

REAKCJA EKOSYSTEMU ANTARKTYKI NA ZMIANY KLIMATU

Andrzej Tatur

Instytut Ekologii PAN, Dziekanów Leśny

Istotne ochłodzenie klimatu na kuli ziemskiej miało miejsce na granicy eocenu i oligocenu około 38 milionów lat temu. Za bezpośrednią przyczynę obserwowanego wkrótce po nim zlodowacenia kontynentu antarktycznego przyjmuje się wytworzenie, w wyniku otwarcia Cieśniny Drake'a, cyrkulantarktycznego prądu izolującego termicznie tę część globu (Frankes et al. 1992). Lodowce Antarktydy dotarły wówczas do oceanu i wniosły do niego z lodem materiał klastyczny, który po wytopieniu znaczy w osadach dennych oceanu wiek, zasięg oraz rozmiary tego zlodowacenia (Birkenmajer 1991, Zachos et al. 1992). Późno-eocenske ochłodzenie klimatu stworzyło zupełnie nowe, nieznane od permu, warunki środowiskowe na odizolowanym już kontynencie antarktycznym i w otaczającym go oceanie.

Opisywana w prezentowanym doniesieniu reakcja przyrody na tę nagłą zmianę klimatu jest w dużym stopniu oparta na materiałach paleontologicznych pochodzących z wyspy Seymour przy Półwyspie Antarktycznym. Występuje tu prawie ciągła kredowa i paleogeńska sekwencja osadów płytkiego morza zawierająca liczną faunę morską a podrzędnie także faunę i florę lądową (Case 1988). Przełomowy ekologicznie moment procesu ochłodzenia został zarejestrowany zarówno metodami paleontologicznymi (Zinsmeister & Camacho 1982) jak i geochemicznymi (Gaździcki et al. 1992) w środkowej części formacji La Meseta (Sadler 1985), reprezentującej najmłodsze ogniwo sekwencji. Nie ma wprowadzić pewności czy stwierdzone w tym momencie ochłodzenie doprowadziło już do zlodowacenia kontynentu czy też było to tylko preludium późniejszego, silniejszego jeszcze ochłodzenia. Jednak unikalna wartość skamieniałości tego wieku występujących obficie w skałach wyspy Seymour polega przede wszystkim na tym, że dostarczają jedynej znanej, w miarę pełnej dokumentacji dotyczącej wymierania kręgowców na marznącej Antarktydzie oraz inicjacji powstawania współczesnych ekosystemów morskiej Antarktyki.

Pomimo licznych prac paleontologicznych i geologicznych z tego okresu w Antarktyce, jedyną propozycję struktury troficznej ekosystemu

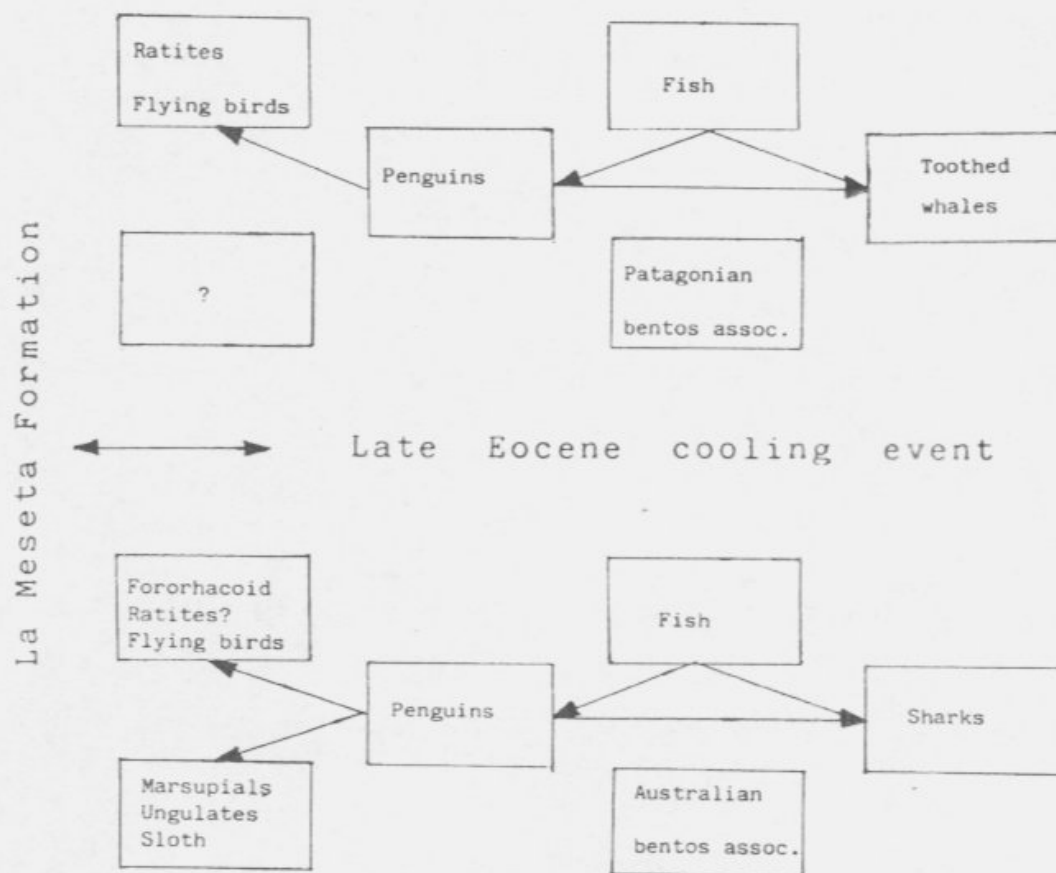
przedstawił Case (1992). Jest to jednak tylko uproszczony schemat opisujący ekosystem morski i to raczej z okresu poprzedzającego ochłodzenie.

Bardziej rozbudowane powiązania troficzne pomiędzy wybranymi grupami zwierząt zarówno morskich jak i lądowych przed ochłodzeniem i bezpośrednio po nim, przedstawia Fig. 1. Załamanie klimatu spowodowało przede wszystkim destrukcję ekosystemów lądowych Antarktyki. W osadach zdeponowanych po ochłodzeniu nie występują już liście drzew (redukcja lasów ?) (Doktor et al. 1988, Case 1988), brak jest znalezisk ssaków, których różnorodne gatunki występują poniżej (Marensi et al. 1994). Najgroźniejszego lądowego drapieżnika - fororaka znaleziono w dolnej części La Mesety (Case et al. 1987), podczas gdy w górnej znaleziony został tylko duży bezłotny (bezgrzebieniowaty) ptak najprawdopodobniej ziarnojad (Tambussi et al. 1994). Jest to ostatni znany lądowy kręgowiec antarktyczny. Zarówno przed jak i po ochłodzeniu występowały ptaki latające (Tambussi & Toni 1988), kolekcja białostocka unpubl.).

W oceanach wymianie uległa fauna mięczaków z ciepłolubnej, charakterystycznej dla prowincji australijskiej, na reprezentującą chłodniejsze wody faunę prowincji patagonskiej (Zinsmeister & Camacho 1982). Wiele gatunków opuściło w tym czasie płytkie wody oceaniczne wokół Antarktydy i przemieściło się wraz ze zstępującym prądem na dno Pacyfiku, gdzie spotykane są obecnie także w strefie tropikalnej (Zinsmeister 1986). Skład gatunkowy ryb, bliższy współczesnej Arktyce niż Antarktyce, pozostał prawdopodobnie niezmieniony (Jerzmańska 1988, 1991), lecz nastąpiła zmiana drapieżców zajmujących szczytową pozycję w drabinie troficznej ekosystemów morskich. Rekiny zastąpione zostały przez uzębione walenie (Borsuk-Białynicka 1988, Cione & Rugiero 1994, Myrcha et al. 1990).

Masowe współwystępowanie kości ryb, pingwinów i rekinów w dolnej części La Mesety, a ryb, pingwinów i uzębionych waleń w jej górnej części, pozwala z dużym prawdopodobieństwem odtworzyć łańcuchy troficzne w tych okresach. Wydają się one wysoce prawdopodobne również i z tego powodu, że rozmiary poszczególnych gatunków jak też i ich cechy morfologiczne (uzębienie waleń, długie dzioby pingwinów charakterystyczne dla rybojadów) synchronizują z przedstawioną propozycją.

Sądząc po ilości występujących kości, zmiany ekosystemalne podczas późno - eocenskego ochłodzenia były korzystne dla znacznego zwiększenia populacji pingwinów. Po ochłodzeniu zniknęło zagrożenie od drapieżców lądowych, a w oceanie mogły wystąpić przejściowo nadwyżki pokarmu w związku z wymianą drapieżców morskich. Nowe uwarunkowania ekologiczne mogły przyczynić się do wzmożonej radiacji pingwinów w tym okresie, co objawiło się niespotykaną różnorodnością gatunkową, znacznie większą od współczesnej (Myrcha et al. 1990, Case 1992, Jadwiszczak, 1994).

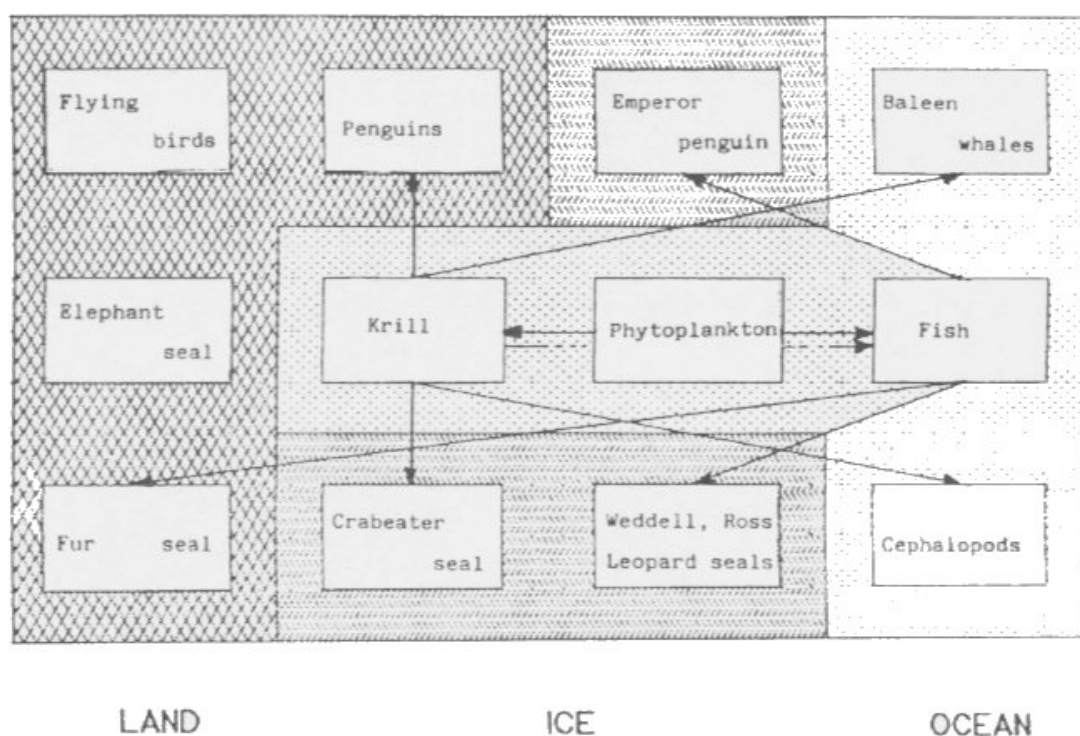


Ryc. 1. Uproszczona struktura ekosystemu antarktycznego przed późno-eoceńskim ochłodzeniem (poniżej granicy) i bezpośrednio po nim (powyżej granicy).

Nagłe zniknięcie drapieżców lądowych i wymiana drapieżców morskich podczas późno-eoceńskiego ochłodzenia klimatu, mogły przyczynić się do nagłego wzrostu populacji pingwinów. W wyniku zmian środowiskowych zarówno abiotycznych i biotycznych mogła też nastąpić wzmożona radiacja pingwinów.

Fig. 1. Simplified structure of antarctic ecosystem before (lower) and after (upper) Late Eocene Climate cooling.

Sudden extinction of terrestrial predators (mammals & phororhacoid) and exchange of marine predators (from sharks to toothed whales) during Late Eocene cooling event could promote explosion of penguin population (abundant fossil penguin bones). The response of penguins on abiotic and biotic environmental changes might be accelerated radiation (high species diversity of fossil penguins).



Ryc. 2. Najważniejsze powiązania troficzne we współczesnym ekosystemie Antarktyki.

Hipotetyczna reakcja ekosystemów antarktycznych na glacialno - interglacialne fluktuacje klimatu: jeśli produkcja pierwotna i produkcja kryla była w oceanach podobna w intrglacjale i glacjale obu okresach to należy się spodziewać, że populacja zwierząt rozradzających się na lądzie zwiększała się w okresach interglacialnych, a populacja zwierząt rozradzających się na lodzie i żyjących w wodach otwartego oceanu zwiększała się podczas glacialów.

Fig. 2. Trophic structure (the main connections) of recent Antarctic ecosystem.

Hypothetical response of antarctic biota on glacial/interglacial climate fluctuations: if the primary and krill production of ocean was similar in both periods, the population of animals breeding on land could increase during interglacials, but population of animals breeding on ice or living in the open ocean could increase during glacial periods.

Od górnego eocenu (reprezentowanego przez La Meseta Fm.) aż do współczesności brak jest w Antarktyce dowodów, które pozwoliłyby odtworzyć strukturę ewoluujących ekosystemów polarnych na południu. Jest to

luka w naszej wiedzy trwająca blisko 40 milionów lat, jaskrawo widoczna, ponieważ gatunki antarktyczne spotykane obecnie są trudne do porównań z tymi, które występowały w czasie opisywanego powyżej ochłodzenia późno-eocenskego.

Rytm czwartorzędowych zmian klimatycznych w Antarktyce wynika, podobnie jak na całej kuli ziemskiej, przede wszystkim ze zmiennych wzajemnych relacji orbitalnych Ziemi i Słońca znanych pod nazwą cykli Milankoviča. W czasie zlodowaceń znaczna część hydrosfery uwięziona zostaje w lodowcach co powoduje obniżenie poziomu wód w oceanach. W czasie ostatniego zlodowacenia poziom ten był 120-160 m niższy niż obecnie (Denton & Hughes 1981). Rozszerzają się pokrywy lodowe na kontynencie antarktycznym i przyległych wyspach, aż do granic szelfu. Ląd prawie znika pod lodem i tylko najwyższe masywy skalne zachowane zostają jako nuna-taki. Prawie całkowicie znikają lądowe wybrzeża, z oceanem kontaktują głównie lodowe klify (Clapperton 1990). Wzrasta też zalodzenie przyległego oceanu (Sudgen 1982).

Opisane zmiany środowiskowe musiały wpłynąć na zmniejszenie liczebności zwierząt morskich rozradzających się wyłącznie na lądzie, a więc pingwinów (*Pygoscelis adeliae*, *P. papua*, *P. antarctica*), uchatek, słoni morskich i być może w pewnym stopniu ptaków latających, często żerujących na terenie kolonii pingwinów (Fig. 2). Ich liczebność mogła się zmniejszyć nie tylko z powodu ograniczonego dostępu do lądu, ale również ze względu na skrócenie i tak już krótkiego sezonu letniego, w czasie którego musi się dokonać rozród i wychowanie potomstwa na wolnym od lodu i śniegu lądzie.

Większość z wymienionych gatunków (słonie morskie, foki uchatek, ptaki latające) posiada dość wysoką tolerancję temperaturową i mogły się przemieścić podczas zlodowaceń w strefy cieplejsze. Pingwiny takiej tolerancji jednak nie posiadają. Nie były więc w stanie ze względów fizjologicznych przekroczyć magicznej linii antarktycznej konwergencji, w obrębie której brak jest większych mas lądowych mogących służyć im jako schronienie w okresie zlodowaceń. Nie ma przy tym większego znaczenia fakt, że linia ta była przesunięta w tym czasie ku północy (Sudgen 1982). Można więc przypuszczać, że populacja południowych pingwinów antarktycznych, za wyjątkiem pingwina Cesarskiego rozradzającego się na lodzie, w okresach zlodowaceń była drastycznie zredukowana.

Kryl nieskonsumowany przez zwierzęta zmniejszające swoje populacje w Antarktyce podczas zlodowaceń, mógłby w tym czasie przyczynić się do wzrostu populacji innych zwierząt żerujących na nim, a których rozród ma miejsce na lodzie (krabojady) i w wodach otwartego oceanu (wieloryby, a także ryby i inne drapieżce żerujące na rybach).

Należy przy tym zaznaczyć, że w rdzeniach osadów dennych wokół Antarktydy, nie ma dowodów na podwyższoną produkcję pierwotną oceanu w okresach glacialnych. Poza morską Antarktyką ogólnie przyjmuje się wprawdzie, że wzmożone przez silniejsze wiatry mieszanie oceanu, a więc i zasilanie ubogiej powierzchniowej warstwy fotycznej przez zasobne w nutrienty wody głębinowe, powodowało wyraźnie większą produktywność oceanu w tym czasie (Frankes et al. 1992, Dawson 1992). Jednak wody powierzchniowe morskiej Antarktyki zawierają nadmiar nutrientów i niewiele różnią się składem od wód głębinowych (Chester 1990). Samo silniejsze mieszanie tych wód w okresach glacialnych, nie mogło więc wpłynąć na wielkość produkcji pierwotnej i prawdopodobnie również na wielkość produkcji kryla.

W okresach interglacialnych dostępność do miejsc lęgowych nie jest zdecydowanie najważniejszym czynnikiem kontrolującym populację pingwinów, uchatek i słoń morskich a równowagę ekosystemalną kształtują różne skomplikowane biotyczne interakcje, które nie powodują jednak trwałych drastycznych spadków populacji tych zwierząt. Liczebność ich wzrastała więc prawdopodobnie w okresie interglacialnym kosztem liczebności zwierząt związanych cyklem życiowym z lodem i otwartym oceanem.

Jak już wspomniano, czwartorzędowe zmiany klimatyczne mają charakter cykliczny, zapisany w kolejnych progradacyjnych sekwencjach osadów morsko-glacialnych zdeponowanych na szelfie i skłonie kontynentalnym Antarktydy i przyległych archipelagów wysp (Anderson 1990, Anderson & Molnia 1989, Larter & Barker 1989), oraz w zapisach mikropaleontologicznych i izotopowych (wertykalnych i horyzontalnych) utrwalonych w osadach dennych oceanów (Frankis et al. 1991, Dawson 1992). Można więc przypuszczać, że również fluktuacje struktury ekosystemów antarktycznych mają charakter cykliczny, choć może nie tak uproszczony jak ten przedstawiony powyżej.

Na potwierdzenie ostatniego stwierdzenia można przytoczyć badania z których wynika, że znaczne fluktuacje populacji pingwinów są notowane także w obrębie samego holocenu (Tatur & Myrcha 1989, Baroni & Orombelli 1994, Emslie 1995).

Przeprowadzone rozważania zależności pomiędzy strukturą ekosystemów a zmianami klimatycznymi, dotyczyły oczywiście okresu poprzedzającego pojawienie się człowieka w Antarktyce. Selektywne odławianie zwierząt morskich od 200 lat drastycznie zaburzyło naturalną równowagę ekologiczną ekosystemów antarktycznych, których współczesne funkcjonowanie opisane zostało w innych pracach (np. Rakusa-Suszczewski 1993)

Literatura

- Anderson J.B.** 1990. Marine record of Late Quaternary glacial- interglacial fluctuations in the Ross Sea and evidences for rapid episodic sea level changes due to marine ice collapse. In: R.A. Bindshadler (ed). West Antarctic Ice Sheet Initiative. NASA Conference Publication 3115, vol.2, 87-110.
- Anderson J.B. & Molnia F.** 1989. Glacial-marine sedimentation. Short course in Geology. vol. 9. 28th Inter. Geol. Congress, Am. Geoph. Union, Washington D.C.
- Baroni C. & G. Orombelli** 1994. Abandoned penguin rookeries as Holocene paleoclimate indicators in Antarctica. *Geology* 22, 23-26.
- Borsuk-Białynicka M.** 1988. New remains of Archaeoceti from Paleogene of Antarctica. *Pol. Polar Res.* 9,4, 437-443.
- Birkenmajer K.J.** 1991. Tertiary glaciations in the South Shetlands, West Antarctica: evaluation of data. In: M.R.A. Thomson, J.A. Crame & W. Thomson (eds), *The Geological evolution of Antarctica*, pp. 629-632. Cambridge University Press.
- Case J. A.** 1988. Paleogene floras from Seymour Island, Antarctic Peninsula, pp 523-530. In: *Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula*, R.M. Feldmann & M.D. Woodburne (eds). *Mem. Geol. Soc. Am.*, 169.
- Case J.A.** 1992. Evidence from fossil vertebrates for rich Eocene Antarctic marine environment. *The Antarctic Paleoenvironment: A perspective on global change. Antar. Res. Ser.*, 56, 119-130.
- Case J., Woodburne M. & Chaney D.** 1987. A gigantic phororhacoid (?) bird from Antarctica. *Jour. Paleont.*, 16, 1280-1284.
- Chester R.** 1990. *Marine geochemistry*. Chapman & Hall. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. 698 pp.
- Cione A.L. & M. Reguero.** 1994. New record of the sharks *Isurus* and *Hexanchus* from the Eocene of Seymour Island, Antarctica. *Proc. Geol. Assoc.* 105, 1-14.
- Clapperton C.M.** 1990. Quaternary glaciations in the Southern Ocean and Antarctic Peninsula area. *Quat. Sci. Rev.*, 9, 229-252.
- Dawson A.G.** 1992. *Ice Age Earth. Late Quaternary Geology and Climate*. Routledge. London & New York. pp 293.
- Denton H. & Hughes T.J.** 1981. *The Last Great Ice Sheet*, John Willey & Sons. New York, 484 pp.
- Denton H., Bockheim J.G., Wilson S.C. & Stuiver M.** 1990. Late Wisconsin and Early Holocene glacial history, Inner Ross Embayment, Antarctica.

- ca. In: Bindschadler R.A. (ed). West Antarctica Ice Sheet Initiative. NA-SA Conference Publication No 3115, vol. 2, 55-86.
- Doktor M., Gazdzicki A., Marensi S.A., Porębski S.J., Santillana S.N. & Vrba A.V.** 1988. Argentine-Polish geological investigations on Seymour (Marambio) Island, Antarctica, 1988. *Pol Polar Res.* 9,4, 521-541.
- Eliot D.H. & Trautman T.** 1982. Lower Tertiary strata on Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: Craddock C. (ed). *Antarctic Geoscience*. University of Wisconsin Press, Madison, 287-297.
- Emslie S.D.** 1995. Age and taphonomy of abandoned penguin rookeries in the Antarctic Peninsula. *Polar Record* (in press).
- Frankes L.A., Francis J.E. & Syktus J.I.** 1992. *Climate modes of the Phanerozoic*. Cambridge University Press, 274pp.
- Gazdzicki A., Gruszczynski M., Hoffman A., Malkowski K., Marensi S.A., Halas S. & Tatur A.** 1992. Stable carbon and oxygen isotope record in the Paleogene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. *Antarctic Science* 4,4: 461-468.
- Jadwiszczak A.** 1994. Taxonomy of fossil penguins from Seymour Island (thesis of Białystok University).
- Jerzmańska A.** 1988. Isolated vertebrae of teleostean fishes from the Paleogene of Antarctica. *Pol. Polar Res.* 9,4, 421-435.
- Jerzmańska A.** 1991. First articulated teleost fish from the Paleogene of West Antarctica, *Antarctic Science* 3, 309-316.
- Larter R.D. & Barker P.F.** 1989. Seismic stratigraphy of the Antarctic Peninsula Pacific margin: A record of Pliocene - Pleistocene ice volume and paleoclimate. *Geology*, 17, 731-743.
- Marensi S.A., Rugiero M.A., Santillana S.N. & Vizcaino S.F.** 1994. Review. Eocene and land mammals from Seymour Island, Antarctica: palaeobiogeographical implications. *Antarctic Science*. 6,1, 3-15.
- Myrcha A., Tatur A. & del Valle R.** 1990. A new species of fossil penguin from Seymour Island, West Antarctica. *Alcheringa* 14, 195-205.
- Sadler P.M.** 1988. Geometry and stratigraphy of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: Feldmann R.M., & M.O. Woodburne (eds), *Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula*, pp. 303-320. The Geol. Soc. Am., Memoir 169.
- Sugden D.** 1982. *Arctic and Antarctic. A modern geographical synthesis*. Basil Blackwell. Oxford.
- Rakusa-Suszczewski S.** 1993. The structure and functioning of the nearshore ecosystem. In: Rakusa-Suszczewski (ed). *The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*, pp 15-18. Department of Antarctic Biology PAS, Warsaw 1993.

- Tambussi C., Noriega J., Gazdzicki A., Tatur A., Reguero M.A., & Vizcaino S.F.** 1994. The first occurrence of Ratite bird in the Paleogene of Antarctica. XXI Polar Symposium. Warszawa, Poland - September 23-24, 1994: 45-48.
- Tambussi C.P. & Tonni E.P.** 1988. Un Diomedidae (Aves Procellariiformes) del Eoceno tardio de la Antartida. In: Quiroga J.C. & Cione A.L. (eds) Tide influenced sedimentary environment and facies, Amsterdam: D.Reidel Publishing Company, 233-263.
- Tatur A. & Myrcha A.** 1989. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries (maritime Antarctic). Proc. NIPR Symp. on Polar Biology, 2, 181-189.
- Zachos J.C., Breza J.R. & S.W. Wiese** 1992. Early Oligocene ice-sheet expansion on Antarctica: Stable isotope and sedimentation evidence from Kerguelen Plateau, South Indian Ocean. *Geology* 20, 569-573.
- Zinsmeister W.B.** 1986. Fossil windfall at Antarctica's edge. *Natural History*. May 60-67.
- Zinsmeister W.B. & Camacho H.H.** 1982. Late Eocene (to possibly earliest Oligocene) molluscan fauna of the La Meseta Formation of Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: Craddock C. (ed), *Antarctic geoscience*. Madison: University of Wisconsin Press, 299-304.

RESPONSE OF ANTARCTIC BIOTA ON CLIMATE CHANGES

Summary

Extinction and accelerated evolution were the prominent biota forming processes during Late Eocene cooling event (Fig. 1). Migration and changes of population numbers fluctuating according to Milanković climatic cycle constrain the structure of ecosystems during Pleistocene and Holocene (Fig. 2).