

MARIA OLECH

*Instytut Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego
Lubicz 46, 31-512 Kraków
e-mail: olech@ib.uj.edu.pl*

EKOSYSTEMY TUNDROWE ANTARKTYKI

WSTĘP

Antarktyka jest ogromnym, naturalnym laboratorium, gdzie większość procesów biologicznych może być badana w niemal pierwotnych warunkach niezmienionego przez człowieka środowiska. W tym izolowanym od reszty świata obszarze można badać wiele ważnych zagadnień ekologicznych, nie tylko o znaczeniu regionalnym, ale także globalnym. Tutaj można prowadzić obserwacje nad kolonizowaniem nowych siedlisk, adaptacją i przeżywalnością organizmów w skrajnie trudnych warunkach siedliskowych, śledzić wstępne etapy antropopresji i synantropizacji szaty roślinnej.

Antarktyczne ekosystemy lądowe, pomimo niskiej różnorodności gatunkowej, stanowią modelowy obiekt badań ekologicznych ze względu

do na ich prostą strukturę, pierwotność i nieskomplikowane zależności ekologiczne. Uzyskane wyniki mogą ułatwić zrozumienie funkcjonowania bardziej złożonych ekosystemów innych stref Ziemi, a także umożliwić przewidywanie efektu przeobrażeń systemów biologicznych zachodzących pod wpływem czynników klimatycznych lub antropogenicznych. Studia dotyczące struktury i funkcjonowania antarktycznych systemów lądowych budzą także duże zainteresowanie egzobiologii — dziedziny zajmującej się badaniem istnienia i rozmieszczenia życia we wszechświecie. Różnego typu analogii upatruje się szczególnie między warunkami panującymi w najbardziej pustynnych częściach Antarktydy i na Marsie.

PODZIAŁ FITOGEOGRAFICZNY ANTARKTYKI

Podział fitogeograficzny Antarktyki i otaczających ją obszarów subantarktycznych był przedmiotem licznych dyskusji (m.in. GIMMINGHAM, LEWIS, SMITH 1970, HOLDGATE 1970, LONGTON 1988 i BLOCK 1994). Ostatecznie za północną granicę Antarktyki przyjęto równoleżnik 60 szerokości geograficznej południowej, co pokrywa się częściowo z linią konwergencji antarktycznej (Ryc. 1). W obrębie Antarktyki wyróżnia się dwie prowincje fitogeograficzne:

1) Antarktykę kontynentalną, obejmującą wschodnie wybrzeża Półwyspu Antarktycznego i kontynent Antarktydy,

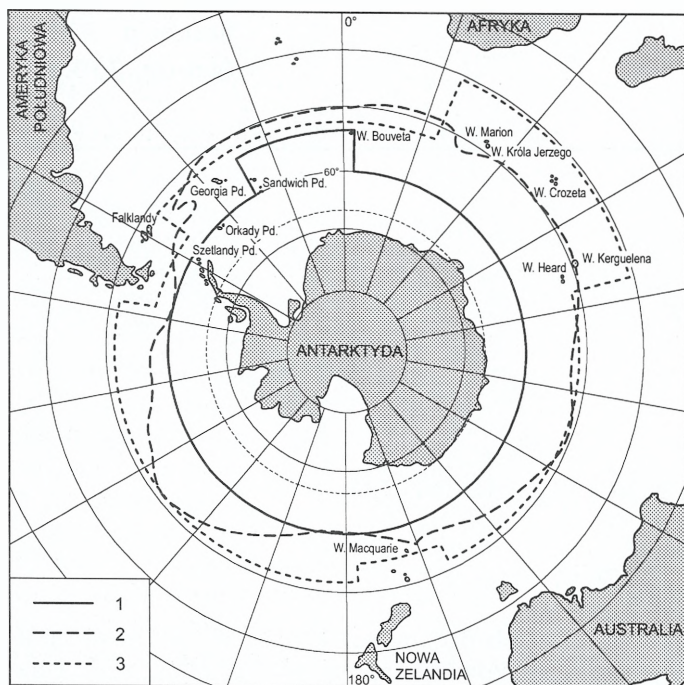
2) Antarktykę morską, do której zalicza się zachodnie wybrzeża Półwyspu Antarktycznego aż do południowej części Marquerrite Bay, oraz archipelagi: Szetlandy Południowe, Orkady Południowe, oraz dodatkowo Sandwich Południowy i samotną Wyspę Bouveta.

Obszar fitogeograficzny występujący na północ od Antarktyki, to Subantarktyka, do której należy wiele wysp na Oceanie Południowym, a mianowicie: Georgia Południowa, Marion, Księcia Edwarda, Heard, McDonald, Crozet, Kerguelena i Macquarie.

UWAGI O FLORZE ANTARKTYKI

Występowanie organizmów lądowych Antarktyki ograniczone jest do wolnych od lodu

skrawków lądu, które stanowią jedynie 2–5% całego obszaru. Są to najczęściej nadmorskie



Ryc. 1. Antarktyka i Subantarktyka (według OCHYRY 1983, zmienione).

1 — granice Antarktyki, 2 — linia Konwergencji Antarktycznej, 3 — granice Subantarktyki.

oazy lub nunataki występujące najczęściej w głębi lądu. Roślinność antarktycznego biomu (LEWIS SMITH 1993) cechuje skrajne ubóstwo gatunków. Dotyczy to przede wszystkim roślin naczyniowych, z których występują tu jedynie dwa rodzime gatunki: *Deschampsia antarctica* (Gramineae) i *Colobanthus quitensis* (Caryophyllaceae). Występowanie obu gatunków jest ograniczone do uprzywilejowanych klimatycznie miejsc morskiej Antarktyki, przy czym najbardziej na południe wysunięte stanowiska tych roślin stwierdzono na wyspie Alameda ($68^{\circ} 43' S$, $67^{\circ} 32' W$).

Flora Antarktyki złożona jest prawie wyłącznie z kryptogamów, głównie porostów, glonów i mszaków. Większość tych organizmów może kolonizować obszary tak niegościnnego lądu dzięki specjalnym mechanizmom adaptacji. Spośród nich najlepiej przystosowane do ekstremalnych warunków środowiska są porosty (grzyby lichenizowane). Zdolne są one do przetrwania skrajnego przechłodzenia — nawet do temperatury ciekłego azotu. Wiele gatunków zachowuje aktywność fotosyntetyczną w warunkach poniżej temperatury zamarzania wody (znacznie poniżej temperatury heterogennej nukleacji lodu w płynach ustrojowych — SCHROETER i współaut. 1995). Ich odporność na przechłodzenie wynika z istnienia molekularnego mechanizmu polegającego na przetworzeniu części (lub przy niższej hydratacji — całości) frakcji wody luźno związanej w niezamarzalną wodę ściśle związaną (HARAŃCZYK i współaut. 1998, w druku). Spośród innych organizmów wyróżnia je także wyjątkowa odporność na wysychanie, co wiąże się z ich zdolnością do po-

bierania wody wprost z fazy gazowej, a nawet wprost ze śniegu (KAPPEN 1993). Porosty są licznie reprezentowane w Antarktyce, lecz trudno jeszcze ustalić aktualną liczbę gatunków z powodu panującego przez wiele lat zamieszania w taksonomii tej grupy i nadal jeszcze niekompletnych badań lichenologicznych. Prowadzone w tej grupie rewizje taksonomiczne powodują redukcję wielu gatunków do synonimów, z drugiej zaś strony aktualne badania terenowe powiększają listę o nowe dla Antarktyki lub nawet dla nauki taksony (OLECH i ALSTRUP 1990, OLECH i SOECHTING 1993, ORANGE 1993). Proponowana wstępna lista porostów Antarktyki (OLECH, w druku) zawiera ponad 300 gatunków. Najbogatsze w gatunki rodzaje porostów to: *Buellia*, *Caloplaca*, *Cladonia* i *Lecidea* s.l. Do najpospolitszych gatunków w Antarktyce morskiej należą: *Caloplaca subglobulata*, *Lecanora dispersa*, *L. polytropa*, *Carbonea assentiens*, *Usnea antarctica*, *U. aurantiaco-atra*, *Amandinea coniops*, *Placopsis contortuplicata* i *Leptogium puberulum*. Natomiast w Antarktyce kontynentalnej najbardziej rozpowszechnionymi gatunkami są: *Buellia frigida*, *Umbilicaria decussata*, *Acarospora gwynii*, *Pseudephebe minuscula* i *Candelariella flava*. Najliczniej reprezentowane są porosty epilityczne, mniejszą grupę stanowią porosty rosnące na mszakach, ziemi lub kościach zwierząt.

Ostatnio więcej uwagi poświęca się grzybom występującym na plechach porostów, które są szeroko rozpowszechnione w rejonach polarnych, a jeszcze mało zbadane. Reprezentują one różne formy związku z porostem — występując jako pasożyty, saprofity lub parasymbionty.

Najnowsze badania w Antarktyce (OLECH i ALSTRUP 1995) wykazały występowanie 65 gatunków z tej grupy, przy czym około połowa okazała się taksonami nowymi dla nauki (w tym 3 nowe rodzaje). Z rejonu kontynentalnej Antarktyki podano ponad 10 gatunków grzybów naporostowych (OLECH i ALSTRUP 1996) wśród nich nowo opisany *Dactylospora dobrowolskii*.

Z grzybów „macromycetes”, których w Antarktyce stwierdzono około 15 gatunków, najczęstsze są *Omphalina pyxidata*, *O. antarctica* i *Galerina pseudomycenopsis* z podstawczaków (GUMIŃSKA i współaut. 1994) i często przeoczana, lecz niezbyt rzadka *Lamprospora miniatopsis* z workowców.

Ponad 100 gatunków mchów zostało stwierdzonych w Antarktyce (LEWIS SMITH 1993, OCHYRA 1998). Do najpospolitszych w morskiej Antarktyce można zaliczyć: *Drepanocladus uncinatus*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Pohlia nutans*, *Brachythecium austro-salebrosum*, *Calliergon sarmentosum*, *Tortula princeps*, *T. excelsa*, *T. fuscoviridis*, *Polytrichum alpinum*, *P. strictum*, *P. piliferum*, *Andreaea gainii*, *A. regularis*. Przy czym w kontynentalnej Antarktyce występuje jedynie ok. 30 gatunków, z których najczęstsze są *Bryum pseudotriquetrum* i *B. argenteum*.

Wątrobowce odgrywają znacznie mniejszą rolę we florze i zbiorowiskach roślinnych Antarktyki; stwierdzono tu 22 gatunki (OCHYRA i VÁNA 1989), przy czym w kontynentalnej części występuje tylko *Cephaloziella exilifera*.

Glony prokaryotyczne i eukaryotyczne odgrywają dużą rolę w lądowych ekosystemach polarnych, przede wszystkim ze względu na ich pionierski udział w kolonizowaniu nowych siedlisk. Występują one w biotopach słodkowodnych, glebie, mchach, na skałach i śniegu. Są one obecnie przedmiotem intensywnych badań; ich bogactwo szacuje się wstępnie na przeszło 700 gatunków. Najliczniej reprezentowane są okrzemki (*Bacillariophyceae*), które ocenia się na przeszło 300 gatunków, mniej licznie występują tu przedstawiciele sinic (*Cyanophyceae*), zielenic (*Chlorophyceae*), różnowiciowców (*Xanthophyceae*), złotowiciowców (*Chrysophyceae*) i euglenowych (*Euglenophyceae*). Z wyspy King George, gdzie prowadzone są aktualnie polskie badania, podano dotychczas 132 gatunki okrzemek, ponad 26 taksonów sinic i 40

gatunków przedstawicieli pozostałych grup glonów. Szczegółowe studia taksonomiczne ultrastruktury glonów (TEM i SEM) pozwoliły opisać 7 nowych dla nauki taksonów, w tym jeden nowy rodzaj (OLECH i współaut. 1998, MASSALSKI i współaut. 1998, MROZIŃSKA i współaut. 1998).

Analiza geograficzna współczesnej flory kryptogamów Antarktyki jest utrudniona ze względu na taksonomiczne niejasności i nieadekwatne dane chorologiczne. Według wcześniejszych danych zdecydowana większość porostów (90%) była zaliczana do endemitów. Nowe badania i rewizje taksonomiczne zredukowały bardzo liczbę gatunków endemicznych, lecz ich liczba nie jest łatwa do ustalenia. Do ewidentnych porostów endemicznych tego regionu można zaliczyć: *Caloplaca buelliae*, *C. iomma*, *C. psoromatis*, *C. siphonospora* (SOECHTING, OLECH 1995), *Rhizoplaca prestleyi*, *Buellia subfrigida*, *Thelidium austroschelandicum* i *Pannaria austro-orcadensis* (SEPPELT 1995). Nowe badania flory porostów Antarktyki wykazały zwiększenie się udziału gatunków bipolarnych (OLECH 1989, SOECHTING i OLECH 1995) to jest gatunków pospolitych w Arktyce i górach Holarktyki, z drugiej strony rozpowszechnionych w Antarktyce. Przykładem mogą tu być takie gatunki, jak: *Amandinea coniops*, *Arthrorhaphis citrinella*, *Caloplaca ammiospila*, *C. citrina*, *C. exsecuta*, *C. tirolensis*, *Candelariella vitellina*, *Catapyrenium daedaleum*, *Cystocoleus ebeus*, *Dermatocarpon intestiniforme*, *Pseudophebe minuscula*, *P. pubescens*, *Rinodina turfacea*, *Tremolecia atrata*, *Usnea sphacelata* i wiele innych. Według różnych autorów liczba gatunków bipolarnych jest szacowana odpowiednio na 15% do 30% całej flory porostów.

We florze mchów Antarktyki udział gatunków bipolarnych oceniany jest na około 40%. Przykładem tej grupy mogą być następujące gatunki: *Polytrichum strictum*, *Distichium capillaceum*, *Calliergon sarmentosum* i inne. Spośród gatunków endemicznych mchów, których podano z Antarktyki 7 gatunków, warto wymienić nowo opisane dla nauki *Schistidium halinae*, *S. steerei* i *Dicranella recurvata* (OCHYRA 1998). Spośród wątrobowców ponad 22% całej flory reprezentują gatunki bipolarne; wśród nich *Anthelia juratzkana*, *Barbilophozia hatcheri*, *Lophozia excisa* i in. (OCHYRA i VÁNA 1989).

ZBIOROWISKA ROŚLINNE

Tundra antarktyczna zdominowana przez kryptogamy (głównie porosty i mchy) tworzy mozaikę zbiorowisk roślinnych o ściśle określo-

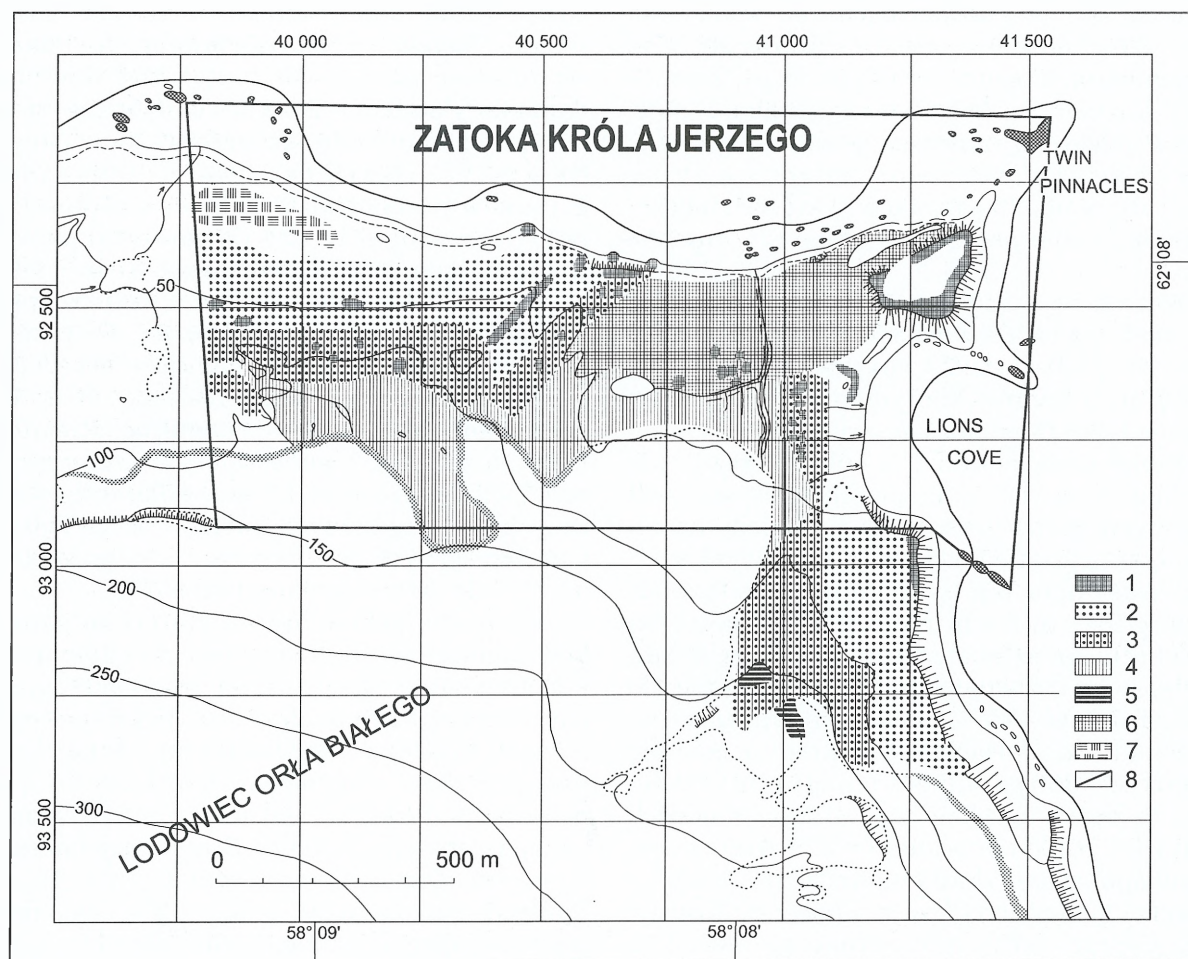
nym składzie gatunkowym i wymaganiach siedliskowych. Zbiorowiska te zajmują zazwyczaj bardzo małe powierzchnie i cechuje je ubóstwo

florystyczne. Dotychczasowe badania nad zbiorowiskami tundrowymi Antarktyki są jeszcze niedostateczne głównie z przyczyn słabej jak dotąd znajomości gatunków i występowania wielu problemów taksonomicznych w różnych grupach kryptogamów. Zaproponowany system klasyfikacji zbiorowisk roślinnych Antarktyki morskiej przez GIMMINGHAMA i LEWIS SMITHA (1970), zmodyfikowany przez LONGTONA (1988) jest traktowany jedynie prowizorycznie. Jednostki roślinne w tym systemie — formacje i subformacje — wyróżnione zostały głównie na podstawie kryteriów fizjonomicznych.

Prace fitosocjologiczne z zastosowaniem klasycznej metody Braun-Blanqueta są bardzo nieliczne ze względu na słabą znajomość gatunków, szczególnie porostów. Badania takie prowadzone były na Szetlandach Południowych,

gdzie wyróżniono kilka zespołów roślinnych z dominacją mchów (FURMAŃCZYK i OCHYRA 1982), oraz liczne zbiorowiska porostów, które tworzą samodzielne ugrupowania lub z udziałem mszaków, glonów i dwóch roślin naczyniowych (OLECH 1990, 1994). Pojawiły się też pierwsze próby opracowania map rozmieszczenia zbiorowisk roślinnych np. wykonana metodami tradycyjnymi mapa roślinności rezerwatu SSSI nr 34 na Lions Rump (Ryc. 2).

W rozmieszczeniu zbiorowisk roślinnych morskiej Antarktyki widoczna jest wyraźnie ich strefowość poczynając od brzegu morza w głąb lądu (OLECH 1989, 1993). I tak na skałach brzegowych, w bezpośrednim zasięgu fal morskich, występują zbiorowiska porostów halofilnych, utworzone głównie ze skorupiastych gatunków rodzaju *Verrucaria*. Nieco dalej od mo-



Ryc. 2. Mapa roślinności SSSI Nr 34 Cape Lions Rump (według OLECH 1994).

1 — zbiorowiska porostów ornitokoprylnych, 2 — mozaika zbiorowisk naskalnych z *Lecanora polytrapa*, *Rhizocarpon geographicum* i *Carbonea assentiensis*, oraz zbiorowiska miejsc wilgotnych: *Leptogium puberulum*, *Staurothele gelida* i *Aspicilia* sp., 3 — zbiorowiska porostów naziemnych z dominacją *Usnea antarctica*, oraz *Ochrolechia frigida* i *Psoroma hypnorum* (głównie partie szczytowe współczesnych mcen, 4 — miejsca pozbawione roślin (głównie najmłodsze moreny o niestabilnym podłożu), 5 — nitrofobowe naskalne zbiorowiska *Usnea aurantiaco-atra* i *Ochrolechia parella*, 6 — zbiorowiska z glonem *Prasiola crispa* i z *Deschampsia antarctica*, 7 — zbiorowisko z *Drepanocladus uncinatus*, 8 — granice rezerwatu.

rza, głównie w pobliżu kolonii pingwinów, rozwijają się nitrofilne zbiorowiska porostów, które tolerują duże stężenia azotu i fosforu w podłożu. Szczególnie charakterystyczne dla morskiej Antarktyki są takie zbiorowiska ornitokoprofilne jak: zbiorowisko *Mastodia tesellata* i *Caloplaca cirrochrooides*; zbiorowisko *Caloplaca regalis* i *C. lucens*, (występujące, jak się zdaje, wyłącznie w pobliżu kolonii pingwinów); zbiorowisko *Haematomma erythromma* porastające najczęściej płaskie powierzchnie skał oraz zbiorowisko *Ramalina terebrata* spotykane na pionowych ścianach w szczytowych partiach skał. W głębi lądu, z dala od morza i kolonii ptaków, występują zbiorowiska nitrofobowe, przy czym w miejscach wilgotnych rozwijają się zbiorowisko *Staurothele gelida* i zbiorowisko *Leptogium puberulum*. W bardziej suchych warunkach występują: zbiorowisko z *Carbonea assentiens*, zbiorowisko *Rhizocarpon geographicum* i *Usnea antarctica*, a w partiach szczytowych zbiorowisko *Himantormia lugubris* i *Usnea aurantiaco-atra* z udziałem mchów *Andreaea* spp. oraz zbiorowisko *Ochrolechia parella* i *Umbilicaria decussata*.

Porosty, wyspecjalizowane jako epifity mchów, tworzą zbiorowiska epibrioalityczne, z których najpospolitsze jest zbiorowisko z *Ochrolechia frigida*, a także *Psoroma hypnorum*. W pobliżu ptasich gniazd rozwijają się nitrofilne zbiorowiska z udziałem *Physconia muscigena*, *Rinodina turfacea* i *Caloplaca tirolensis*, *C. citrina*. Zbiorowiska porostów naziemnych ze *Sphaerophorus globosus*, *Stereocaulon alpinum* i *Cetraria aculeata* cechuje większy udział mchów (*Drepanocladus uncinatus*, *Andreaea depressinervis*, *A. gainii*) niekiedy również trawy *Deschampsia antarctica*, szczególnie w niższych położeniach.

W kontynentalnej Antarktyce zbiorowiska roślinne są słabiej zróżnicowane, fragmentaryczne i nie wykazują strefowego rozmieszczenia. Występują tu naskalne zbiorowiska z *Buellia frigida*, *Lecanora physciella* i *Usnea sphacellata*, a w pobliżu pojedynczych gniazd ptasich także zbiorowiska z *Umbilicaria aprina*, *U. de-*

cussata i *Caloplaca saxicola*, a z epibrioalitycznych zbiorowisko z udziałem *Caloplaca athallina*, *C. citrina* i *Rinodina olivaceobrunnea*.

Szczególnie interesujące są zbiorowiska roślinne występujące w nietypowych siedliskach, będące przykładem adaptacji do ekstremalnych warunków rejonów polarnych. Przykładem mogą być organizmy kolonizujące wnętrza skał (endolity). Szczególne zainteresowanie budzą występujące w kontynentalnej Antarktyce zbiorowiska kryptoendolitów (NIENOW i FRIEDMANN 1993), które występują w porowatych zagłębieniach skał, gdzie znajdują korzystniejsze warunki mikrosiedliskowe niż na powierzchni skał. W środowisku skrajnie zimnych pustyni Antarktydy (Południowa Ziemia Wiktorii) zbiorowiska kryptoendolitów zbudowane są z glonów, porostów i grzybów, przy czym obserwuje się wyraźną warstwowość w ich występowaniu, co wskazuje na ich różne wymagania mikrosiedliskowe. Wśród glonów spotyka się jednokomórkowe sinice, zielenice oraz endemicznego różnociowca *Heterococcus endolithicus*. Kryptoendolity, a także euendolity (organizmy zasiedlające aktywnie uformowane tunele) są przedmiotem intensywnych badań i budzą wielkie zainteresowanie przede wszystkim ze względu na problematykę egzobiologiczną (MCKAY 1993). Interesujące są także zbiorowiska hipolitów (organizmy żyjące pod kamieniami). Występują one zarówno w morskiej jak i kontynentalnej Antarktyce. Przedstawicielami tej grupy w morskiej Antarktyce są glony (*Pseudococcomyxa simplex* i *Muerella terrestris*); porosty (jasne formy *Psoroma* spp., *Bacidia* sp.) i grzyby (*Lamprospora miniatopsis*) (OLECH w oprac.).

Innym przykładem są zbiorowiska glonów występujących na śniegu lub lodzie, czyli krioalitów. Masowe zakwity tych glonów powodują czerwone, zielone, żółte lub brązowe zabarwienie śniegów lub lodowców (kolorowe śniegi). Są to w większości zielenice. Czerwony krioseton tworzy na Antarktydzie głównie *Chlamydomonas antarcticus*, zaś zielony *Chlorella antarctica* (KAWECKA i ELORANTA 1994).

KOLONIZACJA NOWYCH SIEDLISK I FORMOWANIE SIĘ ZBIOROWISK ROŚLINNYCH

W badaniach zmian globalnych powszechnie przyjmuje się tezę o ocieplaniu się klimatu w strefach polarnych jako następstwa działalności człowieka lub, według innych, jako efektu oscylacji klimatycznych. W konsekwencji ocieplenia występują procesy deglacjacji i odsłanianie obszarów spod lodu, na które wkracza roślinność. Stanowi to niepowtarzalną okazję do

prowadzenia badań nad kolonizacją biologiczną oraz formowaniem się i funkcjonowaniem prostych układów ekologicznych jakimi są ekosystemy tundrowe. Antarktyka, jako rejon izolowany od reszty świata i o najmniej zmienionych jeszcze ekosystemach, szczególnie dobrze nadaje się do obserwacji nad kolonizacją roślin na nowych siedliskach. Pomimo wagi zagadnienia,

prace dotyczące procesów zasiedlania i sukcesji roślinności w Antarktyce są nadal fragmentaryczne i dotyczą głównie pojedynczych gatunków lub poszczególnych grup systematycznych (VALLADARES i SANCHO 1995, LEWIS SMITH 1995). Brak całościowych ujęć fitosocjologicznych, oddających istotę zagadnienia, wynika głównie ze słabej znajomości gatunków antarktycznych i czasochłonności badań.

Szczegółowe studia nad kolonizacją i dynamiką zbiorowisk roślinnych prowadzone są na morenach i przedpolach lodowców w rejonie Zatoki Admiralicji w Szetlandach Południowych (MROZIŃSKA i współaut. 1998, OLECH 1996). Badania, uwzględniające wszystkie grupy taksonomiczne biorące udział w kolonizacji podłoża, prowadzone są wzdłuż wybranych transektów uwzględniających różnorodność czynników siedliskowych. Wstępne wyniki badań wykazują, że pionierskimi organizmami w Antarktyce morskiej na podłożu skalnym są porosty (*Caloplaca johnstonii*, *C. sublobulata* i *Lecanora dispersa*), zaś na glebie mikroorganizmy glebowe (bakterie, glony i grzyby, BLOCK 1994) a z makroorganizmów glony (najczęściej zielenica *Prasiola crispa*), mchy (*Bryum pseudotriquetrum*, *Tortula princeps*), czasem także trawa *Deschampsia antarctica* (Ryc. 3).

Analiza czynników decydujących o rozwoju zbiorowisk roślinnych wykazała, że oprócz czynników klimatycznych dużą rolę odgrywają jakość podłoża (m.in. dostępność wody latem), długość zalegania pokrywy śnieżnej, stabilność podłoża i jego skład chemiczny. W zależności od wysokości nad poziom morza, odległości od krawędzi lodowca i od brzegu morza, a także dostępności nutrientów (kolonie ptaków) zmienia się rola i udział poszczególnych grup roślinnych w budowie zbiorowisk (Ryc. 3). W niskich położeniach i sąsiedztwie morza, gdzie występują kolonie pingwinów, zaznacza się większy udział glonów i roślin kwiatowych. W głębi lądu w zbiorowiskach roślinnych przeważają porosty i mszaki, zarówno w liczbie gatunków jak i w stopniu pokrycia. W zagłębieniach terenowych, gdzie długo zalega śnieg i panują korzystniejsze warunki wilgotnościowe, dominują mchy —

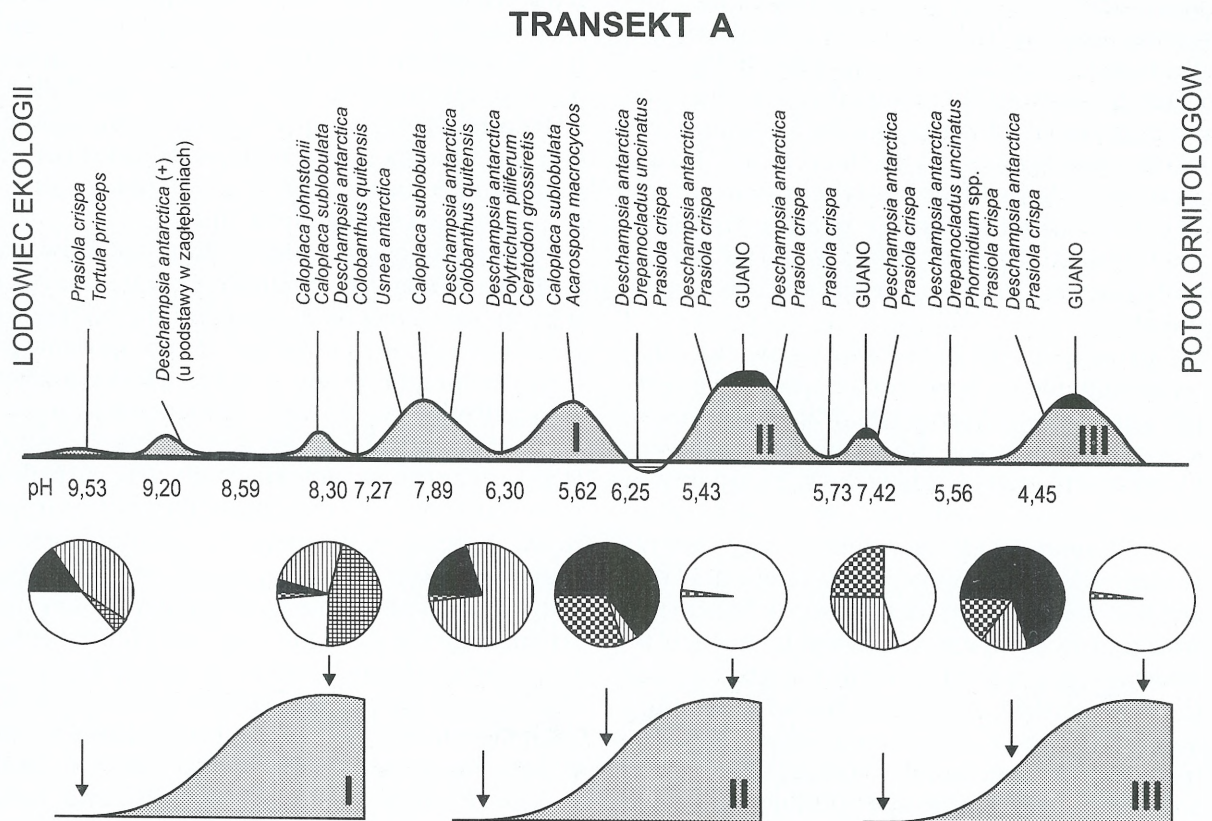
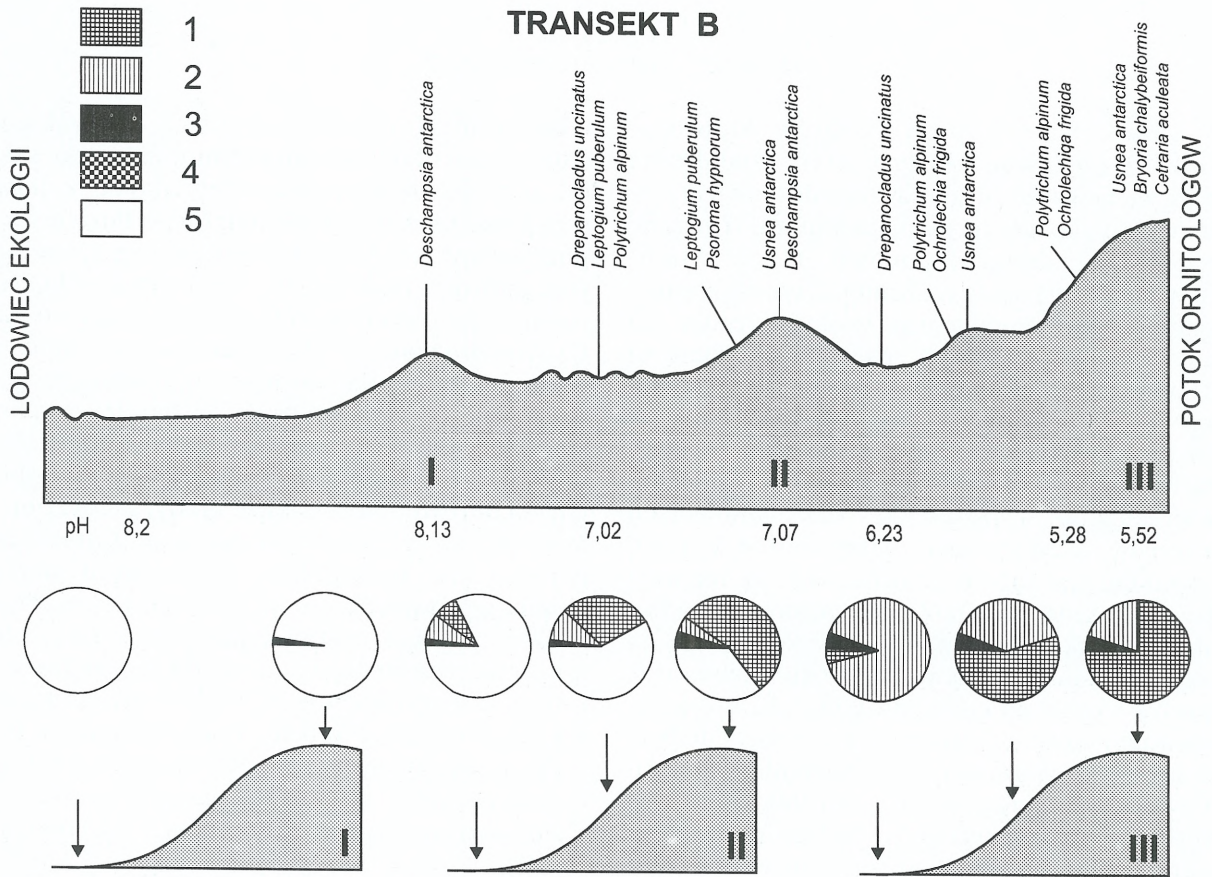
bardzo często *Drepanocladus uncinatus* (Ryc. 3).

Ogromną rolę w procesie kolonizacji i formowania się zbiorowisk tundrowych odgrywa świat zwierzęcy. Ląd nie pokryty lodem jest miejscem rozrodu, pierzenia lub linienia licznych kolonii ptaków (głównie pingwinów) i płetwonogich, dla których źródłem pożywienia jest morze. Pingwiny wynoszą na ląd olbrzymie ilości materii organicznej w postaci fekalii, pełnią więc ważną rolę w obiegu materii w antarktycznym systemie lądowym. Odchody zwierząt pozostające na lądzie, a także puch, sierść, skurupy jaj są źródłem wzbogacania w nutrieny tworzących się gleb. Powstają tu unikatowe w skali światowej gleby ornitogenne (TATUR i MYRCHA 1993), które zasiedlane są przez roślinność nitrofilną, przy czym pierwszy pojawia się glon *Prasiola crispa*. Na skałach przenawożonych przez pingwiny wykształcają się charakterystyczne dla Antarktyki zbiorowiska porostów ornitokopofilnych, które zajmują duże powierzchnie ścian skalnych. Plechy tych porostów są najczęściej jaskrawo zabarwione (żółte i pomarańczowe), co znacznie urozmaica krajobraz antarktyczny. Porosty ornitokopofilne przystosowały się do wysokich poziomów nutrientów, zwłaszcza azotu i fosforu z guana pingwinów. Jest godne podkreślenia, że skład karotenoidów w plechach tych porostów (*Caloplaca regalis*) jest niemal identyczny jak w ekskrementach pingwinów i typowy dla karotenoidów kryla (FILHO i współaut. 1986).

Jednym z czynników decydujących o specyfice ekosystemów antarktycznych jest izolacja tego obszaru. Potencjalni kolonizatorzy mogą tutaj migrować w naturalny sposób drogą powietrzną (transport przez wiatr i śnieg) lub za pośrednictwem zwierząt (głównie ptaki morskie). Odkąd człowiek zaistniał w Antarktyce, pojawił się problem jego roli jako wektora wprowadzającego obce gatunki do ekosystemów antarktycznych. Tak więc w ostatnich czasach oprócz naturalnych czynników decydujących o procesach kolonizacji dochodzą także antropogeniczne.

Ryc. 3. Udział (% pokrycia) poszczególnych grup taksonomicznych w kolonizacji i formowaniu się zbiorowisk roślinnych na współczesnych morenach lodowca.

Transekt A — w bliskim sąsiedztwie morza; transekt B — w głębi lądu; 1 — porosty, 2 — mszaki, 3 — rośliny kwiatowe, 4 — glony i sinice, 5 — miejsca pozbawione roślin.



WPŁYWY ANTROPOGENICZNE

Antarktyka należy do obszarów, które stunkowo niedawno weszły w strefę działalności ludzkiej. Stwarza to niepowtarzalną okazję śledzenia antropogenicznych przemian, a przede wszystkim badania wczesnych etapów synantropizacji flory i szaty roślinnej. Czynniki antropogeniczne, mające coraz większy wpływ na zasięgi gatunków i szatę roślinną, związane są zarówno z dawną działalnością (łowcy fok i wielorybów), jak i obecną aktywnością człowieka (wyprawy naukowe, stacje antarktyczne, masowa turystyka). Wpływ człowieka znajduje odzwierciedlenie w postaci dwóch równoległych procesów, a mianowicie: ustępowania jednych gatunków czy całych zbiorowisk oraz rozprzestrzeniania się innych. W pierwszym przypadku niszczyielska działalność człowieka polega na bezpośrednim eliminowaniu roślin (zbieranie okazów i prób do celów naukowych, kolekcjonowanie pamiątek), przez co zmniejsza się liczba ich stanowisk, lub dewastacji siedlisk (budowa stacji polarnych, dróg, lotnisk, używanie pojazdów mechanicznych). Należy podkreślić, że systemy tundrowe są szczególnie wrażliwe na wszelkie uszkodzenia mechaniczne (wysuszone plechy porostów są nadzwyczaj kruche i łamliwe; koleiny pozostawione na wilgotnych mszarach utrzymują się przez dziesiątki lat). Organizmy budujące zbiorowiska polarne należą najczęściej do bardzo wolno rosnących. Dotyczy to przede wszystkim porostów, na przykład średni przyrost plech porostów w Antarktyce morskiej szacowany jest na około 1 cm/100 lat, natomiast w Antarktyce kontynentalnej średnica plech *Buellia frigida* przyrasta około 1 cm/1000 lat (SEPPELT 1995). Tak więc potrzeba dużo czasu dla odrodzenia się zniszczonej tundry.

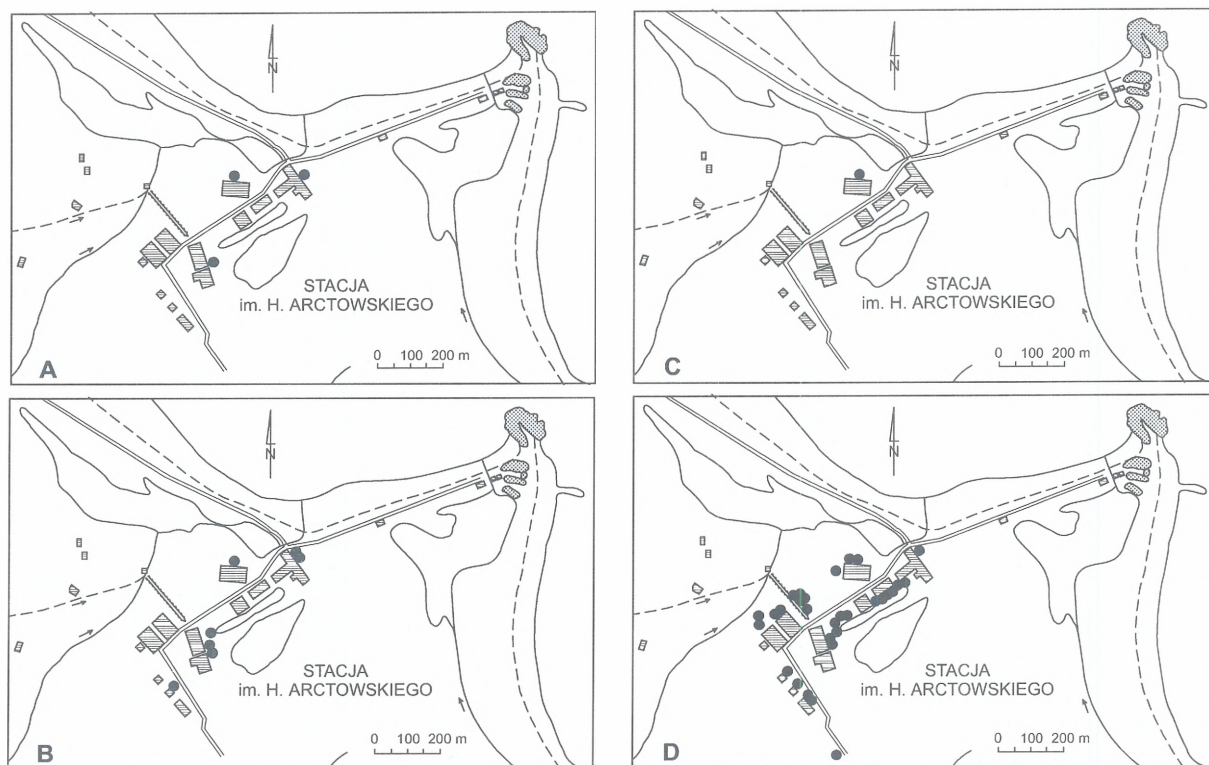
Z drugiej strony działalność człowieka może przyczyniać się do rozprzestrzeniania się pewnych gatunków i zbiorowisk. Wśród gatunków, które w Antarktyce powiększyły obszar swego występowania dzięki człowiekowi są apofity — rodzime gatunki osiedlające się na antropogenicznych siedliskach. Największe zagęszczenie ich stanowisk obserwuje się w miejscach najbardziej intensywnej działalności ludzkiej — głównie prowadzonego w dawnych czasach łowiectwa i przemysłu przetwórczego. Ogólnie można stwierdzić, że liczba stanowisk apofitów gwałtownie spada ze wzrostem wysokości terenu i odległości od morza (OLECH 1998). Wśród apofitów największą grupę stanowią porosty. Występują one na podłożach typu organicznego

(kości ubitych zwierząt, drewno), mineralnego (ruiny budynków, słupki betonowe, żeliwo, szkło), o wiele rzadziej na syntetycznym podłożu (np. papa, plastikowe taśmy). Na podłożu antropogenicznym najczęściej spotyka się następujące gatunki: *Acarospora macrocyclos*, *Physcia caesia*, *Xanthoria candelaria*, *Caloplaca citrina*, *C. cirrochrooides*, *C. sublobulata* i inne. Największe znaczenie dla powiększenia zasięgów gatunków apofitycznych mają na tym terenie kości wielorybów, występujące masowo na równinach nadmorskich. Na nich stwierdzono najbogatszą florę apofitów (sinice, glony, mchy, porosty). W bezdrzewnym krajobrazie Antarktyki drewno jest szczególnie nietypowym siedliskiem wprowadzonym przez człowieka. Tego rodzaju podłoża dostarczają wraki łodzi i statków, opuszczone bazy, chatki dawnych łowców i inne. Drewno kolonizowane jest przede wszystkim przez glon *Prasiola crispa*, natomiast porosty pojawiają się po dłuższym czasie. Do najczęściej występujących tu gatunków należą: *Caloplaca sublobulata*, *C. coralligera*, *Usnea antarctica*.

Wśród apofitów Antarktyki Zachodniej przeważają gatunki naskalne, są to w większości porosty nitrofilne występujące na naturalnych stanowiskach w pobliżu kolonii ptaków (*Amandinea coniops*, *Caloplaca sublobulata*, *C. regalis*, *Rhizoplaca aspidophora*). Część gatunków apofitycznych, to porosty, które na siedliskach naturalnych występują jako organizmy pionierskie na przedpolach i morenach lodowców na przykład *Lecanora dispersa*, *Caloplaca johnstonii*, *Caloplaca sublobulata* i inne.

Interesujący jest skład flory apofitów pod względem fitogeograficznym. Odmienne niż w innych szerokościach (szczególnie na półkuli północnej) gdzie przeważają wśród apofitów gatunki kosmopolityczne — w Antarktyce przeważają gatunki endemiczne i subendemiczne.

Wśród gatunków synantropijnych Antarktyki nieliczne są przykłady obcych gatunków wprowadzonych przez człowieka czyli antropofitów. W pełni udokumentowane informacje na temat pojawienia się tej grupy w Antarktyce dotyczą głównie roślin naczyniowych. Do nich można zaliczyć dwa gatunki traw, które zostały przypadkowo zawleczone do Antarktyki Zachodniej, a mianowicie: *Poa pratensis* i *P. annua*. Monitoring *Poa annua* prowadzony w okolicach Stacji im. Arctowskiego (OLECH 1996) wskazuje na to, że ta kosmopolityczna trawa trwale się zadomowiła. Zaobserwowana po raz



Ryc. 4. Stanowiska trawy *Poa annua* L. w okolicach Stacji im. H. Arctowskiego w latach: A — 1986/87, B — 1987/88, C — 1989/90, D — 1991/92 (według OLECH 1996).

pierwszy na jednym stanowisku podczas lata antarktycznego 1985/86 — obecnie odnawia się co roku i występuje już na kilkunastu stanowiskach (Ryc. 4) tworząc zwarte płyty. Można

się spodziewać, że w związku z ocieplaniem się klimatu i wzmożoną turystyką w rejonie Antarktyki Zachodniej, pojawią się następni obcy przybysze.

TUNDRA ECOSYSTEMS OF ANTARCTICA

Summary

In comparison with Northern polar regions, terrestrial ecosystems of the Antarctic are much poorer. In the Arctic there are about 900 species of vascular plants. Whereas in the Antarctic there are only two: *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis*. The vegetation cover of the Antarctic is dominated by cryptogams, and among them lichens (about 300 species), algae (about 700 species) and mosses (about 100 species). The liverworts and macro-mycetes are less numerous. Recently more research is being conducted on the fungi living on lichen thalli (lichenicolous fungi). There are 65 species of such fungi listed from the Antarctic regions. The Antarctic terrestrial vegetation, although rather scanty from the floristic point of view, and composed almost entirely of cryptogams, gives an extraordinary possibility to investigate a number of problems

concerning the functioning of ecosystems in the extreme habitat conditions. Materials and observations from the Antarctic often constitute a point of reference in the research on the occurring changes of natural environment in other parts of the world. Climatic warming in the Antarctic region causes a progressive deglaciation. Vegetation enters the areas recently released from ice — this provides a unique opportunity to investigate the biological colonization as well as the forming and functioning of simple ecological structures, for instance tundra ecosystems. Antarctica belongs to the areas which were relatively recently submitted to human activity — this again gives a unique opportunity to follow the anthropogenic changes, and to investigate the early stages of flora and vegetation synanthropisation.

LITERATURA

- BLOCK W., 1994. *Terrestrial ecosystems. Antarctica*. Polar Biol. 14, 293-300.
- FILHO L. X., KOLAKOWSKA A., VINCENTE C., 1986. *Carotenoid composition of Caloplaca regalis (Vain.) Zahlbr. (Lichens) and of penguin faeces at King George Island (Antarctica)*. Pol. Polar Res. 7, 289-294.
- FURMAŃCZYK K., OCHYRA R., 1982. *Plant communities of the Admiralty Bay region (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic). I. Jasnorzeński Gardens*. Pol. Polar Res. 3, 25-39.
- GIMMINGHAM C. H., LEWIS SMITH R. I., 1970. *Bryophyte and Lichen communities in the Maritime Antarctic*. [W:] Ant-

- arctic ecology. HOLDGATE M. W. (red.), Academic press, London, 2, 752–785.
- GUMIŃSKA B., HEINRICH Z., OLECH M., 1994. *Macromycetes of the South Shetland Islands (Antarctica)*. Pol. Polar Res. 15, 103–109.
- HARAŃCZYK H., GAŹDZIŃSKI S., OLECH M., 1998. *Initial stages of lichen hydration observed by proton magnetic relaxation*. New Phytol. 138, 191–202.
- HARAŃCZYK H., GAŹDZIŃSKI S., OLECH M. (w druku), *Freezing protection mechanism in Cladonia mitis as observed by proton magnetic relaxation*. Lichenologist.
- HOLDGATE M. W., 1970. *Vegetation*. [W:] *Antarctic ecology*. HOLDGATE M. W. (red.), Academic Press, London. 2, 729–732.
- KAPPEN L., 1993. *Lichens in the Antarctic region*. [W:] *Antarctic Microbiology*. FRIEDMANN E. I. (red), New York. Wiley-Liss. 433–490.
- KAWECKA B., ELORANTA P. V., 1994. *Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych*. PWN, Warszawa, 1–252.
- LEWIS SMITH R. I., 1993. *Dry coastal ecosystems of Antarctica*. [W:] *Ecosystems of the World*. MAAREL E. (red.), Elsevier, Amsterdam-London-New York-Tokyo. 2 A, 51–71.
- LEWIS SMITH R. I., 1995. *Colonization by lichens and the development of lichen — dominated communities in the maritime Antarctic*. Lichenologist. 27, 473–483.
- LONGTON R. E., 1988. *The biology of polar Bryophytes and Lichens*. Cambridge University Press, Cambridge. 1–391.
- MASSALSKI A., MROZIŃSKA T., OLECH M., 1998. *Ultrastructures of Antarctic Algae. Pseudosiderocelopsis antarctica gen.et.sp.nov. (Chlorophyta)*. Algological Studies. [w druku].
- McKAY Ch. P., 1993. *Relevance of Antarctic microbial ecosystems to exobiology*. [W:] *Antarctic Microbiology*. FRIEDMANN E. I. (red.), New York. Wiley-Liss. 593–601.
- MROZIŃSKA T., OLECH M., MASSALSKI A., 1998. *Algae of ponds and a stream on moraines of Ecology Glacier (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica)*. Nowa Hedwigia. 67, 169–188.
- NIENOW J. A., FRIEDMANN E. I., 1993. *Terrestrial lithophytic (rock) communities*. [W:] *Antarctic Microbiology*. FRIEDMANN E. I. (red.), New York. Wiley-Liss. 343–412.
- OCHYRA R., 1983. *Świat roślinny Antarktyki*. Kosmos 2, 277–292.
- OCHYRA R., 1998. *170 years of research of the Antarctic moss flora*. [W:] *Materiały konferencyjne, XXV Sympozjum Polarne*, Warszawa. 16–17 IX 1998.
- OCHYRA R., VANA J., 1989. *The hepatics reported from the Antarctic and an outline of their phytogeography*. Pol. Polar Res. 10, 211–229.
- OLECH M., 1989. *Preliminary botanical studies in Johnsons Dock area (Livingston, Antarctica)*. Bull. Pol. Ac.: Biol. 37, 221–230.
- OLECH M., 1990. *Preliminary studies on ornithocoprophilous lichens of the Arctic and Antarctic regions*. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. Tokyo. 3, 218–223.
- OLECH M., 1993. *Lower plants*. [W:] *The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. RAKUSA-SUSZCZEWSKI S. (red.), 173–179.
- OLECH M., 1994. *Lichenological assessment of the Cape Lions Rump, King George Island, South Shetland Islands; a baseline for monitoring biological changes*. Pol. Polar Res. 15, 111–130.
- OLECH M., 1996. *Human impact on terrestrial ecosystems in West Antarctica*. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. Tokyo. 9, 299–306.
- OLECH M., 1998. *Synanthropisation of the flora of Antarctica: An issue*. [W:] *Synanthropization of plant cover in new Polish research*. Phytocenosis. 10 (N.S.) FALIŃSKI B., ADAMOWSKI W., JACKOWIAK B. (red.), Supplementum Cartographiae Geobotanicae 9, 269–273. Warszawa-Białowieża.
- OLECH M., SOECHTING U. 1993. *Four new species of Caloplaca from Antarctica*. Lichenologist. 25, 261–269.
- OLECH M., ALSTRUP V., 1990. *Thelocarpon cyaneum sp. nov.* Nord. J. Bot. 9, 575–576.
- OLECH M., ALSTRUP V., 1995. *Grzyby pasożytnicze na plechach porostów w rejonach polarnych*. XXII Sympozjum Polarne, Jedność środowiska przyrodniczego Arktyki i Antarktyki, Zamek Książ. 119–122.
- OLECH M., ALSTRUP V., 1996. *Dactylospora dobrowolskii sp. nov. and additions to the flora of lichens and lichenicolous fungi of Bunger Oasis, East Antarctica*. Pol. Polar Res. 17, 45–48.
- OLECH M., MROZIŃSKA T., MASSALSKI A., 1998. *Algae of South Shetland Islands (West Antarctica)*. [W:] *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen. IV Zjazd Geomorfologów Polskich UMCS, Lublin*. 225–236.
- ORANGE A., 1993. *Thelidium austroshetlandicum (Verrucariaceae) a new species from the South Orkney Islands*. Lichenologist. 25, 271–277.
- SCHROETER B., OLECH M., KAPPEN L., HEITLAND W., 1995. *Ecophysiological investigations of Usnea antarctica in the maritime Antarctic. I. Annual microclimatic conditions and potential primary production*. Antarctic Science. 7, 251–260.
- SEPPELT R. D., 1995. *Phytogeography of continental Antarctic lichens*. Lichenologist. 27, 417–431.
- SOECHTING U., OLECH M., 1995. *The lichen genus Caloplaca in polar regions*. Lichenologist 27, 463–741.
- TATUR A., MYRCHA A., 1993. *Ornithogenic soils*. [W:] *The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. RAKUSA-SUSZCZEWSKI S. (red.), 164–172.
- VALLADARES F., SANCHO L. G., 1995. *Lichen colonization and recolonization of two recently deglaciated zones in the maritime Antarctic*. Lichenologist 27, 485–493.