



Wojciech Zglobicki*, Marta Ziótek**

* Zakład Geologii i Ochrony Litosfery,
Instytut Nauk o Ziemi UMCS,
ul. Kraśnicka 2CD, 20-709 Lublin
zglobek@biotop.umcs.lublin.pl

** Zakład Gleboznawstwa,
Instytut Nauk o Ziemi UMCS,
ul. Akademicka 19, 20-033 Lublin
mzioliek@o2.pl

Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe
Problemy Ekologii Krajobrazu, tom XVI
Warszawa 2006

Wybrane metody geochemiczne w badaniach środowiska

Selected geochemical methods in environmental studies

Abstract: One of the effects of human activity is the modification of chemical composition of various genesis sediments (constituting specific geoarchives). The application of geochemical methods in environmental studies relies either on revealing the compounds presence not appearing in natural conditions or detecting their exceeding concentration against geochemical background. The analyses of vertical differentiation of anthropogenic contamination (heavy metals, phosphorus, ^{137}Cs) has allowed the determination of chronology of analyzed sediments creation as well as detection of phases of environment changes caused by human activity.

Key words: geochemical methods, anthropopressure, ^{137}Cs , heavy metals, phosphorus

Słowa kluczowe: metody geochemiczne, antropopresja, ^{137}Cs , metale ciężkie, fosfor

Wprowadzenie

Jednym ze skutków działalności człowieka jest modyfikacja składu chemicznego komponentów środowiska. Pierwsze zmiany właściwości powietrza, wód czy gleb, będące efektem antropopresji, rozpoczęły się wraz z pojawieniem się osiadłych społeczeństw rolniczych neolitu. Miały one jednak charakter punktowy, a po ustaniu wpływu człowieka, środowisko w stosunkowo krótkim okresie czasu powracało do stanu naturalnego. Dopiero rewolucja przemysłowa XVIII w. rozpoczęła etap zmian nieodwracalnych, często o charakterze globalnym. Efektem działalności człowieka jest wytworzenie się nowych dróg migracji pierwiastków. Zostały uruchomione pierwiastki, które w warunkach naturalnych nie były w obiegu (Pb, Zn, Cd); znaczącemu przyspieszeniu uległ również obieg pierwiastków.

Wykorzystanie cech geochemicznych w badaniach wpływu człowieka na środowisko polega na wykrywaniu obecności związków niewystępujących

w warunkach naturalnych (na przykład sztuczne izotopy) lub stwierdzeniu koncentracji wielokrotnie przekraczających tło geochemiczne. Opisywane analizy umożliwiają ocenę natężenia antropopresji, jej zróżnicowania przestrzennego i czasowego. Najbardziej drastyczne zmiany geochemiczne związane są z działalnością przemysłową i transportową oraz osadnictwem. Zmiany cech powietrza, wód, gleb powodowane są również przez rolnictwo – gałąź gospodarki o największym zasięgu przestrzennym.

Wykorzystanie znaczników i elementów wskaźnikowych umożliwia przejście od charakterystyk jakościowych do precyzyjnego ujęcia ilościowego. Pomimo wielkiej złożoności systemów przyrodniczych niezbędne jest dążenie do podejmowania prób takiego właśnie opisu analizowanych zjawisk. Interdyscyplinarne badania prowadzone przez przedstawicieli nauk o ziemi metodami geochemicznymi, w wielu przypadkach umożliwiają uzyskanie prawidłowości trudnych do otrzymania w inny sposób.

Badania geochemiczne mogą mieć dwojaki charakter. Podejście prostsze polega na przestrzennej i czasowej ocenie zróżnicowania zawartości mikro- i makroelementów, których koncentracje przekraczające naturalne tło traktowane są jako zanieczyszczenia. Poznanie wielkości skażenia jest tu celem samym w sobie. Umożliwia to ocenę aktualnego stopnia degradacji środowiska. W drugim przypadku otrzymane wielkości koncentracji pierwiastków podlegają dalszej interpretacji, opierającej się na założeniu występowania określonego związku pomiędzy specyficzną formą działalności człowieka a koncentracją elementów wskaźnikowych w osadach, glebie, wodach, powietrzu.

W pracy przedstawiono charakterystykę wykorzystania wybranych metod geochemicznych w badaniach środowiska oraz przykładowe wyniki studiów prowadzonych przez autorów opracowania. Zapis trwającej przez setki i tysiące lat działalności człowieka w środowisku przyrodniczym znajduje swoje odzwierciedlenie przede wszystkim w osadach mineralnych i organicznych. Geochemiczna analiza osadów – swoistych geo-archiwów – umożliwia odtworzenie zasięgu, rodzaju i natężenia antropopresji na przestrzeni dziejów. Z kolei badanie przestrzennego zróżnicowania pierwiastków traktowanych jako znaczniki umożliwia studia nad procesami prowadzącymi do ich przemieszczenia. W badaniach środowiska wykorzystywane są różnego rodzaju metody, w niniejszej pracy skupiono się na analizach zawartości metali ciężkich w osadach, metodzie fosforanowej oraz metodzie cezowej.

Metoda cezowa

^{137}Cs jest sztucznym radionuklidem, jego obecność w środowisku jest związana z wybuchami jądrowymi lub emisjami z reaktorów atomowych (Wise 1980). Po raz pierwszy został wprowadzony do atmosfery ziemskiej podczas serii potężnych próbných wybuchów atomowych w końcu 1952 r. Mniej więcej

od roku 1954 zaczęto stwierdzać jego występowania w środowisku na całym świecie. Lokalnie, duże znaczenie odgrywają awarie w elektrowniach jądrowych. Cez-137 emituje silne promieniowanie gamma (energia 662 keV) co pozwala na stosunkowo proste i dokładne pomiary jego koncentracji.

^{137}Cs jest silnie adsorbowany przez frakcję koloidalną oraz materię organiczną i praktycznie nie podlega wymianie (Tamura, Jacobs 1960). Adsorbacja cezu przez glebę jest bardzo szybka, na co wskazuje gwałtowny spadek jego koncentracji wraz z głębokością, w niezaburzonych profilach (Chełmicki i in. 1995, Froehlich, Walling 1992). Przeprowadzane eksperymenty wskazują ponadto na jego ograniczoną mobilność w wyniku procesów chemicznych (Lomenick, Tamura 1965). W związku z silną adsorbacją cezu przez kompleks sorpcyjny, jego możliwości przemieszczania w dół profilu glebowego są ograniczone (Campbell i in. 1982). Wszystko to sprawia, że głównymi czynnikami powodującymi redystrybucję cezu w krajobrazie są procesy fizyczne związane z erozją gleb (procesy stokowe). Opisywana metoda może być w związku z tym stosowana w badaniach geomorfologicznych oraz sedymentologicznych.

Pierwsze próby wykorzystania ^{137}Cs w badaniach procesów erozji gleb podjęto w połowie lat 60. XX w. (Rogowski, Tamura 1965). Miały one na celu znalezienie powiązań pomiędzy erozją gleb a przemieszczaniem się radionuklidów. Możliwe są następujące kierunki wykorzystania radionuklidu w badaniach środowiska (Stach 1991):

- wyznaczanie stref degradacji i akumulacji materiału na podstawie przestrzennego zróżnicowania koncentracji cezu w glebie w porównaniu ze skumulowanym *falloutem* (atmosferyczny opad izotopu),
- określanie bezwzględnego tempa erozji gleb przy wykorzystaniu modeli matematycznych,
- wyznaczanie tempa erozji w oparciu o datowania osadów korelatywnych w lokalnych bazach sedymentacyjnych i na dnach zbiorników wodnych.

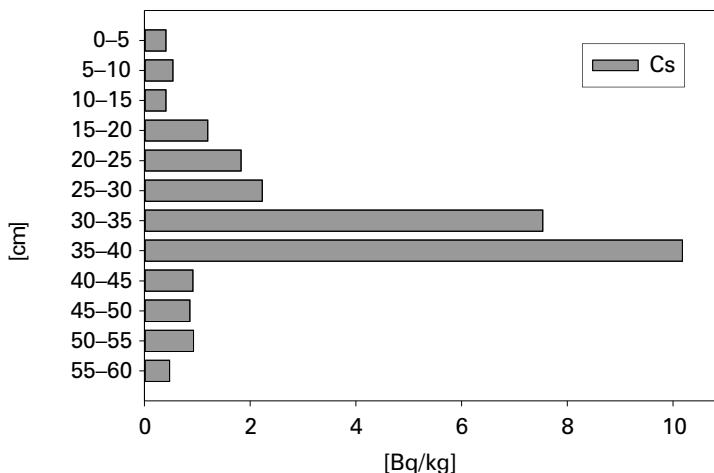
Prowadzone badania wskazują na występowanie znaczącego przestrzennego zróżnicowania koncentracji ^{137}Cs w glebach – w skali małych zlewni czy pojedynczych stoków – (Zgłobicki 2002a, 2002b). Spowodowane jest to wpływem opisanych wyżej procesów – fizycznego transportu cząstek gleby. Jako główne czynniki wpływające na współczesne zróżnicowanie skażenia cezem w małej skali wymienić należy ukształtowanie powierzchni oraz pokrycie terenu. Przykładowo, w Rogalowie aktywność ^{137}Cs w wierzchniej warstwie gleb położonych na stoku wynosiła 20 Bq/kg na obszarze gruntów ornych i 76 Bq/kg w glebach leśnych. Sumaryczny ładunek izotopu zmieniał się od 7500 Bq/m² na wierzchołku, do 10620 Bq/m² w dnie doliny (Zgłobicki 2002a).

Badania nad zróżnicowaniem sumarycznego ładunku ^{137}Cs w glebach umożliwiły ocenę dynamiki współczesnych procesów denudacyjnych na obszarach lessowych Polski południowo-wschodniej (Zgłobicki 2002a). Tempo de-

gradacji terenów użytkowanych rolniczo określono na 2 mm/rok (wierzchołki) do 7,4 mm/rok (stoki o nachyleniu $>10^\circ$).

Metoda cezowa wykorzystywana jest również do badań nad procesami eolicznymi (Gillieson i in. 1996, Harper, Gilkes 1995). Tego typu studia prowadzone były przez autorów opracowania na piaszczystych równinach Kotliny Sandomierskiej (okolice Łącuta). Przy wykorzystaniu odpowiednich modeli, natężenie współczesnej erozji eolicznej w obrębie badanego obszaru określono na 1,1–1,6 mm/rok (w okresie ostatnich 15 lat) (Zgłobicki, Reszka 2004).

Analiza pionowej koncentracji izotopu w osadach różnej genezy pozwala wreszcie na ocenę tempa ich sedymentacji. Metoda wykorzystywana jest przede wszystkim do określenia tempa przyrostu aluwii bądź osadów w zbiornikach wodnych (Froehlich, Walling 1991, Walling, He 1997). Możliwa jest również ocena tempa sedymentacji w innych środowiskach, na przykład w dnach wąwozów (ryc. 1). Horyzont czasowy dla takiego zastosowania metody cezowej wynosi 50 lat (izotop zaczął być wprowadzany do środowiska od połowy lat 50. XX w.). Najgłębsza warstwa, w której stwierdza się występowanie ^{137}Cs odpowiada właśnie temu okresowi, a wyraźny wzrost koncentracji jest związany z awarią w Czarnobylu w roku 1986 (ryc. 1). W opisywanym profilu tempo sedymentacji wynosi około 1 cm/rok.



Ryc. 1. Pionowe zróżnicowanie aktywności cezu w profilu Guciów

Fig. 1. Vertical distribution of caesium activity in Guciów profile

Metoda fosforanowa

Fosfor jest pierwiastkiem niezbędnym do życia wszystkim organizmom żywym ze względu na rolę, jaką odgrywa w wielu procesach biochemicznych (Smil 2000). Jest pierwiastkiem jakości przyrody nieożywionej i gleb, i stano-

wi o ich żyzności. Poza tą biologiczną funkcją fosfor odgrywa też znaczącą rolę jako wskaźnik diagnostyczny antropogenicznych przemian środowiska. Wykorzystywany jest przede wszystkim w badaniach archeologicznych i gleboznawczych (Brzeziński i in. 1983, Konecka-Betley, Okołowicz 1998, Prusinkiewicz i in. 1998).

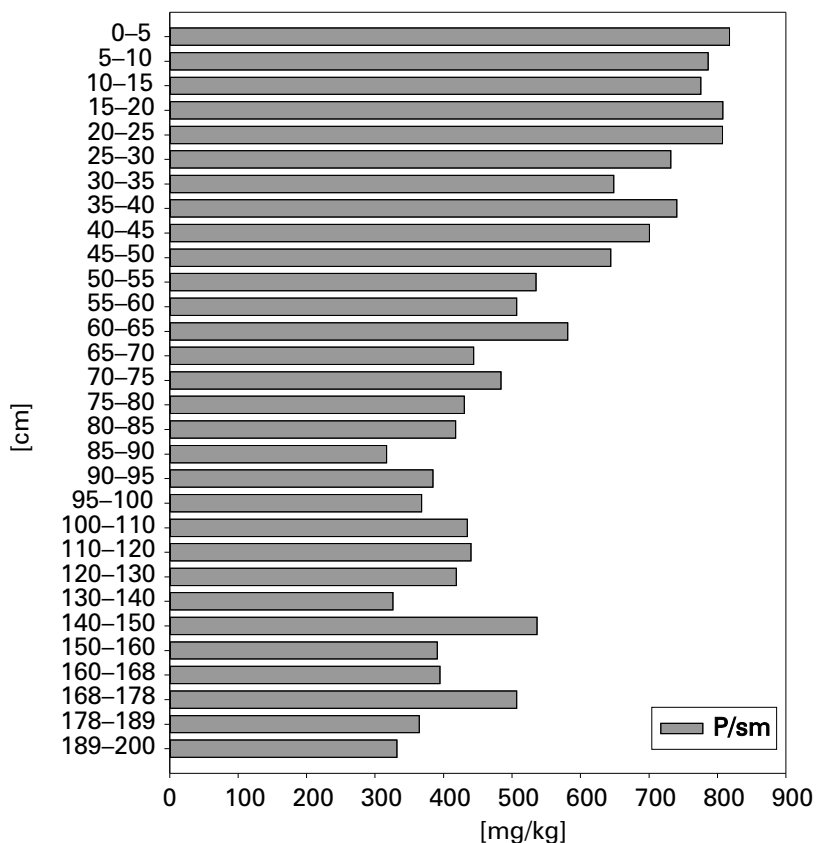
Fosfor, stabilny w środowisku glebowym, najczęściej pozostaje w powierzchniowej warstwie gleby, do której został wprowadzony. Duże stężenia fosforu w glebie mogą pojawiać się w obiektach archeologicznych, jak też na obszarach współczesnej działalności ludzkiej. Poprzez akumulacje fosforu w glebie zapisywana jest historia ingerencji człowieka w środowisko.

Metoda fosforanowa stosowana w badaniach archeologicznych opiera się na istnieniu związku pomiędzy ludzką aktywnością w środowisku a akumulacją fosforu w glebie. Różnokierunkowa działalność człowieka w przeszłości prowadziła do wzbogacania wierzchniej warstwy gleby w fosfor. Źródłem fosforu w glebie są odchody ludzi i zwierząt, resztki żywności i inne odpadki, a współcześnie fosforowe nawozy mineralne. W wyniku mineralizacji szczątków organicznych powstają nieruchliwe fosforany, a podwyższone zawartości tego pierwiastka w glebie mogą służyć do ustalania miejsc historycznego osadnictwa (Bednarek i in. 2003, Schlezinger 2000). Z kolei analiza pionowej koncentracji fosforu w profilu umożliwia odtwarzanie i datowanie faz antropopresji (Lambert 1998).

W gleboznawstwie fosfor jest wykorzystywany w badaniach antropogenicznych przemian środowiska glebowego i na podstawie jego zawartości wyznaczany jest diagnostyczny poziom *anthropic* w glebach mineralnych. Jest to poziom tworzący się w ciągu długiego okresu użytkowania i nawożenia gleb nawozami organicznymi (*Systematyka Gleb Polski* 1989).

Fosfor jest dobrym wskaźnikiem zmian (przekształceń), jakie człowiek na przestrzeni dziejów wywierał na całe środowisko przyrodnicze. Przed erą industrializacji w naturalnych ekosystemach słodkowodnych i lądowych fosfor był składnikiem niedoborowym, co utrzymywało produkcję biomasy w równowadze. W efekcie rozwoju rolnictwa, i idącego za tym wzrostu stosowania nawozów sztucznych, gleby użytków rolnych stały się miejscem kumulacji tego pierwiastka. Fosfor niewykorzystany w produkcji rolnej gromadzi się w glebie. Prowadzi to do wzbogacenia w fosfor gleb wokół skupisk ludzkich, a następnie gleb naturalnych ekosystemów. Jest on pierwiastkiem decydującym o żyzności ekosystemów, a tym samym jest jednym z głównych pierwiastków odpowiedzialnych za ich eutrofizację.

Badania pionowej koncentracji fosforu w glebach pozwalają na ocenę zmian jego zawartości spowodowanej różnymi czynnikami, m.in. współczesnym wpływem człowieka. Dobrym materiałem do tego typu badań mogą być gleby torfowe, gdzie środowisko bagienne ma korzystne warunki do wtórnej jego akumulacji. Badania prowadzono na torfowisku niskim, zlokalizowanym w bezpośrednim sąsiedztwie gospodarstwa rolnego. Wyraźnie wyższa zawartość fosforu



Ryc. 2. Pionowe zróżnicowanie zawartości fosforu w profilu gleby torfowej Biesiadki

Fig. 2. Vertical distribution of phosphorus content in peat soil profile in Biesiadki

ogólnego występowała w powierzchniowych częściach profilu (ryc. 2). Ma to związek z jego lokalizacją w sąsiedztwie gospodarstwa, jak też usytuowaniem wśród pól uprawnych, z których następuje spływ powierzchniowy.

Analiza metali ciężkich

Działalność człowieka – w głównej mierze przemysłowa – prowadzi do wzrostu koncentracji metali ciężkich w środowisku, m. in. Cd, Cu, Pb, Zn. Analiza zróżnicowania ich zawartości w osadach i profilach glebowych, w powiązaniu z datowaniami C-14, umożliwia ocenę chronologii, wielkości i charakteru wpływu człowieka na środowisko. Zakres wykorzystania metali ciężkich jako wskaźników antropopresji jest bardzo szeroki. Źródłem skażenia metalami ciężkimi gleb i osadów jest przemysłowa działalność człowieka

(opad pyłów atmosferycznych, spływ ścieków), transport jak również rolnictwo (stosowanie nawozów mineralnych i środków ochrony roślin).

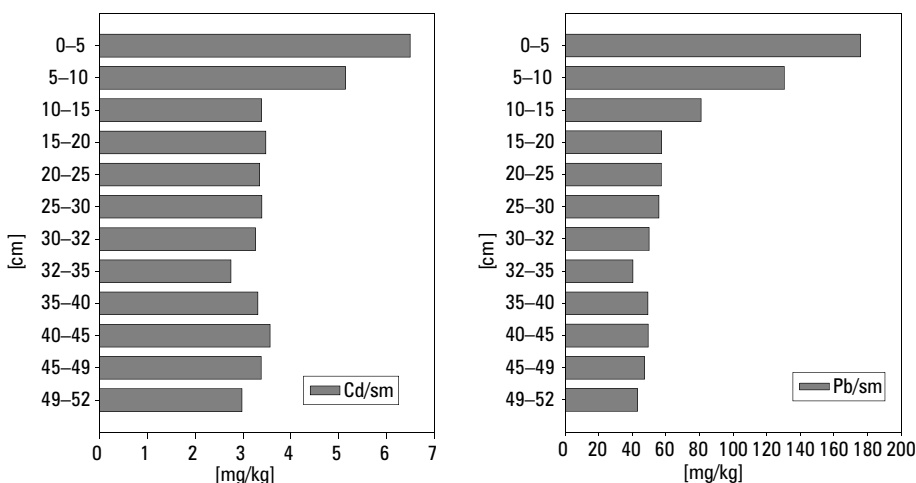
Analizy koncentracji metali ciężkich w glebach wykorzystywane są w badaniach archeologicznych. Wzbogacenie górnych poziomów glebowych w metale jest rezultatem aktywności osadniczej, starożytnego hutnictwa, hodowli zwierząt czy wreszcie procesów wypalania lasów (Aston i in. 1998, Bintliff i in. 1992). Stwierdzenie istotnego zaburzenia parametrów geochemicznych gleb, w sposób wyraźny odbiegających od naturalnego tła, może wskazywać na antropogeniczne źródło tych przemian. Badania koncentracji metali ciężkich mogą stanowić w tym przypadku metodę poszukiwania przestrzennego rozmieszczenia przeszłych form aktywności człowieka, bez konieczności prowadzenia kosztownych i pracochłonnych metod wykopaliskowych.

Badania nad koncentracją metali ciężkich w osadach, przede wszystkim rzecznych (aluwia), umożliwiają odtworzenie chronologii antropopresji na określonym obszarze (zlewni). Chemizm osadów rzecznych jest wypadkową procesów – m.in. aktywności człowieka – zachodzących w zlewni. Badania tego typu prowadzone mogą być zarówno na obszarach o udokumentowanej działalności przemysłowej, jak i na terenach o wyraźnie mniejszej presji na środowisko. W tym drugim przypadku wzbogacenie osadów w metale może być na przykład efektem przyspieszenia procesów denudacyjnych (Ciszewski 2001, Klimek 1996, Roguszcak 2003, Szwarczewski 1997). Analiza pionowego zróżnicowania koncentracji w profilach aluwialnych w powiązaniu z innymi metodami pozwala na odtworzenie chronologii procesów sedymentacyjnych.

Gleby torfowe, posiadające znaczną pojemność sorpcyjną, są szczególnie przydatne w badaniach antropopresji. Duże powinowactwo metali ciężkich z próchnicą sprzyja ich akumulacji w poziomach i glebach organicznych. Gleby te ze względu na bardzo duże zdolności adsorpcyjno-buforowe pełnią funkcję naturalnego filtra biologicznego. Dlatego też są dobrym wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi (Kosiński i in. 1994, Shotyk 1996, Miechówka i in. 2002, Nieminen i in. 2002). Gleby torfowe stanowią potencjalne archiwa zarówno do badań naturalnych zmian środowiska przyrodniczego jak i zmian spowodowanych działalnością człowieka.

Zagadnienie kumulacji metali ciężkich w glebach torfowych było przedmiotem wielu prac, zarówno w kontekście badania wpływów antropogenicznych, jak i odtwarzania historii zanieczyszczeń przedprzemysłowych (Espí i in. 1997, Perkins i in. 2000, Martínez Cortizas i in. 2002, Shotyk 2002).

Prowadzone badania koncentracji Pb i Cd dla gleby torfowych wskazują na występowanie różnic w stężeniu metali ciężkich w zależności od usytuowania torfowiska (Ziółek, Melke 2005). Znacząco wyższa zawartość ołowiu i kadmu w powierzchniowych częściach profilu torfowego Antonin wskazuje na bezpo-



Ryc. 3. Pionowe zróżnicowanie zawartości kadmu i ołowiu w profilu gleby torfowej Antonin

Fig. 3. Vertical distribution of cadmium and lead content in peat soil profile in Antonin

średni związek z jego położeniem w sąsiedztwie cementowni i drogi o znacznym nasileniu ruchu samochodowego (ryc. 3). Jest to bezpośredni zapis zanieczyszczeń środowiska związany z bliskim sąsiedztwem czynników antropogenicznych, opisywany przez wielu autorów (Kosiński i in. 1994, Perkins i in. 2000, Shotyk i in. 2000, Nieminen i in. 2002).

Literatura:

- Aston M.A., Martin M.H., Jackson A.W., 1998: *The use of heavy metal soil analysis for archeological surveying*. „Chemosphere”, vol. 37, no 3: 465–477.
- Bednarek R., Chudziak W., Gackowski J., Kwiatkowska A., Markiewicz M., Noryskiewicz A.M., Polcyn I., 2003: *Przekształcenia środowiska przyrodniczego pod wpływem działalności człowieka w świetle interdyscyplinarnych badań. FNP dla archeologii. Podsumowanie programów TRAKT i ARCHEO*, Lublin: 9–16.
- Bintliff J.L., Davies B., Gaffney C., Snodgrass A., Waters A., 1992: *Trace Metals Accumulations in Soils on and Around Ancient Settlement in Greece. Geoprospection in the Archeological Landscape*. „Oxbow Monographs”, 17: 9–24.
- Brzeziński W., Dulincz M., Kobyliński Z., 1983: *Zawartość fosforu w glebie jako wskaźnik dawnej działalności ludzkiej*. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 3: 277–297.
- Ciszewski D., 2001: *Flood-related changes in heavy metal concentrations within sediments of the Biała Przemsza River*. „Geomorphology” 40: 205–218.
- Campbell B. L., Loughran R. J., Elliot G. L., 1982: *Caesium-137 as an indicator of geomorphic processes in a drainage system*. „Australian Geographical Studies” 20: 49–64.

- Chełmicki W., Świąchowicz J., Mietelski W., Klimek M., 1995: *Naturalne czynniki przemieszczania izotopu Cs-137 w glebie na przykładzie stoku leśnego położonego na Pogórzu Karpackim*. Zeszyty Naukowe UJ MCLXII, „Prace Geograficzne” z. 100: 25–141.
- Espi E., Boutron C.F., Hong S., Pourchet M., Ferrari C., Shotyk W., Charlet L., 1997: *Changing concentrations of Cu, Zn, Cd and Pb in a high altitude peat bog from Bolivia during the past three centuries*. „Water, Air, Soil Pollution” 100: 289–296.
- Froehlich W., Walling D.E., 1991: *Badania procesów erozji i sedymentacji przy użyciu izotopu cezu 137*. Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, Conference Papers 14, Sesja Naukowa IGiPZ PAN 1991: 23–34.
- Froehlich W., Walling D.E., 1992: *The use of fallout radionuclides in investigations of erosion and sediment delivery in the polish flysch carpathians* [w:] *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountains Regions (Proceedings of the Chengdu Symposium)*, July 1992. IAHS Publ. no 209: 61–76.
- Gillieson D.S., Wallbrink P.J., Murray A.S., Cochrane J.A., 1996: *Estimates of Wind Erosion Risk and Rates using GIS Modelling and Caesium-137 on the Nullabor Plain karst, Australia* Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd. 105: 75–90.
- Harper R. J., Gilkes R. J., 1995: *Evaluation of the ¹³⁷Cs technique for estimating wind erosion losses for some sandy Western Australian soils*. „Australian Journal of Soil Research” 32: 1369–1387.
- Klimek K., 1996: *Aluwia Rudy jako wskaźnik 1000-letniej degradacji Płaskowyżu Rybnickiego* [w:] A. Kostrzewski (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. t. 2. Poznań: 155–166.
- Konecka-Betley K., Okołowicz M., 1998: *Phosphorus – an indicator of the man activity in Pleistocene*. „Roczniki Gleboznawcze”, XLIX, 1/2: 87–94.
- Kosiński K., Lipka K., Możdżeń M., 1994: *Contents of the heavy metals in peats (in Polish)*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 291, „Inżynieria Środowiska”, 15: 116–125.
- Lambert J.B., 1998: *Traces of the Past. Unraveling the Secrets of Archeology through Chemistry*. Perseus Publishing, Cambridge.
- Lomenick T.F., Tamura T., 1965: *Naturally occurring fixation of ¹³⁷Cs on sediments of lacustrine origin*. „Soil Science of America Proceedings”, 29(4): 383–387.
- Martinez Cortizas A.M., Garcia-Rodeja Gayoso E., Pontevedra Pombal X., Novoa Munoz J.C., Weiss D., Cheburkin A., 2002: *Atmospheric Pb deposition during the last 4,600 years recorded by two ombrotrophic peat bogs and implications for the use of peat as a geochemical archive*. „Sci. Total Environ.”, 292: 33–44.
- Miechówka A., Niemyska-Lukaszuk J., Gąsiorek M., 2002: *Content of Zn, Pb, Cd and Ni in peat-bog and fen soils in the Tatra National Park*. „Acta Agrophysica”, 67: 163–172.
- Nieminen T.M., Ukonmaanaho L., Shotyk W., 2002: *Enrichment of Cu, Ni, Zn, Pb and As in an ombrotrophic peat bog near a Cu-Ni Smelter in Southwest Finland*. „Sci. Total Environ.”, 292: 81–89.
- Perkins S.M., Filippelli G.M., Souch C.J., 2000: *Airborne trace metal contamination of wetland sediments at Indiana Dunes National Lakeshore*. „Water, Air, Soil Pollution”, 122: 231–260.
- Prusinkiewicz Z., Bednarek R., Koško A., Szymt M., 1998: *Paleopedological studies of the age and properties of illuvial bands at an archaeological site*. „Quaternary International” 51/52: 195–201.

- Roguszczak D., 2003: *Zapis działalności człowieka w chemizmie osadów wypełniających paleomeander Wieprzy* [w:] J. M. Waga, K. Kocel (red.), *Człowiek w środowisku przyrodniczym – zapis działalności*. Sosnowiec: 179–186.
- Rogowski A.S., Tamura T., 1965: *Movement of Cesium-137 by runoff, erosion and infiltration in the alluvial captina silt loam*. „Health Physics”, 11: 1333–1340.
- Schlezing D.R., 2000: *Organic phosphorus and elemental ratios as indicators of prehistoric human occupation*. „Journal of Archeological Science”, 27: 479–492.
- Shotyk W., 1996: *Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb, and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland*. „Water, Air, Soil Pollut.”, 90: 375–405.
- Shotyk W., 2002: *The chronology of anthropogenic, atmospheric Pb deposition records by peat cores in 3 minerotrophic peat deposits from Switzerland*. „Sci. Total Environ.”, 292: 19–31.
- Shotyk W., Blaser P., Grünig A., Cheburkin A.K., 2000: *A new approach for quantifying cumulative, anthropogenic, atmospheric lead deposition using peat cores from bogs: Pb in eight Swiss peat bog profiles*. „Sci. Total Environ.”, 249: 281–295.
- Smil V., 2000: *Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences*. „Annu Rev. Energy Environ.” 25: 53–88.
- Stach A., 1991: *Zastosowanie cezu-137 do datowania współczesnych osadów stokowych – podstawy metody i wstępne wyniki z Pojezierza Drawskiego. Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. „Geografia”, 50, Wydawnictwo Naukowe UAM: 551–561.
- Systematyka Gleb Polski*, 1989: „Roczniki Gleboznawcze”, XL, 3/4: 7–105.
- Szwarczewski P., 1997: *Metale ciężkie w różnowiekowych aluwiach Wisły okolic Torunia*. „Przegląd Geologiczny” 45, 12: 1286–1288.
- Tamura T., Jacobs D.G., 1960: *Structural implications in caesium sorption*. „Health Physics”, 2: 391–398.
- Walling D.E., He Q., 1997: *Use of fallout ¹³⁷Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains*. „Catena”, vol. 29, 3-4: 263–282.
- Wise S.M., 1980: *Cesium-137 and lead-210: a review of the techniques and some applications in geomorphology* [w:] Cullingford R.A., Davidson D.A. & Levin J. (Eds.), *Timescales in Geomorphology*: 110–127.
- Zgłobicki W., 2002a: *Dynamika współczesnych procesów denudacyjnych w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej*. Wydawnictwo UMCS, Lublin: 1–159.
- Zgłobicki W., 2002b: *Zmienność skażenia cezem-137 środowiska Polski południowo-wschodniej – badania w małej skali*. „Przegląd Geologiczny” 2: 135–138.
- Zgłobicki W., Reszka M., 2003 (wyd. 2004): *Próba zastosowania ¹³⁷Cs do oceny natężenia współczesnej erozji eolicznej na Płaskowyżu Kolbuszowskim* [w:] Lach J. (red.), *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji*. NFOŚiGW, AP Kraków: 284–290.
- Ziółek M., Melke J., 2005: *Heavy metals content in the soils developed from peats and exposed to various anthropopressure (Polesie Wołyńskie)* [w:] Zgłobicki W., Rejman J., (Eds.), *Human Impact on Sensitive Geosystems*. UMCS, Lublin: 157–165.