,5	37,5	48,0	9,0	10,0	64,0	26,0	
	0,25—0,10	—	5,0	40,0	44,0	11,0	17,0	54,0	29,0	
22	1,00—0,50	1,5	20,5	45,0	27,0	6,0	—	71,5	28,5	
	0,50—0,25	—	11,0	53,0	31,5	4,5	5,0	55,0	40,0	
	0,25—0,10	—	3,0	43,0	36,0	18,0	1,0	61,0	38,0	

Objaśnienia: I — ziarna zupełnie obtoczone, II — obtoczone, III — średnio obtoczone, IV — słabo obtoczone, V — ostrokrawędziste; 1 — ziarna błyszczące, 2 — półbłyszczące, 3 — matowe

U w a g a: w każdej frakcji analizowano po 400 ziarn kwarcu

I — völlig abgerundete Körner, II — abgerundete, III — mittelmässig abgerundete, IV — schwach abgerundete, V — scharfkantige Körner: 1 — glänzende Körner, 2 — halbgänzende Körner, 3 — matte Körner

In sämtlichen Fraktionen wurden 400 Quarzkörner analysiert

legły stok zawiera ich najmniej; kulminacja natomiast charakteryzuje się wartością pośrednią. Udział ziarn słabo obtoczonych jest minimalnie różnicowany na obydwu stokach wydmy, za to ziarna te są mniej licz-

nie reprezentowane na kulminacji. Podobna zależność dotyczy ziarn ostrokrawędzistych. Należy jednak podkreślić, iż ostrokrawędziste ziarna są w barchanie na ogół słabo reprezentowane.

W zakończeniu uwag dotyczących charakteru obtoczenia ziarn, warto podkreślić pewien szczegół o znaczeniu być może istotnym dla poznania warunków i procesów obróbki mechanicznej ziarn kwarcu. Bowiem zarówno w piaskach barchanu, jak również i w wielu innych luźnych utworach występujących w Kotlinie Wielkich Jezior, najlepsze obtoczenie wykazują ziarna kwarcu mlecznego oraz w ogóle wszystkie ziarna nieprzeźroczyste i mętne. Zjawisko to wiąże się z obecnością licznych wrostków (stałych, ciekłych i gazowych), co zapewne wpływa na mniejszą odporność ziarn i przyspiesza ścieranie ich powierzchni.

Tab. 3. Udział kwarcu w piaskach barchanu oraz w utworze północnego brzegu jeziora Char us nuur (w %% ilościowych)  
Der Quarzanteil in Sanden des Barchan und Gebilden des nördlichen Seeufers Char us nuur (in Prozentanzahl)

Numer próby Probenummer	Frakcje ziarn w mm Kornfraktionen in mm			Średnio Mittelwert
	1,00—0,50	0,50—0,25	0,25—0,10	
14	79,1	87,0	87,7	84,6
15	77,0	83,9	85,4	82,1
16	73,0	84,6	84,0	80,5
17	80,5	86,5	85,5	84,2
18	79,0	87,0	88,0	84,7
19	76,0	91,5	89,3	85,6
20	82,5	81,0	89,0	84,2
22	28,0	75,5	90,5	64,7
Średnio* Mittelwert*	78,3	85,8	87,1	83,8

\* bez próby nr 22 — ohne Anteil der Probe 22

O s z l i f o w a n i e z i a r n k w a r c u. Charakterystykę oszlifowania ziarn należy poprzedzić ogólnym stwierdzeniem, iż materiał barchanu zawiera stosunkowo mało ziarn matowych, przy jednocześnie względnie dużym udziale ziarn błyszczących. W ogólnym bilansie ziarna matowe stanowią niespełna 1/4 część wszystkich ziarn w przekroju całej wydmy, zaś błyszczące — około 1/10. Pozostała część, stanowiąca 2/3 wszystkich ziarn, to ziarna półbłyszczące. Podobnie jak w przypadku obtoczenia — ziarna błyszczące i matowe wykazują prostą zależność oszlifowania od ich wielkości. Udział ziarn matowych jest największy we frakcji najgrubszej i maleje wraz z drobniejącym ziarnem, podczas gdy ziarna błyszczące wykazują zależność odwrotną.

W przekroju poprzecznym barchanu udział ziarn błyszczących wykazuje małe wahania. Najmniejszą wartość ziarna te osiągają na kulminacji, zaś największą — na stoku odwiertnym. Stok dowietrzny charakteryzuje się wartością pośrednią. Inaczej niż ziarna błyszczące rozmieszczone są w wydmie ziarna matowe, które najliczniej występują na kulminacji, a nieco mniej licznie na stoku dowietrznym, podczas gdy odwiertny stok jest najuboższy w te ziarna.

**Minerały ciężkie.** Udział minerałów ciężkich w piaskach barchanu jest umiarkowany i wynosi w średnim stosunku wagowym 2,2%, natomiast dość ubogi jest ich skład mineralogiczny. Poza dominującą grupą amfiboli i epidotu, które razem stanowią około 2/3 wszystkich minerałów ciężkich, występuje jeszcze w dostatecznej ilości tylko grupa tlenków żelaza (wśród nich przeważa hematyt nad limonitem i mniej liczny magnetyt) oraz piroksenów. Pozostała, nieduża grupa minerałów ciężkich występuje w małej ilości, przy czym niektóre z nich (apatyt, cyrkon, granaty) występują we wszystkich próbach, zaś inne, jak rutyl, turmalin, tytanit, anataz i oliwin, biorą udział tylko sporadycznie i w ilości znikomej.

Tab. 4. Minerały ciężkie w piaskach barchanu oraz w utworach północnego brzegu jeziora Char us nuur (frakcja ziarn 0,25—0,10 mm)  
Schwerminerale in Sanden des Barchan und Gebilden des nördlichen Seeufers Char us nuur (Kornfraktion 0,25—0,10 mm)

Numer próby Probenummer	Minerały ciężkie (w % wagowych) Schwerminerale (Gewichtspro- zente)	Skład mineralogiczny (w % ilościowych) Mineralogische Zusammensetzung (in Prozentanzahl)												
		cyrkon Zirkon	rutyl Rutil	turmalin Turmalin	granaty Granate	epidot Epidot	apatyt Apatit	tytanit Titanit	anataz Anatas	oliwin Olivin	pirokseny Pyroxene	amfibole Amphibole	biotyt Biotit	tlenki Fe Eisenoxyde
14	0,7	0,5	—	—	—	38,5	3,0	—	—	—	14,0	29,0	—	15,0
15	0,7	2,0	—	—	1,5	26,0	4,0	—	—	—	10,0	38,0	—	18,5
16	3,3	2,5	—	—	1,0	27,0	1,0	—	—	—	15,5	41,0	—	12,0
17	3,7	1,5	1,0	0,5	1,5	27,5	2,5	—	0,5	1,0	12,0	34,5	—	17,5
18	2,3	1,0	—	—	1,0	37,5	3,0	0,5	—	1,0	12,5	30,5	—	13,0
19	1,0	0,5	0,5	—	1,0	36,5	2,5	0,5	—	1,0	19,0	28,5	—	10,0
20	2,0	2,0	—	—	0,5	34,0	6,5	—	—	1,0	13,5	30,0	—	12,5
22	3,8	1,0	—	—	0,5	27,5	3,5	—	—	0,5	14,5	32,5	1,0	19,0
Średnio Mittel- wert	2,2	1,3	0,2	0,1	1,0	31,7	3,1	0,1	0,1	0,7	13,7	32,4	0,1	14,7

Analizując rozmieszczenie ciężkiej frakcji w przekroju poprzecznym barchanu, stwierdzić należy nikły jej udział na stoku odwiertnym, zaś wyraźnie większy po stronie przeciwnej oraz na kulminacji. Na ogół



frakcja ciężka występuje w mniejszej ilości u podnóża wydmy aniżeli w wyższych jej częściach.

Najbogatszy zestaw minerałów ciężkich, zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym, występuje na stoku dowietrznym barchanu, natomiast stok odwietrzny jest pod tym względem najuboższy. Należy podkreślić, iż na stoku tym ciężkie minerały występują nie tylko w małej ilości wagowej, ale również bardzo skromny jest ich zestaw jakościowy, co zaznacza się zupełnym brakiem rutylu, turmalinu, tytanitu, anatazu i oliwinu.

Udział w wydmy poszczególnych grup minerałów ciężkich jest dość charakterystyczny. Tak np. najliczniej reprezentowane amfibole osiągają maksymalną wartość w kulminacji barchanu (41,0%), zaś minimalne wartości tego minerału przypadają na miejsca najniższe, bez względu na usytuowanie formy w stosunku do kierunku wiatru wydmotwórczego. Zachodzi tu więc bardzo wyraźna tendencja do koncentrowania się tych minerałów w najwyższych częściach wydmy. Można by zjawisko to tłumaczyć większą podatnością amfiboli na transport eoliczny. Ciężar właściwy amfiboli jest stosunkowo nieduży i waha się od 2,8 do 3,6. Równocześnie amfibole posiadają zdolność łatwego rozdrabniania się dzięki dobrej łupliwości, co z kolei — w przypadku świeżej postaci krystalograficznej tego minerału (głównie hornblenda) — może decydować o większej „ruchliwości” jego ziarn w strumieniu wiatru (brak kształtów opływowych przy jednocześnie zwiększonej powierzchni ziarenek). Zupełnie inaczej ziarenka te zachowują się na stoku odwietrznym, w cieniu wiatru; brak opływowych kształtów ziarenek wpływa tu hamująco na ich grawitacyjne staczanie się po stoku. Odmiennie natomiast przedstawia się rozmieszczenie epidotu w wydmy (ciężar właściwy 3,35—3,40), minerału równie liczego, jak amfibole. Epidot występuje w barchanie w ziarenkach stosunkowo dobrze obtoczonych; stąd też warunki transportu i akumulacji tego minerału przebiegają odmiennie: największe nagromadzenie epidotu występuje u podstawy wydmy, mniejsze zaś na jej wierzchołku i na stokach. Pozostałe dwie, dość liczne grupy minerałów ciężkich, to tlenki żelaza i pirokseny. Maksymalne wartości piroksenów przypadają na podstawy obydwu stoków, zaś w środkowych ich częściach występują wartości minimalne. Bardzo liczny udział biorą one również w budowie wierzchołka wydmy. Inaczej niż pirokseny rozmieszczone są w barchanie tlenki żelaza, których minimalne wartości przypadają na podstawy obu podnóży, a maksymalne na środkowe części stoków; na kulminacji jest ich najmniej.

W ogólnej analizie charakterystyki minerałów ciężkich w barchanie na uwagę zasługuje umiarkowany udział wszystkich grup minerałów u podnóża stoku dowietrznego.



Zawartość Ca w piaskach barchanu. Chemiczne oznaczenie elektrolitu wapnia (Ca) metodą fotometrii płomieniowej (fotometr płomieniowy firmy Zeiss) wykazało zróżnicowany udział Ca, uzależniony od wielkości frakcji oraz od poszczególnych elementów morfologicznych barchanu. Wielkość udziału Ca jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości frakcji, co zgodnie potwierdzają wyniki wszystkich analizowanych prób (tab. 5).

Tab. 5. Zawartość Ca w piaskach barchanu (frakcje 0,25—0,10 mm oraz 0,10—0,06 mm) oraz reakcja tych piasków z 10% HCl  
Gehalt von Ca in Sanden des Barchan (Fraktionen 0,25—0,10 mm sowie 0,10—0,06 mm) sowie Reagenz der Sande mit 10% HCl

Numer próby Probenummer	Frakcja 0,25—0,10 mm Kornfraktion 0,25—0,10 mm		Frakcja 0,10—0,06 mm Kornfraktion 0,10—0,06 mm	
	% Ca	reakcja Reagenz	% Ca	reakcja Reagenz
14	5,48	++ ::	6,71	++ ::
15	4,90	++++ :: ○	7,51	+++ ::
16	5,10	++++ :: ○	5,36	++++ ○
17	3,38	++++ :: ○	6,15	++++ ::
18	4,02	++++ ::	6,65	+ ○
19	2,57	+++ ::	6,89	+++ ::
20	2,95	+++ ::	(brak frakcji—Fraktion fehlt)	
22	0,46	—	0,45	—

Objaśnienia: — brak reakcji; + — reakcja minimalna (ledwo dostrzegalna); ++ — reakcja bardzo słaba; +++ — reakcja słaba; ++++ — reakcja średnia; :: — reakcja punktowa (reagują pojedyncze ziarenka); o — reakcja ogólna (w całej masie)

— reagiert nicht; + reagiert minimal (kaum ersichtlich); ++ reagiert sehr schwach; ++++ reagiert mittelmässig; :: reagiert stellenweise in Punkten (einzelne Körner); O reagiert im allgemeinen (in ganzer Masse)

Udział Ca w poszczególnych częściach barchanu jest nieco większy na stoku odwiernym niż na stoku przeciwnym, natomiast wierzchołek wydmy charakteryzuje się wartościami pośrednimi. Większy udział Ca na stoku odwiernym aniżeli na przeciwległym tłumaczyć by można niejednokowo przebiegającym procesem niszczenia kruchej i nietrwalej substancji chemicznej stanowiącej otoczkę (powłokę) na ziarenkach kwarcu, a powstałej w wyniku wyparowania wody z roztworu. Otoczka ta w czasie ruchu ziarenek po powierzchni piaszczystej ulega niszczeniu i jako drobny pył zostaje wywiewana poza barchan. Takie zjawisko zachodzi zapewne na stoku dowietrznym, podczas gdy na stoku odwiernym — w cieniu wiatru — substancja ta, nawet po zniszczeniu otoczki pozostaje na miejscu.

Reakcja analizowanego piasku z 10%-owym HCl (na zimno) przebiega na ogół słabo i krótkotrwanie, co wskazywałoby raczej na obecność nieco grubszej powłoki węglanowej na powierzchni niektórych ziarenek kwarcu (reakcja „punktowa”) aniżeli na nikły nawet udział bardzo drobnych kongrecji węglanowych. Z tabeli 5 wynika, iż reakcja z HCl przebiega nierówno i że jest niezależna od zawartości Ca, co pozwala wnioskować, iż wapń występujący w piaskach barchanu tylko w minimalnej ilości buduje substancję węglanową. Przeważnie jednak wapń tworzy związki chemiczne z innymi pierwiastkami i występuje głównie jako siarczan.

#### GENEZA BARCHANÓW, ŹRÓDŁO MATERIAŁU ORAZ WARUNKI TRANSPORTU I AKUMULACJI

Wyniki uzyskane z analizy uziarnienia piasków barchanu (tab. 1) wskazują na dobre na ogół wysortowanie tego materiału, samo zaś wysortowanie pośrednio określa siłę wiatrów wydmotwórczych<sup>6</sup> oraz warunki transportu. Wydaje się, iż wysortowanie piasków budujących barchan dokonać się mogło tylko przy bardzo umiarkowanej i względnie jednakowej sile wiatru, zdolnej do transportowania drobnych ziarn (do 0,5 mm). Ziarna drobniejsze (poniżej 0,10 mm) nie brały udziału w procesie akumulacji, lecz ulegały wywiewaniu poza barchan, natomiast ziarna grubsze (powyżej 0,5 mm) uczestniczyły w transporcie tylko w porywach wiatru. Tak więc proces wysortowania ziarn dokonał się zapewne w czasie transportu niesionego materiału, a nie w samej wydmy, podczas jej przemodelowywania. Wysortowywanie zaś dalsze („wtórne”), dokonujące się w czasie przesypywania się materiału w obrębie samej wydmy, doprowadziło do zróżnicowania uziarnienia już tylko w obrębie dwu głównych frakcji (0,50—0,25 mm oraz 0,25—0,10 mm) zależnie od morfologicznej charakterystyki poszczególnych elementów wydmy (stok do- i odwietrzny, wierzchołek czy też podstawa wydmy). Za wstępnym wysortowaniem poza wydumą (a tylko częściowo może i w obrębie samej wydmy) przemawiałyby m. in. wyniki uzyskane z analizy materiału budującego zaplecze barchanów. Materiał budujący północny brzeg jeziora charakteryzuje się wysortowaniem równie dobrym, jak piaski barchanu. W odróżnieniu jednak od piasków barchanu jest on wyraźnie grubszy. Jego głównym składnikiem są ziarna wielkości 2,0—1,0 mm oraz 1,0—0,5 mm, które łącznie stanowią ponad 98% ogólnej

<sup>6</sup> Przybliżone prędkości wiatru transportującego ziarna o określonej średnicy, kształtują się — wg różnych autorów (Bagnold — 1, Pernarowski — 7, Pietrow — 8, Sindowski — 9, Stankowski — 10) — następująco: piasek bardzo drobny (0,12 mm) — 1,5 m/sek., piasek drobny (0,25 mm) — 3,0 m/sek., piasek średni (0,60 mm) — 7,4 m/sek., zaś piasek gruby (1,04 mm) — 11,4 m/sek.

masy. Najprawdopodobniej więc w sortowaniu tego materiału brały udział złożone czynniki morfogenetyczne, a wśród nich szczególnie transport rzeczny (rzeki stałe i okresowe). W transporcie materiału akumulowanego następnie w zbiornikach jeziornych oraz na ich obrzeżeniach, zaznaczyła się w niemałym stopniu również i działalność wód epizodycznych. W konkretnych warunkach klimatycznych procesom fluwialnym dotrzymywały kroku procesy eoliczne, które m. in. poważną rolę odegrały również i w procesie sortowania materiału piaszczystego. Sortowanie to zaś polegało głównie na wywiewaniu („odpiaszczaniu”) drobniejszych frakcji z luźnych i słabo wyselekcjonowanych utworów. Taki proces, prowadzący do zubożenia materiału o ziarno drobne, określić by można sortowaniem „biernym” w odróżnieniu od „czynnego”, które dokonuje się w strumieniu wiatru podczas transportu materiału; dalsze, „wtórne” sortowanie odbywa się już w samej wydmie, w procesie akumulacji.

Materiał północnego brzegu jeziora Char us nuur wykazuje więc dość zasadniczą różnicę przy porównywaniu ze średnimi wartościami uziarnienia w piaskach barchanu. Ziarn odpowiadających wielkością ziarenkom barchanu brak prawie zupełnie w materiale brzegowym (niepełna 1%). Bardziej jednak wnikliwa analiza porównywanych utworów pozwala przypuszczać, iż właśnie owe drobniejsze ziarenka, których brak w materiale budującym brzeg jeziora, mogły ulec wywianiu i złożeniu w barchanie. O tym, że materiał brzegowy stanowi główne źródło dla piasków barchanów, przekonuje skład mineralogiczny porównywanych tworzyw. Udział minerałów ciężkich (tab. 4) w materiale północnego brzegu jeziora w porównaniu z minerałami ciężkimi w wydmie jest uderzająco podobny zarówno pod względem jakości, jak również i ich procentowej zawartości. Nie podważa tego wniosku — a raczej potwierdza — fakt większej koncentracji tlenków żelaza w utworze brzegowym. Minerale te (magnetyt, hematyt, limonit), jako najcięższe, są słabiej wywiewane aniżeli pozostałe, lżejsze. Nie bez znaczenia pozostają również własności wzajemnego przyciągania się ziarenek magnetytu, co w przypadku większej ich koncentracji powoduje tworzenie się agregatów mało podatnych na transport (T r e m b a c z o w s k i — 11). Stosunkowo dużą koncentrację tlenków żelaza w materiale brzegowym wiązać należy z niemałą ich obecnością we wszystkich luźnych utworach Kotliny Wielkich Jezior. Ewentualny zaś udział fali jeziornej w nagromadzeniu się tlenków żelaza w piaskach północnego brzegu wydaje się być nikły wobec przeważających wiatrów z kierunków N, NW i W. Bowiem wiatry te, wzniesając fale na powierzchni jeziora, pędzą je w kierunku przeciwnym (S, SE i E).



Oprócz wspomnianych cech dużego podobieństwa materiału brzegowego z piaskami barchanu, zarysowują się również pewne godne zastanowienia różnice w obtoczeniu i oszlifowaniu ziarn kwarcu w obu tych utworach. Wartości obtoczenia są dla ziarn materiału brzegowego nieco wyższe niż dla piasków wydmy, zaś powierzchnia tych ziarenek jest bardziej zniszczona, niż w piaskach eolicznych (tab. 2). Innymi słowy — piaski brzegowe mają więcej cech charakterystycznych dla piasków wydmy niż piaski samego barchanu. Zjawisko to można wytłumaczyć zakładając, iż ziarno słabiej obtoczone względnie ostrokrawędziste jest bardziej podatne na transport niż ziarenko obtoczone. Przy względnie jednakowej wielkości (ciężarze) ziarenka ostrokrawędziste posiadają większą powierzchnię, co dla transportu (szczególnie eolicznego) jest warunkiem istotnym. Ziarna takie są bowiem łatwiej unoszone w strumieniu wiatru (nie toczone po powierzchni!) niż ziarna o kształtach opływowych, które z kolei o wiele łatwiej są po powierzchni toczone (przetaczane). Piaski północnego brzegu jeziora są nieco lepiej obtoczone, a równocześnie zaś bardziej matowe, tj. wykazują wyższy stopień eolizacji niż piaski barchanu (za czym m. in. przemawiałby również wyraźnie mniejszy udział ziarenek błyszczących w materiale brzegu). Stąd też materiał „mniej wydmy” był łatwiej transportowany, co z kolei doprowadziło do wzbogacenia się utworów brzegu w ziarna o wyraźniejszych znamionach eolizacji. Inne wytłumaczenie większego niż w piaskach barchanu nagromadzenia się ziarn matowych w utworze brzegowym, zakładające chemiczne korodowanie powierzchni ziarn przez wody jeziora, nie znajduje potwierdzenia, bowiem przy takim założeniu trudno byłoby wytłumaczyć polerowanie powierzchni ziarn kwarcu w warunkach środowiska eolicznego (piaski barchanu zawierają wyraźnie więcej ziarenek błyszczących niż piaski północnego brzegu jeziora). Zjawiska tego nie da się również wytłumaczyć dużymi, dobowymi wahaniami temperatury, które powodować mogą minimalne przemieszczanie się ziarenek względem siebie, a w następstwie takiego procesu — wzajemne ocieranie się ich powierzchni (Trembaczowski — 11). Bowiem bezpośrednia bliskość dużego zbiornika wodnego zapewne łagodzi wahania temperatury, w dodatku zaś zjawisko takie zaznaczyłoby się w obu utworach.

Najlepszym wysortowaniem analizowanego materiału charakteryzują się piaski wschodniego cypla barchanu. Proces sortowania tego materiału jest wspomagany działalnością fali jeziornej. Przekonuje o tym nieznacznie większy niż w pozostałych próbach udział grubszych ziarenek (1,0—0,5 mm) oraz mała domieszka ziarn frakcji 2,0—1,0 mm, które nie występują w żadnej innej części barchanu. Bezpośrednim dowodem udziału fali w sortowaniu piasku wydmy u jej podstawy jest występo-



wanie zwartego, czarnego „kołnierza” otaczającego wschodnie, zewnętrzne ramię barchanu. Na kontakcie wody jeziora z piaskami budującymi podstawę wydmy nagromadzony został — na wysokości około 30 cm nad lustrem wody — materiał, składający się głównie (ponad 95% wagi) z czarnych ziarenek ciężkich minerałów (głównie magnetyt i hematyt oraz mniej liczny limonit). Jest to więc „naturalny szlich”, w którym koncentracja tak bogatej frakcji ciężkiej dokonać się mogła tylko w wyniku działalności przybojowej fali jeziora. W okresach sfalowanej powierzchni jeziora (przy wiatrach zachodnich) tempo osadzania się wyselekcjonowanych minerałów jest zapewne duże; sam zaś poziom akumulacyjny jest nietrwały i ulega rozmywaniu przy silniejszej fali pędzonej z kierunku N względnie NW. Czarny „kołnierz” ma zaledwie kilka milimetrów miąższości, co wskazywałoby na niestałość tej części podstawy wydmy.

Na marginesie zagadnienia dużej koncentracji ciężkich minerałów warto zwrócić uwagę na pewne analogie, dotyczące zarówno genezy, jak i końcowego efektu tego zjawiska. Podobna koncentracja ciężkich minerałów dokonuje się również i w środowisku eolicznym. Przy sile wiatru ok. 10 m/sek. następuje — wg Sindowskiego (9) — wywiewanie ziarenek kwarcu, co w konsekwencji prowadzi do utworzenia się cienkiej powłoki minerałów ciężkich, w której to powłoce — pod wpływem wzrastającej siły wiatru — następuje sortowanie ziarenek wg ich ciężaru. Takie zaś sortowanie prowadzić może do nagromadzenia się ciemnych, rudnych minerałów w warstewce najbardziej powierzchniowej. Koncentracja ciężkich minerałów u podstawy barchanu jest również wynikiem sortowania piasku, lecz w warunkach zupełnie odmiennych (pomijając istotne różnice pomiędzy środowiskiem eolicznym i wodnym). W środowisku eolicznym nagromadzanie się ciężkich minerałów następuje w wyniku działalności deflacji, gdy natomiast w budowie warstewki ciężkich minerałów u podnóża barchanu udział brała akumulacyjna działalność fali jeziornej (zarówno kipieli jak i sog). Tak więc końcowy efekt działalności dwu różnych czynników może być bardzo podobny.

W morfogenezie analizowanego barchanu interesujące jest zagadnienie względnej stabilności stoku dowietrznego tej formy. Jak już wspomniano, barchan jest półwyspem. W warunkach pustynnego klimatu, przy silnym parowaniu, podsiąkaniu wody jeziora ku powierzchni barchanu towarzyszy wytrącanie się soli z roztworu, co w konsekwencji prowadzi do spajania (cementacji) pojedynczych ziarenek wydmy. Długotrwały proces spajania doprowadzić może do wytworzenia się względnie sztywnej i twardej skorupy na powierzchni. Intensywność utrwalaenia powierzchni pozostaje w prostej zależności od nasilenia parowania,

jak również i od stopnia zasolenia wody jeziornej. Parowanie w Kotlinie Wielkich Jezior jest intensywne, zaś zasolenie przepływowego jeziora Char us nuur — małe. Proces zatem spajania ziarenek na powierzchni wydmy przebiegać musiał względnie długotrwanie. Za wnioskiem tym pośrednio przemawiałyby stosunkowo duża koncentracja Ca w piaskach barchanu, co nie mogło się dokonać jednorazowo oraz w czasie zbyt krótkim. Te zaś fakty wskazywałyby z kolei na pewną stabilność formy, a pośrednio także i na jej stosunkowo niemłody wiek.

Dowietrzny stok barchanu jest w wielu miejscach utrwalony. Fragmenty „twardej” jego powierzchni poddzielane są mniejszymi płatami piasków „miękkich”, nieutrwalonych, co bardzo wyraźnie wyczuwa się pod nogami, stąpając po powierzchni wydmy. Różnicowanie powierzchni stoku dowietrznego dokonało się zapewne w wyniku ścierania się nierównomiernie postępującego procesu impregnowania piasków solami z roztworu, z nierównomiernie również przebiegającym procesem wywiewania ziarenek słabiej scementowanych. Piaski nie utrwalone tworzą na powierzchni bardzo nieznaczne zakłębłości, natomiast utrwalone — ledwo dostrzegalne garbiki, co w sumie stwarza bardzo drobne nierówności na całej powierzchni stoku dowietrznego.

O procesie cementacji ziarenek na skutek wytrącania się soli z roztworu świadczy jeszcze inny fakt. Reakcja piasków barchanu z 10% HCl przebiega krótko i na ogół słabo, co m. in. oznacza, iż w materiale barchanu brak jest węglanowych konkrecji (nie stwierdzono ich również w analizach mikroskopowych). Węglany występują w piaskach w postaci cienkiej otoczki na powierzchni ziarn kwarcu, względnie też jako pył węglanowy, pochodzący ze zniszczenia tej delikatnej i nietrwalej powłoki. O większym nasileniu procesu cementacji w pewnych miejscach powierzchni wydmy, zaś w innych — o procesie wywiewania, zapewne decydują tylko lokalne przyczyny. Najprawdopodobniej w powstawaniu sztywnej skorupy na powierzchni stoku dowietrznego nie mała rolę odegrał udział roślinności; owe szuwary, sterczące dość wysoko ponad powierzchnię wody jeziora, stanowiły pierwszą przeszkodę dla nawiewanych piasków. Zatrzymywane ziarenka zwolna zasypywały roślinność, a po jej obumarciu pozostały drobne, pionowe kanaliki ułatwiające ruch wody ku powierzchni piasków. Stąd być może nierównomierna koncentracja spoiwa, którego rozmieszczenie w wydmie naśladuje miejsca obumarłej roślinności.

Spajanie ziarenek dokonuje się głównie na stoku dowietrznym, natomiast stok odwietrzny, jako bardziej „żywy” i otrzymujący materiał również spoza stoku dowietrznego (transport materiału „zawieszonego” oraz toczonego po powierzchni, z obszarów sąsiadujących z łańcuchem barchanów), działa hamująco na przebieg cementacji. Dowietrzną stronę

barchanu można by zatem określić jako stok bardziej „stabilny”, utrwalony, w przeciwieństwie do strony odwieznej, która jest bardziej dynamiczną częścią wydmy. W specyficznych warunkach, w jakich występują barchany północnego brzegu jeziora, modelowanie i rozwój tych form przebiega zupełnie odmiennie niż w przypadku barchanów klasycznych. Tak więc stok „stabilny” oraz stok „dynamiczny” mogą współistnieć tylko w przypadku, gdy dostawa materiału dla ruchomego stoku odwieznej odbywa się nie kosztem stoku przeciwległego, ale w głównej mierze dzięki „dosypywaniu” materiału spoza wydmy, co ma miejsce w konkretnym przypadku, a na co pośrednio wskazywałaby również obecność świeżych i nieutrwalonych smug piaszczystych (ripplemarki) na całej powierzchni stoku dowietrznego. Należy podkreślić, iż ziarna zsypujące się po stoku odwieznym wpadają do wody i zostają wyeliminowane z transportu. Przy braku dostawy świeżego materiału, modelowanie formy wydmowej sprowadzałoby się w tych warunkach do jej powolnego zaniku. Analizowane barchany są formami raczej małymi; są one mniejsze od barchanów wschodniego brzegu jeziora Dürge, gdzie osiąga wysokość 20—25 m, a nawet do 60 m, jak np. na obszarze między jeziorami Dürge i Baga nuur (Murzajew — 5). Najprawdopodobniej więc przyczyny słabego rozwoju badanych form należałoby szukać w niedostatku materiału. Jak już wspomniano, barchany wykształcone są w sposób nietypowy, rzadko spotykany, a może nawet jedyny. Wszystkie pagórki są półwyspami (nawet wyspą) przyczepionymi do brzegu zaledwie 1/4 częścią ich powierzchni.

Początkową fazę rozwoju barchanów wiązać by należało z istnieniem warunków, w których lustro wody jeziora Char us nuur było niższe od współczesnego poziomu. Warunki takie istniały zapewne w okresie wczesnego holocenu, w którym klimat dużych obszarów Centralnej Azji charakteryzował się — wg Murzajewa (5, 6) — szczególną suchością. Analizowany barchan jest więc formą złożoną co do genezy i warunków jego ewolucji. Dolna część barchanu stanowi rodzaj stabilnego cokołu dla mniej stabilnej części górnej, zaś szczególnie dla ramion barchanu, pozbawionego w tej części sztywnej skorupy, charakterystycznej dla powierzchni stoku dowietrznego.

Głównym kierunkiem wydmotwórczego wiatru był kierunek NW. Pod jego wpływem ramiona barchanu rosły w stronę otwartego jeziora; natomiast wiatry z kierunku N (ubogie w materiał, gdyż transport odbywał się ponad powierzchnią wody) przeobrażały wydmy. Przeobrażanie to polegało na zmianie kierunku ramion: otwarte uprzednio ku SE, zostały zwrócone w kierunku S. Sam zaś proces przemodelowywania odbywał się w głównej mierze kosztem materiału wcześniej dostarczonego wydmy (przed zmianą kierunku wiatru). W czasie trwania takiego pro-



cesu znaczna część piasku barchanu zasilala dno jeziora u podnóża barchanu, zaś sama wydma malała.

#### UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

W świetle przytoczonych uwag, dotyczących źródła materiału dla barchanów oraz warunków transportu i akumulacji, wydaje się, iż — w odniesieniu do genezy i ewolucji barchanu — najwięcej cech prawdopodobieństwa ma wyjaśnienie zakładające kierunek wiatru wydmotwórczego z NW. Wiatry północne zaś, które wydmie nadały ostateczny kształt (ramiona skierowane ku S), nie mogły być „twórcze”, a raczej działały destruktywnie na formę, powodując zmniejszanie się jej wymiarów. Kształt wydmy, a zwłaszcza charakterystyczne wydłużenie jej wschodniego cypła, przemawia za kierunkiem wiatru wydmotwórczego z NW (NNW?). Wschodni cypel, wysunięty w kierunku SE, zatacza wyraźny łuk ku SW i tworzy maleńką mierzęję zbudowaną przez fale pędzone od NE. Ten kierunek wiatru, działający również destruktywnie na barchan, zaznaczył się m. in. charakterystycznym zniekształceniem (wygięciem) regularnej krawędzi grzbietowej wydmy (krawędzi oddzielającej obydwie stoki).

Barchan jest formą utrwaloną dzięki zatopieniu w wodzie jego podnóża, co w konsekwencji pociągnęło za sobą również i utwalenie jego stoku dowietrznego. Pewną rolę w utrwalaniu wydmy odegrała roślinność (szuwały), która w początkowej fazie przyspieszała nagromadzanie się piasku, zaś po jej obumarciu wywarła wpływ na przyspieszenie procesu cementacji ziarenek na stoku dowietrznym. Roślinność zaś współcześnie wkraczająca na stoki wydmy, działa (współ z utrwaloną powierzchnią stoku dowietrznego) hamująco na przebieg niszczenia barchanu. Te cechy stanowią o względnej stabilności wydmy. Forma ta zmienia nieznacznie tylko kierunki samych ramion, na co w głównej mierze zużyta zostaje większa część materiału świeżego (z dostawy). Przy silniejszych wiatrach północnych forma ta jest niszczona. Być może, iż z niej to właśnie materiał wywiewany jest do formy sąsiedniej — największej, zamykającej łańcuch barchanów, i że ta największa wydma rozrosła się kosztem małego (analizowanego) barchanu usytuowanego tuż na jej zapleczu.

Opisywany ciąg pagórków wydmowych powstał we wczesnym holoenie. Za takim wnioskiem przemawiałoby utwalenie piasków na powierzchni stoku dowietrznego. Utrwalanie spoiwem, którego źródło stanowiły wody minimalnie zasolonego jeziora, dokonywało się w ciągu stosunkowo długiego okresu czasu (mimo intensywnego parowania). Wniosek dotyczący wieku barchanów pośrednio popierałyby wywody



Murzajewa (5) w odniesieniu do charakterystyki klimatu w Mongolii. Wg tego autora pustynny klimat Mongolii przetrwał od kredy i tylko w trzeciorzędzie ulegał pewnym wahaniom, zaś w czwartorzędzie stawał się suchszy. Okres suchy, przez który przeszła Centralna Azja, a który zaznaczył się m. in. intensywną eolicacją, wiąże się z okresem, jaki nastąpił bezpośrednio po epoce lodowcowej.

## LITERATURA

1. Bagnold R. A.: The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, London 1954.
2. Kościelniak S. i Mączka L.: Pierwsze pomiary głębokości jeziora Chara-Usu (The first measurement of the depth of the Lake Chara-Usu — Mongolia). Przgl. Geol., nr 3, ss. 142—143, Warszawa 1967.
3. Kozłowski P. L.: Mongolia i Kam. Moskwa 1947.
4. Masłowski W. i Trembaczowski J.: Piaski wydymowe południowego obrzeżenia Kotliny Wielkich Jezior w zachodniej Mongolii (Dünensande der südlichen Umrandung des Beckens Grosser Seen in der westlichen Mongolei). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. XX (1965), 3, Lublin 1968.
5. Murzajew E. M.: Mongolia. Opis fizyczno-geograficzny. Warszawa 1957.
6. Murzajew E. M.: Priroda Sińczjana i formirowanije pustyń Centralnoj Azii. Ak. Nauk SSSR, Izd. „Nauka”, Moskwa 1966.
7. Pernarowski L.: O procesie sortowania piasków eolicznych na przykładzie wydym okolic Rzędzowa (Notes on Sorting of Aeolian Sands). Czas. Geogr., t. XXX, z. 1, ss. 33—60, Warszawa—Wrocław 1959.
8. Pietrow M. P.: Relief barchannych piasków pustyń i zakonomiernosti jego formirowanija. Problemy gieomorfologii, Trudy Inst. Gieogr., wyp. 39, ss. 184—222, Ak. Nauk SSSR, Moskwa—Leningrad 1948.
9. Sindowski K.-H.: Korngrößen- und Kornformen- Auslese beim Sandtransport durch Wind (nach Messungen auf Norderney). Geol. Jb., 71, ss. 517—525, Hannover 1956.
10. Stankowski W.: Rzeźba eoliczna Polski północno-zachodniej na podstawie wybranych obszarów (Eolian relief of north-west Poland on the ground of chosen regions). Pozn. Tow. Przyj. Nauk, Prace Kom. Geogr.-Geol., t. IV, z. 1, Poznań 1963.
11. Trembaczowski J.: Morfologia i charakterystyka utworów luźnych sajru w okolicy Kobdo (Altaj Mongolski) (Morphologie und Charakteristik der losen Gebilde des Sajr in der Umgegend von Kobdo — Mongolischer Altai). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. XIX (1964), 4, ss. 109—139, Lublin 1967.

**Барханы северного берега озера Хар ус нур  
в Котловине Больших Озер (Западная Монголия)**

Резюме

Вблизи Дёргён-сомона на северном берегу озера Хар ус нур простирается цепь 7 барханов, подножья которых погружены в воду

озера. Дюны представляют собой маленькие полуострова и островки. Бока всех барханов направлены к югу. Проведен подробный анализ одной из дюн. Результаты гранулометрического и минералогического анализов приведены в табл. 1—5. Пески бархана хорошо сортированные; преобладающей является фракция 0,5—0,25 мм (56,0%), а также зерна размером 0,25—0,10 мм (43,3%). Характер окатанности и шлифовки зерен кварца дифференцирован в зависимости от морфологии отдельных элементов бархана. Пески бархана содержат (по весу) 0,7—3,7% тяжелых минералов, среди которых самую большую группу составляют амфиболы (32,4%) и эпидот (31,7%). Содержание тяжелых минералов в дюне тоже изменчиво. Содержание Са наибольшее в самых мелких фракциях.

Источником песка для формирования бархана является материал, образующий северный берег озера. Транспорт этого материала происходил под влиянием ветров из сектора СЗ (ССЗ?). Северные ветры, которые переносили материал над поверхностью озера, действовали на бархан разрушительно. Эти ветры определили окончательную форму и направление дюн. Рассматриваемый бархан имеет относительно укрепленную форму благодаря затоплению его основания в воде озера, а также из-за цементации зерен песка на поверхности, обращенной к ветру. Процесс цементации происходил постепенно и довольно долго, а источником цемента являлись воды слабо соленого озера. При сухом климате Котловины Больших Озер происходит сильное испарение и капиллярное движение воды озера к поверхности дюны. Содержащиеся в воде соли оседали на поверхности дюны и образовали скорлупу, охраняющую песок от ветра.

Цепь барханов сформировалась при низшем уровне воды озера Хар ус нур, во время раннего голоцена. Такая датировка соответствует наблюдениям Мурзаева (5); сухой период времени, который господствовал в Центральной Азии и характеризовался усилением эоловых процессов следует отнести к периоду, последовавшему непосредственно после эпохи оледенения.

#### ОБЪЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ И РИСУНКАМ

Табл. 1. Гранулярный состав песков бархана и отложений северного берега озера Хар ус нур.

Табл. 2. Механическая обработка зерен кварца в песках бархана и в отложениях северного берега озера Хар ус нур: I — зерна, полностью окатанные, II — окатанные, III — среднеокатанные, IV — слабо окатанные, V — острогранные, 1 — блестящие зерна, 2 — полублестящие, 3 — матовые. Примечание: из каждой фракции для анализа бралось по 400 зерен кварца.

Табл. 3. Содержание кварца в песках бархана и в отложениях северного берега озера Хар ус нур (в количественных %).

Табл. 4. Тяжелые минералы в песках бархана и в отложениях северного берега озера Хар ус нур (фракция зерен 0,25—0,10 мм).

Табл. 5. Содержание Са в песках бархана (фракции 0,25—0,10 мм и 0,10—0,06 мм), а также реакции этих песков с 10%-ной HCl: — отсутствие реакции; + минимальная реакция (едва видная); ++ очень слабая реакция; +++ слабая реакция, ++++ средняя реакция; :: пунктирная реакция (реагируют некоторые зерна); O общая реакция (во всей массе).

Рис. 1. Озеро Хар ус нур и прилегающие к нему территории: 1 — район с барханами, 2 — постоянные реки, 3 — периодические реки, 4 — солончаки, 5 — болота, 6 — высотные пункты.

Рис. 2. План бархана: а — берег озера, б — растительность (камыш), с — места взятия проб и их номера.

### Barchane des nördlichen Seeufers von Char us nurr in Becken der Grossen Seen (westliche Mongolei)

#### Zusammenfassung

In der Umgegend des Dörgön-Somon's, am nördlichen Seeufer von Char us nurr tritt eine aus 7 Barchanen zusammengesetzte Kette auf, deren Fussteile bis zum Wasserspiegel des Sees hinabfallen. Diese Dünen bilden kleine Halbinseln oder Inseln. Die Arme aller Barchane sind in S-Richtung geöffnet. Einer eingehenden Analyse unterlag ein Hügel. Die Ergebnisse der granulometrisch-mineralogischen Analysen sind in den Tabellen 1—5 angegeben. Die Sande des Barchan sind gut aussortiert und ihr Hauptbestandteil sind Körner von 0,50—0,25 mm (56,0%) sowie Körner von 0,25—0,10 mm (43,3%). Der Abrundungs- sowie Abschleifungscharakter der Quarzkörner weist eine Differenzierung auf, die durch die Morphologie der einzelnen Barchanelemente bedingt ist. Barchansande enthalten (dem Gewicht nach) von 0,7 bis 3,7% Schwerminerale, unter denen am zahlreichsten Amphibole (32,4%) und Epidot (31,7%) auftreten. Der Anteil der Schwerminerale in der Düne ist gleichfalls sehr differiert. Der Ca-Inhalt ist in den feinsten Fraktionen am grössten.

Die sandspendende Quelle für den Barchan war das Material des nördlichen Seeufers. Der Transport des Materials fand unter dem Einfluss der NW (NNW)-Winde statt. Nördliche Winde, die das Material über der Seeoberfläche transportierten, wirkten auf den Barchan zerstörend. Diese Winde gaben den Dünen ihre Letztgestalt und -Richtung. Die analysierte Düne ist eine verhältnismässig fixierte Form, sowohl infolge der Eintauchung des Dünenfusses im Seewasser, wie auch infolge der Zementierung loser Sandkörnchen an der Oberfläche der Luvseite. Der Zementierungsprozess ging stufenweise vor sich und dauerte ziemlich lange, die das Bindemittel spendende Quelle waren

schwach versalzene Seewasser. Im trockenen Klima, in dem sich das Becken Grosser Seen befindet, findet eine intensive Verdunstung sowie ein Durchsickern des Seewassers zur Dünenoberfläche statt. Die sich im Wasser befindlichen Salze wurde an der Dünenoberfläche ausgeschieden und bildeten so eine Kruste, die die Sandkörner vor der Windauswehung bewahrte.

Die Barchankette wurde bei niedrigerem Wasserstand des Char us nuur Sees im Zeitalter des frühen Holozäns geformt. Diese Zeitbestimmung ist durch Observationsergebnisse Murzajew's (5) unterstützt worden; der trockene Zeitabschnitt, der Zentralasien miteingenommen hat und der sich durch intensivere äolische Prozesse bekannt machte, sollte in den Zeitabschnitt miteingerechnet werden, der unmittelbar nach dem Eiszeitalter eintrat.