

Zdjęcie geochemiczne Europy

Anna Pasieczna*, Józef Lis*



A. Pasieczna

J. Lis

Globalne narastanie antropopresji, której nie można już powstrzymać, prowadzi do poszukiwania i podejmowania jednolitych zadań w dziedzinie polityki ekologicznej dla całej kuli ziemskiej. Jednym z kierunków działania w tym zakresie jest propozycja przeprowadzenia globalnej oceny stanu chemicznego nieożywionych środowisk przyrodniczych na wszystkich kontynentach (Darnley i in., 1995).

Międzynarodowe badania, których celem jest określenie współczesnego tła geochemicznego środowisk powierzchniowych Ziemi rozpoczęto od kontynentu europejskiego, podejmując inicjatywę opracowania małoskalowego zdjęcia geochemicznego.

Badania zostały przeprowadzone w latach 1995–2006 przez służby geologiczne krajów Europy, mające wieloletnie doświadczenie w dziedzinie kartografii geochemicznej oraz dobrze rozwiniętą współpracę. W ramach realizacji kartograficznego programu (*EuroGeoSurveys — FOREGS geochemical baseline mapping of Europe*) określono tło geochemiczne w skałach, glebach, osadach, wodach i innych środowiskach powierzchniowych Ziemi (*Global Geochemical Baselines Programme — GGBP*). Historię i przebieg realizacji projektu zawarto w publikacji Lisa i Pasiecznej (2000). Wyniki dziesięcioletnich badań, wykonanych pod patronatem Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych (*IUGS*) oraz Międzynarodowej Asocjacji Geochemii i Kosmochemii (*IAGC*), zawiera dwutomowy *Atlas geochemiczny Europy* (Salminen, 2005; De Vos & Tarvainen, 2006), zaprezentowany przez przedstawicieli służb geologicznych na specjalnym posiedzeniu Komisji Europejskiej we wrześniu 2006 r. w Brukseli.

Geochemiczne zdjęcie Europy zrealizowały wspólnie służby geologiczne 26 państw oraz 3 uniwersytety włoskie na podstawie dobrowolnej umowy. Każdy z uczestniczących krajów pokrywał koszty prac terenowych i analitycznych na swoim terytorium. Ze strony polskiej w opracowaniu uczestniczył Państwowy Instytut Geologiczny (PIG).

Cele projektu

Głównym celem opracowania było określenie zawartości metali ciężkich i innych pierwiastków w materiale powierzchniowych środowisk kontynentu europejskiego pod koniec XX wieku oraz oszacowanie wpływu działalności człowieka na ich koncentracje i rozmieszczenie. Decyzję o opracowaniu *Atlasu geochemicznego Europy* podjęto na podstawie badań pilotażowych, prac badawczych oraz analizy baz danych geochemicznych istniejących w poszczególnych krajach. Inwentaryzacja wyników badań geo-

chemicznych wykazała, że istnieje 120 baz danych (Plant i in., 1997), sporządzonych dla siedmiu różnych środowisk, przy zastosowaniu różnych metod opróbowania, różnych metod analitycznych i różnych sposobów interpretacji danych. Nie było zatem możliwe opracowanie kompletnej i jednolitej bazy danych na podstawie istniejących analiz, choć bazy danych poszczególnych krajów mogą być użyteczne w przyszłości, jeśli zostaną znormalizowane w stosunku do poziomu odniesienia, jakim jest zbiór próbek geochemicznych zebranych, przeanalizowanych i zinterpretowanych tymi samymi metodami w skali całego kontynentu.

W latach 1996–1998 grupa specjalistów geochemików (*FOREGS Geochemistry Group*) opracowała program zdjęcia geochemicznego Europy w ramach projektu IGCP-259 *International Geochemical Mapping*.

Celem zdjęcia geochemicznego Europy wykonanego w jednolity sposób było:

- określenie aktualnego tła geochemicznego i anomalii w środowiskach powierzchniowych Ziemi;
- wydzielenie prowincji geochemicznych Europy;
- próba stworzenia podstaw do określenia bezpiecznych poziomów potencjalnie szkodliwych pierwiastków i substancji (*Safe Levels of Potentially Harmful Elements and Species — PHES*);
- wykorzystanie wyników badań do ustalania dopuszczalnej zawartości pierwiastków i substancji w poszczególnych elementach środowiska w pracach legislacyjnych Unii Europejskiej (np. do opracowania dyrektywy glebowej — *EU Soil Protection Directive*);
- zastosowanie bazy europejskiej jako poziomu odniesienia dla baz danych poszczególnych krajów i wskazanie terenów do bardziej szczegółowych zdjęć geochemicznych obszarów o anomalnych koncentracjach pierwiastków.

W ramach realizacji tematu opracowano metodykę pobierania próbek, ich przygotowania i sposobu wykonania analiz chemicznych. Wyniki tych prac zawarto w opracowaniach *FOREGS Geochemical Mapping Field Manual* (Salminen i in., 1998) oraz *FOREGS Geochemical Baseline Programme Analytical Manual*.

Metodyka badań i prezentacji

Opróbowanie na terenie Europy wykonano zgodnie z procedurą *FOREGS Geochemical Mapping Field Manual* w latach 1998–2003. Obszar zdjęcia wynosi 4,2 mln km² i nie obejmuje Europy wschodniej (ryc. 1–3). W celu jednolitego opróbowania całej powierzchni lądowej tej części Europy wyznaczono sieć komórek o rozmiarach 160 x 160 km. W obrębie każdej komórki wybierano losowo 5 zlewni o powierzchni 1000–6000 km², a w każdej z nich typowano małe zlewnie o powierzchni < 100 km². Z każdej małej zlewni pobierano próbki ze środowisk:

- wód i osadów strumieniowych;
- osadów tarasów zalewowych;
- powierzchniowej warstwy gleb mineralnych i ich podglebia (poziomu C);

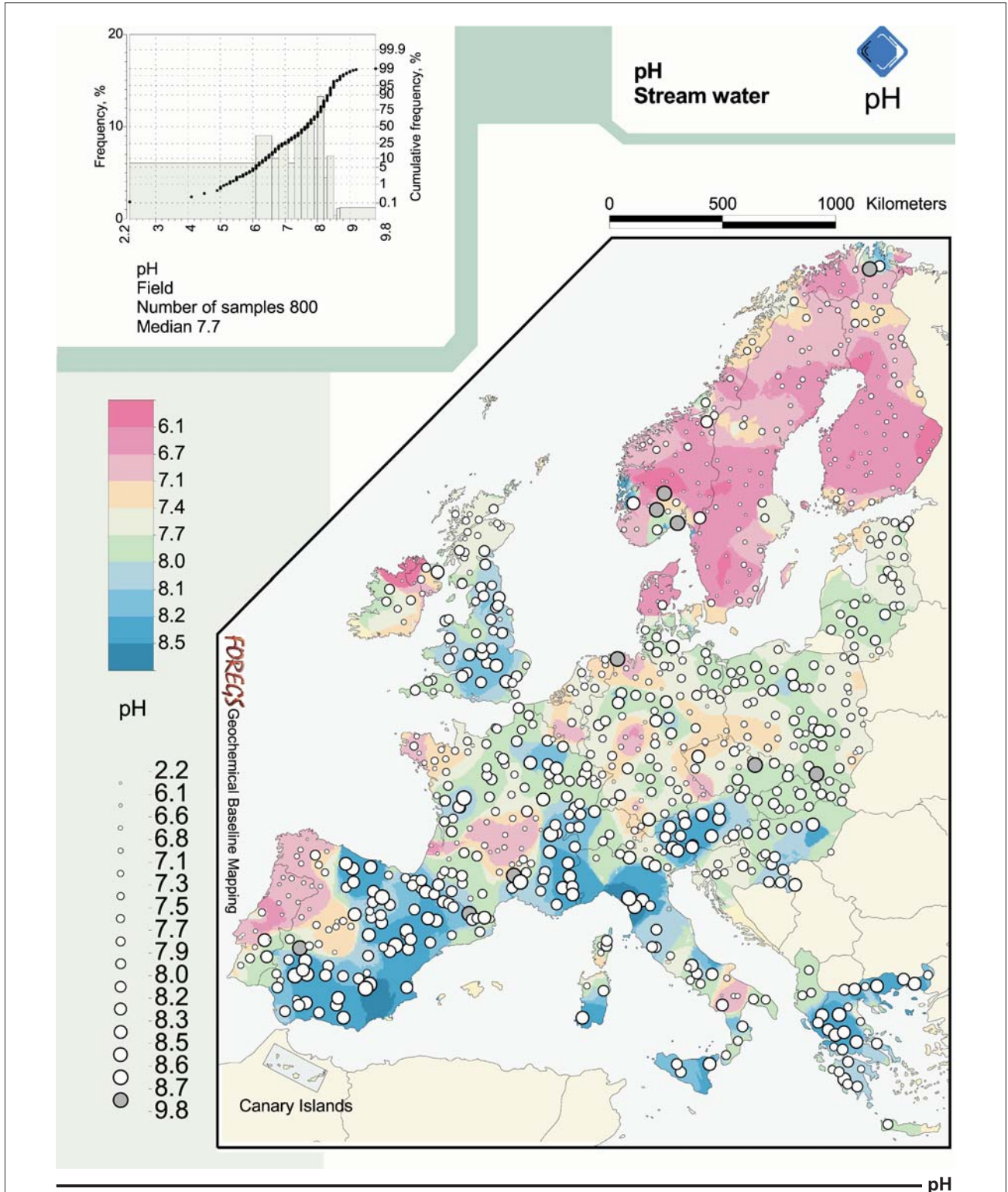
*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; anna.pasieczna@pgi.gov.pl, jozef.lis@pgi.gov.pl

- powierzchniowej warstwy gleb organicznych (humusu) z obszarów leśnych.

Na badanym terenie Europy opróbowano 900 zlewni. Średnia gęstość opróbowania wynosiła 1 miejsce/4700 km².

Analizy próbek zebranych z danego środowiska przeprowadzono tą samą metodą w jednym wybranym laboratorium, co zapewniło porównywalność wyników dla całego kontynentu. Oznaczano zawartość 66 pierwiastków i innych parametrów (pH, przewodność elektryczna, skład granulometryczny). W pracach analitycznych uczestniczyły laboratoria 9 krajów. W laboratorium PIG w Warszawie wykonano oznaczenia pierwiastków w glebach i osadach strumieniowych metodą ICP-AES po kwasowym rozтворzeniu próbek. Próbki stałe zostały zmagazynowane w archiwum Służby Geologicznej Słowacji i mogą być przedmiotem dalszych badań w przyszłości.

Wyniki analiz chemicznych ze wszystkich laboratoriów zostały zgromadzone na serwerach Służby Geolo-



Ryc. 1. Odczyn wód strumieniowych

gicznej Finlandii, która opracowała centralną bazę danych, obliczenia statystyczne i mapy geochemiczne.

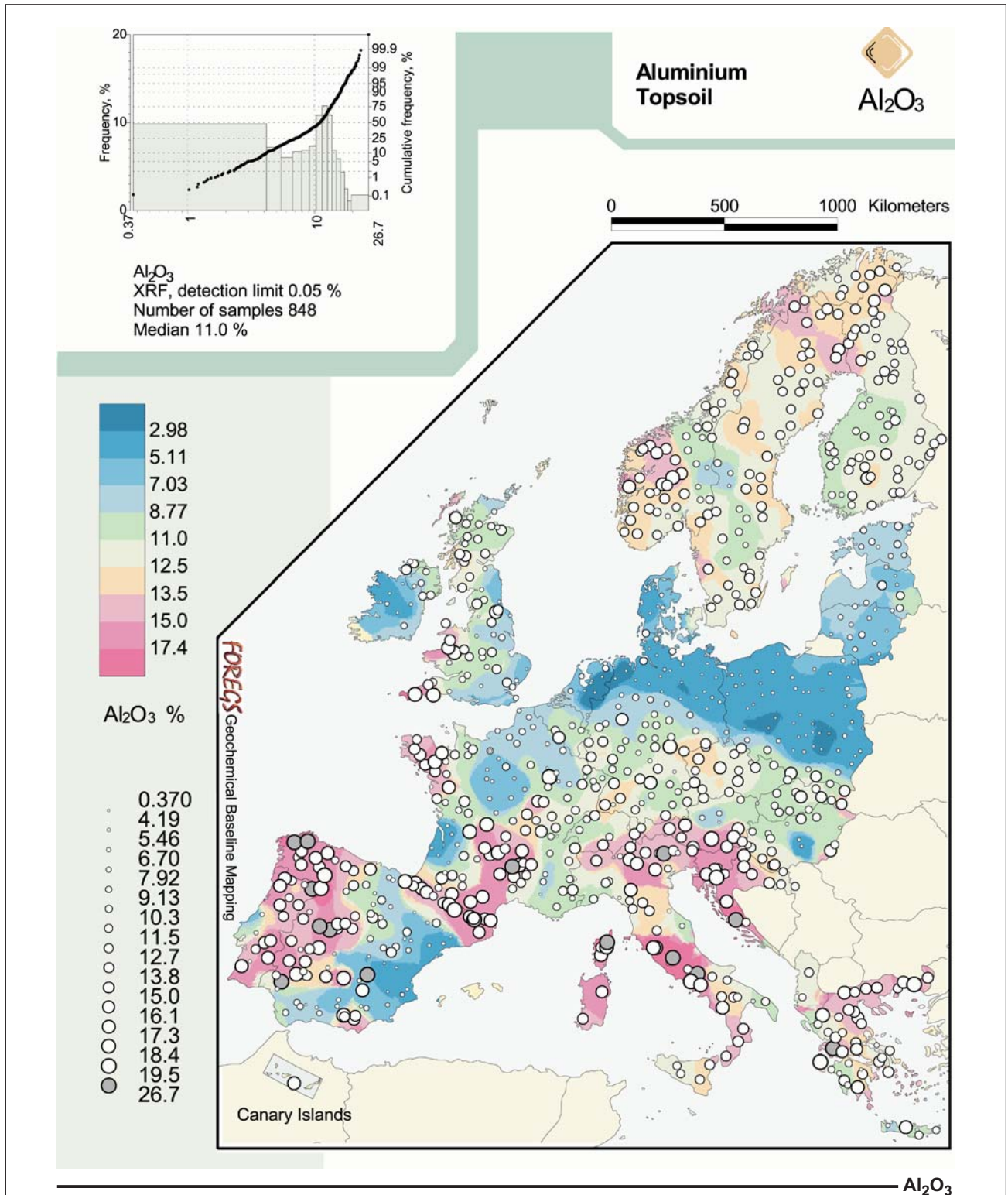
W opracowaniu części tekstowej atlasu brali udział geochemicy z wszystkich krajów wykonujących projekt.

Wyniki badań

Atlas zawiera 360 map geochemicznych oraz obszernie objaśnienia tekstowe, przedstawiające zarówno zarys budowy geologicznej i tektoniki Europy, opis prowincji metaloge-

nicznych i złóż, wpływ działalności gospodarczej na stan chemiczny badanych elementów środowiska, jak i informacje metodyczne, wyniki badań statystycznych i interpretację uzyskanych rozkładów przestrzennych pierwiastków w glebach, wodach strumieniowych i osadach.

Wyniki międzynarodowego programu kartograficznego *EuroGeoSurveys — FOREGS geochemical baseline mapping of Europe* opublikowano w tradycyjnym, dwutomowym opracowaniu *Geochemical Atlas of Europe* oraz w wersji elektronicznej (<http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/>).



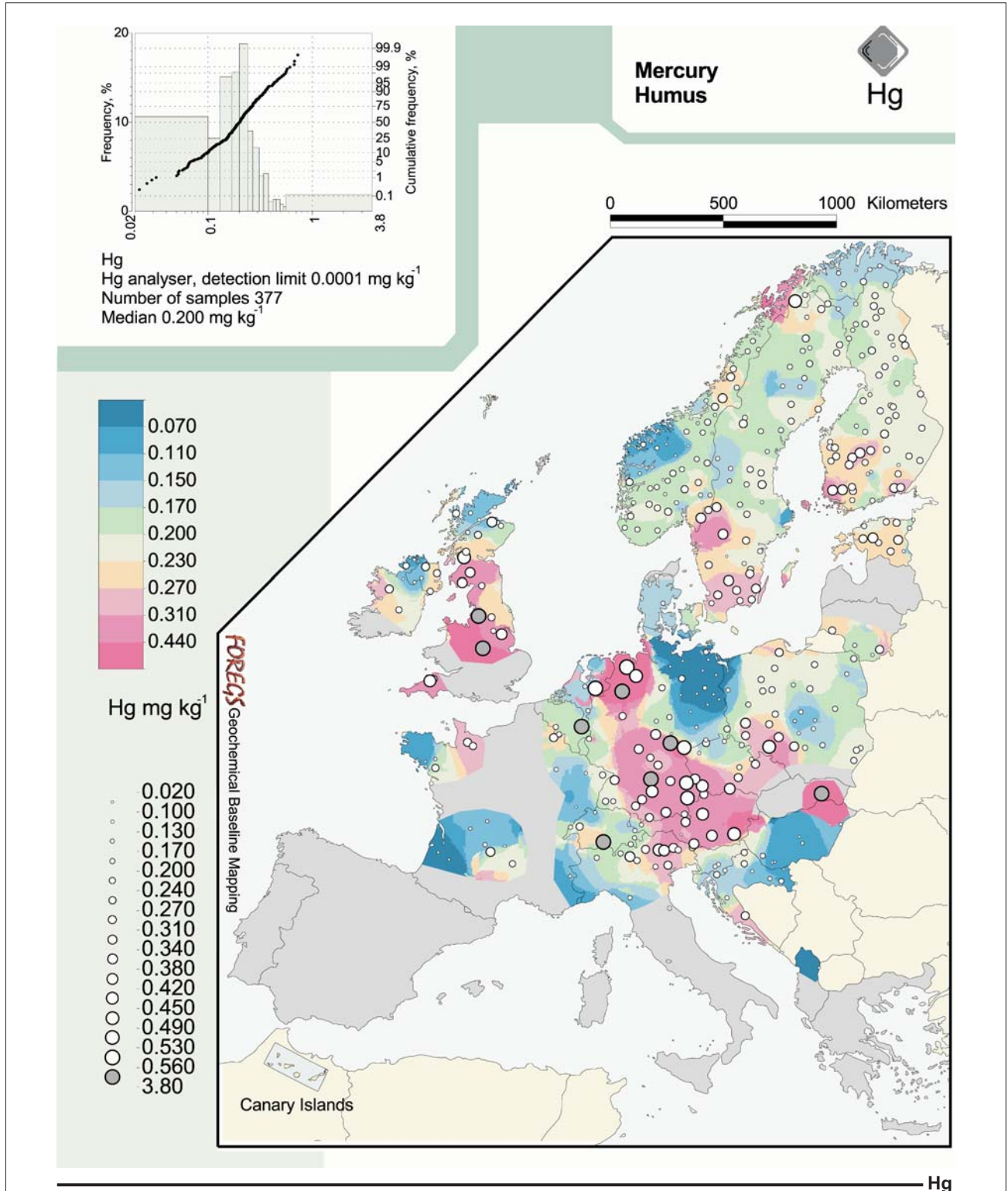
Ryc. 2. Zawartość glinu w powierzchniowej warstwie (0–25 cm) gleb

Atlas, po raz pierwszy w historii kartografii geochemicznej, dostarcza tak obszernych, jednolitych danych o zmienności pierwiastków chemicznych w powierzchniowych środowiskach całego kontynentu. Bardzo wyraźnie dokumentuje szeroki zakres tła geochemicznego (różnice dochodzące do kilku rzędów wielkości) pierwiastków głównych i śladowych we wszystkich badanych środowiskach.

Wyniki badań dowodzą, że geochemiczna zmienność pierwiastków jest przede wszystkim odzwierciedleniem warunków naturalnych (rodzaju skał macierzystych,

klimatu, procesów wietrzenia i formowania gleb), które regionalnie lub lokalnie zostały zaburzone przez działalność gospodarczą człowieka.

Dobrym przykładem, świadczącym o przewadze czynników naturalnych (geologii regionu i warunków tworzenia się gleb) na fizykochemię analizowanych mediów, może być prezentacja mapy odczynu wód strumieniowych (ryc. 1). W krajach skandynawskich są one znacznie mniej zanieczyszczone, ale bardziej kwaśne niż w innych częściach Europy — co wiąże się zarówno z brakiem skał



Ryc. 3. Zawartość rtęci w próbkach humusu

węglanowych, neutralizujących zawartość kwasów humusowych w powierzchniowych środowiskach tego rejonu, jak i wpływem klimatu i pokrywy roślinnej. W warunkach zimnego klimatu w obszarach tundrowych pokrytych osadami czwartorzędowymi przy udziale skąpej roślinności (głównie mchów i porostów) występują płytkie gleby o niewielkiej ilości próchnicy i silnie kwaśnym odczynie. Wody powierzchniowe drenujące takie obszary również należą do bardzo kwaśnych.

Najwyższe pH wód strumieniowych ($> 8,1$) zanotowano we wschodniej i północnej części Półwyspu Iberyjskiego, na znacznej części Wysp Brytyjskich, na terytorium Austrii i w wielu rejonach sąsiadujących z Morzem Śródziemnym, co można wyjaśnić przewagą skał węglanowych w podłożu gleb tych rejonów i silnym parowaniem. W krajach Europy środkowej oraz krajach bałtyckich przeważają wody o odczynie zbliżonym do obojętnego, najczęściej mieszczącym się w granicach 6,7–7,7.

W obrazie geochemicznym gleb, aluwiiów i osadów tarasów zalewowych (Salminen i in., 2005) zdecydowanie wyróżniają się obszary występowania utworów glacialnych w Holandii, Danii, północno-wschodnich Niemczech, Polsce (bez Dolnego Śląska i Karpat) oraz na Litwie, Łotwie i w Estonii, charakteryzujące się szczególnie małą zawartością większości pierwiastków. Zubożenie utworów powierzchniowych wiąże się z faktem długotrwałego ługowania części pierwiastków kwaśnymi wodami peryglacialnymi i ich odprowadzeniem do wód powierzchniowych oraz wgłębnych. Procesy ługowania były w znacznym stopniu ułatwione przez wcześniejsze zmiany mechaniczne skał macierzystych (rozkruszenie i rozdrobnienie).

Powierzchniowa warstwa gleb rozwiniętych na utworach glacialnych jest bogatsza (w porównaniu do terenu innych części Europy) jedynie w krzemionkę, cyrkon i hafn. Charakteryzuje się też gruboziarnistością, niewielką zawartością frakcji $< 0,002$ mm i $< 0,06$ mm oraz wyjątkowym zubożeniem w MgO, Fe₂O₃, V, i Sc. Ilustracją tego zubożenia jest mapa prezentująca rozkład zawartości glinu (ryc. 2) w powierzchniowej warstwie gleb Europy. Na niską zawartość całkowitą Al₂O₃ ($< 7,03\%$) wpływa też inny czynnik geologiczny — obfitość węglanów w skałach podłoża części Irlandii, Wielkiej Brytanii i wschodniej Hiszpanii. Wysoką zawartość Al₂O₃ ($> 13,5\%$) w glebach stwierdzono w zachodniej części Półwyspu Iberyjskiego, w rejonie Masywu Centralnego i Bretanii, w południowo-zachodniej Anglii, a także w niektórych rejonach Skandynawii i Alp, gdzie skały starszego podłoża są źródłem glinu zawartego w skaleniach, mikach i minerałach ilastych. Wzbogacenie w glin występuje również w glebach obszarów krasowych Słowenii, Chorwacji i części Grecji, utworzonych na podłożu węglanów i zwietrzeliny *terra rossa*. W niektórych rejonach Włoch duża zawartość glinu w glebach może być związana z występowaniem alkalicznych skał pochodzenia wulkanicznego i wietrzeniem laterytowym.

Na wzbogacenie środowiska przyrodniczego w pierwiastki potencjalnie szkodliwe dla organizmów żywych bardzo wyraźnie wpływa działalność gospodarcza człowieka. Dobitym przykładem wskazującym na antropogeniczne źródła zanieczyszczeń jest rozkład zawartości rtęci w próbkach humusu leśnego (ryc. 3).

Najważniejszym antropogenicznym źródłem rtęci są procesy wydobywania i wyprężania jej rud. W górnictwie

złota i srebra od wieków stosuje się techniki amalgamacji do ekstrakcji tych metali z rud, powodując zatrucie środowiska rtęcią. Do znaczących źródeł antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego rtęcią należy też lub należała do niedawna produkcja chloru i sody, włókien sztucznych, stosowanie i złomowanie lamp rtęciowych, przyrządów pomiarowych, baterii i detonatorów oraz produkcja środków ochrony roślin i spalanie paliw kopalnych.

Przeciętna zawartość rtęci w próbkach humusu z terenu Europy wynosi 0,200 mg/kg (ryc. 3) przy zmienności w granicach 0,020–3,800 mg/kg. Najniższą zawartość rtęci ($< 0,15$ mg/kg) zanotowano na terytorium północno-wschodnich Niemiec, części Francji, północnej Irlandii i Szkocji oraz niektórych rejonów Węgier i Norwegii. Próbkę humusu z terenu środkowej Anglii, południowej Szkocji oraz zachodnich i południowych Niemiec, południowych Czech, Austrii i północno-wschodnich Włoch charakteryzuje wysoka zawartość rtęci ($> 0,27$ mg/kg).

Na przeważającym obszarze Polski koncentracja rtęci waha się w granicach zawartości niskiej i średniej. Podwyższenia (związane głównie z działalnością hut miedzi i spalaniem paliw) występują tylko na obszarze Dolnego i Górnego Śląska.

Literatura

- DARNLEY A., BJORKLUND A., BOLVIKEN B., GUSTAVSSON N., KOVAL P.V., PLANT J.A., STEENFELT A., TAUCHID M. & XIE XUEJING 1995 — A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. Recommendations for International Geochemical Mapping. Final report of IGCP Project 259. Earth Sciences 19, UNESCO publishing, 122 pp.
- DE VOS W., TARVAINEN T., (Chief-editors), SALMINEN R., REEDER S., DE VIVO B., DEMETRIADES A., PIRC S., BATISTA M.J., MARSINA K., OTTESEN R.T., O'CONNOR P.J., BIDOVEC M., LIMA A., SIEWERS U., SMITH B., TAYLOR H., SHAW R., SALPETEUR I., GREGORAUSKIENE V., HALAMIC J., SLANINKA I., LAX K., GRAVESEN P., BIRKE M., BREWARD N., ANDER E.L., JORDAN G., DURIS M., KLEIN P., LOCUTURA J., BEL-LAN A., PASIECZNA A., LIS J., MAZREKU A., GILUCIS A., HEITZMANN P., KLAVER G. & PETERSELL V. 2006 — Geochemical atlas of Europe. Part 2, Geological Survey of Finland, Espoo.
- FOREGS Geochemical Baseline Programme Analytical Manual — <http://www.gtk.fi/foregs/geochem/>
- PLANT J.A., KLAVER G., LOCUTURA J., SALMINEN R., VRANA K. & FORDYCE F. 1997 — The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group inventory 1994–1996. J. Geoch. Explor., 60: 123–146.
- LIS J. & PASIECZNA A. 2000 — Geochemiczny atlas Europy. Prz. Geol., 48: 1114–1119.
- SALMINEN R., TARVAINEN T., DEMETRIADES A., DURIS M., FORDYCE F.M., GREGORAUSKIENE V., KAHELIN H., KIVISILLA J., KLAVER G., KLEIN H., LARSON J.O., LIS J., LOCUTURA J., MARSINA K., MJARTANOVA H., MOUVET C., O'CONNOR P., ODOR L., OTTONELLO G., PAUKOLA T., PLANT J.A., REIMANN C., SCHERMANN O., SIEWERS U., STEENFELT A., VAN DER SLUYS J., DE VIVO B., WILLIAMS L. 1998 — FOREGS Geochemical Mapping Field Manual. Geol. Survey of Finland, Espoo.
- SALMINEN R. (chief-editor), BATISTA M.J., BIDOVEC M., DEMETRIADES A., DE VIVO B., DE VOS W., DURIS M., GILUCIS A., GREGORAUSKIENE V., HALAMIC J., HEITZMANN P., LIMA A., JORDAN G., KLAVER G., KLEIN O., LIS J., LOCUTURA J., MARSINA K., MAZREKU A., O'CONNOR P.J., OLSSON S.A., OTTESEN R.T., PETERSELL V., PLANT J.A., REEDER S., SALPETEUR I., SANDSTROM H., SIEWERS U., STEENFELT A. & TARVAINEN T. 2005 — Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Geol. Survey of Finland, Espoo.

Praca wpłynęła do redakcji 01.03.2007 r.
Akceptowano do druku 19.04.2007 r.