

Barbara MARCINIAK, Anna CIEŚLA

## Badania diatomologiczne i geochemiczne późnoglacialnych i holocenijskich osadów z Przedniego Stawu w Dolinie Pięciu Stawów Polskich (Tatry)

W osadach późnoglacialnych (diatomofazy PS1–PS5) zanotowano dużą zmienność okrzemek w obrębie rodzajów: *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Diploneis*, *Pinnularia* i *Amphora* oraz maksimum występowania *Cyclotella* sp. w diatomofazie PS2. W holocenie (diatomofazy PS6–PS10) obserwuje się wzrost udziału okrzemek planktonicznych, początkowo *Cyclotella quadriuncta?*, następnie *Asterionella formosa*, a dalej *Melosira distans*. Z badań geochemicznych wynika, że w osadach późnoglacialnych w zonach 2 i 3 zaznacza się wysoka koncentracja B, Ti, Mn i V, a w zonie 5 maksymalny udział Pb, B i V. W holocenie w zonach 6, 8 i 10 notuje się wysoką zawartość Cu i V, a w zonach 8 i 10 B i Mn. Wymienione diatomofazy i zony geochemiczne przedstawiono na tle fitofaz określonych metodą palinologiczną (K. Krupiński, praca w druku).

### WSTĘP

Dolina Pięciu Stawów Polskich (fig. 1) leży w strefie trzonu krystalicznego Tatr Wysokich. Powstała ona w wyniku przeobrażenia dolin preglacialnych przez lodowce plejstocenijskie (M. Hakenberg, 1959; M. Klimaszewski, 1978). Obecny swój charakter zawdzięcza przede wszystkim działalności lodowców würmskich, których śladem są nie tylko cyrki lodowcowe z zachowanymi w nich jeziorami (Zadni Staw 1890 m n.p.m., Czarny Staw 1772 m n.p.m., Wielki Staw 1665 m n.p.m. oraz Mały i Przedni Staw 1668 m n.p.m.), ale również wały moren czołowych oraz rygle skalne ze śladami wygładów lodowcowych (fig. 2–5).

Zdaniem M. Klimaszewskiego (1978) deglacjacja Doliny Pięciu Stawów Polskich przebiegała niejednostajnie (30 000–10 000 lat temu), a zachowane tu formy i osady lodowcowe wskazują na okresy postoju, a nawet nasuwania się czoł lodowców würmskich. W końcowej fazie zaniku tych lodowców utworzyły się formy morenowe zachowane w wyższych partiach zachodniej części doliny. Według B. Wicika (1979) zwolnienie od lodu rejonu Przedniego Stawu nastąpiło zapewne już w najstarszym dryasie.

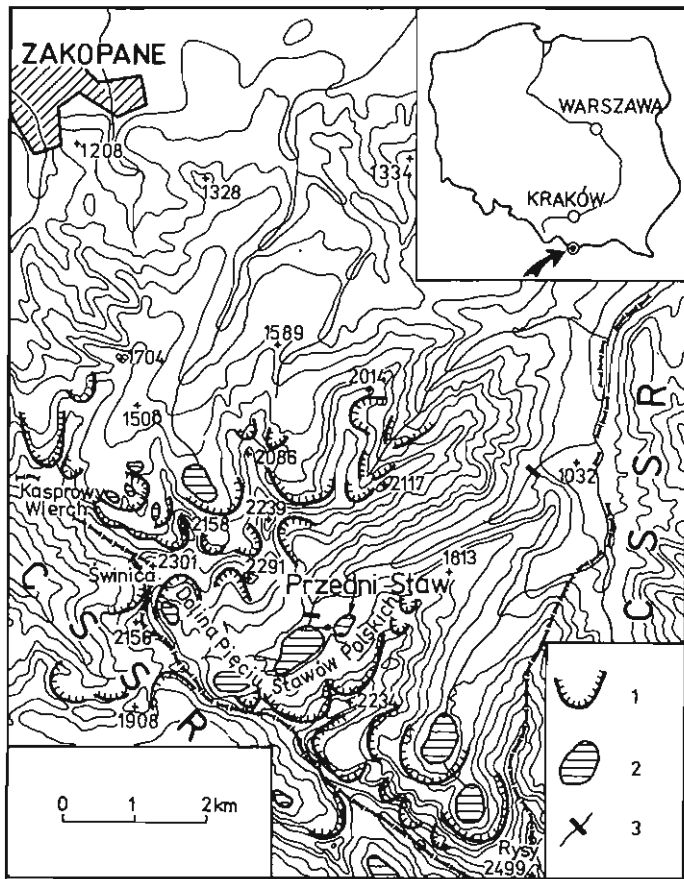


Fig. 1. Położenie Przedniego Stawu na tle głównych elementów rzeźby glacialnej Wysokich Tatr według S. Lencewicza (fide J. Kondracki, 1965)

Location of the Przedni Staw Lake at the background of the major elements of glacial relief in the Wysokie Tatry Mts, after S. Lencewicz (fide J. Kondracki, 1965)

- 1 – cyrki lodowcowe; 2 – jeziora; 3 – potoki i wodospady  
 1 – glacial cirques; 2 – lakes; 3 – streams and waterfalls

Dotychczasowe badania algologiczne i geochemiczne dotyczące osadów jezior tatrzańskich nie dostarczyły wielu opracowań. Można tu wymienić jedynie pracę K. Wasylika (1965) obejmującą badania osadów z górnej warstwy osadów jeziora Morskiego Oka i Wielkiego Stawu oraz opracowanie K. Pasternaka (1965), zawierające charakterystykę geochemiczną osadów wymienionych jezior i Toporowego Stawu.

Wśród jezior tatrzańskich Przedni Staw zajmuje szóste miejsce pod względem powierzchni (7,7 ha), pojemności oraz średniej i maksymalnej głęb. do 34,6 m (J. Szaflarski, 1936). Jezioro to jest usytuowane powyżej obecnej górnej granicy lasu, w strefie hal i kosodrzewiny (fig. 2–5).

W 1977 r. z dna Przedniego Stawu wydobyto dwa rdzenie (B. Wicik, 1979; K. Więckowski, praca w druku). Przedmiotem analizy osadniczej i geochemicz-



Fig. 2. Dolina Pięciu Stawów Polskich od północy; na planie bliższym waly moren czołowych, na dalszym Przedni Staw i Wielki Staw

The Dolina Pięciu Stawów Polskich Valley seen from the north; front moraine ridges in the front and the Przedni Staw and Wielki Staw Lakes in the background

nej jest rdzeń nr 2, pobrany z głęb. 29,1 m od powierzchni wody. Profil litologiczny tych utworów opisany przez K. Więckowskiego przedstawia się następująco:

**Głębokość w m**

**Opis litologiczny**

0,00–2,01 – Gytia organiczna, bardzo miękka, amorficzna, glonowo-detrytusowa, ciemna, oliwkowo-brunatna, poniżej 1 m zwięzła o konsystencji galaretowatej bez wyczuwalnej domieszki piasku.

2,01–3,08 – Jasnoszary, koloidalny utwór ilasty, bardzo słabo warstwowany.

Osady Przedniego Stawu poddano wstępnym badaniom sedymentologicznym, chemicznym, mineralogicznym (B. Wicik, 1979; A. Białowska, A. Cieśla, 1980; K. Więckowski, praca w druku) i palinologicznym (K. Krupiński, praca w druku). Wykonano również analizę *Cladocera* (K. Szeroczyńska, praca w druku) oraz wstępne badania taksonomiczne okrzemek (B. Marciniak, 1982)<sup>1</sup>. Ponadto dla warstwy granicznej osadów organicznych i mineralnych z głęb. ok. 2 m oznaczono wiek metodą <sup>14</sup>C, który wynosi 9900 ± 120 lat BP (B. Wicik, 1982).

Autorki dziękują drowi K. Krupińskiemu, mgr K. Szeroczyńskiej, drowi K. Więckowskiemu i drowi B. Wicikowi za udostępnienie niepublikowanych wyników prac oraz doc. drowi hab. L. Lindnerowi za uwagi dotyczące problematyki glacialnej i zdjęcia z Doliny Pięciu Stawów Polskich. Dziękują również Komite-

<sup>1</sup> Wyniki tych badań były prezentowane na Międzynarodowym Sympozjum Okrzemek Współczesnych i Kopalnych w Budapeszcie w 1980 r.



Fig. 3. Przedni Staw od południa; na dalszym planie schronisko wysokogórskie, rygiel skalny i wały moren ezołowych

The Przedni Staw Lake seen from the south; high-mountain shelter, rocky treshold and front moraine ridges in the background

towi Badań Czwartorzędu PAN za częściowe finansowanie analizy pierwiastków śladowych.

### ANALIZA OKRZEMEK

Do analizy okrzemek z osadów Przedniego Stawu pobrano 49 próbek z głęb. od 0,55 do 3,08 m w odstępach co 5 cm (próbki nr 12–61). Maceracji próbek dokonano za pomocą gotowania w 30%  $H_2O_2$ , a następnie w stężonym  $H_2SO_4$ . Ponadto próbki z osadów mineralnych dolnego odcinka profilu (2,01–3,08 m) poddano flotacji poprzez wirowanie w cieczy ciężkiej ( $KJ + CdJ_2$ ) o ciężarze właściwym 2,3 g.

Wstępna analiza badanego profilu wykazała w grupie dominantów obecność okrzemek, sprawiających duże trudności przy określaniu ich przynależności systematycznej. Należały do nich gatunki, które w badanych osadach zostały znalezione i opisane po raz pierwszy. Są to: *Fragilaria pseudoconstruens*, *F. pseudoconstruens* var. *bigibba*, *F. pseudoconstruens* var. *rhombica* oraz *F. microstriata* (B. Marciniak, 1982). Zakres zmienności kilku gatunków okrzemek często występujących w analizowanym profilu przedstawiono na tabl. I–V.

Dla ustalenia liczebności okrzemek w każdej próbce liczono ok. 1000 okazów. Wyniki analizy ilościowej przedstawiono na diagramie syntetycznym obrazującym udział procentowy poszczególnych gatunków w profilu osadów Przedniego Stawu (fig. 6). Analiza ilościowa wykazała znaczną zmienność składu i liczebności



Fig. 4. Ujściowy odcinek Doliny Pięciu Stawów Polskich  
Mouth part of the Dolina Pięciu Stawów Polskich Valley

okrzemek dominujących i subdominujących, co pozwoliło na wydzielenie w dolnej (ok. 1 m miąższości) warstwie pięciu faz okrzemkowych (diatomofaz PS1 – PS5), odpowiadających prawdopodobnie kolejnym okresom późnego glacjału. W górnej części profilu obejmującej warstwę osadów organicznych wydzielono również pięć kolejnych diatomofaz (PS6 – PS10), które nie w pełni odpowiadają poszczególnym okresom klimatycznym holocenu (K. Krupiński, praca w druku). Ponadto w większości diatomofaz wyróżniono subdiatomofazy (fig. 6).

#### DIATOMOFAZA PS1

Diatomofaza ta jest reprezentowana przez niewielką liczbę (24) gatunków okrzemek znalezionych w próbce nr 61 z najniższej części profilu. Okrzemek tych nie uwzględniono na diagramie z powodu ich bardzo małej frekwencji, która nie pozwalała na odtworzenie w pełni miarodajnego obrazu środowiska. Jest to prawdopodobnie inicjalna faza rozwoju jeziora zaznaczona bardzo ubogą i nieliczną florą okrzemek. W fazie tej pojawiają się pojedyncze gatunki z rodzajów *Fragilaria*, *Cyclotella*, *Navicula* oraz *Denticula tenuis* var. *crassula*, *Stauroneis anceps* f. *gracilis*, *Stauroneis smithii*, *Meridiom circulare* i inne.

Z obecności tych gatunków wynika, że w ówczesnych, skrajnie oligotroficznym warunkach okrzemki mogły rozwijać się jedynie w czystych, bardzo zimnych wodach stojących i płynących, częste w potokach i źródłach lub na zraszanych wodą skałach i wśród mchów. Okrzemki te pochodzą z różnych biotopów; są wśród nich zarówno gatunki reofilne, epilityczne oraz aerofilne i terestryczne, jak również formy denne i planktoniczne należące do grupy okrzemek halofobowych, indyferentnych lub alkalifilnych.



Fig. 5. Zachodni brzeg Przedniego Stawu  
Western shore of the Przedni Staw Lake

#### DIATOMOFAZA PS2

Diatomofaza ta dzieli się na trzy subdiatomofazy (PS2a–PS2c). Subdiatomofaza PS2a zaznacza się wyraźnym wzrostem liczebności okrzemek. Dominują tu *Fragilaria pseudoconstruens*, *Navicula digitulus?*, *Fragilaria brevistriata* i *Cyclotella* sp. (tabl. I, fig. 1–14), która jest bardzo zbliżona do *Cyclotella comta*. *Fragilaria pseudoconstruens* (tabl. III, fig. 1–7) została opisana jako nowy gatunek (B. Marciniak, 1982, Pl. 1, Fig. 1), który niewiele różni się od *F. construens* (B. Marciniak, 1981, Pl. 4, Fig. 1). W środkowej części osadów omawianej fazy (subdiatomofaza PS2b) obejmującej próbki nr 59–57 następuje gwałtowny spadek frekwencji okrzemek. Znajdowano tu jedynie pojedyncze okazy kilkunastu gatunków. Późniejsze pojawienie się okrzemek (w próbkach nr 56 i 55) charakteryzuje się wzrostem liczebności *Cyclotella* sp., która wraz z *Amphora parallelstriata* osiąga maksimum w badanym profilu pod koniec fazy drugiej (PS2c). Towarzyszy im *Denticula tenuis* et var. *crassula* oraz liczna grupa okrzemek typowych dla późnoglacialnych osadów Przedniego Stawu.

Wzrost liczebności okrzemek, a szczególnie maksymalny rozwój flory *Cyclotella*, wskazuje na pewną poprawę warunków klimatycznych i siedliskowych w omawianej fazie późnego glacialu. W tej części osadów obserwuje się również w profilu geochemicznym znaczne zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych (zona 2), co szczególnie wyraźnie widać na przykładzie zmian zawartości Cu. Natomiast w profilu pyłkowym omawiana faza ocieplenia (bølling?) zaznaczyła się w mniejszym stopniu (K. Krupiński, praca w druku).

## DIATOMOFAZA PS3

Początek tej diatomofazy (subdiatomofaza PS3a) charakteryzuje się zwiększeniem udziału *Fragilaria pseudoconstruens* oraz gatunków z rodzajów *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* i *Achnanthes*. W subdiatomofazie PS3b wraz z jednoczesnym zmniejszaniem się frekwencji *Cyclotella* sp. wzrasta liczebność *Navicula* sp. (tabl. V, fig. 7). Gatunek ten będzie przedmiotem dalszych badań porównawczych w celu określenia jego przynależności systematycznej. Trudno go oznaczyć, bowiem może on odpowiadać opisom kilku gatunków *Navicula* (*N. minusculoides*, *N. subminuscula*, *N. muralis*) podanym przez F. Hustedta (1930–1966). Mniejsze okazy *Navicula* sp. niewiele różnią się od *Navicula indifferens* notowanej w jeziorach Fennoskandii przez J. Meriläinena (1969) i I. Renberga (1976).

Ustąpienie flory *Cyclotella* oraz wzrost roli okrzemek kserofilnych (epilitycznych, aerofilnych, terrestrycznych), żyjących na wilgotnych skałach i na mchach, oraz okrzemek żyjących na dnie jezior łączy się zapewne z pogorszeniem warunków termicznych dla rozwoju fitoplanktonu. Jednocześnie wzrasta znaczenie gatunków północnoalpejskich i arktycznych. Powyższe zmiany są prawdopodobnie wynikiem skrócenia czasu wegetacji roślin, spowodowanego tylko częściowym rozmarzaniem jeziora podczas lata. Zjawiska te można wiązać raczej z okresem chłodnym i suchym.

## DIATOMOFAZA PS4

W subdiatomofazie PS4a utrzymują się na poprzednim poziomie okrzemki należące do rodzajów *Navicula* i *Achnanthes*, natomiast wzrasta udział *Fragilaria pseudoconstruens*, *F. elliptica*, *Denticula tenuis* oraz gatunków z rodzaju *Nitzschia*. W subdiatomofazie PS4b obserwuje się dalszy znaczny wzrost *Fragilaria elliptica* i *Diploneis elliptica*?, zmniejszenie *Fragilaria pseudoconstruens* oraz niektórych gatunków *Navicula*. Struktura i cechy diagnostyczne *Diploneis elliptica*? (tabl. III, fig. 30–35) są najbardziej zbliżone do cech okazów tego gatunku opisanych przez N. Fogeda (1974) z jezior Islandii.

W subdiatomofazie PS4c wzrasta udział *Fragilaria microstriata* (tabl. III, fig. 26–29), gatunku opisanego przez B. Marciniak (1982), który jest bardzo podobny do *F. brevistriata*. Prawdopodobnie występuje on również w późnoglacialnych osadach jeziornych w Szkocji, gdzie został uwzględniony w spisie i na diagramie jako gatunek nieoznaczony (E.Y. Haworth, 1976 oraz informacja ustna). Ponadto w subdiatomofazie PS4c odnotowano niewielki wzrost ilości *Cyclotella* sp., *Navicula wittrockii* i *Amphora parallelistriata* oraz gwałtowny spadek *Fragilaria elliptica*. Zarówno zmienność składu dominantów i subdominantów, jak też pojawienie się i zróżnicowanie wielu okrzemek wskazują na ich większe urozmaicenie i większą różnorodność w omawianej fazie niż w poprzednich fazach późnego glacialu.

Można przypuszczać, iż taka różnorodność właściwa dla rozmaitych biotypów była wynikiem dotychczasowego działania bardzo zmiennych warunków fizyczno-chemicznych i biologicznych idących w ślad za znacznymi i szybkimi zmianami klimatu. Jak wykazały badania palinologiczne (K. Krupiński, praca w druku) zmiany te zachodziły bardzo intensywnie zarówno przed allerródem, jak też w allerródzie, któremu odpowiada diatomofaza PS4. Potwierdzeniem tych zmian może być również dotychczasowy szybki przebieg procesów geochemicznych, o czym świadczy szczególnie duże zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych w zonach 2–4.

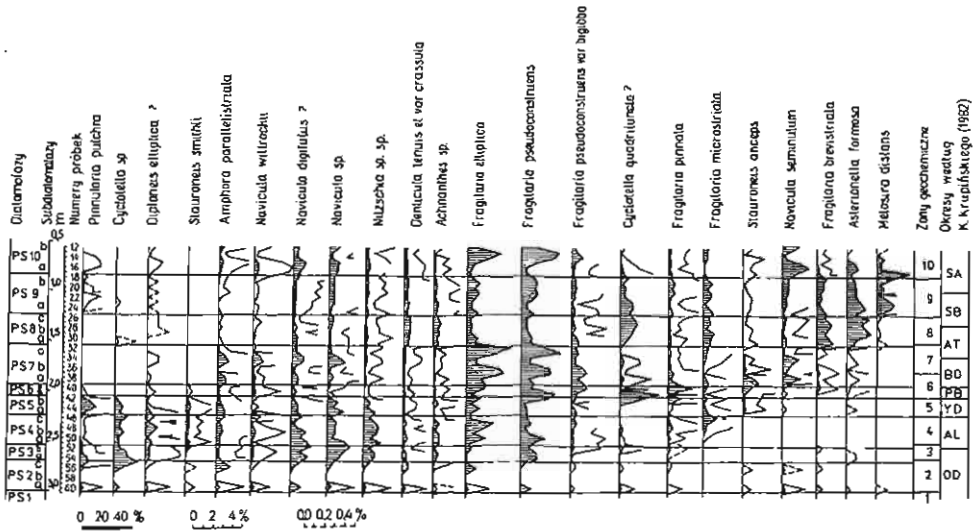


Fig. 6. Diagram okrzemkowy z profilu osadów Przedniego Stawu  
Diatom diagramme for sedimentary column of the Przedni Staw Lake

#### DIATOMOFAZA PS5

Diatomofaza ta w znacznym stopniu nawiązuje składem okrzemek dominujących do diatomofazy PS3 poprzedzającej allerołd (fig. 6). Początkowo, w subdiatomofazie PS5a wzrasta udział *Navicula* sp. i *Pinnularia pulchra* (tabl. V, fig. 8–14), która jest znana z wielu stanowisk z obszarów arktycznych i subarktycznych Fennoskandii i Grenlandii (F. Hustedt, 1942; N. Foged, 1964, 1968, 1973), Islandii (E. Foged, 1974) oraz z postglacjalnych osadów Norwegii i Grenlandii (N. Foged, 1972). W grupie subdominantów oraz okrzemek dość licznych znajdują się tu *Fragilaria elliptica*, *Cyclotella* sp., *Nitzschia* sp. sp., *Amphora parallelistriata* i *Navicula digitulus*? W subdiatomofazie PS5b wzrasta nagle liczebność *Fragilaria pseudoconstruens*, *F. pinnata* oraz *Achnanthes* sp. sp., a maleje udział *Cyclotella* sp., *Diploneis elliptica*?, *Amphora parallelistriata*, *Nitzschia* sp. sp. oraz innych mniej licznych okrzemek.

Ponadto w diatomofazie PS5 występuje wiele gatunków charakterystycznych dla skrajnie surowych warunków ekologicznych i klimatycznych. Spowodowały one przewagę okrzemek o niskich wymaganiach życiowych, które mogły się rozwijać w warunkach tundrowych. Niektóre z nich nie były dotychczas często notowane w osadach czwartorzędowych, prawdopodobnie z powodu ich bardzo delikatnej struktury, jak np. *Achnanthes gracillima* (N. Foged, 1968). W większości gatunki te są typowe dla wód oligotroficznych, od okołoneutralnych (pH ok. 7) do słabo kwaśnych. Nie jest to jednak grupa jednolita pod względem ekologicznym, znajdują się w niej również okrzemki kosmopolityczne, oligohalobowe, indyferentne, alkalifilne i rheobionty, do których należy np. *Surirella angusta* (tabl. V, fig. 14, 25). We współczesnych stanowiskach jest ona dość często napotykana przez N. Fogeda (1977, 1978, 1980) i innych, natomiast w osadach późnoglacialnych jest notowana rzadko (E.Y. Haworth, 1976).



## DIATOMOFAZA PS6

Subdiatomofaza PS6a wyróżnia się wybuchowym rozwojem *Cyclotella quadriuncta*? (tabl. II, fig. 1–14) i *Fragilaria pseudoconstruens*, a następna subdiatomofaza PS6b wzrostem ilości *Fragilaria pinnata*, *F. elliptica* i *F. pseudoconstruens* var. *bigibba*, która w poprzednich fazach nie osiągnęła tak znaczącej frekwencji (fig. 6). *Fragilaria pseudoconstruens* var. *bigibba* (tabl. III, fig. 8–11) jest bardzo podobna do *Fragilaria robusta*, należącej do gatunków bentycznych, występujących w strefie dysfotycznej głębokiego jeziora Pavin w Masywie Centralnym (E. Manguin, 1954).

Zróznicowanie składu i przegrupowanie okrzemek dominujących oraz mniej licznych w diatomofazie PS6 wskazują, że początek holocenu (K. Krupiński, praca w druku) jest wyraźnie zaznaczony w tak wąskim odcinku badanego profilu. Wydaje się, że krótkotrwały, masowy rozwój *Cyclotella quadriuncta*? był zapewne spowodowany nagłą zmianą warunków termicznych, która miała miejsce w okresie preborealnym. W tym czasie, dzięki obecności fitoplanktonu w jeziorze następuje także rozwój fauny *Cladocera* (K. Szeroczyńska, praca w druku). Tak więc profil osadów z Przedniego Stawu dobrze ilustruje zjawisko wzrostu temperatury i wilgotności notowane na początku holocenu w szerszej skali (N.A. Hotinski, 1977), na co zwrócił uwagę B. Wicik (1979), porównując akumulację osadów w kilku jeziorach Tatr Wysokich.

## DIATOMOFAZA PS7

W diatomofazie tej zanotowano duże zróznicowanie dominujących okrzemek z rodzajów *Fragilaria*, *Amphora*, *Navicula* i *Stauroneis*, które zaznacza się w trzech subdiatomofazach (PS7a–PS7c). Początkowo, w subdiatomofazie PS7a następuje znaczny wzrost *Stauroneis anceps*, *Navicula seminulum* i *Amphora parallelistriata*, występujących obok mniej licznej flory *Fragilaria* (*F. elliptica*, *F. pseudoconstruens* et var. *bigibba*). Jednocześnie ustępują okrzemki dominujące w fazie poprzedniej (*Cyclotella quadriuncta*?, *Fragilaria pinnata* oraz częściowo *F. pseudoconstruens*). Subdiatomofaza PS7b charakteryzuje się wzmocnionym rozwojem *Fragilaria* (*F. elliptica*, *F. pseudoconstruens* et var. *bigibba*) oraz *Navicula* (*N. seminulum*, *N. wittrockii*, *N. digitulus*?, *N. sp.*), ponownym zwiększeniem się udziału *Amphora parallelistriata* oraz znacznym spadkiem ilości *Stauroneis anceps*, który jest reprezentowany głównie przez gatunek *gracilis* (tabl. IV, fig. 1–4). W subdiatomofazie PS7c, która przypada na początek okresu atlantyckiego (K. Krupiński, praca w druku), następuje ponowny, maksymalny w badanym profilu, wzrost *Fragilaria elliptica* i *F. pseudoconstruens* z jednoczesnym spadkiem liczebności większości okrzemek częstszych w dwóch poprzednich subdiatomofazach (PS7a i PS7b). Subdiatomofaza PS7c dokumentuje zatem przejście od flory typowej dla okresu borealnego do flory okresu atlantyckiego (fig. 6).

## DIATOMOFAZA PS8

Diatomofaza ta dzieli się na trzy subdiatomofazy (PS8a–PS8c), w których stopniowo zaczynają się rozwijać typowe okrzemki planktoniczne. W subdiatomofazie PS8a pojawia się dość licznie *Asterionella formosa* i *Cyclotella quadriuncta*?, którym towarzyszy najliczniejsza w omawianej fazie *Fragilaria brevistriata* oraz inne gatunki *Fragilaria* dominujące w poprzednich fazach. Subdiatomofazę PS8b charakteryzuje maksymalny udział w badanym profilu *Asterionella formosa* i stop-

niowy wzrost *Cyclotella quadriiuncta?*, dalsze ustąpienie *Fragilaria elliptica* i *F. pseudoconstruens* oraz utrzymanie się na poziomie zbliżonym do poprzedniej subfazy *Fragilaria brevistriata* i *F. microstriata*. W subdiatomofazie PS8c obserwuje się jeszcze duży procent *Asterionella formosa*, lekki spadek ilości *Cyclotella quadriiuncta?* oraz *Fragilaria brevistriata* i *F. microstriata*, podobnie jak innych gatunków *Fragilaria* wymienionych poprzednio.

Wyraźny wzrost ilości okrzemek planktonicznych w omawianej fazie świadczy o optymalnych warunkach klimatycznych i ekologicznych, zapewne najbardziej sprzyjających rozwojowi fitoplanktonu w dotychczasowej historii badanego jeziora. Wskazuje na to zwłaszcza wzrost *Asterionella formosa*, która występuje masowo w planktonie jezior eutroficznych (J. Siemińska, 1964). Wydaje się, że jej obecność w osadach Przedniego Stawu wymaga jednak szczegółowszej oceny danych ekologicznych oraz sprawdzenia czy gatunek typowy nie jest mylony z *Asterionella formosa* var. *tatica*, opisaną z Tatr (J. Wołoszyńska, 1934).

#### DIATOMOFAZA PS9

Diatomofazę tę, a szczególnie jej dolną część, której odpowiada subdiatomofaza PS9a, charakteryzuje pojawienie się w znaczącej ilości *Melosira distans*. Jest ona gatunkiem stenotermicznym, zimnolubnym, szeroko rozpowszechnionym i często spotykanym w litoralu głównie północnych i górskich zbiorników wodnych Europy (J. Siemińska, 1964). Obok *Melosira distans* w znacznej liczbie występują okrzemki dominujące w poprzedniej subdiatomofazie *Asterionella formosa*, *Cyclotella quadriiuncta?* oraz niezbyt liczna w omawianej subdiatomofazie flora *Fragilaria*. W subdiatomofazie PS9b zanotowano lekki wzrost *Fragilaria* (*F. pseudoconstruens*, *F. elliptica*, *F. brevistriata*, *F. microstriata* i *F. pinnata*) oraz zmniejszenie frekwencji okrzemek dominujących w poprzedniej subdiatomofazie (*Melosira distans*, *Cyclotella quadriiuncta?* i *Asterionella formosa*).

Powyższe zmiany składu okrzemek w obu subdiatomofazach, a zwłaszcza pojawienie się w subdiatomofazie PS9a większej liczby *Melosira distans*, może wskazywać na zmiany chemizmu wód jeziora w kierunku wzrostu kwasowości, gdyż jak wynika z badań N. Fogeda (1964, 1974, 1977, 1978, 1979, 1980) jest to gatunek halofobowy, acidofilny i kosmopolityczny. Przypuszczalne zmiany chemizmu w jeziorze mogły być wynikiem pogorszenia warunków klimatycznych w porównaniu z poprzednią, optymalną fazą rozwoju okrzemek (fig. 6). Należy podkreślić, że dolna część omawianej fazy (subdiatomofaza PS9a) reprezentuje okres subborealny, natomiast jej górna część (subdiatomofaza PS9b) już okres subatlantycki (K. Krupiński, praca w druku).

#### DIATOMOFAZA PS10

W diatomofazie tej wyróżniono dwie subdiatomofazy (PS10a i PS10b). Początkowo (w subdiatomofazie PS10a) maksymalnie wzrasta udział *Melosira distans* i *Navicula seminulum* oraz zwiększa się ilość *Asterionella formosa* i kilku gatunków *Navicula*, a zmniejsza *Fragilaria brevistriata* i *Cyclotella quadriiuncta?* Pod koniec omawianej fazy (w subdiatomofazie PS10b) na miejsce poprzednich dominantów wchodzi okrzemki z rodzaju *Fragilaria* (*F. pseudoconstruens* et var. *bigibba* i *F. elliptica*).

Ostatnia faza rozwoju okrzemek reprezentuje w badanym profilu tylko część okresu subatlantyckiego (por. K. Krupiński, praca w druku). Składem okrzemek dominujących w znacznym stopniu nawiązuje ona do diatomofazy PS7. Ponadto

w diatomofazie PS10 ponownie pojawiają się niektóre okrzemki charakterystyczne dla schyłku okresu późnoglacialnego, co niewątpliwie wskazuje na pogorszenie warunków klimatycznych i siedliskowych w starszej części okresu subatlantyckiego.

## ANALIZA GEOCHEMICZNA

Osady denne Przedniego Stawu zostały objęte również badaniami pierwiastków śladowych oraz składu mineralnego.

### PIERWIĄSTKI ŚLADOWE

Analizę przeprowadzono za pomocą spektrografu siatkowego *DFS-13*. Dla oznaczenia części organicznych próbek osadów prażono w temp. 550°C. Po określeniu strat prażenia w temp. 950°C próbki ucierano ze spektralnie czystym węglem, po czym wykonano analizę spektralną. Oznaczono zawartość następujących pierwiastków śladowych: B, Pb, Co, Ni, Cu, Ti, V, Cr i Mn w tych samych 49 próbkach (12–61), które pobrano do analizy okrzemek. Ponadto dla badanego profilu wykonano oznaczenia C i S (w 9 próbkach) na automatycznym analizatorze firmy *Leco*, typ *CS-0,44*, przy zastosowaniu detekcji w podczerwieni.

Zawartość pierwiastków śladowych i substancji organicznej wykazuje znaczne zróżnicowanie w całym profilu pionowym, przy czym na głęb. 2,05–2,10 m zaznacza się podział profilu na dwie części. W części dolnej obejmującej osady późnoglacialne średnia zawartość oznaczonych pierwiastków (z wyjątkiem Cu) jest znacznie wyższa niż w części górnej. Średnia zawartość substancji organicznej w dolnej części profilu jest natomiast 10-krotnie niższa (nie przekracza 4,7%) niż w części górnej, gdzie waha się w granicach od 12,5 do 44,5% (fig. 7, tab. 1).

Na podstawie zróżnicowanych koncentracji badanych pierwiastków w profilu pionowym wydzielono poziomy zmienności geochemicznej osadów dennych Przedniego Stawu, określane jako zony geochemiczne, które zestawiono z diatomofazami i fitofazami.

W dolnej, późnoglacialnej części profilu wyróżniono pięć zon geochemicznych (fig. 8–10). Najniższa warstwa osadów (3,08–3,00 m) odpowiada inicjalnemu etapowi rozwoju jeziora i odznacza się niską koncentracją B, Pb, V, Ti i Mn (zona 1). Na głęb. 3,00–2,65 m zaznacza się wyraźny wzrost i następnie zmniejszenie zawartości większości badanych pierwiastków śladowych (zona 2). W tej zonie początkowo notuje się znaczny wzrost Cu, następnie obniżenie i ponownie jego wzrost. Zona 3 (2,65–2,50 m) charakteryzuje się wyraźnym zwiększeniem zawartości B, Pb, V, a zwłaszcza Ti i Mn, które osiągają tu maksymalne wartości w odniesieniu do całego badanego profilu, natomiast niską zawartością Cu, Co i Ni. W następnym odcinku profilu (2,50–2,25 m) odpowiadającym zonie 4 zaznacza się wzrost zawartości Cu i Ni oraz zmniejszenie koncentracji Pb, Ti, V i Mn. Ostatnia – zona 5 późnoglacialnej części profilu (2,25–2,05 m) ma najwyższą koncentrację Pb, V i Cr w badanych osadach (fig. 9).

Mimo że holocenijskie osady z Przedniego Stawu cechują się mniejszymi średnimi zawartościami badanych pierwiastków (z wyjątkiem Cu) niż osady późnoglacialne, to jednak wykazują wyraźne ich zróżnicowanie. Osady te również zostały podzielone na pięć poziomów – zon geochemicznych (6–10). W zonie 6 (2,05–1,80 m) występuje znaczny udział części organicznych i Cu oraz wyraźne zmniejszenie zawartości większości badanych pierwiastków (B, Ti, V, Cr, Mn i Pb) w stosunku do zony 5. W warstwie osadów na głęb. 1,80–1,50 m (zona 7) zanotowano

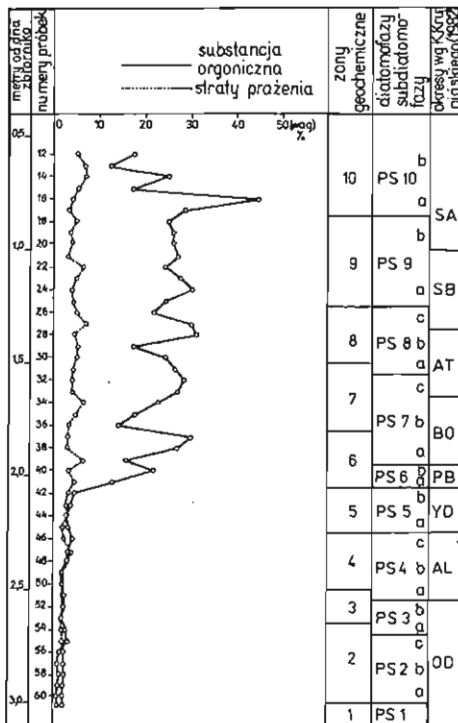


Fig.7

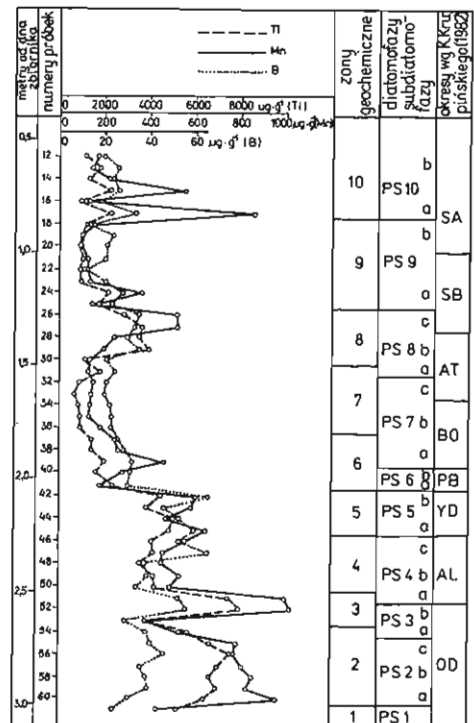


Fig.8

Fig. 7. Straty prażenia i zawartość części organicznych (w % wag.) w profilu osadów Przedniego Stawu  
Losses from burning and content of organic matter (in wt %) for sedimentary column of the Przedni Staw Lake

Fig. 8. Zawartość B, Ti i Mn (w  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) w profilu osadów Przedniego Stawu  
Content of B, Ti and Mn (in  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) in sedimentary column of the Przedni Staw Lake

zmniejszenie ilości Cu oraz dalsze obniżenie koncentracji wyżej wymienionych pierwiastków. W osadach na głęb. 1,50–1,25 m (zona 8) obserwuje się najpierw wzrost, a następnie na głęb. 1,25–0,85 m (zona 9) kolejne obniżenie zawartości B, Cu, Ti, V, Cr i Mn. Osady najmłodszego holocenu – zona 10 (0,85–0,55 m) charakteryzują się wysokim udziałem przede wszystkim Cu i Mn, które osiągają tu największe zawartości, a także znaczną zawartością B, Pb i V.

W osadach Przedniego Stawu spośród pierwiastków śladowych największą zmienność wykazuje Pb (11–230  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) i V (32–100  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Być może wysoką koncentrację tych pierwiastków w osadach późnoglacialnych, bardzo bogatych w minerały ilaste (jak np. próbka nr 45), należy wiązać z występowaniem ich w postaci własnych minerałów sorbowanych przez minerały ilaste: smektyt, chloryt i illit (fig. 11, 12).

Podobną zmienność w holocenie i w późnym glacie wykazują Mn i Ti (fig. 8). Mniejsze zróżnicowanie niż Mn i Ti dotyczy B, jednak zaznacza się jego wyraźna przewaga w późnym glacie. Pierwiastek ten łatwo podlega sorpcji zarówno przez ilaste osady dennie, jak również substancję organiczną. Sorpcja boru przez mine-

Tabela 1

Pierwiastki śladowe (w  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), części organiczne oraz straty prażenia (w % wag.)  
w późnoglacialnej (n = 20) i holocenijskiej (n = 29) części osadów z Przedniego Stawu

Stratygrafia	B	Pb	Co	Ni	Cu	Ti	V	Cr	Mn	Części organiczne	Straty prażenia
Holocen	26* 13-35**	34 11-72	23 17-31	18 12-28	42 20-110	1680 650-3900	65 30-140	34 23-50	240 95-540	24,5 12,5-44,5	4,7 3,2-6,8
Późny glacjał	44 24-65	110 35-230	24 20-31	25 14-54	37 17-110	5500 3000-7500	120 70-190	38 18-75	640 380-920	2,4 0,6-4,7	2,4 1,6-4,2

\* – wartości średnie, \*\* – wartości skrajne.

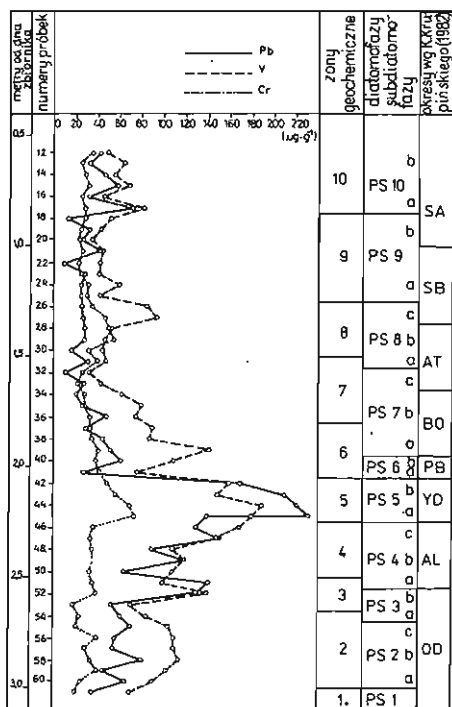


Fig.9

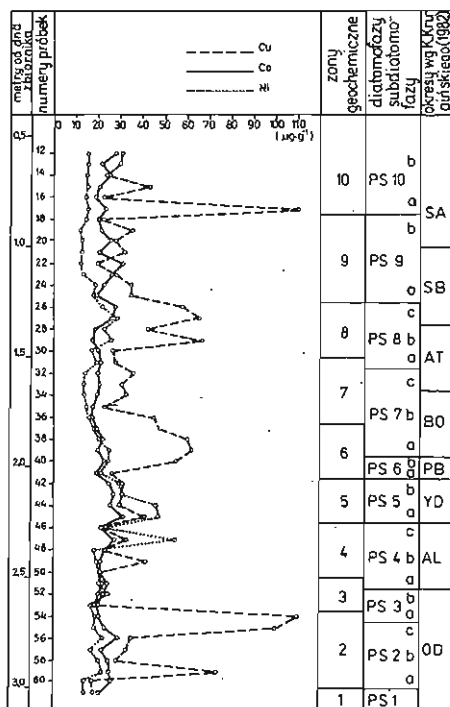


Fig.10

Fig. 9. Zawartość Pb, V i Cr (w  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) w profilu osadów Przedniego Stawu  
Content of Pb, V and Cr (in  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) in sedimentary column of the Przedni Staw Lake

Fig. 10. Zawartość Cu, Co i Ni (w  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) w profilu osadów Przedniego Stawu  
Content of Cu, Co and Ni (in  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) in sedimentary column of the Przedni Staw Lake

rały ilaste, zwłaszcza z grupy illitu, jest uzależniona od zasadowości środowiska; wykazuje maksimum przy pH 7–9 (K.B. Krauskopf, 1972).

Wysokie koncentracje Mn stwierdzono zarówno w mineralnych, jak i w organicznych osadach badanego profilu. Jest to zgodne z potwierdzoną przez wielu autorów tezą o możliwości sorpcji manganu przez minerały ilaste (D.E. Wilson, 1980) i substancję organiczną (H. Kerndorff, M. Schnitzer, 1980). Podkreślić także należy właściwość wzrostu sorpcji Mn wraz z podwyższeniem pH środowiska naturalnego.

Bardzo zróżnicowane w analizowanym profilu jest także występowanie Cu. Znacznie zwiększoną zawartość miedzi zanotowano w późnym glacie w strefie 2, a w holocenie w strefach 6, 8 i 10 (fig. 10). Wysoka koncentracja tego pierwiastka w osadach holocenicznych najprawdopodobniej łączy się ze zwiększonym stężeniem jonów siarczkowych. W osadach późnoglacialnych (strefa 2) wysoka koncentracja tego silnie sulfofilnego pierwiastka towarzyszy kilkakrotnie niższej zawartości siarki ogólnej w porównaniu z jej ilością w osadach holocenu. Może to wskazywać na odmienne warunki i przemiany fizykochemiczne oraz biologiczne panujące podczas tworzenia się osadów późnoglacialnych w Przednim Stawie w porówna-

niu z akumulacją osadów jeziornych na Niżu Polskim (A. Cieśla, B. Marciniak, 1982).

Do pierwiastków, których rozmieszczenie w badanym profilu zarówno w osadach późnego glacjału, jak i holocenu jest najmniej zróżnicowane, należą: Co, Ni i Cr.

#### SKŁAD MINERALNY

Skład mineralny osadów Przedniego Stawu określono metodą analizy rentgenostrukturalnej. Badania przeprowadzono na siedmiu próbkach (nr 60, 53, 45, 44, 43, 42 i 41). Oznaczenia wykonano na dyfraktometrze *Dron-2*, stosując promieniowanie  $\text{CoK}\alpha$  38 Ka 10 MA z filtrem Fe (fig. 11). Ponadto wykonano identyfikację minerałów frakcji ilastej próbek surowych (nr 60, 53, 45, 42, 41) i po ich glikolowaniu (fig. 12). Z uzyskanych dyfraktogramów wynika wyraźny podział osadów analizowanego profilu na dwie części. Próbkę osadów późno-

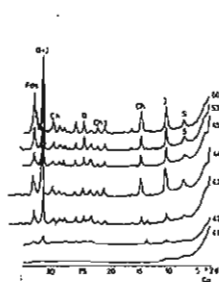


Fig. 11

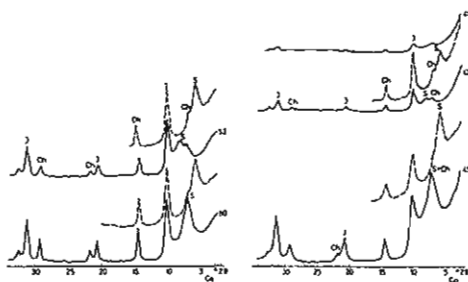


Fig. 12

Fig. 11. Dyfraktogramy próbek surowych z osadów Przedniego Stawu – promieniowanie  $\text{CoK}\alpha$   
Diffractograms of raw samples of sediments from the Przedni Staw Lake – radiation  $\text{CoK}\alpha$

Fds – skalenie; Ch – chloryt; J – illit; K – kaolinit; Q – kwarc; S – smektyt; 41–45, 53, 60 – numery próbek  
Fds – feldspars; Ch – chlorite; J – illite; K – kaolinite; Q – quartz; S – smectite; 41–45, 53, 60 – numbers of samples

Fig. 12. Dyfraktogramy frakcji ilastej próbek surowych (linia ciągła) i próbek nasyconych glikolem (linia przerywana), promieniowanie  $\text{CoK}\alpha$ , preparaty sedimentowane z osadów Przedniego Stawu  
Diffractograms of clay fraction from raw (continuous line) and glycol-saturated (broken line) samples; radiation  $\text{CoK}\alpha$ , samples from sedimentation of sediments from the Przedni Staw Lake

41, 42, 45, 53, 60 – numery próbek; pozostałe objaśnienia jak na fig. 11

41, 42, 45, 53, 60 – numbers of samples; other explanations as given in Fig. 11

glacialnych zawierają głównie minerały ilaste oraz kwarc i skalenie. W osadach holocenijskich części mineralnych nie stwierdzono. Granica podziału przebiega na głęb. 2,05–2,10 m. W próbkach pochodzących z dolnej części profilu, we frakcji ilastej stwierdzono smektyt, chloryt i illit, nie można też wykluczyć obecności kaolinitu, który może być maskowany przez chloryt. W niektórych próbkach zaznacza się zróżnicowanie zawartości poszczególnych składników mineralnych. Na przykład w próbkach nr 60, 53 i 42 jest znacznie mniej smektytu niż w próbce nr 45, przy czym jego zawartość jest najmniejsza w próbce nr 42.

Jak wykazała analiza rentgenostrukturalna, dolna późnoglacialna część osadów składa się głównie z minerałów wtórnych (będących prawdopodobnie pro-

duktami wietrzenia granitów otaczających zbiornik) oraz kwarcu i skaleni. Zawartość składników organicznych jest tu niewielka.

W osadach holocenijskich, w których nie stwierdzono części mineralnych, średnia zawartość badanych pierwiastków śladowych jest znacznie niższa niż w osadach późnoglacialnych. Otrzymane wyniki wskazują na znacznie większą zależność koncentracji analizowanych pierwiastków śladowych w osadach późnoglacialnych od minerałów wtórnych niż od obecności substancji organicznej. Potwierdza to pogląd o zależności między stopniem koncentracji pierwiastków śladowych a zawartością minerałów ilastych (Z. Wichrowski, 1981).

### UWAGI KOŃCOWE

Zmienność składu i liczebności okrzemek charakterystycznych dla różnych biotopów w diatomofazach PS1–PS5 (reprezentujących osady późnoglacialne) świadczy o bardzo zróżnicowanych warunkach fizyczno-chemicznych i biologicznych środowiska, wynikających zapewne ze znacznych zmian klimatu w Tatrach. Początkowo doprowadziły one do ustępowania lodowców z rejonu Przedniego Stawu, gdyż już w najstarszej fazie późnego glaciału (PS1) pojawiają się pierwsze nieliczne okrzemki przystosowane do życia w skrajnie niekorzystnych warunkach siedliskowych. Następnie w miarę poprawy tych warunków pojawiają się okrzemki planktoniczne (*Cyclotella* sp.), których obecność wskazuje na nieco dłuższy okres wegetacji, poprawę warunków świetlnych i termicznych w diatomofazie PS2 (bölling ?).

W dalszych, kolejnych diatomofazach (PS3–PS5) zachodziły na przemian zmiany w kierunku pogorszenia i poprawy (w diatomofazie PS4 – allerød) warunków ekologicznych, spowodowanych zapewne tylko częściowym rozmarzaniem jeziora w okresach letnich, co uniemożliwiło rozwój fitoplanktonu w tej części późnego glaciału. Świadczy o tym duże zróżnicowanie okrzemek w obrębie rodzajów: *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Diploneis*, *Pinnularia* i *Amphora*.

W osadach późnoglacialnych przeważają części mineralne – minerały ilaste, kwarc i skalenie. Średnia zawartość substancji organicznej nie przekracza tu 4,7%. W tych osadach zaznaczyły się dwie strefy (2, 3) o dużej zawartości B, Ti, Mn i V oraz najbardziej charakterystyczna strefa 5, w której zanotowano szczególnie wysoką koncentrację Pb, B i V, przypadającą na schyłek późnego glaciału (młodszy dryas).

Bardziej radykalna poprawa klimatu, która nastąpiła na początku holocenu, zaznaczyła się w diatomofazie PS6, kiedy to obserwuje się krótkotrwały rozwój *Cyclotella quadriuncta*?. Sukcesja okrzemek w diatomofazie PS7, zmanifestowana obecnością flory *Fragilaria* i *Navicula*, w dużym stopniu nawiązuje do późnego glaciału. Optymalną fazę rozwoju okrzemek (diatomofaza PS8) wyróżnia maksymalny wzrost *Asterionella formosa*, który miał miejsce na przełomie okresu atlantyckiego i subborealnego. O zmianach idących w kierunku ochłodzenia oraz lekkiego wzrostu kwasowości wód w jeziorze świadczy dość liczne występowanie *Melosira distans* w diatomofazach PS9 i PS10 reprezentujących najmłodszy holocen.

W osadach holocenijskich strefy o niższych koncentracjach pierwiastków śladowych (B, Pb, Cu, Ti, V, Cr i Mn) można łączyć z trwającymi przez pewien czas



zbliżonymi do siebie warunkami klimatycznymi w zonach 7 i 9. Natomiast wysoką koncentrację Cu i V zaznaczoną w zonach 6, 8 i 10, a także B, Cr i Mn w zonach 8 i 10 należy wiązać ze wzrostem ilości substancji organicznej w badanych osadach.

Instytut Nauk Geologicznych  
Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Geochemii, Mineralogii i Petrografii  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Warszawa, al. Żwirki i Wigury 93  
Nadesłano dnia 9 kwietnia 1982 r.

### PIŚMIENICTWO

- BIAŁOWOLSKA A., CIEŚLA A. (1980) – Geochemia pierwiastków śladowych w osadach jeziora tatrzańskiego – Przedni Staw. Spraw. Bad. Nauk. Kom. Bad. Czwart. PAN, 3, p. 112–115.
- CIEŚLA A., MARCINIĄK B. (1982) – Rozwój późnoglacialnych zbiorników jeziornych z Niechorza (Pomorze Zachodnie) w świetle analizy diatomologicznej i geochemicznej. Kwart. Geol., 26, p. 191–215, nr 1.
- FOGED N. (1964) – Freshwater Diatoms from Spitsbergen. Tromsø Mus. Skr., 11.
- FOGED N. (1968) – Freshwater Diatoms from the Varanger Peninsula, North Norway. Acta Borealia A. Scientia, 25.
- FOGED N. (1972) – The Diatoms in four postglacial deposits in Greenland. Meddr Grønland, 194, nr 4.
- FOGED N. (1973) – Diatoms from Southwest Greenland. Meddr Grønland, 194, nr 5.
- FOGED N. (1974) – Freshwater Diatoms in Iceland. Bibl. Phycol., 15.
- FOGED N. (1977) – Freshwater Diatoms in Ireland. Bibl. Phycol., 34.
- FOGED N. (1978) – Diatoms in Eastern Australia. Bibl. Phycol., 41.
- FOGED N. (1979) – Diatoms in New Zealand, the North Island. Bibl. Phycol., 47.
- FOGED N. (1980) – Diatoms in Öland, Sweden. Bibl. Phycol., 49.
- HAKENBERG M. (1959) – Uwagi o morfologii glacialnej Doliny Pięciu Stawów Polskich w Tatrach. Prz. Geol., 7, p. 364–369, nr 8.
- HAWORTH E.Y. (1976) – Two Late-glacial (Late Devensian) diatom assemblage profiles from Northern Scotland. New Phytol., 77, p. 227–256.
- HUSTEDT F. (1930–1966) – Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung des übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. Teil I, II, III. Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora Bd. 7. Leipzig.
- HUSTEDT F. (1942) – Diatomeen aus der Umgebung von Abisko in Schwedisch Lappland. Arch. Hydrobiol., 39, p. 82–174.
- KERNDORFF H., SCHNITZER M. (1980) – Sorption of metals on humic acid. Geochim. Cosmochim. Acta, 44, p. 1701–1708, nr 11.
- KLIMASZEWSKI M. (1978) – Tatry Wysokie. W: Geomorfologia, p. 1094–1096. PWN. Warszawa.
- KONDRACKI J. (1965) – Geografia fizyczna Polski. PWN. Warszawa.
- KRAUSKOPF K.B. (1972) – Geochemistry of micronutrients. Micronutrients and Agriculture. Soil Sc. Soc. Amer. Madison. Wisc, p. 7–40.
- KRUPIŃSKI K. (praca w druku) – Wyniki badań palinologicznych osadów dennych z Przedniego Stawu w Tatrach Wysokich.
- MANGUIN E. (1954) – Contribution a la connaissance biologique des boues lacustres Lac Pavin

- (Puy de Dôme). Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts et de la station des Recherches et experiences, 14, p. 5–19, nr 1.
- MARCINIAK B. (1981) – Late-Glacial diatom phases in western Pomerania. Acta Geol. Pol., 31, p. 127–137, nr 1–2.
- MARCINIAK B. (1982) – Late glacial and Holocene new diatoms from a glacial lake Przedni Staw in the Pięć Stawów Polskich Valley, Polish Tatra Mts. Acta Geol. Hungar., 25, p. 161–171, nr 1/2.
- MERILÄINEN J. (1969) – The diatoms of the meromictic Lake Valkiajärvi, in the Finnish Lake District. Ann. Bot. Fenn., 6, p. 77–104.
- PASTERNAK K. (1965) – The chemical composition of sediments in some Tatra lakes. Kom. Zagosp. Ziemi Gór. PAN, 11, p. 59–73.
- RENBERG I. (1976) – Palaeolimnological investigations in Lake Prästsjön. Early Norrland, 9, p. 113–159.
- SIEMIŃSKA J. (1964) – Bacillariophyceae – okrzemki. Flora Ślaskowa Polski, 6, PWN. Warszawa.
- SZAFLARSKI J. (1936) – Morfometria jezior tatrzańskich. Cz. I. Jeziora Tatr Polskich. Wiad. Służby Geogr., 1, p. 3–37.
- SZEROCZYŃSKA K. (praca w druku) – Analiza Cladocera w osadach jezior tatrzańskich. Pr. Stud. Geogr. UW.
- WASYLIK K. (1965) – Remnants of Algae in bottom sediments of the Lakes Wielki Staw and Morskie Oko in the Tatra Mountains. Kom. Zagosp. Ziemi Gór. PAN, 11, p. 39–58.
- WICHROWSKI Z. (1981) – Mineralogical studies of clays of the Poznań Series. Arch. Miner., 37, p. 93–197, nr 2.
- WICIK B. (1979) – Postglacialna akumulacja osadów w jeziorach Tatr Wysokich. Prz. Geol., 17, p. 403–404, nr 7.
- WIĘCKOWSKI K. (praca w druku) – Wstępna charakterystyka osadów dennych jezior tatrzańskich. Pr. Stud. Geogr. UW.
- WILSON D.E. (1980) – Surface and complexation effects on the rate of Mn (II) oxidation in natural waters. Geochim. Cosmochim. Acta, 44, p. 1311–1319, nr 9.
- WOŁOSZYŃSKA J. (1934) – *Asterionella formosa* Hass. var. *tatrica* n. var. in den Tatraseen. Acta Soc. Botan. Pol., 11, Suppl., p. 137–151.
- ХОТИНСКИЙ Н.А. (1977) – Голоцен Северной Евразии. Изд. Наука. Москва.

Барбара МАРЦИНЯК, Анна ЦЕСЛЯ

**ГЕОХИМИЧЕСКОЕ И ДИАТОМОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ  
ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫХ И ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
ОЗЕРА ПЖЕДНИ СТАВ В ДОЛИНЕ ПОЛЬСКИХ ПЯТИ ОЗЁР (ТАТРЫ)**

**Резюме**

Изучение диатомовых водорослей и геохимические исследования примерно 3 м разреза отложений Пжеднегo Става (фиг. 1–5) выявило большую изменчивость состава и численности диатомей (фиг. 6), а также большую изменчивость содержания органического вещества (фиг. 7), микроэлементов (фиг. 8–10) и минерального состава (фиг. 11, 12).

Отмеченная изменчивость состава и численности диатомей, характерных для позднеледни-

ковых отложений (диатомофазы PS1—PS5) свидетельствует о различных физико-химических и биологических условиях, создаваемых существенными изменениями климата в Татрах. Эти изменения вначале привели к отступлению ледников из района Пржедного Става, где в самой ранней фазе позднего оледенения (PS1) появились новые немногочисленные пока диатомеи (*Fragilaria*, *Navicula*, *Denticula* и другие), приспособленные к существованию в крайне неблагоприятных условиях. Затем, по мере улучшения условий обитания, начали появляться планктонные диатомеи рода *Cyclotella* (табл. I, фиг. 1—14), что, вероятно, свидетельствует о несколько более длительном периоде вегетации, улучшении температурного и светового режима в диатомофазе PS2 (бёллинг?). В дальнейших очередных диатомофазах (PS3—PS5) попеременно наступало то ухудшение то улучшение (в диатомофазах PS4 — аллерёд) экологических условий, вероятно, в результате только частично таяния озерного льда в летнее время, что могло явиться причиной отсутствия фитопланктона на этом отрезке позднеледникового периода. Преобладали виды: *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Diploneis*, *Pinnularia* и *Amphora* (табл. III—V).

В позднеледниковых отложениях отмечаются две геохимические зоны (зоны 2, 3) с высоким содержанием микроэлементов В, Т, Мп и V, а также зона 5, в которой отмечена максимальная концентрация Рb, В и V, приходящаяся на поздний дриас.

Более существенное улучшение климата, которое наступило в начале голоцена, отмечено в диатомофазе PS6, когда наблюдается кратковременное развитие *Cyclotella quadrilincta*? (табл. II, фиг. 1—14). Преобладание же диатомей в диатомофазе PS7, выраженная наличием флоры *Fragilaria* и *Navicula* в большой степени соответствует флоре позднеледникового периода. Оптимальная фаза развития диатомей характерна максимальным увеличением *Asterionella formosa* (диатомофаза PS8) на границе атлантического и суббореального периода. О изменениях в сторону охлаждения и небольшого увеличения кислотности озерной воды свидетельствует большое количество *Melosira distans* в диатомофазах PS9 и PS10, относящихся к самому младшему голоцену.

В голоценовых отложениях горизонты с низкой концентрацией микроэлементов (В, Рb, Си, Ti, V, Сг, Мп) можно увязывать с подобными климатическими условиями в зонах 7, 9, продолжавшимися некоторое время. Высокое содержание Си и V, отмеченное в зонах 6, 8, 10 и В, Сг и Мп в зонах 8 и 10 может быть связано с увеличением в исследуемых породах органического вещества.

Barbara MARCINIAK, Анна CIEŚLA

## DIATOMOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDIES ON LATE GLACIAL AND HOLOCENE SEDIMENTS FROM THE PRZEDNI STAW LAKE IN THE DOLINA PIĘCIU STAWÓW POLSKICH VALLEY (TATRA Mts)

### Summary

Diatomological and geochemical studies of about 3-meter sequence of sediments from the Przedni Staw Lake (Figs 1—5) showed that they are highly varying in composition and frequency of diatoms (Fig. 6), content of organic matter (Fig. 7) and trace elements (Figs 8—10) as well as in mineral composition (Figs 11—12).

The recorded changes in composition and frequency of diatoms characteristic for Late Glacial sediments (diatom phases PS1—PS5) evidence highly differentiated physico-chemical and biological conditions which were presumably related to marked climatic changes in the Tatra Mts. The changes

at first resulted in retreat of glaciers from area of the Przedni Staw Lake as first innumerous diatoms adopted to life under extremely disadvantageous conditions (*Fragilaria*, *Navicula*, *Denticula* and others) here appeared already in the oldest phase of the Late Glacial (PS1). Planktonic diatoms of the genus *Cyclotella* (Pl. I, Figs 1–14) appeared along with amelioration of the conditions which suggests somewhat longer vegetation time and amelioration of light and thermic conditions in the diatom phase PS2 (Bølling?). The next diatom phases (PS3–PS5) display changes leading alternatively to deterioration and amelioration (in diatom phase PS4 – Allerød) of ecological conditions, presumably connected with only partial thawing of the lake ice in summer time. This could explain the lack of phytoplankton in this part of Late Glacial sequence. The genera *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Diploneis*, *Pinnularia* and *Amphora* predominate here (Pl. III–V).

Late Glacial sediments display two geochemical zones (zones 2, 3) with high content of trace elements B, Ti, Mn and V, and zone 5 characterized by the maximum increase in concentration of Pb, B and V, coinciding with the Younger Dryas.

A more radical amelioration of climate which has taken place at the beginning of the Holocene, is traceable in the diatom phase PS6. In that diatom phase a short-lasting bloom of *Cyclotella quadriun- cta*? (Pl. II, Figs 1–14) may be noted. In turn, the diatom succession of the diatom phase PS7 appears markedly similar to the Late Glacial in presence of flora *Fragilaria* and *Navicula*. The phase optimal for development of diatoms is characterized by the bloom of *Asterionella formosa* (diatom phase PS8) at the turn of the Atlantic and Subboreal times. High share of *Melosira distans* in the latest Holocene diatom phases PS9 and PS10 evidences changes towards cooling and a slight increase in acidity of water in this lake.

Horizons with reduced concentration of trace elements (B, Pb, Cu, Ti, V, Cr and Mn), recorded in Holocene sediments, may be linked with similar climatic conditions lasting for some time in the zones 7 and 9. In turn, high concentration of Cu and V, displayed by sediments of the zones 6, 8 and 10, and B, Cr and Mn in the zones 8 and 10 may be linked with increase in amount of organic matter in the studied sediments.

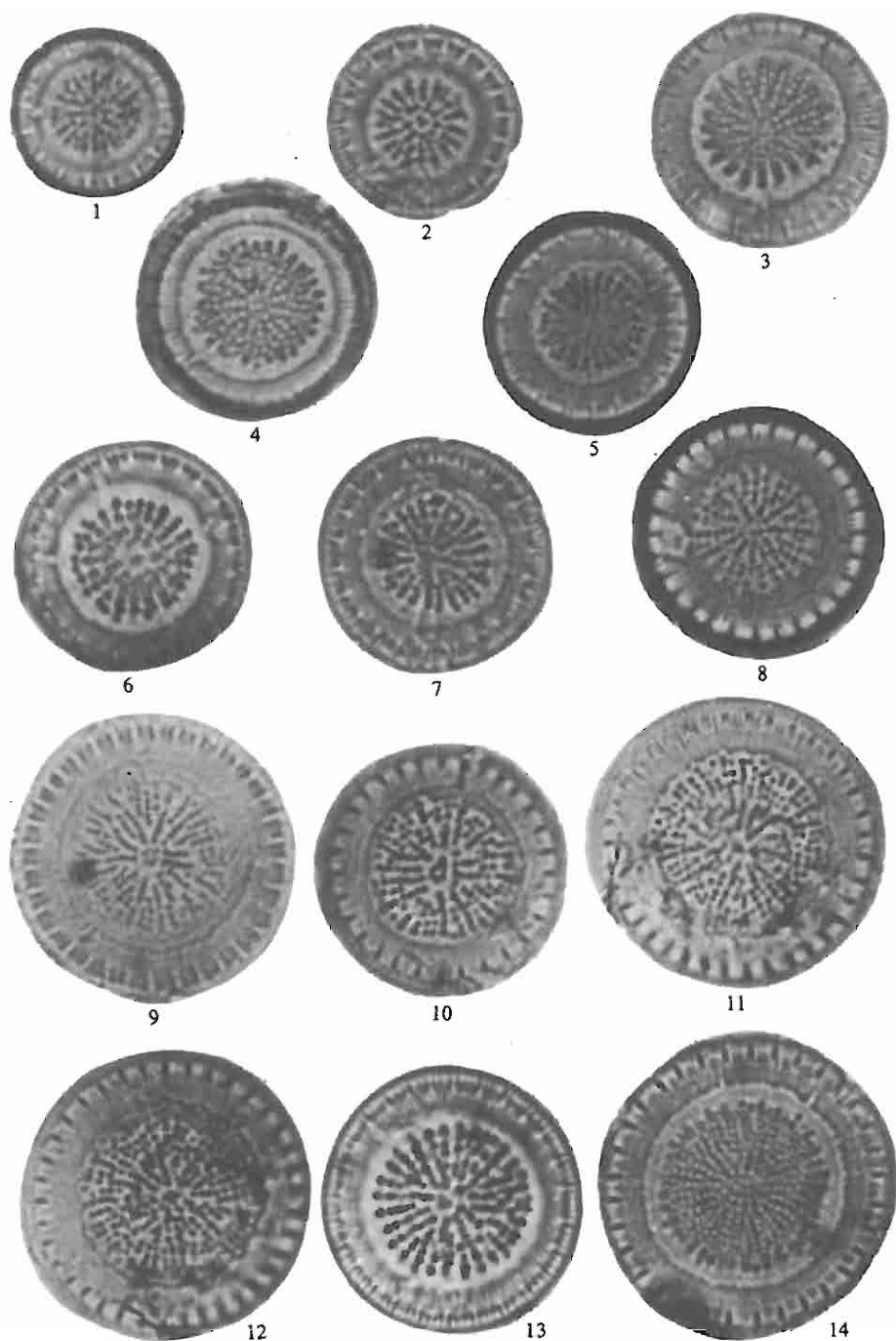


Fig. 1-14. *Cyclotella* sp.

Barbara MARCINIĄK, Anna CIEŚLA - Badania diatomologiczne i geochemiczne późnoglacialnych i holocennych osadów z Przedniego Stawu w Dolinie Pięciu Stawów Polskich (Tatry)

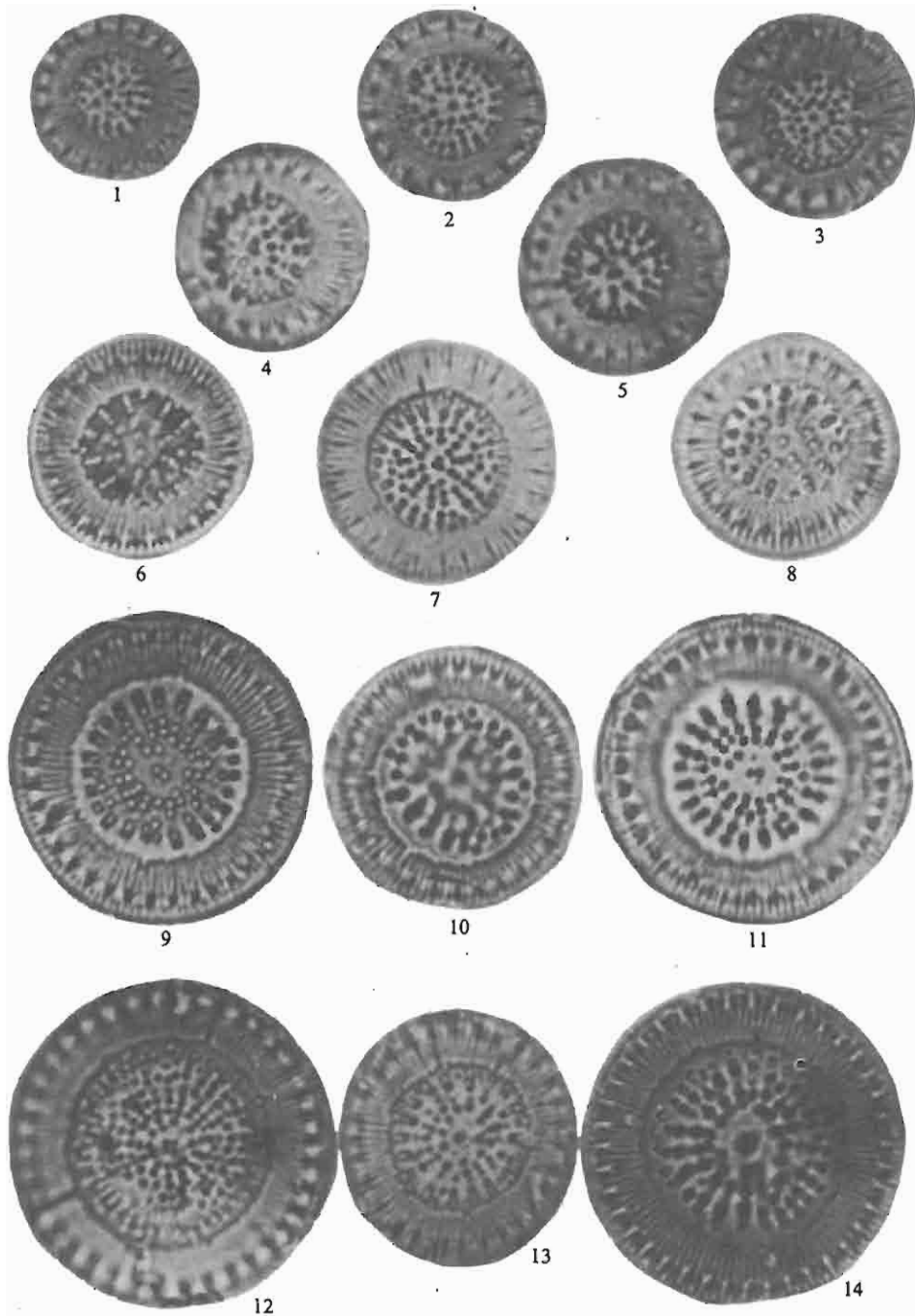
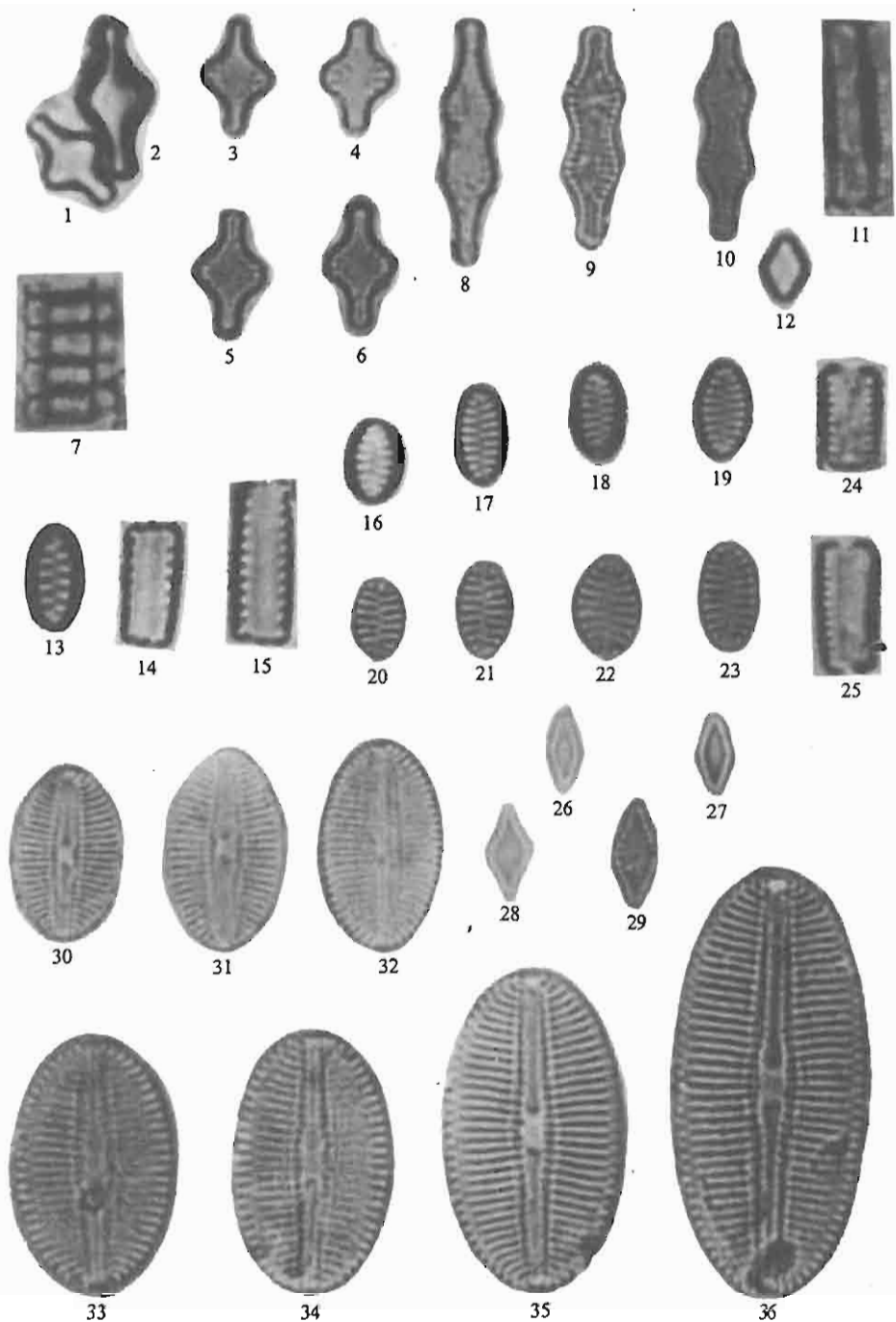


Fig. 1–14. *Cyclotella quadriuncata?* (Schröter) Hustedt

Barbara MARCINIAK, Anna CIEŚLA – Badania diatomologiczne i geochemiczne późnoglacialnych i holocenijskich osadów z Przedniego Stawu w Dolinie Pięciu Stawów Polskich (Tatry)



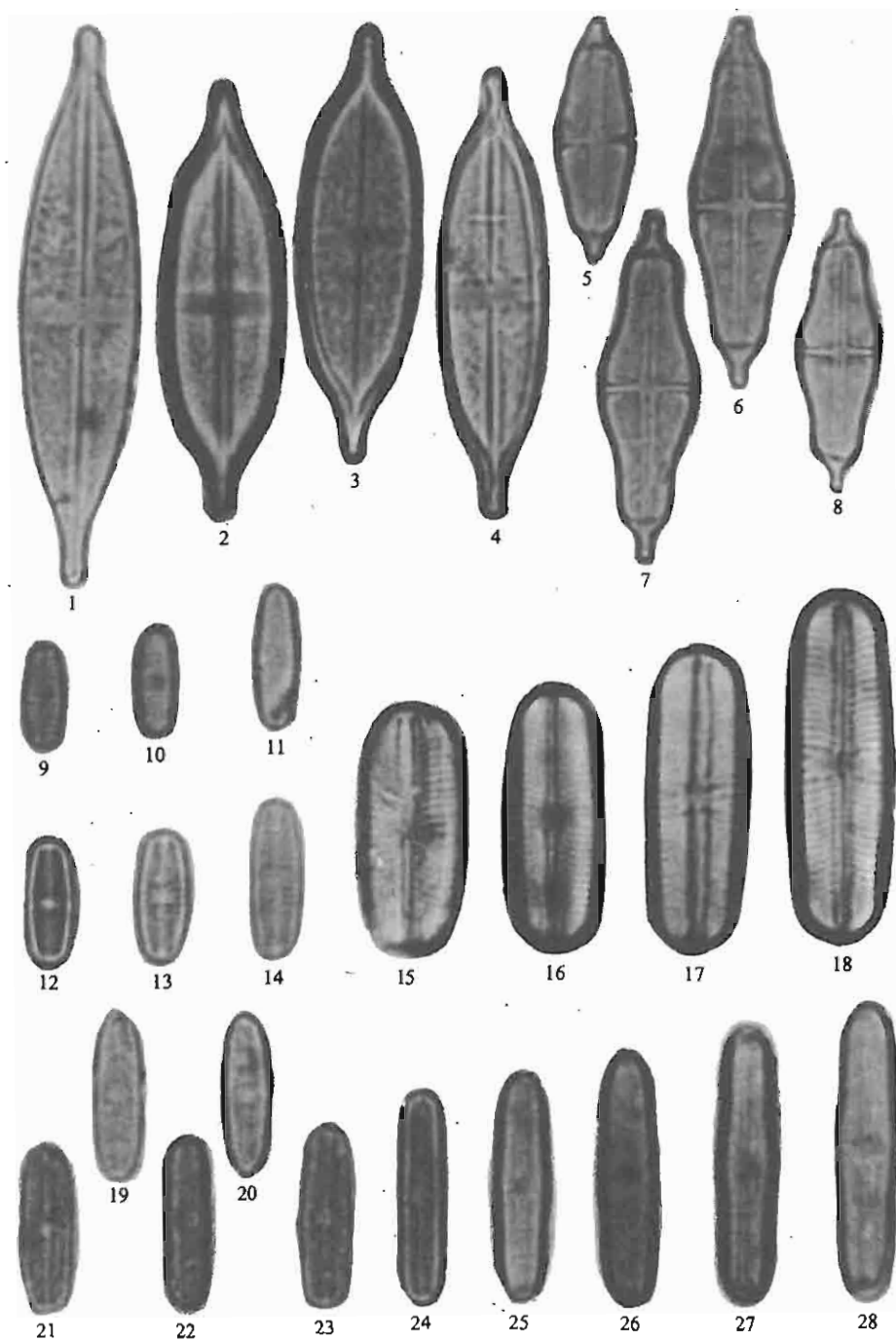
TABLICA III

- Fig. 1–7. *Fragilaria pseudoconstruens* Marciniak  
Fig. 8–11. *Fragilaria pseudoconstruens* var. *bigibba* Marciniak  
Fig. 12. *Fragilaria pseudoconstruens* var. *rhombica* Marciniak  
Fig. 13–15. *Fragilaria pinnata* Ehrenberg  
Fig. 16–25. *Fragilaria elliptica* (Schumann) Haworth  
Fig. 26–29. *Fragilaria microstriata* Marciniak  
Fig. 30–35. *Diploneis elliptica*? (Kützing) Cleve

TABLICA IV

- Fig. 1–4. *Stauroneis anceps* f. *gracilis* (Ehrenberg) Cleve  
Fig. 5–8. *Stauroneis smithii* Grunow  
Fig. 9–14. *Navicula seminulum* Grunow  
Fig. 15–18. *Navicula wittrockii* (Lagerstedt) Cleve-Euler  
Fig. 19–28. *Navicula digitulus*? Hustedt





Barbara MARCINIAK, Anna CIEŚLA – Badania diatomologiczne i geochemiczne późnoglacialnych i holocenijskich osadów z Przedniego Stawu w Dolinie Pięciu Stawów Polskich (Tatry)

TABLICA V

Fig. 1-7. *Navicula* sp.

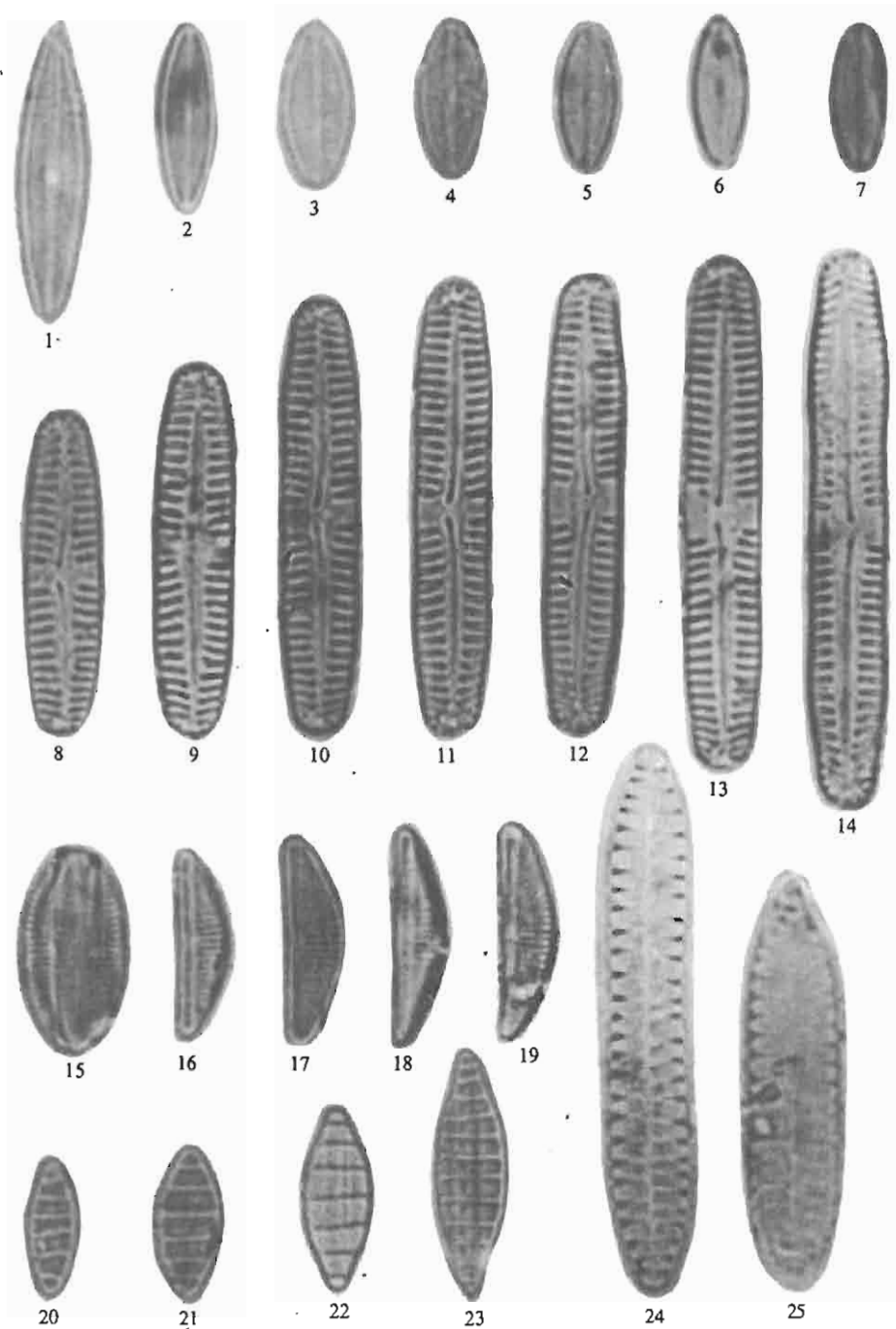
Fig. 8-14. *Pinnularia pulchra* Østrup

Fig. 15-19. *Amphora parallelistriata* Manguin

Fig. 20-23. *Denticula tenuis* var. *crassula* (Nägeli) Hustedt

Fig. 24, 25. *Surirella angusta* Kützing

Wszystkie mikrografie okrzemek przedstawione na tabl. I-V mają powiększenie 1700 ×.  
Micrographs of diatoms in Plates I-V - x 1700.



Barbara MARCINIAK, Anna CIEŚLA – Badania diatomologiczne i geochemiczne późnoglacialnych i holocennskich osadów z Przedniego Stawu w Dolinie Pięciu Stawów Polskich (Tatry)