

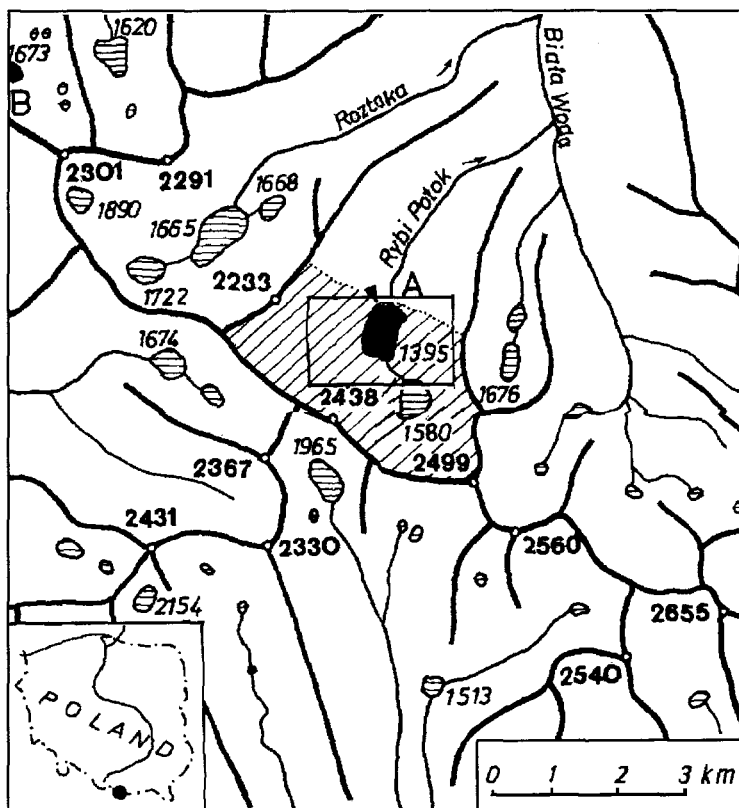
ADAM KOTARBA (KRAKÓW)

ZAPIS MAŁEJ EPOKI LODOWEJ W OSADACH JEZIORNICH
MORSKIEGO OKA W TATRACH WYSOKICH

WPROWADZENIE

Glacialnie przegłębione odcinki dolin Tatr Wysokich zostały w okresie schyłku ostatniego zlodowacenia i podczas całego holocenu wypełnione wodą, dając początek jeziorom wysokogórskim, stanowiącym naturalne zbiorniki sedymentacyjne (Ryc. 1). Miąższość osadów jeziornych w Tatrach Wysokich jest niewielka i wynosi na ogół około 2 m, chociaż w niektórych stawach osiąga 4 metry. W osadach tych jest zapisana historia ewolucji środowiska przyrodniczego najbliższego otoczenia mis jeziornych. Skoro o przemianach środowiska den dolin polodowcowych świadczą osady wypełniające misy, to osady limniczne Tatr pozwalają rekonstruować zdarzenia geomorfologiczne, zwłaszcza ekstremalne, które wystąpiły po stopieniu lodowców. Okresom spokojnym, nie obfitującym w wysokoenergetyczne zdarzenia geomorficzne na otaczających stokach, odpowiadają utwory gytiowe. Okresy niespokojne charakteryzują się występowaniem zjawisk hydrometeorologicznych, takich jak intensywne opady deszczowe, roztopy, spływy i zmywy powierzchniowe oraz erozyjna działalność lawin. Wzmoczona peryglacja otaczających stoków może uruchamiać szereg procesów transportujących zwierzeliny do zbiorników (Ryc. 2). Zjawiskom tym towarzyszy deponowanie osadów mineralnych terrygenicznych w misach jeziornych. W składzie mechanicznym osadów występują frakcje piaszczyste, a nawet pojedyncze okruchy skalne o średnicy powyżej 1 cm. Struktura osadu jeziornego, jego skład mechaniczny, mineralny oraz właściwości geochemiczne, uzupełnione analizami zooplanktonu oraz analizami palinologicznymi i datowane radioizotopami, stanowią podstawę do rekonstrukcji przemian środowiska naturalnego Tatr Wysokich (Baumgart-Kotarba *et al.* 1990, Wicik 1984).

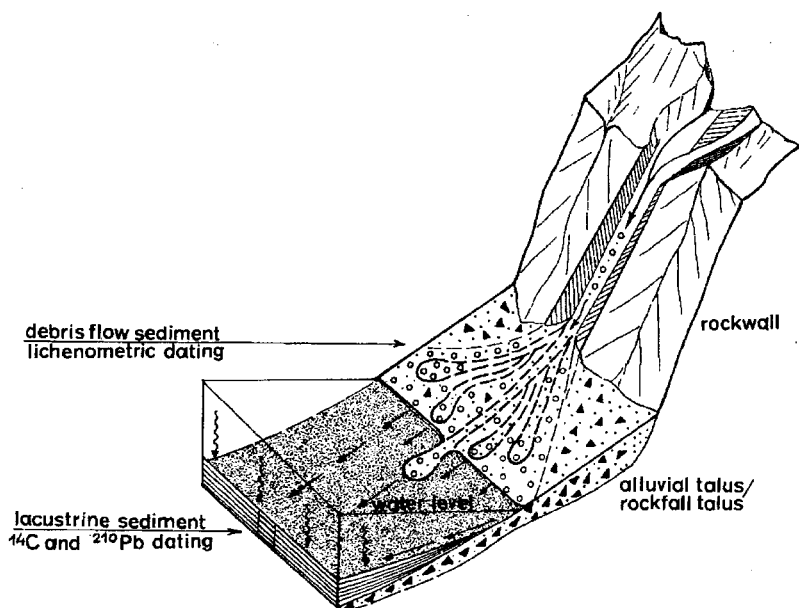
Dynamika środowisk okołojeziornych decyduje o tempie przyrostu osadów limnicznych. Ponieważ wysokogórskie misy jeziorne w Tatrach posiadają kształt kulisty lub owalny i brak w nich wyraźnych dopływów i odpływów wód, więc gros materiału wnoszonego do zbiornika jest w nim deponowane. Dla małych zbiorników bezdopływowych w obrębie wygładów



Ryc. 1. Lokalizacja punktów badawczych w centralnej części Tatr Wysokich. A — pokazuje położenie Morskiego Oka, B — położenie Zielonego Stawu Gąsienicowego. Pokazano wysokości bezwzględne grzbietów (większe cyfry) i wysokości den dolin. Prostokąt określa zasięg mapy geomorfologicznej (Ryc. 3), a skośny szraf wielkość zlewni topograficznej Morskiego Oka. Płaski szraf przyjęto dla innych jezior

Fig. 1. Location of the study sites, central part of the High Tatra Mountains: A — indicates location of the Morskie Oko Lake, B — location of the Zielony Staw Gąsienicowy Lake. Both top elevations (greater numbers) and bottom elevations are shown. Rectangle frame marks location of detailed geomorphological map (see Fig. 3), oblique hachure shows topographic basin of the Morskie Oko Lake, horizontal hachure — other lakes

lodowcowych w piętrze alpejskim (np. Stawek na Kopkach, wysokość około 1870 m n.p.m.) holocenijskie tempo sedymentacji uwarunkowanej dostawą materiału wyłącznie z atmosfery (opad eoliczny i depozycja rozłożonej substancji organicznej) nie przekracza 0,1 mm/rok. Średnie holocenijskie tempo sedymentacji w jeziorach tatrzańskich zasilanych materiałem z otaczających stoków wynosi około 0,2 mm/rok (Wicik 1984), lecz dla poszczególnych pięter holocenu wskaźniki te są różne. W Zielonym Stawie Gąsienicowym tempo sedymentacji waha się od 0,13 mm/rok we wczesnym



Ryc. 2. Model morfologiczny układu ściana skalna — stok gruzowy, pozostających w bezpośrednim kontakcie. Obiekt badań geomorfologicznych i sedimentologicznych w Tatrach Wysokich

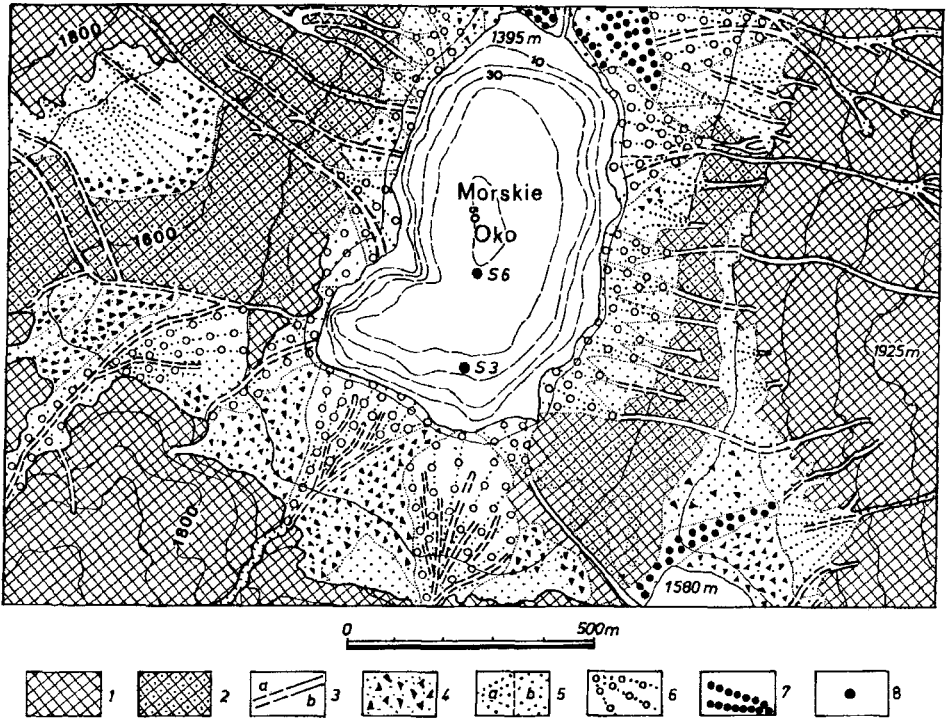
Fig. 2. Morphological model of rockwall/debris slope system being in close connection with lake. An object of both geomorphological and sedimentological studies in the High Tatra Mts.

subatlantyku i późnym subboreale, do 0,36 mm/rok podczas małej epoki lodowej (Kotarba 1992). Tempo sedymentacji jeziornej w Tatrach Wysokich zależy więc od sposobu i ilości źródeł zasilania (dostawy) materiału terrygenicznego ze zboczy otaczających misę.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie, w jakim stopniu mała epoka lodowa, okres wybitnego pogorszenia klimatycznego na kuli ziemskiej i zaznaczonego we współcześnie zlodowaconych górach świata największymi w skali holocenu nasunięciami lodowców dolinnych, zaznaczyła się w tatrzańskich osadach limnicznych, a więc czy procesy geomorficzne na stokach cyrków polodowcowych dawały impuls do zmiany charakteru sedymentacji jeziornej?

PRZEDMIOT I METODA BADAŃ

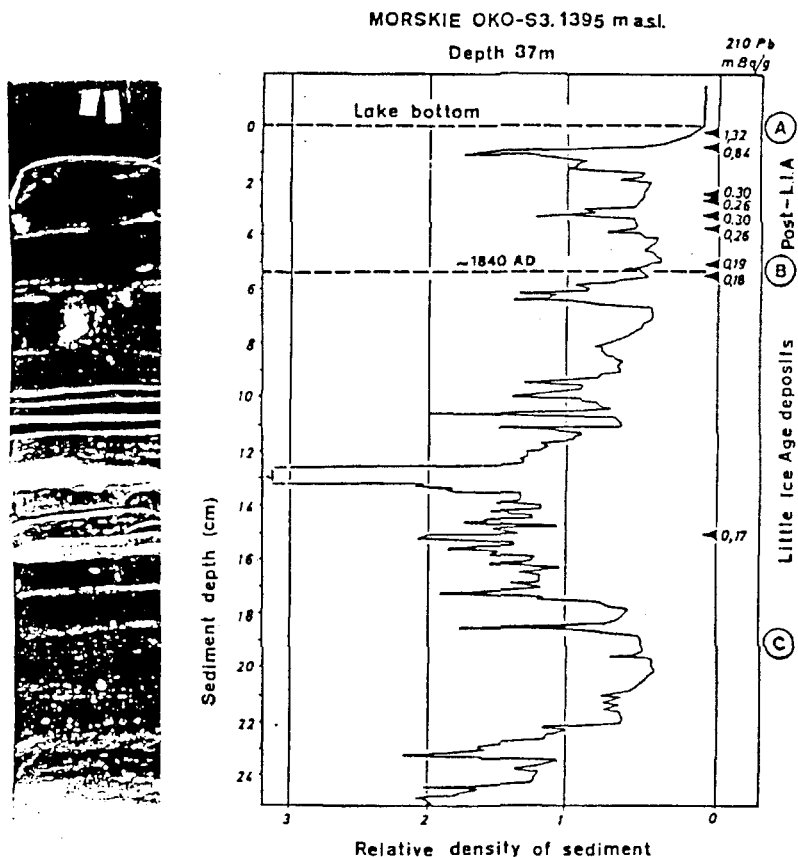
Ponieważ za małą epokę lodową uznaje się okres pogorszenia klimatycznego, które miało miejsce w ostatnim tysiącleciu, przedmiotem badań były najmłodsze osady jeziorne Tatr pobrane za pomocą aparatury Axelssona, pozwalającej pobierać materiał z osadów o miąższości zaledwie 40–50 cm, ale łącznie z uwodnioną, galaretowatą częścią osadów o nienaruszonej strukturze (Axelsson, Hakansson 1972). Płytkie rdzenie pobrano w marcu 1989 roku z Zielonego Stawu Gąsienicowego i Czarnego Stawu Gąsienicowego oraz z Morskiego Oka. Pleksigla-



Ryc. 3. Mapa geomorfologiczna otoczenia Morskiego Oka z lokalizacją wierceń S3 i S6: 1 — ściana skalna, 2 — stok skalny pokryty cienką pokrywą zwierzeliny, 3 — rynny wycięte w utworach luźnych (a) i w litej skale (b), 4 — stok obrywowo-usypiskowy, 5 — stożek gruzowy usypiskowy (a) i stok gruzowy (b), 6 — stożki aluwialne uformowane przez spływy gruzowe, 7 — wały morenowe, 8 — lokalizacja wierceń S3 i S6

Fig. 3. Geomorphological map of the Morskie Oko Lake and location of shallow lacustrine sediment cores: 1 — rockwall, 2 — debris-mantled slope, 3 — debris flow gully (a) and chute cut in solid rock (b), 4 — rockslide/rockfall slope, 5 — gravity sorted talus cone (a) and heap (b), 6 — alluvial talus slope, 7 — distinct moraine ridge, 8 — location of shallow cores S3 and S6

sowe, przezroczyste pojemniki o kształcie prostokątnym (przekrój o wymiarach 34 × 64 mm), wypełnione osadem, były transportowane w pozycji pionowej do pracowni rentgenowskiej. Zdjęcia rentgenowskie rdzeni dostarczają informacji na temat struktur sedymentacyjnych, a wykreślone na ich podstawie densytoprogramy pokazują gęstościowe zróżnicowanie osadu. Obraz rentgenowski odróżnia warstwy mineralne o miąższości nawet poniżej 1 mm oraz pojedyncze większe okruchy skalne i ziarna piasku. Datowania radioizotopami ^{210}Pb i ^{14}C pozwalają określić wiek warstw. Analizę młodych osadów ze stawów Czarnego Gąsienicowego i Zielonego Gąsienicowego zamieszczono w pracy Baumgart-Kotarby *et al.* (1990). W niniejszym opracowaniu skoncentrowano się na osadach z Morskiego Oka. Datowanie osadów radioizotopem ołowiu ^{210}Pb wykonał mgr Przemysław Wachniew z Instytutu Fizyki i Techniki Jądrowej AGH w Krakowie, a datowanie radiowęglem ^{14}C uzyskano w Instytucie Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach.



Ryc. 4. Obraz rentgenowski płytkiego rdzenia S3 z osadu jeziornego pobrany na głębokości 37 m, w obrębie podwodnego skłonu misy Morskiego Oka, skorelowany z odpowiadającą mu krzywą densytometryczną oraz z datowaniami radioizotopem ołowiu ^{210}Pb . A — aktualne dno jeziora, B — przybliżona granica końca sedymentacji małej epoki lodowej, C — przybliżona granica początku sedymentacji małej epoki lodowej

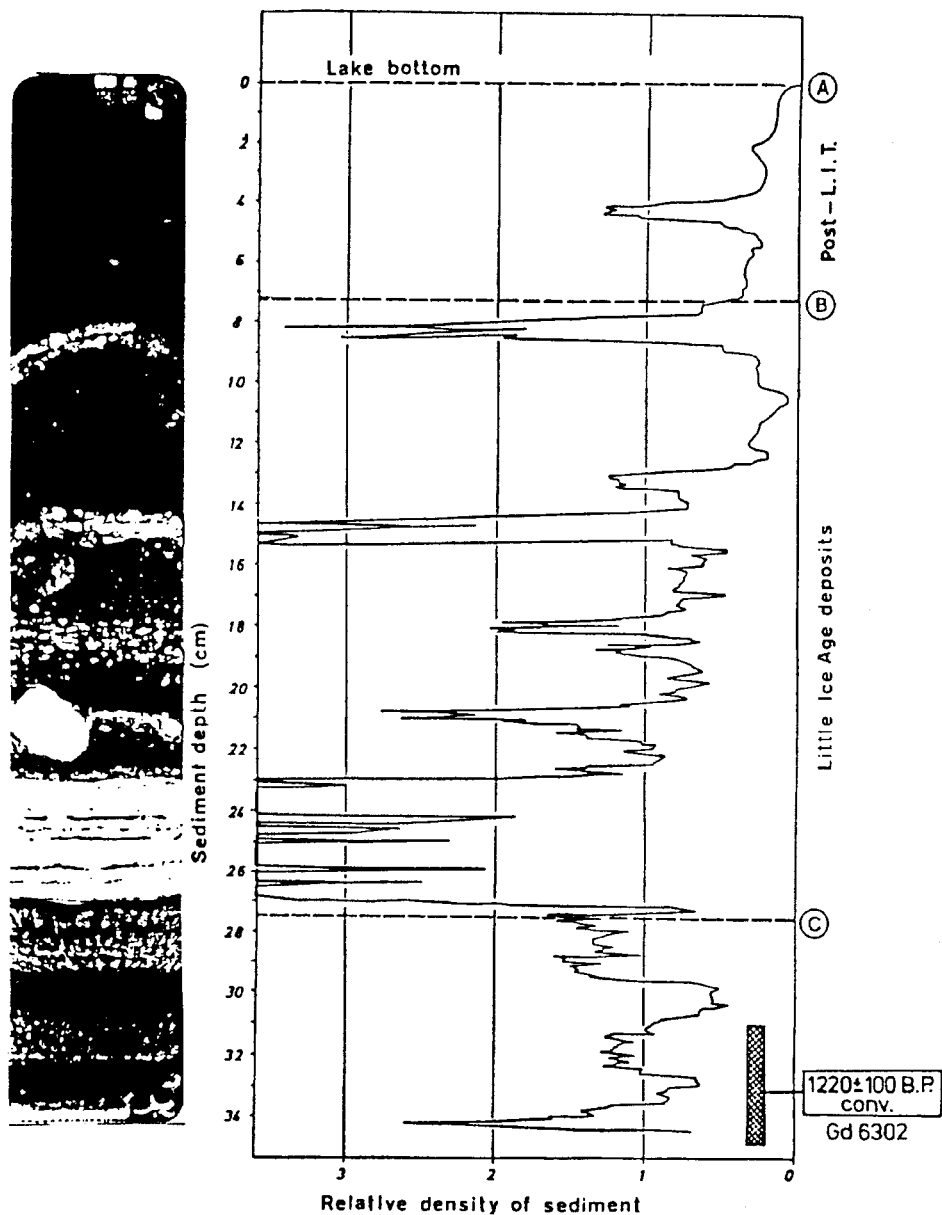
Fig. 4. X-radiograph of sediment core S3 from the Morskie Oko Lake taken at the depth of 37 m within subaquatic debris slope, densitometric curve and dating by radioisotope ^{210}Pb . The letters mark location of actual lake bottom (A), approximate limit of sediment formed during the Little Ice Age (B), and approximate limit of the beginning of Little Ice Age sedimentation (C)

WYNIKI BADAŃ

Płytkie osady z jezior górnej części doliny Suchej Wody, datowane radiowęglem ^{14}C na okres ostatnich około 2 tysięcy lat BP, posiadają wyraźne zróżnicowanie gęstościowe, strukturalne i pod względem składu granulometrycznego (Baumgart-Kotarba *et al.* 1990, Kotarba 1992). Po przebadaniu odpowiednich osadów z Morskiego Oka okazało się, że mają one podobny charakter, a wyrażone wcześniejsze obserwacje znalazły potwierdzenie w innej dolinie i mogą być uważane za charakterystyczne dla Tatr Wysokich.

MORSKIE OKO-S6. 1395m asl.

Depth 51 m



Ryc. 5. Płytki rdzeń osadów jeziornych S6 pobrane z dna misy Morskiego Oka na głębokości 51 m. Oznaczenia A, B i C jak na Ryc. 4

Fig. 5. Shallow lacustrine sediment core S6 from the Morskie Oko Lake, taken at the deepest point 51 m. Sedimentological limits (A, B, C) the same as on Fig. 4

Datowania młodych osadów z Morskiego Oka wykonano na dwóch rdzeniach: S3 zlokalizowanym na podwodnym skłonie misy na głębokości 37 m oraz w rdzeniu S6 w dnie misy na głębokości 51 m (Ryc. 3). W rdzeniu S3 określono wiek bezwzględny osadu za pomocą radioizotopu ^{210}Pb , sięgając wstecz 150 lat przed rokiem 1989. W rdzeniu S6 wydatowano spągową część pobranego materiału, wzbogaconą o substancję organiczną, za pomocą ^{14}C .

Obraz rentgenowski obydwóch rdzeni, chociaż znacznie oddalonych od siebie, jest podobny. W środkowych częściach rdzeni występują liczne laminy o wysokiej gęstości (barwa biała na kliszy) oraz większe okruchy skalne — zrzutki (*drop stone*). Gęstości względne tych lamin z reguły są wyższe od 1 (Ryc. 4 i 5). Są to utwory piaszczyste lub piaszczysto-mułkowe o bardzo niskiej zawartości substancji organicznej (poniżej 5%). Ponad nimi (litera B) oraz pod nimi (litera C na Ryc. 4 i 5) przeważają utwory o względnej gęstości poniżej 1, a na kliszy rentgenowskiej występują silne zaczernienia. Te „ciemne” utwory są bogate w substancję organiczną (do 25%) i posiadają nieliczne przewarstwienia mineralnych piasków i mułków.

Uzyskane daty bezwzględnego wieku materiału budującego rdzenie pomiędzy granicznymi poziomami B i C pozwalają sformułować pogląd, że są to osady z okresu małej epoki lodowej oraz że był to okres wzmożonej sedymentacji utworów mineralnych. Procesy intensywne spłukiwania, a zwłaszcza spływy gruzowe (ang. *debris flows*) na stokach otaczających jezioro, wywołane opadami katastrofalnymi, podobnymi do tych, jakie wystąpiły podczas powodzi w roku 1934 (warstwa zdeponowana w roku 1934 jest zarejestrowana i datowana radioizotopem ^{210}Pb), były zjawiskami zaburzającymi cykl spokojnej sedymentacji. Prądy zawieszinowe były generowane w jeziorze wskutek docierania do misy dużych spływów gruzowych. Datowana izotopowo górna granica zjawisk ekstremalnych, (B) dostarczających materiał allogeniczny do jeziora — zaznaczona występowaniem lamin mineralnych — została ustalona na rok 1857 (Ryc. 4). Tej dacie odpowiada warstwa o zawartości 0,18 mBq/g izotopu ołowiu 210 na głębokości 54 mm pod współczesnym dnem Morskiego Oka. Obliczono, że średnie tempo przyrostu osadów datowanych ołowiem 210 wynosi 0,37 mm/rok. Przyjmując ten wskaźnik dla małej epoki lodowej, pomiędzy datowanymi osadami z głębokości 54 i 150 mm (Ryc. 4) można obliczyć, że osad na głębokości 150 mm pod współczesnym dnem był deponowany około roku 1594, a początek sedymentacji mineralnej, charakterystycznej dla małej epoki lodowej (litera C na Ryc. 4) przypada na około A.D. 1400. Warstwa mineralna datowana w rdzeniu S3 na rok 1594 sugeruje, że główna faza aluwiacji stoków gruzowych otoczenia Morskiego Oka przypadała na wiek XVII. Jednak widoczne na obrazie rentgenowskim struktury sedymentacyjne dokumentują istnienie wcześniejszego pogorszenia klimatycznego w Tatrach, a wykazywanego w Alpach szwajcarskich na podstawie badań dendroklimatologicznych (Renner 1982). Obraz struktur sedymentacyjnych demonstrowanych na kliszy z rdzenia S3 potwierdza pogląd Lamba (1977), że istotna

faza występowania ekstremów klimatycznych przypadała na okres A.D. 1550–1700, chociaż początek tatrzańskiej epoki lodowej należy umieścić u progu XV wieku. Istnieje zasadnicza zbieżność poglądów wśród badaczy małej epoki lodowej na kuli ziemskiej na temat czasu jej zakończenia. Przyjmuje się, że koniec przypada na A.D. 1850 z regionalnymi różnicami ± 50 lat (Bradley, Jones 1992). Również w Tatrach pogląd ten znajduje potwierdzenie w osadach jeziornych Morskiego Oka. Pośrednie datowania osadów korelatnych na stokach (datowania lichenometryczne reliktowych form spływów gruzowych) wykonane dla stoków otaczających Zielony Staw Gąsienicowy (Kotarba 1992a) są zgodne z datowaniami radioizotopem ^{210}Pb osadów kończących sedymentację mineralną małej epoki lodowej w Morskim Oku. Jedne i drugie wskazują, że po roku 1860 nastąpiło zmniejszenie natężenia procesów aluwacyjnych na stokach otaczających te stawy, chociaż modelowanie stoków gruzowych w Tatrach Wysokich nadal trwało do początku XX wieku (1905), o czym świadczą liczne datowane lichenometrycznie spływy gruzowe w otoczeniu Hali Gąsienicowej (Kotarba 1992a). Późniejsze, sporadycznie występujące ekstremalne zjawiska hydrometeorologiczne, takie jak ulewy w roku 1934, 1971 czy 1973, są odnotowane w osadach najmłodszych w postaci subtelnych lamin mineralnych tkwiących w bezpostaciowej materii organicznej.

Praca niniejsza została wykonana w ramach projektu badawczego nr 6-0253-91-01, pt. „Ewolucja środowiska naturalnego Tatr w świetle analizy osadów limnicznych”, chociaż materiały terenowe zostały zebrane w okresie poprzedzającym istnienie grantu. Serdeczne podziękowania autor kieruje do mgr Przemysława Wachniewa za wykonanie datowań izotopem ^{210}Pb oraz do mgr Marii Klimkowej za prace kreślarskie.

Zakład Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
31-018 Kraków, ul. Św. Jana 22

LITERATURA

- Axelsson V., Hakansson L., 1972. *A core sampler with rectangular coring tubes for soft sediments*. Geografiska Annaler, 54A, 32–33.
- Baumgart-Kotarba M., Jonasson C., Kotarba A., 1990. *Studies of youngest lacustrine sediments in the High Tatra Mountains, Poland*. Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica, 24, 161–177.
- Bradley R.S., Jones P. D., 1992. *When was the Little Ice Age. Proceedings of the Intern. Symposium on the Little Ice Age Climate*. T. Mikami. (ed.), Dept. of Geography, Tokyo Metropolitan University, 1–4.
- Kotarba A., 1992. *Mountain slope dynamics due to debris-flow activity in the High Tatra Mountains, Poland*. Bull. Assoc. Géogr. Franç. Paris, 257–259.
- Kotarba A., 1992a. *High-energy geomorphic events in the Polish Tatra Mountains*. Geografiska Annaler 74A, 2–3, 123–131.
- Lamb H.H., 1977. *Climate, Present, and Future*. Methuen, London, 835.

- Renner F., 1982. *Beiträge zur Gletschergeschichte des Gotthardgebietes und dendroklimatologische Untersuchungen an fossilen Hölzern*. Phys. Geographie, 8, Univ. Zürich.
- Wicik B., 1984. *Osady jezior tatrzańskich i etapy ich akumulacji*. Prace i Studia Geogr. UW, 5, 55–69.

SUMMARY

A. Kotarba

RECORD OF LITTLE ICE AGE IN LACUSTRINE SEDIMENTS OF THE MORSKIE OKO LAKE, HIGH TATRA MOUNTAINS

These studies aim at an identification of the Little Ice Age geomorphic processes within high-mountain, not glaciated, geomorphological system. The approaches used to describe the activity of extreme slope geomorphic processes (slope wash and debris flows). Correlative sediments to these processes are recorded in lacustrine sediments (Figs 1 and 2). The forms of the lake basins indicate that Tatra lakes were an efficient traps and that the amount of fine sediments which escaped from the lakes during the Holocene were minimal. Therefore, lacustrine sedimentation seems to be a good indicator of Holocene landform dynamics (Fig. 3). Sedimentation rate data are used as a proxy record of high-energy geomorphic events on the slopes being in close connection to the lakes.

Findings both from previous and here presented investigations on Tatra lake sedimentology indicate that gravity corer developed at Uppsala University (Axelsson, Hakansson 1972) is the most useful facility when studying the youngest deposits, as this technique diminish the disturbances, caused by sampling, of the water rich uppermost sediments.

The main conclusion from the study is following. Shallow lacustrine sediment both in big Morskie Oko Lake (surface area 34.9 ha) and in smaller lakes (Czarny Staw Gąsienicowy — 17.9 ha, Zielony Staw Gąsienicowy — 3.8 ha) have similar structure (Baumgart-Kotarba *et al.* 1990). Three sedimentological units can be easily distinguished: (1) pre-Little Ice Age member rich in organic matter (up to 25 per cent) interbedded with sporadic mineral lamina, (2) Little Ice Age member rich in mineral matter (up to 95 per cent) and (3) post-Little Ice Age member characterized by organic rich sediment typical for quiet sedimentation.

Radioisotopes ^{210}Pb and ^{14}C were used for absolute dating of the sediments in the Morskie Oko Lake (Figs. 4 and 5). Little Ice Age is evidenced in the sediments from the beginning of the 15th century. It lasted to about A.D. 1860. For this time span a higher frequency of turbidities was recorded in the middle section of the cores. Mineral laminae in this section are interpreted as a result of short-lived climatic events, such as heavy and intensive rainstorms and/or melting of seasonal snow simultaneous with rainstorms. Mean annual sedimentation rate was calculated directly from sediment thickness for the Little Ice Age — 0.37 mm per year. This value is significantly higher than sedimentation rates calculated for other phases of the Holocene (Kotarba 1992).