

Zastosowanie ^{137}Cs do modelowania procesów erozji i akumulacji w obrębie lessowej doliny użytkowanej rolniczo

Grzegorz J. Poręba*

Politechnika Śląska, Zakład Zastosowań Radioizotopów, ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice

Wprowadzenie

Duże walory użytkowe od dawna predestynowały gleby nalessowe do użytkowania rolniczego przy jednoczesnej dużej ich podatności na erozję wodną. Zagrożenie spłukiwaniem powierzchniowym gleb nalessowych jest określane jako średnie do dużego już dla nachyleń terenu rzędu kilku stopni, co w połączeniu z wykorzystaniem rolniczym powoduje, że erozja gleby może osiągać znaczne rozmiary. Do badania procesów erozji gleby i akumulacji osadów jest z powodzeniem stosowana metoda znacznikowa oparta na izotopie ^{137}Cs . (Ritchie, McHenry 1990). ^{137}Cs , który jest produktem rozszczepienia o czasie połowicznego zaniku równym 30,07(3) lat, dzięki swoim właściwościom chemicznym i fizycznym ^{137}Cs jest wartościowym narzędziem do badaniach procesów erozji i akumulacji gleb oraz akumulacji osadów jeziornych. Jedną z podstawowych właściwości ^{137}Cs , która umożliwia jego zastosowanie do badania erozji i akumulacji gleby, jest silna adsorpcja na powierzchni ziaren gleby. Po zaadsorbowaniu na powierzchni ziaren gleby ^{137}Cs może przemieszczać się w środowisku praktycznie tylko razem z tymi ziarnami, np. procesu erozji gleby. Podstawowym założeniem metody wykorzystującej pomiary aktywności ^{137}Cs w glebie do badania procesów erozji gleb jest założenie, że opad ^{137}Cs na powierzchnię był równomierny (Ritchie, McHenry 1990). W praktyce oznacza to, że obszarem badań może być pojedyncze pole, stok czy też mała zlewnia. Konieczna jest także znajomość lokalnej wartości opadu ^{137}Cs , czyli wartości odniesienia. Można ją otrzymać dwójako: przez bezpośrednie ciągłe pomiary opadu ^{137}Cs albo przez pomiar całkowitej zawartości ^{137}Cs w profilu glebowym w miejscu,

gdzie nie zachodzi erozja ani akumulacja gleby. Aby wyznaczyć ilościowo wielkość erozji gleby, należy ustalić zależność pomiędzy erozją gleby i depozycją osadów a ubytkiem lub nadwyżką zawartości ^{137}Cs na stanowisku pomiarowym (Ritchie, McHenry 1990, Walling, He 1999). Wśród zalet metody należy wymienić możliwość uzyskania zarówno wartości erozji gleby i akumulacji osadu, jak i przestrzennego rozkładu tych procesów. Uzyskanie wartości uśrednionej za ostatnie 50 lat nie wymaga przy tym prowadzenia długoterminowych pomiarów (Walling, He, Toy i in. 2002 1999). W przypadku tej pracy zastosowano pomiar aktywności ^{137}Cs w glebie do oceny dynamiki procesów erozji i akumulacji zachodzących w obrębie doliny lessowej użytkowanej rolniczo.

Opis miejsca badań i zastosowanej metody pomiarowej

Obszar badań stanowiła dolina lessowa użytkowana rolniczo zlokalizowana w okolicy miejscowości Ujazd (50°24' N, 18°24' E, 220–250 m n.p.m., 38 ha); leży w obrębie Kotliny Raciborskiej i wyróżnia się pagórkowatą, urozmaiconą powierzchnią. Główne cechy rzeźby omawianego terenu są efektem przedczwartorzędowej morfogenezy, natomiast zlodowacenia, które wystąpiły w okresie późniejszym, jak również postglacjalne procesy denudacji i akumulacji spowodowały jedynie niewielkie przemodelowanie (Ablamowicz, Śnieszko 2001). W obrębie Kotliny Raciborskiej lessy występują w okolicach Raciborza, a także zwartym płatem na północ od doliny Kłodnicy, pomiędzy Górą Świętej Anny a miejscowością Poniszowice. Wytypowany obszar został dość silnie

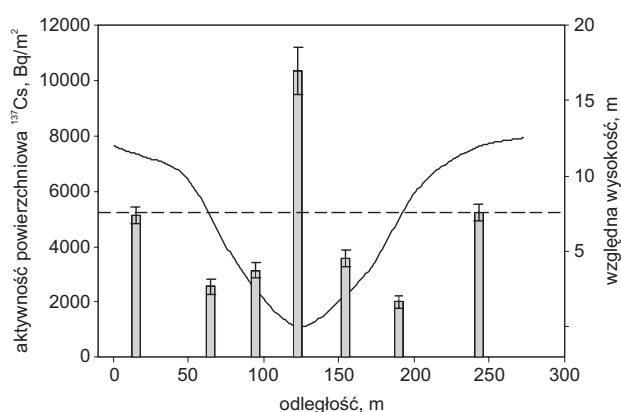
* e-mail: Grzegorz.Poreba@polsl.pl

skażony cezem pochodzącym z elektrowni atomowej w Czarnobylu (Poręba, Bluszcz 2007).

Pomiar aktywności ^{137}Cs w próbkach wykonywany był za pomocą półprzewodnikowego spektrometru promieniowania gamma z detektorem typu HPGe o wydajności 35% (limit detekcji – 0,5 Bq/kg, czas pomiaru – 80 ks). Otrzymane wartości aktywności korygowano ze względu na rozpad promieniotwórczy na dzień poboru, a wyniki przeliczono na całkowitą aktywność ^{137}Cs w profilu glebowym na jednostkę powierzchni ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$).

Rezultaty i dyskusja

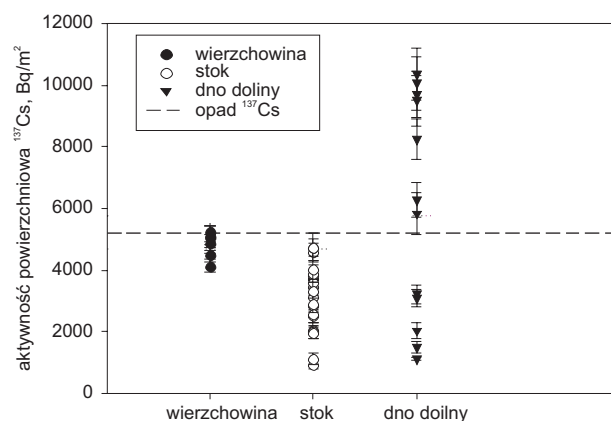
Na rycinie 1 zostały przedstawione zmierzone wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs dla jednego z przekrojów doliny, natomiast na rycinie 2 zamieszczono otrzymane wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs dla całej badanej doliny. Zawierają się one w przedziale od 0,95(16) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ do 10,36(84) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. W odniesieniu do wartości opadu ^{137}Cs dla stanowiska Ujazd, który wynosi 5230 Bq/m^2 (Poręba, Bluszcz 2007) wartości te stanowią odpowiednio 18,2% oraz 198,1%. W przypadku punktów pomiarowych zlokalizowanych w obrębie wierzchołków aktywność powierzchniowa ^{137}Cs w glebie jest bliska wartości opadu ^{137}Cs wyznaczonego dla okolic Ujazdu i zawierają się w przedziale od 4,13(21) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ do 5,24(31) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Wartość średnia jest równa 4,81 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$, a odchylenie standardowe wynosi 0,43 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Wartość aktywności powierzchniowej ^{137}Cs dla punktów poboru ułożonych na wierzchołku nie jest istotnie różna od wartości referencyjnej opadu ^{137}Cs na poziomie ufności 95%. Dla punktów pomiarowych zlokalizowanych w obrębie erodowanych części stoków aktywności powierzchniowe ^{137}Cs są generalnie mniejsze od wartości opadu ^{137}Cs i zawierają się w przedziale od 0,95(16) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ do 4,72(28) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$, a



Ryc. 1. Wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs dla przekroju doliny. Na wykresie zaznaczono także wartość opadu ^{137}Cs dla stanowiska Ujazd oraz profil przekroju doliny

wartość średnia aktywności powierzchniowej jest równa 3,16 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (z odchyleniem standardowym równym 1,08 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$). Na erodowanej części stoku występuje ciągle usuwanie gleby z wierzchniej warstwy (zawierającej ^{137}Cs), a jednocześnie, poprzez zabiegi agrotechniczne, gleby w warstwie ornej jest uzupełniana glebą z warstwy leżącej niżej i nie zawierającej ^{137}Cs . Dla niektórych punktów ułożonych na erodowanych stokach zmierzono stosunkowo duże wartości aktywności powierzchniowej, co może świadczyć, że zachodzi w nich akumulacja materiału glebowego wyerodowanego z wyższych partii stoku. Wynika to z faktu, że rozkład procesów erozji i akumulacji zachodzących w obrębie stoku zależy, oprócz nachylenia i długości, także od kształtu stoku. Dla miejsc poboru zlokalizowanych w dnie doliny wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs wykazują duży rozrzut: od nieco ponad 20% opadu odniesienia ^{137}Cs do prawie 200%, co odpowiada wartościom aktywności powierzchniowej ^{137}Cs odpowiednio 1,12(31) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ i 10,36(84) $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Wartość średnia jest równa 5,9 kBq/m^2 , a odchylenie standardowe 3,6 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Tak duża rozpiętość wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs dla punktów pomiarowych zlokalizowanych w obrębie dna doliny, jak również otrzymane duże wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs sugerują duże natężenie i dynamikę transportu materiału glebowego zachodzącego wzdłuż dna doliny.

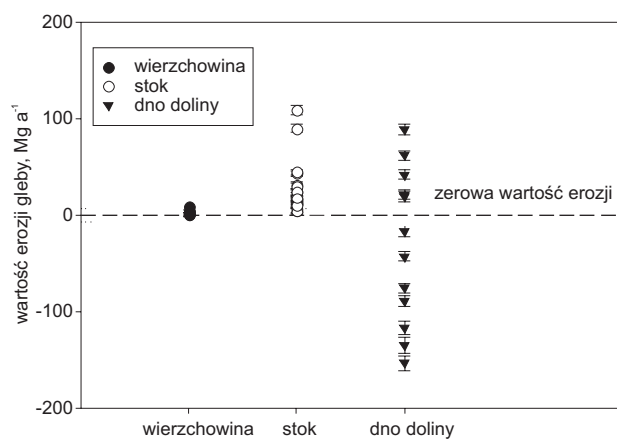
Wyliczony współczynnik korelacji pomiędzy aktywnością powierzchniową ^{137}Cs a nachyleniem stoków wynosi 0,885 i jest istotny na poziomie ufności 95%. Natomiast współczynnik korelacji pomiędzy aktywnością powierzchniową ^{137}Cs a długością stoku jest dość mały, równy 0,357, i nie jest istotny dla poziomu ufności 95%. Współczynnik korelacji ulega zwiększeniu do 0,614 (jest istotny na poziomie ufności 95%) po usunięciu z analizy stanowisk zlokalizowanych bezpośrednio nad dnem doliny. Dno doliny jest tutaj szersze i prawdopodobnie brzegi są także



Ryc. 2. Wartości aktywności powierzchniowej ^{137}Cs w zależności od lokalizacji. Na wykresie zaznaczono również wartość opadu ^{137}Cs dla stanowiska „Ujazd dolina” i jego niepewność

miejszem akumulacji, a nanoszona gleba jest usuwana tylko ze środkowej części. Zgodnie ze schematem poboru próbek oraz morfologią terenu przeanalizowano rozkład aktywności powierzchniowych ^{137}Cs w obrębie doliny. Całkowita aktywność ^{137}Cs w opadzie na powierzchni rozpatrywanej doliny jest równa 1,99(20) MBq, przy czym całkowita aktywność ^{137}Cs pozostającego w obrębie doliny wynosi 1,35(11) MBq, natomiast całkowita aktywność ^{137}Cs wyniesionego poza obręb doliny jest równa 0,64(11) MBq. Oznacza to, że 32% ^{137}Cs , które dotarło w postaci opadu do powierzchni terenu, zostało wyniesione poza obręb doliny, a pozostało 68%.

Na rycinie 3 zaprezentowano rezultaty obliczeń natężenia erozji gleby za pomocą modelu typu bilansu masy w wersji ulepszonej (Walling, He 1999). W obrębie wierzchowin natężenie erozji gleby jest niewielkie. Dość skomplikowana sytuacja występuje w dnie doliny, gdzie bilans procesów erozji i akumulacji jest zmienny, od silnej przewagi procesów erozji gleby, poprzez miejsca, gdzie procesy erozji i akumulacji są zrównoważone, do miejsc z silną przewagą procesów akumulacji osadów. Wyrażając natężenie erozji gleby i akumulacji osadów jako ubytek lub nadbudowę gleby w mm/a, można wyliczyć, że dla erodowanych części stoków średnia szybkość ubytku jest równa 2,0 mm/a z odchyleniem standardowym 2,0 mm/a. Natężenie erozji gleby zawarte w przedziale od 0,2 mm/a do 8,1 mm/a. Dla punktów pomiarowych ułożonych w dnie doliny średnia szybkość ubytku gleby jest równa 0,3 mm/a z odchyleniem standardowym 4,3 mm/a. W przypadku dna doliny rozpiętość natężenia procesów erozji i akumulacji waha się od ubytku równego 7,0 mm/a do akumulacji ponad 11,0 mm/a. Dla wierzchowin natężenie procesów spłukiwania jest niewielkie, a średnia szybkość ubytku gleby jest równa 0,2 mm/a z odchyleniem standardowym 0,2 mm/a. Po wykluczeniu z uśredniania dwóch punktów pomiarowych, które są ułożone na stoku prawdopodobnie w erodowanym miej-



Ryc. 3. Rozkład natężenia procesów erozji gleby i akumulacji osadów w zależności od lokalizacji stanowiska w obrębie doliny

scu stoku, średnia przyjmuje wartość 0,1 mm/a z odchyleniem standardowym równym 0,1 mm/a.

Wyliczając bilans transportowanego materiału glebowego w obrębie doliny, można stwierdzić, że około 840 ton na rok materiału glebowego jest uruchamianego w ramach zlewni, a około 510 ton rocznie uruchomionego materiału glebowego jest wynieszone poza nią. Otrzymane globalne wartości erozji zachodzącej w zlewni przeliczono na wartość szybkości utraty gleby z warstwy ornej w milimetrach na rok, co daje średnio w przybliżeniu 1,7 mm/a, z czego około 1,0 mm/a jest ze zlewni usuwane, a około 0,7 mm warstwy gleby rocznie jest deponowane w strefach akumulacji w dolnej części doliny aż do jej wyłotu. Przeliczając tę ostatnią wartość na grubość warstwy, jaka jest deponowana w strefach akumulacji osadów, otrzymujemy średnią szybkość nadbudowy rzędu 10–12 mm/a, co oznacza, że w ciągu ostatnich 50 lat, miąższość warstwy gleby znaczonej ^{137}Cs może sięgać nawet 1 m (uwzględniając coroczne mechaniczne mieszanie gleby na skutek orki). Rezultaty pomiarów aktywności ^{137}Cs w profilach glebowych pobranych w dolnej części dna doliny potwierdzają te kalkulacje bilansowe transportu materiału glebowego dla całej doliny.

Podsumowanie

Zastosowano metodę pomiaru aktywności ^{137}Cs w glebie do zbadania natężenia i rozkładu procesów erozji i akumulacji zachodzących w obrębie doliny lessowej użytkowanej rolniczo. W obrębie wierzchowiny erozja gleby jest praktycznie zerowa, natomiast dla erodowanej części stoku wyznaczono wartości erozji w przedziale 0,2–8,1 mm/a. Dla miejsc poboru ułożonych w dnie doliny zanotowano zarówno znacznie nasiloną erozję, jak i akumulację materiału glebowego oraz miejsca, gdzie zachodzi transportacja materiału glebowego. Wzdłuż całego dna doliny występuje transport materiału glebowego o dużym natężeniu i chociaż lokalnie można też obserwować znaczną akumulację, to około 60% uruchomionego w obrębie doliny materiału glebowego jest poza nią wynieszone a około 40% pozostaje w dnie doliny.

Literatura

- Abłamowicz D., Śnieszko Z. 2001. Osadnictwo kultur rolniczych w dorzeczu środkowej Kłodnicy a atrakcyjność krajobrazu. Sprawozdania Archeologiczne, 53: 35–83.
- Poręba G., Bluszcz A. 2007. Determination of the initial ^{137}Cs fallout on the areas contaminated by Chernobyl fallout. Geochronometria, 26: 35–48.

Ritchie J.C., McHenry J.R. 1990. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *Journal of Environmental Quality*, 19: 215–233.

Toy T.J., Foster G.R., Renard K.G. 2002. *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*. John Wiley & Sons, Inc., New York, s. 338.

Walling D.E., He Q. 1999. Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *Journal of Environmental Quality*, 28: 611–622.