

Badania geochemiczne i biogeochemiczne w parkach narodowych

Zdzisław M. Migaszewski*, Paul J. Lamothe**, James G. Crock**

Geochemical and biogeochemical investigations in national parks

Summary. National parks hold a key position among nature protection areas including a diversity of resources - natural, cultural, recreational and scenic. These "inviolable sanctuaries" are simultaneously ecologic knots and pristine nature refuges due to the presence of a number of unique plant and animal species. These species make up a natural gene bank. Classically, the level of biologic degradation in national parks is determined on the basis of qualitative and quantitative studies of plant bioindicators. Their scope encompasses phytosociologic survey the purpose of which is to identify floral assemblages with a detailed list of species to record future changes in their number. The best biomonitors of air quality are epiphytic lichens, ground mosses and conifers. Geochemical and biogeochemical investigations are widely performed in the U.S.A. to evaluate the degree of pollution in the nature protection areas including national parks (Gough et al., 1988a, b; Crock et al., 1992a, 1993; Jackson et al., 1995). Variability of element concentrations in soils and plants is assessed by using unbalanced, nested analysis-of-variance (ANOVA). It enables obtaining important statistical information with a minimum number of samples. In some cases a combined grid and barbell sampling design is applied (Jackson et al., 1995). In specific mountainous parks a method of 2-3 transects parallel to the extent of range (crest) is recommended. To determine the impact of a single pollution source on a given park, traverse sampling beginning near the emitter is used (Crock et al., 1992, 1993). The obtained results are a "snapshot" of chemical composition of soils and plant bioindicators that can be a reference for any future changes in the concentration level of chemical elements and organics. In addition, baseline element and organics composition of the media mentioned above can be compared with that obtained for geochemical atlases of polluted urban and industrial areas. Geochemical and biogeochemical investigations are also used for determining natural or anthropogenic sources of pollution. The best way to trace them is sulfur isotopes (Jackson et al., 1996).

Parki narodowe zajmują kluczową pozycję wśród obszarów chronionych, obejmując różnorodność zasobów przyrodniczych, kulturowych, rekreacyjnych i krajobrazowych. Te „sanktuaria natury” są jednocześnie obszarami węzłowymi i ostojami przyrody, z uwagi na obecność w nich szeregu unikalnych gatunków flory i fauny (Kozłowski, 1996; Praca zbiorowa, 1996). Tworzą one jednostki ekologiczne, czyli obszary lądowe lub wodne, stanowiące pewną całość funkcjonalną z punktu widzenia populacji zwierząt, roślin czy siedlisk. Występujące tu gatunki stanowią naturalny bank genów. Do podstawowych zadań służb parków narodowych należy zachowanie systemów przyrodniczych danego terenu oraz odtworzenie zdegradowanych ogniw rodzimej przyrody. Pewne fragmenty parków, tzw. rezerваты ścisłe, znajdują się pod całkowitą ochroną i są wyłączane od jakiegokolwiek ingerencji człowieka. Wokół parków narodowych występują często strefy ochronne, zwane otulinami, na terenach których zabrania się prowadzenia działalności gospodarczej uciążliwej dla środowiska przyrodniczego.

W Polsce parki narodowe tworzy się w oparciu o rozporządzenie

Rady Ministrów, a ich statut określa minister ochrony środowiska, zasobów naturalnych i leśnictwa. Pierwszym parkiem narodowym na świecie był Yellowstone *National Park* założony w 1872 r, natomiast w Polsce Białowiecki Park Narodowy utworzony w 1921 r. W USA znajduje się 50 parków narodowych (Harries & Tuttle, 1990; Delgado, 1992), natomiast w Polsce — 22 (Olaćzek, 1996; Radziejowski, 1996).

Stan degradacji biologicznej parków narodowych wyznacza się na podstawie badań jakościowych i ilościowych biowskaźników, którymi mogą być różne gatunki flory lub fauny. Z uwagi na konieczność prowadzenia biomonitoringu w obrębie ściśle zlokalizowanych stanowisk, przy jednoczesnym zachowaniu tych samych warunków opróbowania, największe znaczenie zdobyły badania florystyczne. Ich zakres obejmuje również wykonanie zdjęcia fitosocjologicznego, którego celem jest identyfikacja zbiorowisk roślinnych, z uwzględnieniem szczegółowej listy gatunków na danym obszarze. Pozwala to na ewidencję gatunków oraz w dalszej perspektywie śledzenie zmian sukcesyjnych zachodzących w określonym czasie. Do badań stopnia skażenia powietrza atmosferycznego nadają się najlepiej porosty, mchy i drzewa iglaste, a wśród nich gatunki o największym zasięgu (Grodzińska, 1980, 1983; Migaszewski, 1996; Migaszewski & Gałuszka, 1997 z literatury).

Parki narodowe zajmują w skali całego globu stosunkowo niewielką powierzchnię. Zdecydowana ich większość obejmuje zwarte kompleksy leśne, z tego też względu nie bez znaczenia jest stan zdrowotny występującej tam szaty roślinnej. Wymienione obszary poddawane są nieustannym stresom naturalnym (głównie klimatycznym i biologicznym) oraz antropogenicznym (szczególnie chemicznym). Najbardziej destrukcyjny charakter z uwagi na największy zasięg mają skażenia atmosferyczne (Freemantle, 1995). Oddziałują one bezpośrednio na florę, faunę, gleby, wody powierzchniowe i podziemne, prowadząc do degradacji całych ekosystemów.

W Stanach Zjednoczonych badania geochemiczne gleb i biogeochemiczne roślin mają podstawowe znaczenie w ocenie stopnia skażenia obszarów chronionych (Severson i in., 1990; Crock i in., 1992b; Jackson, 1993; Jackson i in., 1996), w tym również parków narodowych (Gough i in., 1988a, b; Crock i in., 1992a, 1993; Jackson i in., 1995). Pozwalają one wyznaczyć anomalie koncentracji składników toksycznych. Często wyprzedzają one klasyczne badania zmian jakościowych i ilościowych, zachodzących w zespołach biotycznych. Uzyskane wyniki są swoistym zdjęciem „migawkowym” składu chemicznego gleb i biowskaźników, które w przyszłości może być wykorzystane do określenia zmian w koncentracji najbardziej toksycznych pierwiastków śladowych i związków organicznych. Pozwalają one również ustalić zasięg wpływu projektowanych lub istniejących obiektów przemysłowych na obszary chronione. Metodyka badań geochemicznych gleb i biowskaźników roślinnych została omówiona w przeglądowym artykule Migaszewskiego (1998a).

Przykłady zastosowań

Park Narodowy Redwood (*Redwood National Park*) o powierzchni ok. 445 km² (Gattuso, 1995) jest położony nad Pacyfikiem, w północnej Kalifornii, w pobliżu granicy z Oregonem. Rosną tu najwyższe (do 112 m) drzewa na świecie zwane *redwood*, reprezentujące gatunek *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.

Badania biogeochemiczne wykonano w północnej części parku na terenie Little Bald Hills (Gough i in., 1988a). Ich zakres objął oznaczenia 29 pierwiastków chemicznych w plechach porostów gatunku *Hypogymnia enteromorpha* (Ach.) Nyl. i kilku gatunków rodzaju *Usnea* [*U. lapponica*

*Oddział Świętokrzyski, Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce

** U.S. Geological Survey, Box 25046, MS 973 DFC,

Vain., *U. subfloridana* Stirt., *U. comosa* (Ach.) Ach. i *U. daypoga* (Ach.) Nyl.], rosnących na korze jodły Douglasa (Douglas fir) *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Zmienność składu chemicznego plech porostów na badanym obszarze została określona w oparciu o „sztangę” 4-stopniową ANOVA (Anderson & Bancroft, 1952). Uzyskane wyniki ujawniły podwyższone zawartości Mg (340–1800 $\mu\text{g g}^{-1}$ w *H. enteromorpha* i 1200–2600 $\mu\text{g g}^{-1}$ w *Usnea*) oraz Ni (5–26 $\mu\text{g g}^{-1}$ w *H. enteromorpha* i 3–15 $\mu\text{g g}^{-1}$ w *Usnea*). Przewyższały one dwukrotnie wartości notowane dla różnych porostów epifitycznych. Podobnie, zawartości Co (0,15–0,72 $\mu\text{g g}^{-1}$ w *H. enteromorpha* i 0,12–0,35 $\mu\text{g g}^{-1}$ w *Usnea*) były wyższe niż w roślinach naczyniowych (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). Podwyższone koncentracje wymienionych pierwiastków były przypuszczalnie związane ze składem chemicznym występujących w podłożu mezozoicznych skał ultrazasadowych (Harries & Tuttle, 1990). Mg, Ni i Co pochodziły albo z pyłu zdeponowanego bezpośrednio na plechach porostów lub też z wody opadowej przesączającej się przez koronę drzew. Uzyskane średnie geometryczne i obserwowane zakresy koncentracji pierwiastków są poziomem odniesienia (baseline), dzięki któremu będzie można rejestrować zmiany składu chemicznego roślin pod wpływem eksploatacji i przeróbki laterytów w sąsiedztwie parku. W wyniku działalności przemysłowej należy spodziewać się uwolnienia do atmosfery znacznych ilości Co, Cr, Mg, Mn i S.

Park Narodowy Theodora Roosevelta (*Theodore Roosevelt National Park*) o powierzchni ok. 280 km² (Harris & Tuttle, 1990) jest usytuowany na Płaskowyżu Missouri w zachodniej części północnej Dakoty i dzieli się na trzy oddzielne części: północną (*North Unit*), południową (*South Unit*) i niewielką (0,88 km²) środkową (*Elkhorn Ranch*). Na obszarach otaczających park rozwija się eksploatacja, przetwórstwo i transport węgla brunatnego, ropy naftowej i gazu ziemnego oraz w oparciu o węgiel przemysł energetyczny.

Celem badań było stwierdzenie w jakim stopniu wymieniona działalność przemysłowa oddziałuje na teren parku, zaliczonego do obszarów I klasy czystości powietrza stosownie do *Clean Air Act Amendments* z 1977 r. Badania biogeochemiczne plech porostów z gatunku *Parmelia sulcata* Tayl. oraz geochemiczne towarzyszących im gleb (poziom A), obejmujące oznaczenia ok. 20 pierwiastków, wykonano w północnej i południowej części parku (Gough i in., 1988b). Próbkami plech porostów pobrano z jałowca skalnego *Juniperus scopulorum* Sarg. (*red juniper*) i jesionu pensylwańskiego *Fraxinus pennsylvanica* Marsch. (*green ash*) w kwadracie 5 x 5 m, natomiast gleb w części środkowej kwadratu.

Zmienność składu chemicznego gleb i plech porostów na badanym obszarze została określona w oparciu o „sztangę” i 5-stopniową ANOVA. Stwierdzono względnie stały skład chemiczny gleb i porostów. Nigdzie nie zarejestrowano obecności wyraźnych anomalii toksycznych. Gatunek *P. sulcata* zawierał tylko nieco podwyższone koncentracje Ba (60–100 $\mu\text{g g}^{-1}$), Cu (12–120 $\mu\text{g g}^{-1}$), Fe (0,16–0,39%), Pb (21–38 $\mu\text{g g}^{-1}$), S (0,092–0,170%), V (2,5–5,7 $\mu\text{g g}^{-1}$) i Zn (60–320 $\mu\text{g g}^{-1}$). Pewien niepokój może tu budzić zawartość Zn (średnio ok. 95 $\mu\text{g g}^{-1}$). Zdaniem Seawarda (1974, cyt. z Gougha i in., 1988b), przy koncentracji ok. 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ obserwuje się toksyczne oddziaływanie wymienionego pierwiastka na plechy gatunku *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Ogólnie jednak biorąc, zawartości pierwiastków śladowych w glebach i porostach na terenie parku były prawie takie same jak w innych rejonach zachodniej części USA.

Park Narodowy i Rezerwat Wrangell-Saint Elias (*Wrangell-Saint Elias National Park and Preserve*) o powierzchni ok. 53 419 km² jest największym parkiem USA, stanowiąc wraz z *Kluane National Park* na terytorium Kanady największy zespół parkowy świata (Harris & Tuttle, 1990). Jest on położony w południowo-wschodniej części Alaski na granicy z Kanadą. Celem badań było ustalenie bazowej koncentracji pierwiastków pobocznych i śladowych (do 29) w glebach (poziomie Oa), mchach gatunku *Hylocomium splendens* Hedw., porostach — *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. i świerku białego — *Picea glauca* (Moench) Voss, przed rozpoczęciem budowy elektrowni węglowej w pobliżu NW granic parku (Crock i in., 1993). Próbkami pobrano wzdłuż trzech linii rozchodzących się od projektowanej elektrowni w kierunku NE (10 stanowisk), SE (11) i S (11). Interesujące jest porównanie składu chemicznego mchów reprezentowanych przez szeroko rozprzestrzeniony gatunek *H. splendens* (tab. 1). Koncentracje pierwiastków pobocznych i śladowych są tu w zasadzie prawie takie same jak w niżej opisanych parkach Denali i Wattenmeer, a nawet na obszarze Gór Świętokrzyskich, mimo różnic w klasie czystości powietrza. Ten ostatni wyróżnia się tylko podwyższoną zawartością arsenu (2 $\mu\text{g g}^{-1}$) i ołowiu (35 $\mu\text{g g}^{-1}$). Zwraca uwagę szczególnie wysoka zawartość tytanu w parkach Alaski i Wattenmeer (do 2050 $\mu\text{g g}^{-1}$ w WSENP) w porównaniu z rejonem Szczytniaka (11 $\mu\text{g g}^{-1}$). Zdaniem autorów tak wysoka koncentracja tytanu jest wywołana obecnością pyłu pochodzenia eolicznego wbudowanego w tkanki mchów. W przypadku parków Alaski jest to pył nawiany z osadów strumieni lodowcowych oraz częściowo popiół pochodzący z erupcji wulkanicznych.

Park Narodowy i Rezerwat Denali (*Denali National Park and Preserve*) o powierzchni ok. 24 403 km² jest położony w południowo-środkowej części Alaski. Na jego terenie znajduje się Mount McKinley, najwyższy szczyt Ameryki Północnej osiągający 6189 m n.p.m. (Harries & Tuttle, 1990). Celem badań było określenie bazowej koncentracji pierwiastków pobocznych i śladowych (do 35) oraz ich rozkładu przestrzennego w glebach (poziomie Oa), mchach gatunku *Hylocomium splendens* Hedw., porostach — *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. i świerku białego — *Picea glauca* (Moench) Voss przed uruchomieniem drugiej elektrowni węglowej w miejscowości Healy w pobliżu NE granic parku (Crock i in., 1992; Gough & Crock, 1997).

Podobnie jak w Parku Narodowym i Rezerwacie Wrangell-Saint Elias, próbki pobrano wzdłuż trzech linii rozchodzących się od projektowanej elektrowni w kierunku WNW (11 stanowisk), WSW (9) i S (10) oraz w 12 dodatkowych stanowiskach badawczych usytuowanych w niewralgicznych częściach parku. Stwierdzono wzrost zawartości Cr, Pb, Ni, V i Y w próbkach pobranych w pobliżu elektrowni (w obrębie strefy o promieniu 6 km). Jako tło geochemiczne i biogeochemiczne dla danego obszaru przyjęto koncentracje rejestrowane w glebach i roślinności w odległości powyżej 6 km od wymienionego obiektu, np. w przypadku ołowiu w tkankach mchów wynosiło ono średnio 1,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ (w rejonie elektrowni — 6,2 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Park Narodowy Everglades (*Everglades National Park*) o powierzchni ok. 5 662 km² jest jednym z największych obszarów podmokłych na świecie, obejmującym unikalne ekosystemy wodne. Zlokalizowany jest on w południowo-zachodniej części Florydy. Celem badań było określenie bazowej koncentracji 31 pierwiastków chemicznych i ich

Tab. 1 Skład chemiczny mchów gatunku *Hylocomium splendens* Hedw. z parków narodowych Wrangell-Saint Elias*, Denali** i Wattenmeer*** oraz z Gór Świętokrzyskich (Szczytniak)****

Składnik	Wrangell-Saint	EliasDenali	Wattenmeer	Góry Świętokrzyskie
Al %	0,38–3,48	0,06–0,78	0,06–0,38	0,07
As $\mu\text{g g}^{-1}$	–	–	0,07–0,6	2
Ba $\mu\text{g g}^{-1}$	41–198	13–227	13–72	29
Ca %	0,53–2,03	0,60–1,06	0,22–0,59	0,34
Cd $\mu\text{g g}^{-1}$	–	–	–	0,7
Co $\mu\text{g g}^{-1}$	1,3–10,0	0,4–2,5	0,3–1,1	<1
Cr $\mu\text{g g}^{-1}$	3,9–38	0,9–16	1,2–4,5	3
Cu $\mu\text{g g}^{-1}$	5,5–23	9–25	4,7–14	11
Fe %	0,19–1,82	0,05–0,53	0,03–0,30	0,08
Hg $\mu\text{g g}^{-1}$	0,04–0,12	<0,02–0,13	0,08–0,14	0,09
K %	0,22–0,63	0,15–0,54	0,18–0,34	0,44
La $\mu\text{g g}^{-1}$	0,6–7,5	0,3–10	0,6–8,7	0,7
Li $\mu\text{g g}^{-1}$	0,6–4,5	0,3–5,0	0,4–1,1	1
Mg %	0,16–0,99	0,15–0,28	0,07–0,15	0,06
Mn $\mu\text{g g}^{-1}$	104–752	56–1280	61–170	349
Na %	0,12–1,11	0,03–0,16	0,05–0,10	0,01
Ni $\mu\text{g g}^{-1}$	2,5–25	1,1–9,5	<1,1–1,7	1
P %	0,065–0,082	0,069–0,171	0,043–0,100	0,161
Pb $\mu\text{g g}^{-1}$	<0,6–3,2	0,7–4,7	8–20	35
S %	0,05–0,08	0,05–0,10	0,08–0,16	0,085
Sr $\mu\text{g g}^{-1}$	41–245	37–82	21–50	9
Ti $\mu\text{g g}^{-1}$	160–2050	28–350	30–1500	11
V $\mu\text{g g}^{-1}$	6,0–59	1,1–20	1,7–6,3	10
Y $\mu\text{g g}^{-1}$	0,6–7,5	0,2–2,5	<0,5–2,4	0,4
Zn $\mu\text{g g}^{-1}$	24–60	22–81	13–89	67

*Crock i in., 1993; ** Crock i in., 1992a; ***Severson i in., 1992;****Migaszewski, 1997. Na obszarze Gór Świętokrzyskich badania biogeochemiczne objęły tylko 1 próbkę gatunku *H. splendens* Hedw. Pozostałe gatunki mchów były reprezentowane przez *Entodon schreberi* Hedw. i *Hypnum cupressiforme* Hedw. Zawartość tytanu w plechach tych dwóch ostatnich wahała się od 1 do 19 $\mu\text{g g}^{-1}$

rozkładu przestrzennego w sosnie reprezentującej gatunek *Pinus elliotii* Engelm var. *densa* Little & Dorman oraz w towarzyszących im glebach (poziomie O) na terenie Long Pine Key (Jackson i in., 1995).

Schemat opróbowania stanowił kombinację „sztangi” + 6-stopniowej ANOVA oraz siatki o rozmiarach oczek 0,75 x 0,75 km. Opisana metoda pozwoliła uzyskać średnie geometryczne oraz obserwowane i oczekiwane (na poziomie ufności 0,05) koncentracje pierwiastków pobocznych i śladowych, jak również określić ich zmienność dla poszczególnych odległości (ANOVA *pattern*). Umożliwiło to wyznaczenie stopnia wiarygodności map geochemicznych gleb i biogeochemicznych igieł sosny dla przyjętej gęstości opróbowania w siatce (*grid pattern*). Okazało się, że nie dla wszystkich pierwiastków można wykreślić izolinie koncentracji ze względu na ich dużą zmienność w interwałach 10–100 m (poniżej wartości oczka — 0,75 km). Dla igieł sosny wykonano mapy rozkładu koncentracji Ba, Ca, Cu, K, Mn, P, S, Sr/Al i Zn, natomiast dla gleb odpowiednio — Al, Ca/Al, Cu/Al, Fe/Al, K/Al, Mg/Al, Mn/Al, Na/Al, Ni/Al, P, Pb/Al, S/Al, Sr/Al, V/Al, Ti/Al i Zn/Al.

Uzyskane wyniki pozwoliły na ocenę wpływu zanieczyszczeń i procesów kontrolujących przemieszczanie pierwiastków w obrębie subtropikalnych ekosystemów Everglades. Nie stwierdzono znaczących zmian koncentracji pierwiastków na obszarze parku. Zawartość As (4,7–20 $\mu\text{g g}^{-1}$), Hg (0,08–0,50 $\mu\text{g g}^{-1}$) i P (0,030–0,070%) w glebach oraz Hg (0,02–0,06 $\mu\text{g g}^{-1}$) i P (0,048–0,072%) w igłach sosny mogły być związane ze źródłami antropogenicznymi. Wzbogacenie igieł sosny w lżejszy izotop siarki (1,1 do 4,1‰) w porównaniu z glebą (2,9 do 9,8‰), wskazuje na pochodzenie atmosferyczne wymienionego pierwiastka.

Park Narodowy Yellowstone (*Yellowstone National Park*) jest położony w północno-zachodniej części stanu Wyoming, częściowo obejmując od strony zachodniej i północnej skrawki stanów Idaho i odpowiednio Montany. Jego powierzchnia wynosi ok. 8923 km². Wraz z dziesięcioma tysiącami gorących źródeł, gejzerów, fumaroli i wulkanów błotnych jest największym obszarem termalnym na świecie (Harries & Tuttle, 1990; Migaszewski & Trela, 1996). Badania geochemiczne osadów rzecznych (ok. 8000 próbek) są prowadzone w ścisłej współpracy między *National Park Service* a *U.S. Geological Survey*. Ich zakres obejmuje oznaczenia wybranych pierwiastków, np. As, Cu, Mo, Pb, Sr i Zn (Chaffee, materiały niepublikowane). Wykonane mapy izolinii koncentracji poszczególnych mikroelementów pozwalają na wyznaczenie ich anomalii geochemicznych. Tak na przykład ołów, którego zawartość waha się od 5 do 1950 $\mu\text{g g}^{-1}$, może być pochodzenia geologicznego (formacje skalne, gejzery, gorące źródła, itp) lub też antropogenicznego (kopalnie rud polimetali i hałdy pogórnice zlokalizowane w rejonie N i NE granic parku, infrastruktura turystyczno-wypoczynkowa, motoryzacja, a nawet myślistwo).

Park Narodowy Wattenmeer jest położony na obszarze Północnych i Wschodnich Wysp Fryzyjskich, w Republice Federalnej Niemiec. Badania objęły trawę gatunku *Ammophila arenaria* (L.) Link, wierzbę *Salix repens* L. i mchy *Hylocomium splendens* Hedw. oraz towarzyszące im gleby (poziom A), występujące w obrębie pięciu wysp Amrum, Baltrum, Langeoog, Norderney i Wangerooge o łącznej powierzchni ok. 100 km². Schemat opróbowania oparto na „sztrandzie” + 5-stopniowej ANOVA. Uzyskane wyniki nie

ujawniły większego zróżnicowania składu chemicznego wymienionych mediów. Wśród oznaczonych pierwiastków w glebach, tylko Hg (do $0,14 \mu\text{g g}^{-1}$) i Pb (do $20 \mu\text{g g}^{-1}$) są pochodzenia antropogenicznego.

Świętokrzyski Park Narodowy zajmuje obecnie powierzchnię około 76 km^2 . Badania nad bezpośrednim wpływem zanieczyszczeń powietrza na środowisko przyrodnicze Świętokrzyskiego Parku Narodowego wykonano w latach 1994–1996 przy użyciu gleb oraz biowskaźników — plech porostów gatunku *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., jedno- i dwu- i trzyletnich igieł sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. oraz tkanek mchów gatunku *Entodon schreberi* Hedw. Schemat opróbowania gleb oparto na „sztandze” + 5-stopniowej (a porostów 4-stopniowej) ANOVA. W wymienionych gatunkach oznaczono zawartość ponad 30 pierwiastków chemicznych (w tym metali ciężkich i toksycznych), podstawowych grup związków organicznych oraz stabilnych izotopów siarki. Zakres analiz chemicznych i izotopowych objął również skały macierzyste, wody ze źródeł oraz pył z lokalnych zakładów przemysłowych (m. in. Migaszewski & Paślawski, 1996; Migaszewski & Gałuszka, 1997; Migaszewski, 1997, 1998b).

Gleby (poziom A) badanego parku wykazały wyższe średnie geometryczne zawartości siarki i wielu metali oraz niższe pH, w porównaniu z glebami pozostałego obszaru Gór Świętokrzyskich, Górnego Śląska i Polski (Migaszewski & Paślawski, 1996; Migaszewski, 1997). Najwyższe zawartości Pb ($398 \mu\text{g g}^{-1}$), S ($0,152\%$), WWA ($1905,83 \text{ g kg}^{-1}$), jak również najniższe wartości pH ($3,3$) zarejestrowano na Łysicy (Migaszewski, 1997). Gleby z terenu parku ujawniają wolniejsze tempo „samoooczyszczania się” w porównaniu z roślinnością, co w dużym stopniu podyktowane jest specyficzną budową geologiczną — przewaga w podłożu słabo przepuszczalnych kwarcytów i łupków.

Nie stwierdzono wyraźnych różnic w rozkładzie przestrzennym zawartości siarki i metali w bioindykatorach na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego i pozostałego obszaru Gór Świętokrzyskich. Wyjątek stanowi siarka, której podwyższoną koncentrację zarejestrowano w porostach z południowo-zachodniego rejonu Gór Świętokrzyskich (do $0,107\%$). Podobnie igły sosny z północno-wschodniej części parku były wzbogacone w mangan ($1027 \mu\text{g g}^{-1}$) i nikiel ($14 \mu\text{g g}^{-1}$). Najwyższe koncentracje WWA ($337,08 \mu\text{g kg}^{-1}$), PCB ($4,57 \mu\text{g kg}^{-1}$) i częściowo pestycydów chloroorganicznych ($39,33 \mu\text{g kg}^{-1}$) zanotowano w igłach sosny z Łysicy (Migaszewski, 1997).

Niska koncentracja siarki w plechach porostów i igłach sosny zwyczajnej w porównaniu z obszarami północnej i wschodniej Finlandii oraz jej spadek w okresie od 1994 do 1996 r. świadczy o poprawie jakości powietrza na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Mimo zmniejszenia się emisji wielu metali, szczególnie wyraźnie zarejestrowanej w igłach sosny, doszło jednocześnie do ich częściowej akumulacji w porostach. Poziom koncentracji metali ciężkich w plechach tych ostatnich był tu wyższy niż w północnej Finlandii. Podobnie zawartości PCB w plechach *H. physodes* z Łysicy ($2,21 \mu\text{g kg}^{-1}$) przekraczały koncentracje tych związków w plechach *Cladina rangiferina* (L.) Wigg. z północnej Norwegii ($0,04 \mu\text{g kg}^{-1}$) (Villeneuve & Holm, 1984). Zawartość Cd ($0,5\text{--}1,0 \mu\text{g g}^{-1}$), Cr ($24 \mu\text{g g}^{-1}$), Hg ($0,187\text{--}0,267 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb ($8\text{--}35 \mu\text{g g}^{-1}$) i V ($2\text{--}4 \mu\text{g g}^{-1}$) w porostach i częściowo Mn ($154\text{--}1127 \mu\text{g g}^{-1}$) w igłach sosny (Migaszewski, 1997) przewyższały często dopuszczalne wartości maksymalne dla roślin (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

Gleby, bioindykatory roślinne, wody ze źródeł i opado-

we oraz pyły przemysłowe charakteryzują się zbliżonym składem izotopowym siarki, co świadczy głównie o antropogenicznym pochodzeniu wymienionego pierwiastka.

Wnioski

Badania geochemiczne gleb oraz biogeochemiczne roślinności, a szczególnie plech porostów, tkanek mchów oraz igieł, kory i gałązek sosny, jodły lub świerku, są dość często stosowane na obszarach parków narodowych USA. Pozwalają one na ilościową ocenę stopnia skażenia podstawowych elementów środowiska przyrodniczego, a pośrednio, biorąc pod uwagę łańcuch pokarmowy, również fauny tam występującej. Na obszarach Europy i Polski badania tego typu należą do rzadkości (Severson i in., 1992; Migaszewski & Paślawski, 1996; Migaszewski, 1997, 1998b).

Schemat opróbowania oparty jest tu na dwóch wariantach: a) „sztangi” („barbell”) + ANOVA lub b) siatki o rozmiarach oczek uzależnionych od planowanej ilości próbek oraz stopnia zmienności składu chemicznego. Pierwszy z wymienionych stosuje się w przypadku ograniczonej ilości próbek (około kilkudziesięciu). Pozwala on jednak na uzyskanie statystycznie ważnej informacji o średnich geometrycznych, obserwowanych i oczekiwanych zakresach koncentracji różnych składników chemicznych oraz na określenie ich zmienności w obrębie wyznaczonych odległości (poziomów). „Sztanga” składa się przeważnie z jednego długiego ramienia, dwóch średnich i czterech krótkich, przypominających silnie spłaszczoną literę H. Końce tych ostatnich wyznaczają osiem stanowisk badawczych, a w obrębie każdego dwa punkty opróbowania w odległości od kilkudziesięciu do kilkuset metrów (często od strony nawietrznej i zawietrznej). Długość ramion „sztangi” zależy od wielkości i kształtu obszaru badanego. Wariant „sztangi” + ANOVA powinien poprzedzać szczegółowe badania geochemiczne i biogeochemiczne próbek pobranych w siatce. Te ostatnie umożliwiają warstwiczne przedstawienie rozkładu przestrzennego poszczególnych składników chemicznych.

W niektórych parkach, jak na przykład w Karkonoskim Parku Narodowym, bardziej korzystne byłoby pokrycie obszaru 2–3 transektami opróbowania przebiegającymi równoległe do rozciągłości grzbietu górskiego. Z kolei wpływ punktowego źródła zanieczyszczeń najlepiej jest określić wzdłuż 2–3 rozchodzących się od niego linii. W tym ostatnim przypadku duże znaczenie posiadają oznaczenia stabilnych izotopów siarki. Jednym z najlepszych przykładów ich zastosowania są badania wpływów emisji elektrowni węglowej na obszar Mt. Zirkel Wilderness w NW Kolorado (Jackson i in., 1996). Plechy porostów z rodzaju *Usnea* ujawniały w odległości do 60 km od elektrowni $\delta^{34}\text{S} = 7,2 \pm 0,7\%$, natomiast powyżej 100 km odpowiednio $6,0 \pm 0,6\%$. Pierwsza z wymienionych jest bardziej zbliżona do wartości ($9,2 \pm 1,9\%$), notowanych w węglach kopalni, położonej w sąsiedztwie wymienionej elektrowni.

Opróbowanie w siatce jest niezbędne dla opracowania map (atlasów) biogeochemicznych parków narodowych. Podstawowym celem takich opracowań byłoby:

1. Wyznaczenie bazowej koncentracji pierwiastków chemicznych i związków organicznych w glebach (poziomie A) i bioindykatorach roślinnych dla uchwycenia przyszłych zmian składu chemicznego w ramach okresowego (5-letniego) monitoringu.

2. Uchwycenie anomalii geochemicznych i biogeochemicznych w zakresie koncentracji szczególnie toksycznych metali ciężkich, metaloidów oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i polichlorobifeny-

li (PCB) w wymienionych mediach. Pozwoliłyby one również ustalić rodzaj źródeł zanieczyszczeń (naturalnych lub antropogenicznych), a przy odpowiednim zagęszczeniu próbek także ewentualnych kierunków przemieszczania się skażeń.

3. Przeprowadzenie analizy porównawczej z danymi zawartymi w atlasach geochemicznych gleb dla aglomeracji miejsko-przemysłowych. Ponieważ parki reprezentują względnie pierwotne ostoje przyrody, dlatego też wyniki wykonanych tam badań geochemicznych i biogeochemicznych mogą również wskazać na zasięg emisji skażeń pochodzących z punktowanych i niepunktowanych źródeł skażeń.

4. Określenie maksymalnych szkodliwych zawartości pierwiastków chemicznych i związków organicznych w oparciu o dodatkowe badania zmian jakościowych i ilościowych, zachodzących w poszczególnych populacjach oraz gatunkach roślin i zwierząt.

Przyszły program badań geochemicznych i biogeochemicznych na obszarach polskich parków narodowych stanowiłby uzupełnienie idei atlasów geochemicznych gleb dla obszarów uprzemysłowionych i zurbanizowanych. Optymalnym rozwiązaniem byłoby wykonanie dwóch atlasów biogeochemicznych dla modelowych parków narodowych, ujawniających różny stopień skażenia środowiska przyrodniczego. Najlepiej do tego celu nadają się najbardziej i najmniej skażone parki, a mianowicie: Ojcowski lub Świętokrzyski Park Narodowy oraz odpowiednio Białowiecki lub Wigierski Park Narodowy. Dla pozostałych parków należałoby wykonać opróbowanie i analizę rozkładu przestrzennego składników chemicznych metodą „sztangi” + 5- lub 6-stopniowej ANOVA, a w szczególnych przypadkach metodą 2–3 równoległych transektów. Realizacja powyższego programu wymagałaby zarówno interdyscyplinarnej współpracy geologów, gleboznawców, biologów, leśników, chemików i fizyków, jak również wykonania oznaczeń w wysokiej klasy atestowanych laboratoriach chemicznych i izotopowych. Zdaniem autorów jedynym laboratorium chemicznym w Polsce, które mogłoby sprostać temu zadaniu jest Centralne Laboratorium Chemiczne Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie.

Rekapitulując, geochemiczna i biogeochemiczna ocena stopnia skażenia parków narodowych powinna stanowić jedno z priorytetowych zadań w zakresie ochrony przyrody w Polsce. Powinna ona poprzedzać wszelkie działania zmierzające do redukcji zanieczyszczeń. Życie człowieka jest ściśle związane z przyrodą i z tego też względu nie bez znaczenia jest nie tylko jej stan teraźniejszy, lecz również przyszły w myśl sformułowanej zasady *The Presence is the Key to the Future (traźniejszość jest kluczem przyszłości)*.

Polski autor składa podziękowanie dr L. L. Jacksonowi i dr M. A. Chaffee z *U. S. Geological Survey*, Denver oraz leśnikom z Mt. Zirkel Wilderness, *Routt National Forest*, NW Kolorado, za dyskusję nad różnymi aspektami omawianej problematyki w czasie pobytu w USA w 1995 r. Badania geochemiczne i biogeochemiczne prowadzone w Świętokrzyskim Parku Narodowym wchodziły w skład projektu finansowanego przez *U.S.-Poland Maria Curie-Skłodowska Joint Fund II* (No. MOS/USGS-94-209).

Literatura

- ANDERSON R. L. & BANCROFT T. A. 1952 — Statistical Theory in Research. McGraw-Hill Book Co., Inc. New York-Toronto-London: 1–399.
- CROCK J. G., BECK K. A., FEY D. L., HAGEMAN P. L., PAPP C. S. & PEACOCK T. R. 1993 — Element Concentrations and Baselines for Moss, Lichen, Spruce and Surface Soils, in and near Wrangell-Saint Elias National Park and Preserve, Alaska. USGS Open-File Report 93-14: 1–98.
- CROCK J. G., GOUGH L. P., MANGIS D. R., CURRY K. L., FEY P. L., HAGEMAN P. L. & WELSCH E. P. 1992a — Element Concentrations and Trends for Moss, Lichen, and Surface Soils in and near Denali National Park and Preserve, Alaska. USGS Open-File Report 92-323: 1–149.
- CROCK J. G., SEVERSON R. C. & GOUGH L. P. 1992b — Determining Baselines and Variability of Elements in Plants and Soils near the Kenai National Wildlife Refuge, Alaska. Water, Air, and Soil Pollut., 63: 253–271.
- DELGADO J. P. 1992 — Americas National Parks. A Photographic Journey. Crescent Books New York, Avenel, New Jersey: 1–128.
- FREEMANTLE M. 1995 — The Acid Test for Europe. Chemical Engineering News, May 1: 10–17.
- GATTUSO J. 1995 — US National Parks, West. Houghton Mifflin Co: 1–396.
- GOUGH L. P., CROCK J. G. 1997 — Distinguishing Between Natural Geologic and Anthropogenic Trace Element Sources, Denali National Park and Preserve. [W:] Geologic Studies in Alaska by the U. S. Geological Survey, 1995. Dumoulin J. A. & Gray J. E. (ed.). U. S. Geological Survey Professional Paper, 1574: 57–71.
- GOUGH L. P., JACKSON L. L. & SACKLIN J. A. 1988a — Determining Baseline Element Composition of Lichens. II. *Hypogymnia eteromorpha* and *Usnea* spp at Redwood National Park, California. Water, Air, and Soil Pollut., 38: 169–180.
- GOUGH L. P., SEVERSON R. C. & JACKSON L. L. 1988b — Determining Baseline Element Composition of Lichens. I. *Parmelia sulcata* at Theodore Roosevelt National Park, North Dakota. Ibidem, 38: 157–167.
- GRODZIŃSKA K. 1980 — Zanieczyszczenie polskich parków narodowych metalami ciężkimi. Ochrona Przyrody, 43: 9–27.
- GRODZIŃSKA K. 1983 — Mchy i kora drzew jako wskaźniki skażenia środowiska gazami i pyłami przemysłowymi. W: Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych. Mat. pokonf., J. Fabiszewski (red.). Wyd. PAN: 67–86.
- HARRIS A. G. & TUTTLE E. 1990 — Geology of National Parks. Kendall/Huet Publishing Co.: 1–652.
- JACKSON L. L. 1993 — Biochemical Studies of the Salt Marsh and a Barrier Island at Cape Romain National Wildlife Refuge, South Carolina. USGS Open-File Report 93-303: A1–D37.
- JACKSON L. L., BRIGGS P. H., GOUGH L. P. & STOLTE K. W. 1995 — Biogeochemical Study of the Pinelands in Everglades National Park, Florida. USGS Open-File Report 95-7: 1–61.
- JACKSON L. L., GEISER L., BLETT T., GRIES C. & HADDOW D. 1996 — Biogeochemistry of Lichens and Mosses in and near Mt. Zirkel Wilderness, Routt National Forest, Colorado: Influences of Coal-Fired Power Plant Emission. USGS Open-File Report 96-295: 1–95.
- KABATA-PENDIAS A. & PENDIAS H. 1992 — Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc.: 1–365.
- KOZIOWSKI S. 1996 — Krajowa Sieć Ekologiczna (ECONET-POLSKA). Prz. Geol., 44: 732–734.
- MIGASZEWSKI Z. M. 1996 — Rola porostów w badaniach skażeń atmosferycznych. Prz. Geol., 44: 564–569.
- MIGASZEWSKI Z. M. 1997 — Wpływ pierwiastków chemicznych i izotopów siarki na środowisko przyrodnicze Gór Świętokrzyskich. Podsumowanie. Arch. PIG w Kielcach nr 1436: 1–40 + aneks: 1–40.
- MIGASZEWSKI Z. M., 1998a — Metodyka badań geochemicznych gleb i bio wskaźników roślinnych. Prz. Geol., 46: 159–163.
- MIGASZEWSKI Z. M., 1998b — Determining Organic Compound Ratio in Soils and Vegetation of the Holy Cross Mts, Poland. Water, Air, and Soil Poll. (w druku).
- MIGASZEWSKI Z. M. & GAŁUSZKA A. 1997 — Wykorzystanie sosny do badań bioindykacyjnych. Prz. Geol., 45: 403–407.
- MIGASZEWSKI Z. M. & PAŚLAWSKI P. 1996 — Trace element and sulfur stable isotope ratios in soils and vegetation of the Holy Cross Mountains. Geol. Quart., 40: 575–594.
- MIGASZEWSKI Z. M. & TRELA W. 1996 — Procesy hydrotermalno-postwulkaniczne na przykładzie Parku Narodowego Yellowstone (USA). Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol., 53: 140–143.
- OLACZEK R. 1996 — Ochrona Przyrody w Polsce. Zarząd Główny Ligi Ochrony Przyrody: 1–158.
- PRACA ZBIOROWA, 1996 — CORINE biotopes w integracji danych przyrodniczych w Polsce. Inst. Ochr. Przyrody PAN, Kraków: 1–136.
- RADZIEJOWSKI J. 1996 — Obszary chronione w Polsce. Instytut Ochrony Środowiska MOŚZNiL. Warszawa: 1–235.
- SEVERSON R. C., CROCK J. G. & GOUGH L. P. 1990 — An Assessment of the Geochemical Variability for Plants and Soils and an Evaluation of Industrial Emissions near the Kenai National Wildlife Refuge, Alaska. USGS Open-File Report 90-306: 1–90.
- SEVERSON R. C., GOUGH L. P. & BOOM van den G. 1992 — Baseline Element Concentrations in Soils and Plants, Wattenmeer National Park, North and East Frisian Islands, Federal Republic of Germany. Water, Air, and Soil Pollut., 61: 169–184.
- VILLENEUVE J. P. HOLM E. 1984 — Atmospheric background of chlorinated hydrocarbons studied in Swedish lichens. Chemosphere, 13: 1133–1138.