

Prof. dr hab. Inż. Tomasz Goslar  
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Poznań, 05.02.2024

Recenzja pracy doktorskiej mgr Ilony Sekudewicz pt. „Migracja i rozmieszczenie izotopów promieniotwórczych w ekosystemach jeziornych jako wskaźniki procesów sedymentacyjnych”

Przedstawiona do recenzji praca doktorska jest poświęcona badaniom mechanizmów decydujących o rozmieszczeniu i migracji radioizotopu  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dwóch jezior zaporowych – Jez. Turawskiego na Opolszczyźnie i Jez. Koronowskiego (woj. Kujawsko-Pomorskie) oraz jeziora ŁK-61 powstałego po likwidacji kopalni węgla brunatnego na Dolnym Śląsku, a w przypadku osadów tego ostatniego – również mechanizmów decydujących o rozmieszczeniu w nich radioaktywnego izotopu  $^{210}\text{Po}$ .

Klasycznym zastosowaniem izotopu  $^{137}\text{Cs}$  w badaniach osadów jeziornych jest wykorzystanie go jako markera chronologicznego, gdyż jest to izotop antropogeniczny, w środowisku pojawił się dopiero jako produkt użycia broni jądrowej, a szczególnie wielka ilość tego izotopu dostała się do atmosfery wskutek katastrofy w Czernobylu w 1986 r. i w ciągu kilku tygodni została zdeponowana na znacznym obszarze Europy, w tym również w osadach jeziornych. Dzięki temu, notowane w profilach osadów wybitne maksimum stężenia tego izotopu jest znacznikiem roku 1986.

Izotop  $^{210}\text{Po}$  z kolei, istnieje w przyrodzie jako element uranowego szeregu promieniotwórczego, pozostając w ścisłej równowadze promieniotwórczej z izotopem  $^{210}\text{Pb}$ . W osadach,  $^{210}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Pb}$  występują w przybliżonej równowadze promieniotwórczej z potomnym względem uranu izotopem  $^{226}\text{Ra}$ . Poważne zaburzenie tej równowagi ma tę przyczynę, że potomny względem  $^{226}\text{Ra}$  krótkożycki izotop  $^{222}\text{Rn}$  jest gazem, który w pewnym stopniu emanuje do atmosfery, i powstające zeń w krótkim czasie atomy izotopu  $^{210}\text{Pb}$  (o okresie połowicznego rozpadu ok. 22 lat) opadają na powierzchnię Ziemi, a po zdeponowaniu w osadzie ich ilość maleje zgodnie z prawem rozpadu promieniotwórczego. Tak więc badanie profilu stężenia  $^{210}\text{Pb}$  w osadzie jeziornym (co w praktyce sprowadza się do pomiarów stężeń  $^{210}\text{Po}$ ) jest klasyczną metodą datowania osadów nie starszych niż sto kilkadziesiąt lat.

Klasyczne wykorzystanie pomiarów  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{210}\text{Po}$  w badaniu osadów jeziornych jest możliwe jeśli depozycja tych izotopów w jakimś miejscu osadu nie jest zaburzona np. wskutek ich migracji w ekosystemie lub jest zaburzona w co najwyżej niewielkim stopniu. I swą pracę doktorską autorka poświęciła szczegółowym badaniom tego typu zaburzeń. Jako obszar badań wybrano trzy jeziora o zdecydowanie różnych cechach fizycznych i chemicznych (dwa jeziora zaporowe: oba stosunkowo młode, z początkowo nieustabilizowanymi warunkami hydrologicznymi w zlewni, a z drugiej strony

ga

zdecydowanie różniące się morfometrią i położone w rejonach o zdecydowanie różnym poziomie skażenia radioizotopami cezu, oraz młode jezioro pokopalniane z wodą o wysokiej kwasności, która jednorazowo została wybitnie zaburzona wskutek wezbrania Nysy Łużyckiej w lecie 2010 r.). I, w mojej ocenie, był to wybór znakomity, gdyż pozwolił pokazać jak bardzo różne mogą być mechanizmy badanych zaburzeń.

W szczególności, na całym obszarze Jez. Turawskiego (na podstawie analizy próbek z 45 punktów) stwierdzono obecność znacznych ilości  $^{137}\text{Cs}$  w tworzących się współcześnie osadach powierzchniowych (0-3 cm głębokości), co najprawdopodobniej dowodzi dalszej dostawy tego izotopu z brzegów i ze zlewni jeziora (m.in. za pośrednictwem rzeki Libawa). Z drugiej zaś strony, w tychże osadach udokumentowano wielkie zróżnicowanie stężenia  $^{137}\text{Cs}$  między strefą litoralną a profundalną, bez wątpliwości dowodząc wybitnie preferencyjnego gromadzenia się radiocezu w tej ostatniej. Dodatkowe analizy (m.in. uziarnienia osadów, zawartości materii organicznej oraz radioaktywności izotopu  $^{40}\text{K}$ ) pozwoliły na stwierdzenie, że ma ono związek z preferencyjną sorpcją cezu na ziarnach minerałów ilastych, które w wodzie jeziornej są transportowane dalej od strefy litoralnej i osadzają się głównie bliżej zapory.

Przebadanie 4 rdzeni osadów, w tym dwóch ze strefy litoralnej (rdzeń TO 43 o długości 20 cm oraz rdzeń TO 0.5 o długości 7 cm), jednego ze strefy przejściowej (TO 19, dług. 24 cm) oraz jednego ze strefy profundalnej (TO 0.0, dług. 34 cm) pokazało, że pionowe rozkłady radiocezu w strefie litoralnej są silnie zaburzone (np. wskutek falowania, wahań poziomu wód i wynikającej z nich redystrybucji, zwłaszcza drobnoziarnistej, frakcji osadu), a niezaburzona (czy też: najmniej zaburzona) akumulacja zachodzi w strefie profundalnej, w której w profilu osadów występuje wyraźny i bardzo wysoki pik aktywności  $^{137}\text{Cs}$  (ponad  $1500 \text{ Bq kg}^{-1}$ ), bez wątpliwości związany z opadem atmosferycznym po czernobylskiej katastrofie w 1986 r.). Identyfikacja zaś tego piku pokazała wysokie tempo sedymentacji w tej części jeziora (ok.  $1 \text{ cm rok}^{-1}$ ) co można wiązać m.in. ze spiętrzeniem wody przez zaporę.

Osady powierzchniowe Jez. Koronowskiego (utworzonego po zbudowaniu tamy w 1961 r.) również wykazują obecność  $^{137}\text{Cs}$  na całym badanym obszarze (20 punktów poboru próbek), jednak w stężeniach wyraźnie mniejszych niż w Jez. Turawskim, którego region był doświadczony szczególnie dużym opadem radioaktywnym po czernobylskiej awarii. Radiocez obecny w najmłodszych osadach Jez. Koronowskiego jest niewątpliwie наносzony przez rzekę Brda lub wymywany z brzegów oraz ze zlewni jeziora i – podobnie jak w Jez. Turawskim - związany jest z drobnoziarnistą frakcją osadu. Akumulacja frakcji drobnoziarnistej jest tu największa wzdłuż dawnego koryta rzeki Brdy, nie wykazując przy tym wyraźnego maksimum w pobliżu zapory. Odmiennie niż w osadach Jez. Turawskiego, stężenie  $^{137}\text{Cs}$  jest tu ujemnie skorelowane ze stężeniem  $^{40}\text{K}$ , gdyż – jak pokazała doktorantka - potas w osadach

Jez. Koronowskiego obecny jest głównie w skałeniach potasowych, wchodzących tu w skład frakcji gruboziarnistej.

Bardzo ciekawe wyniki dało zbadanie profili aktywności  $^{137}\text{Cs}$  w dwóch rdzeniach osadów: P1 z północnej części jeziora i P2 z miejsca bliskiego zapory (oba rdzenie o długości ok. 30 cm). Mianowicie, szerokie maksimum aktywności  $^{137}\text{Cs}$  między 27-20 cm w rdzeniu P1, skorelowane z maksimum aktywności  $^{40}\text{K}$  i następujące po wyraźnym zmniejszeniu stosunku C/N w osadzie, sugerującym zmianę źródła dostawy materii organicznej z allochtonicznej na autochtoniczną, zinterpretowano jako skutek wzmożonego napływu zanieczyszczonego radiocezem materiału ze zlewni jeziora, erodowanej po zbudowaniu zapory wodnej. Według tej interpretacji,  $^{137}\text{Cs}$  w tym maksimum pochodzić musi sprzed awarii w Czernobylu, a więc jego źródłem są próby broni jądrowej, mające apogeum w pierwszej połowie lat sześćdziesiątych XX wieku. Nie mam pewności, czy jest to interpretacja właściwa, zwłaszcza że – jeśli rdzeń obejmuje ostatnich ponad 60 lat – nie bardzo wiadomo dlaczego nie jest w nim zaznaczony pik  $^{137}\text{Cs}$  pochodzącego z Czernobyla. W profilu aktywności  $^{137}\text{Cs}$  w rdzeniu P2 natomiast, maksimum w najgłębszej próbce (ok. 27 cm głębokości), po którym następuje spadek na odcinku do ok. 22 cm, zinterpretowano jako efekt czernobylski. Według tej interpretacji, tempa akumulacji osadów rdzeni P1 i P2 różnią się na tyle, że rdzeń P1 obejmuje ok. 60 lat, zaś rdzeń P2 – niecałe 40 lat, i ten ostatni nie obejmuje całego profilu osadu jeziornego. Można ubolewać, że rdzeń pobrany w punkcie P2 nie był dłuższy (i nie objął wznoszącej części czernobylskiego maksimum  $^{137}\text{Cs}$ ), ale można też zrozumieć, że pobierając rdzeń sondą o określonej długości nie sposób było przewidzieć, jaki okres czasu będą reprezentować pobrane osady.

W jeziorze ŁK-61, powstałym w wyrobisku kopalni węgla brunatnego w latach 70-tych XX wieku,  $^{137}\text{Cs}$  jest również obecny w osadach powierzchniowych (choć z stężeniem kilkadziesiąt razy niższym niż w Jez. Turawskim) i jest związany głównie z minerałami ilastymi dostarczanymi ze zlewni jeziora. Również ze zlewni, oprócz  $^{210}\text{Pb}$  deponowanego do jeziora bezpośrednio z atmosfery, może pochodzić część tego izotopu obecnego w osadach ww. jeziora. I nie ma wątpliwości, że wybitne maksima aktywności obu tych izotopów w osadach z głębokości między 8-10 cm, są spowodowane drastycznym wzrostem tego dopływu, związanym z waniem się powodziowych wód Nysy Łużyckiej w lecie 2010 r. Pokazanych przez doktorantkę dowodów na poparcie takiej interpretacji jest aż nadto, m.in. równoległy drastyczny wzrost pH wody jeziornej, wzrosty stężeń wielu metali (np. Mn, Mg, Ni, Pb, Cu) zrozumiałe jako skutek nagłego zmniejszenia ich rozpuszczalności w wodzie, oraz wysoki w tym fragmencie osadu stosunek C/N wskazujący na znaczącą obecność materii organicznej pochodzenia allochtonicznego. Tak więc można być pewnym, że klasyczne zastosowanie badań  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{210}\text{Po}$ , również w przypadku jeziora ŁK-61 nie wchodzi w grę, zaś maksima aktywności tych radioizotopów są po prostu markerami zdarzenia powodziowego z roku 2010.

Przedstawione w pracy doktorskiej wyniki badań, zostały opublikowane w trzech artykułach naukowych, w których doktorantka jest pierwszym autorem i ma większość udziału w opracowaniu koncepcji, wykonaniu analiz i interpretacji ich wyników. Artykuły dotyczące jezior zaporowych opublikowano w roku 2022 w czasopismach o średniej randze („Environmental Science and Pollution Research” oraz „Journal of Soils and Sediments” oba mające po 100 pkt według najnowszego ministerialnego wykazu czasopism naukowych) i - według Web of Science – jak dotąd doczekały się one odpowiednio trzech i dwóch cytowań). Artykuł dotyczący jeziora ŁK-61 opublikowano natomiast w czasopiśmie najwyższej rangi („Science of Total Environment” – 200 pkt) i jestem niemal pewien, że artykuł ten będzie znacznie szerzej cytowany niż dwa poprzednie.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska składa się właśnie z trzech ww. artykułów, poprzedzonych wstępem, streszczeniami artykułów w aspekcie dotyczącym badań  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{210}\text{Po}$ , podsumowaniem, wykazem literatury (110 pozycji) oraz prezentacją udziałów współautorów w opublikowanych artykułach, zajmującymi łącznie 39 stron tekstu. Całość stanowi spójne studium uwarunkowań zaburzających klasyczne zastosowanie  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{210}\text{Po}$  w badaniu osadów jeziornych, dając szeroki, a mimo to jasny, przegląd mechanizmów migracji izotopów w tych ekosystemach.

Praca jest napisana poprawną polszczyzną i, w mojej ocenie, niemal bezbłędnie. Pojedyncze błędy dostrzeżone przeze mnie w części wstępnej mają charakter literówek (np. na str. 10 „...zdarzeń dyspozycyjnych” zamiast „...zdarzeń depozycyjnych”, na str. 15: zamiast „Jez. Korowskiego” winno być „Jez. Koronowskiego”) oraz drobnych błędów językowych (np. na str. 30: zamiast „... hipotezę tą” winno być „...hipotezę tę”, zamiast „Nie wykluczone...” winno być „Niewykluczone...”). Z artykułów już opublikowanych, moje zastrzeżenie wzbudził Fig. 6 artykułu o Jez. Turawskim, na którym radioaktywności  $^{137}\text{Cs}$  przedstawiono równoległe dwoma wykresami, w jednostkach „Bekerele na kilogram” i „Bekerele na metr kwadratowy”, podczas gdy wartości na drugim wykresie przedstawiają radioaktywność w Bekerelach na jednostkę objętości (a nie powierzchni), która w tym przypadku odpowiada metrowi kwadratowemu razy miąższość próbki (czyli 1 cm).

Za dodatkowy mankament pracy uważam przedstawienie, w części wstępnej, szczegółów wszystkich metod analitycznych zastosowanych w opublikowanych już badaniach, podczas gdy kilka rodzajów analiz (niedotyczących, rzecz jasna, izotopów  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{210}\text{Po}$ ) było wykonanych przez współautorów publikacji. Mam wrażenie, że przedstawienie metod mogło się ograniczyć do tych zastosowanych przez samą doktorantkę. Ale wyszczególnienie udziału wszystkich współautorów zostało w pracy uczciwie zamieszczone i wzmiankowany mankament nie ma większego znaczenia dla mej oceny całości.

Reasumując, oceniam pracę bardzo wysoko. Zgodnie z przepisami zawartymi w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.), stwierdzam,

że przedstawiona mi do recenzji rozprawa spełnia wszystkie kryteria stawiane pracom doktorskim, wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr Ilony Sekudewicz do dalszych etapów postępowania doktorskiego, oraz wnioskuję o nadanie jej stopnia doktora z wyróżnieniem.

Tomasz Goch

