

Autoreferat

1. *Imię i nazwisko.* Barbara Fiałkiewicz-Koziół

2. *Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej*

2010 – Stopień doktora nauk biologicznych uzyskany na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach na podstawie rozprawy doktorskiej pt.: Dynamika zmian zanieczyszczenia metalami ciężkimi na przykładzie wybranych torfowisk wysokich Kotliny Orawsko-Nowotarskiej.

2005 – Dyplom magistra biologii na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach o specjalności: Biologia ogólna i eksperymentalna na podstawie pracy magisterskiej wykonanej w Katedrze Botaniki Systematycznej pt.: Zmienność morfologiczna populacji naturalnych *Cardaminopsis halleri* na Wyżynie Śląskiej.

3. *Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych*

Od 1.10. 2010 roku do chwili obecnej – zatrudnienie na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, w tym:

2010-2020 – adiunkt w Zakładzie Biogeografii i Paleoekologii

2020-do chwili obecnej – adiunkt w Pracowni Biogeochemii

4. *Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).*

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego:

Geochemiczny zapis działalności człowieka w wybranych osadach torfowych Eurazji jako narzędzie do wyznaczenia dolnej granicy antropocenu

4.2 Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego jest spójny cykl czterech publikacji naukowych, opublikowanych po nadaniu stopnia doktora. Artykuły zostały wydane w czasopismach znajdujących się na liście Journal Citation Reports (JCR).

- A. Fiałkiewicz-Kozieł B., Smieja-Król B., Frontasyeva M., Słowiński M., Marcisz K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Jassey V.E.J., Kaliszan K., Laggoun-Defarge F., Kołaczek P., Lamentowicz M., 2016. Anthropogenic and natural sources of dust in peatland during the Anthropocene. *Scientific Reports* 6, 38731, doi: 10.1038/srep38731. (2016-40pkt; obecnie140 pkt; 27 cyt.)**

Materiał badawczy pochodził z torfowiska *Mukhrino* (Syberia) i został pobrany w ramach projektu *Functioning of Siberian mire ecosystems and their response to climate changes (CliMireSiber)*, kierowanego przez dr Fatimę Laggoun-Defarge (Université d'Orléans). Na wstępnym etapie projektu mój wkład ograniczał się do opracowania wzorców tempa akumulacji węgla w torfowisku. Projekt nie obejmował analiz geochemicznych. Jednak w trakcie analiz postawiłam hipotezę, że w badanym torfie może znajdować się zapis zdarzenia zwanego katastrofą tunguską, jak również zdarzeń związanych z aktywnością człowieka. W tym celu w ramach pozyskanych przeze mnie środków finansowych dr hab. Piotr Kołaczek opracował wysokorozdzielcze modelowania wieku dla badanego monolitu torfowego. Ponadto, na podstawie oznaczeń wykonanych przez prof. Marinę Frontasyevą (JINR), dokonałam wszystkich obliczeń geochemicznych (współczynników wzbogacenia oraz tempa akumulacji) i interpretacji czasowych zmian w akumulacji pierwiastków śladowych oraz pierwiastków ziem rzadkich. Interpretowałam zmiany w stosunkach izotopowych Sr i Nd w kontekście dostawy pyłów do badanego torfowiska. Zaproponowałam użycie glinokrzemianowych mikrosfer (*spheroidal aluminosilicates* - SAP), stanowiących technogeniczną, amorficzną frakcję mineralną analizowanych prób torfu w profilu *Mukhrino* jako markeru antropocenu. Na podstawie powyższych danych geochemicznych przygotowałam pierwotną wersję manuskryptu. Współtworzyłam ryciny 1, 2 i 3 wchodzące w skład artykułu. Byłam także autorem korespondencyjnym odpowiedzialnym za kontakt z recenzentami oraz redakcją czasopisma. Oświadczenia pozostałych współautorów znajdują się w załączeniu.

- B. Fiałkiewicz-Kozieł B., Łokas E., Galka M., Kołaczek P., De Vleeschouwer F., Le Roux G., Smieja-Król B., 2020. Influence of transboundary transport of trace elements on**

mountain peat geochemistry (Sudetes, Central Europe). *Quaternary Science Reviews* 230, 106162, doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106162. (100 pkt, 15 cyt.)

Mój wkład obejmował cały proces badawczy począwszy od opracowania koncepcji projektu, sformułowania hipotez badawczych oraz pozyskania finansowania w formie projektu Sonata 1 p.t. *Depozycja metali ciężkich i zmiany paleośrodowiskowe w wybranych torfowiskach z południowo-zachodniej Polski*. Po uzyskaniu finansowania koordynowałam prace terenowe związane z poborem profili torfowych z torfowiska *Na równi pod Śnieżką* w czerwcu 2012 i ich opróbowanie. Wykonywałam też ekstrakcję pierwiastków śladowych oraz pierwiastków ziem rzadkich do analiz techniką ICP-MS. Pomiar był wykonany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM oraz w ECO-LAB, Toulouse. Byłam głównym i korespondencyjnym autorem publikacji. Mój udział w w/w artykule obejmował opracowanie i interpretację wyników analiz koncentracji pierwiastków śladowych oraz ziem rzadkich, stosunków izotopowych Pb oraz zawartości glinokrzemianowych mikrosfer ze spalania węgla w kontekście obserwowanych źródeł zanieczyszczeń, a także przygotowanie pierwszej wersji manuskryptu wraz z rycinami. Oświadczenia pozostałych autorów znajdują się w załączeniu.

C. Fiałkiewicz-Kozieł B., Bao K., Smieja-Król B., 2022. Geographical drivers of geochemical and mineralogical evolution of Motianling peatland (Northeast China) exposed to different sources of rare earth elements and Pb, Nd, and Sr isotopes. *Sci. Total Environ.* 807, 150481. (200 pkt, 4 cyt.)

Badania będące podstawą artykułu przeprowadzono w ramach projektu NCN p.t. *Depozycja wybranych markerów mineralnych i geochemicznych w torfowiskach północnej hemisfery jako narzędzie do określenia cezury czasowej antropocenu*, którego jestem kierownikiem. Materiał badawczy w postaci profilu torfowego pochodził z torfowiska *Montianling* w Chinach i został pobrany i udostępniony do badań przez prof. Kunshian Bao. Mój wkład obejmował cały proces pisania artykułu od postawienia hipotezy po wykonanie analiz geochemicznych próbek torfu obejmujących pierwiastki ziem rzadkich oraz izotopy Sr, Nd. Dokonałam także całościowego opracowania i interpretacji danych (również izotopów ołowiu, mierzonych przez K. Bao) i samodzielnie przygotowałam manuskrypt oraz koordynowałam proces publikacyjny. W opracowaniu graficznym Figury 1 korzystałam z technicznej pomocy dra hab. Jarosława Jasiewicza (IGiG UAM). Oświadczenia pozostałych autorów znajdują się w załączeniu.

D. Fiałkiewicz-Kozieł B., Łokas E., Smieja-Król B., Turner S.D., De Vleeschouwer F., Woszczyk M., Marcisz K., Gałka M., Lamentowicz M., Kołaczek P., Hajdas I., Karpińska-Kołaczek M., Koltonik K., Mróz T., Roberts S.L., Rose N.L., Krzykawski T., Boom A., Yang H. (2022, in press). The Śnieżka peatland as a candidate for the Global Boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series. *The Anthropocene Review*, doi.org/10.1177/20530196221136425 (200 pkt, 0 cyt.)

Artykuł jest syntezą moich wcześniejszych badań na torfowisku *Na Równi pod Śnieżką* poszerzoną o kilka dodatkowych wskaźników i przygotowaną dla potrzeb dokumentacji kandydackiego stanowiska reperowego antropocenu. Syntetyczny charakter pracy i wielość zastosowanych wskaźników geochemicznych i paleoekologicznych uzasadnia rozbudowany skład autorski tej publikacji. Mój wkład był wiodący i obejmował cały proces badawczy od etapu koncepcyjnego, poprzez prace terenowe i określenie właściwości fizycznych, całościową interpretację danych w kontekście wyznaczenia dolnej granicy proponowanej epoki, aż po przygotowanie manuskryptu, koordynację prac wszystkich współautorów oraz kontakt z czasopismem. Ponadto sporządziłam zestawienia tabelaryczne oraz współtworzyłam ryciny 1, 3, 5, 6, 7, 8, a samodzielnie wykonałam ryciny 2 i 4. Oświadczenia współautorów znajdują się w załączeniu.

4.3 Omówienie celu naukowego i wyników wyżej wymienionych prac

Działalność człowieka w sposób znaczący przekształciła środowisko przyrodnicze i wpłynęła na wszystkie jego składowe: biosferę, atmosferę, hydrosferę, litosferę i pedosferę. Istotnym przejawem antropopresji jest wprowadzenie do obiegu geochemicznego cząstek oraz substancji, które w warunkach naturalnych nie występują, takich jak mikrosfery ze spalania węgla, mikroplastik czy węglowodory aromatyczne (Rose, 2015; Waters i in., 2016; Gałuszka i Wagreich, 2019; Gałuszka i in., 2020), a także spadek bioróżnorodności (Rockström i in., 2009; Waters i in., 2018) oraz tworzenie się nowych ekotypów roślin i zwierząt (np. Słomka i in., 2014; Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2015; Huuskonen i in., 2017). Zmiany te są na tyle istotne, że podjęto dyskusję o wydzieleniu nowej jednostki stratygraficznej w randze epoki – antropocenu, istotnie różniącego się od holocenu. Dyskusja na temat zasadności i kryteriów wydzielenia antropocenu jest wciąż otwarta. W przypadku prezentowanego autoreferatu przyjęto definicję antropocenu jako proponowanej nowej epoki geologicznej na podstawie pojęcia stworzonego przez laureata Nagrody Nobla z dziedziny chemii (1995 r.) Paula Crutzena

(Crutzen i Stroemer, 2000), którą rozumie się za Watersem i innymi (2022) jako globalnie identyfikowany zbiór wskaźników antropogenicznych o odmiennej trajektorii w stosunku do holocenu, których początek datuje się na lata 50. XX w. Stratygrafia zdarzeń została zaproponowana jako istotne narzędzie służące do wydzielenia dolnej granicy antropocenu (Waters i in., 2022). W swej pracy wskazuje trzy typy markerów zdarzeń różniących się czasem pojawienia w zapisie stratygraficznym.

Pierwszy typ jest identyfikowany w środowisku od wielu tysięcy lat, jak np. wzrost zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze czy wzrost akumulacji pierwiastków związanych z działalnością industrialną (np. w epoce żelaza; Osterberg i in., 2008). Jednak mimo obserwowanego wzrostu tempa akumulacji Pb, Cu czy Zn od kilkuset, a na niektórych obszarach nawet kilku tysięcy lat, zmiany zawartości tych pierwiastków w osadach mają diachroniczny charakter. Najbardziej istotne statystycznie, synchroniczne zmiany w akumulacji pierwiastków, związane z natężeniem historycznych skoków technologicznych, są obserwowane od lat 50. XX wieku.

Drugi typ stanowią markery pojawiające się w osadach od czasów rewolucji przemysłowej, w obrębie których możemy wyróżnić nowe technofosylia - cząstki, będące wytworem wybranych technologii przemysłowych, zdeponowane w różnych osadach, w tym w torfach. Do nich zalicza się glinokrzemianowe mikrosfery (*spheroidal aluminosilicate particles* – SAP), mullit i mikrosfery węglowe (*spheroidal carbonaceous particles* – SCP) (Waters i in., 2022). Uwolnione do atmosfery związki i cząstki mineralne są transportowane przez wiatr i deponowane na zróżnicowanym przestrzennie obszarze. Zasięg depozycji zależy od rozmiaru danej cząstki oraz jej chemicznych przemian, jakie mogą mieć miejsce w atmosferze (Samson, 1988). Większe cząstki są deponowane w bliskiej odległości od źródła, podczas gdy mniejsze i lżejsze przedostają się do wyższych warstw troposfery i pokonują większe odległości, liczone w setkach i tysiącach kilometrów. Te ostatnie są w zapisie geologicznym nośnikami globalnego sygnału antropopresji (Erel i in., 2002, 2006; Bergin i in., 2005). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że globalny sygnał jest rozumiany jako koincydencja tych samych zdarzeń w różnych regionach świata (Waters i Turner, 2022). Po depozycji pierwiastki czy technofosylia stają się markerami geochemicznymi w bardzo różnorodnych typach tzw. archiwów przyrodniczych, takich jak lodowce, osady jeziorne czy torfowiska, niekiedy położone daleko poza zasięgiem bezpośredniej presji człowieka na środowisko przyrodnicze, i mogą służyć do rekonstrukcji zmian zanieczyszczenia środowiska w czasie oraz określenia pochodzenia zanieczyszczeń, a w konsekwencji do wyznaczenia granicy antropocenu. Zachowanie geochemicznego sygnału antropopresji jest możliwe dzięki

temu, że niektóre pierwiastki (np. Pb, Cu, Ni, Cr) ulegają całkowitemu lub częściowemu postdepozycyjnemu unieruchomieniu w osadzie, a ich skład izotopowy zachowuje sygnatury materiału źródłowego. Te ostatnie z kolei są dobrze rozpoznane i czytelnie różnicują źródła zanieczyszczeń (np. Weiss i in. 1999). Od czasów rewolucji przemysłowej obserwuje się także wzrost koncentracji tlenków N w atmosferze i wzrost temperatury powietrza związany ze wzrostem koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze, co w następstwie powoduje topnienie pokryw lodowców i wzrost poziomu mórz i oceanów (Waters i in., 2022).

Trzeci typ markerów pojawia się w osadach w latach 50. XX w. Do tej grupy zalicza się radionuklidy (jak np. Pu) występujące w środowisku depozycji w wyniku przeprowadzenia próbných wybuchów jądrowych (Waters i in., 2015), czy zanieczyszczenia organiczne, np. polichlorowane bifenyle (Gałuszka i in., 2020).

Jednym z najlepszych archiwów geochemicznego zapisu długookresowej działalności człowieka są torfowiska, a szczególnie torfowiska ombrotroficzne, zasilane jedynie na drodze depozycji atmosferycznej (Shotyk, 2002). Najlepiej poznanym pierwiastkiem zdeponowanym w torfowiskach jest Pb (np.: Kabata-Pendias i Pendias, 1999; Pacyna, 2007; De Vleeschouwer i in., 2010). W środowisku torfowym Pb zachowuje się pasywnie, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie długookresowego zapisu depozycji atmosferycznej. Wzrost zanieczyszczenia ołowiem znany jest na przykład z czasów Cesarstwa Rzymskiego, kiedy to stosowano ołów do produkcji naczyń codziennego użytku, rur doprowadzających wodę i narzędzi. Wzrost zawartości Pb w osadach/torfach z czasów rzymskich jest rejestrowany na stanowiskach znajdujących się zarówno blisko rzymskich ośrodków osadniczych (np. Bindler, 2006), jak i w odległych stanowiskach, jak np. Grenlandia (Shotyk i in., 2003). W Polsce okres rzymski (kultura przeworska) zaznaczył się jedynie śladowo (np. Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2018). Kolejny, bardziej intensywny wzrost koncentracji Pb jest obserwowany w czasie rewolucji przemysłowej (Bindler, 2006). W skali globalnej wyraźny wzrost koncentracji ołowiu oraz innych pierwiastków jest obserwowany od czasu „wielkiego przyspieszenia” (z ang. *Great Acceleration*) w latach 1950. (Waters i in., 2016; 2022), co jest związane z intensyfikacją spalania węgla, wydobywaniem oraz przetwórstwem rud metali oraz użyciem benzyny ołowiowej (Shotyk, 1998). Również wzrost koncentracji cynku oraz miedzi w torfie jest istotnym świadectwem aktywności przemysłowej (Weiss i in., 2002).

Ciekawym markerem antropopresji stały się pierwiastki ziem rzadkich (REE), które do tej pory były uznawane za nie podlegające działaniu człowieka (Gałuszka i in., 2014). Szereg prac, w tym publikacje zawarte w przedłożonym osiągnięciu habilitacyjnym, wskazuje na zaburzenia

naturalnego obiegu REE pod wpływem stosowania sztucznych nawozów czy spalania węgla (Gałuszka i in., 2014; Migaszewski i Gałuszka, 2016).

Wreszcie geochemia izotopowa pierwiastków śladowych, dostarcza istotnych narzędzi do badań nad wpływem człowieka. Szczególnie często wykorzystywane w tej dziedzinie są izotopy Pb, Sr i Nd, dzięki którym możliwe jest określenie genezy i kierunków rozprzestrzeniania się naturalnych i antropogenicznych aerozoli. Izotopy stabilne ołowiu, ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb i ^{208}Pb (gdzie ostatnie trzy są radiogeniczne), mają duże znaczenie wskaźnikowe. Dzięki określeniu ilościowych stosunków tych nuklidów w próbkach środowiskowych możliwe jest odtwarzanie proveniencji ołowiu na tle historii jego akumulacji. Światowe badania pokazują, że równoległe z rozwojem przemysłu na bazie rud ołowiu, spalaniem węgla (wzbogaconego w Pb i inne metale śladowe) i użyciem benzyny ołowiowej, zmienił się stosunek izotopowy $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ w naturalnych archiwach (np. Shotyk, 1998; Novak i in. 2003; Bindler, 2006). Obecnie w osadach biogenicznych, na stanowiskach oddalonych od ośrodków przemysłowych obserwuje się mniej radiogeniczną sygnaturę $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (1,11-1,16), charakterystyczną dla szeroko rozumianych aerozoli antropogenicznych pochodzących z przemysłu, spalania śmieci czy używania benzyny bezołowiowej, co wskazuje na unifikację sygnału ołowiowego.

Stront posiada cztery naturalnie występujące izotopy (^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr i ^{84}Sr), z czego ^{87}Sr and ^{86}Sr są szczególnie ważne dla badań geologicznych i środowiskowych. Wartość stosunku izotopowego $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ w osadzie lub pyłe jest zależna od skały (Grousset i Biscaye 2005; Sapkota, 2006). Neodym posiada pięć stabilnych izotopów: ^{142}Nd , ^{143}Nd , ^{145}Nd , ^{146}Nd i ^{148}Nd oraz dwa izotopy radiogeniczne ^{144}Nd i ^{150}Nd . W badaniach środowiskowych izotopy strontu i neodymu są wykorzystywane do określenia kierunków migracji pyłów, głównie pochodzenia naturalnego (np. Grousset i Biscaye, 2005). Le Roux i inni (2012) oraz Fagel i inni (2014) wykazali zmiany w zapisie sygnatury izotopowej neodymu jako dowód na dostawę pyłu saharijskiego do zachodniej Europy. Z drugiej strony pojawiły się doniesienia o antropogenicznym wpływie na sygnatury izotopowe neodymu (np. Kamenov i in., 2009) i strontu (Zieliński i in., 2017; 2021).

Badania geochemii torfowisk w aspekcie czasowym w Polsce mają stosunkowo krótką tradycję. Pierwsze opracowania dotyczyły możliwości datowania polskich torfowisk techniką ^{210}Pb (Hołyńska i in., 1998). Szczegółowa chronologia zanieczyszczeń torfowiska bałtyckiego Słowińskie Błota została opracowana przez De Vleeschouwer i innych (2009). Opracowano geochemię i mineralogię torfowisk przejściowych zlokalizowanych w otoczeniu wielu istotnych ośrodków przemysłowych na Wyżynie Śląskiej (Smieja-Król i in., 2010; 2019; 2022).

Problemy bioakumulacji pierwiastków potencjalnie toksycznych oraz rozróżnienia ich źródeł w torfowiskach Kotliny Orawsko-Nowotarskiej były również podjęte przez Pawelczyk i in. (2019).

Tematyką zapisu antropogenicznych zmian koncentracji pierwiastków w profilach torfowych zajęłam się w czasie studiów doktoranckich. Moje ówczesne badania obejmowały torfowiska zlokalizowane na obszarze Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, intensywnie eksploatowane przez lokalną ludność. W pracy doktorskiej skupiłam się głównie na bioakumulacji metali śladowych przez mchy w warunkach silnej antropopresji oraz określeniu źródeł kontaminacji przy użyciu izotopów ołowiu (Fiałkiewicz-Kozieł, 2010). Pokłosiem badań ujętych w pracy doktorskiej są publikacje Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2014, 2015, 2018. Są to prace z zakresu określania wieku metodą radiowęglową oraz geochemii torfowisk, znacznie wykraczające poza ramy doktoratu z dziedziny nauk biologicznych i przedstawiające tematykę oraz metody wykorzystywane w naukach o Ziemi.

Badania dotyczące akumulacji zanieczyszczeń w torfowiskach w ujęciu stratygraficznym kontynuowałam, podejmując pracę w Zakładzie Biogeografii i Paleoekologii na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jednak znacznie poszerzyłam je o nowe, zaawansowane metody geochemiczne obejmujące izotopy neodymu i strontu, koncentracje ziem rzadkich oraz w aspekcie koncepcji nowej epoki geologicznej antropocenu. Skupiłam się na badaniach torfowisk wysokich położonych w oddaleniu od obszarów przemysłowych. Torfowiska te, z uwagi na zasilenie atmosferyczne, pozwalają na uzyskanie zapisu dalekiego transportu zanieczyszczeń powietrza.

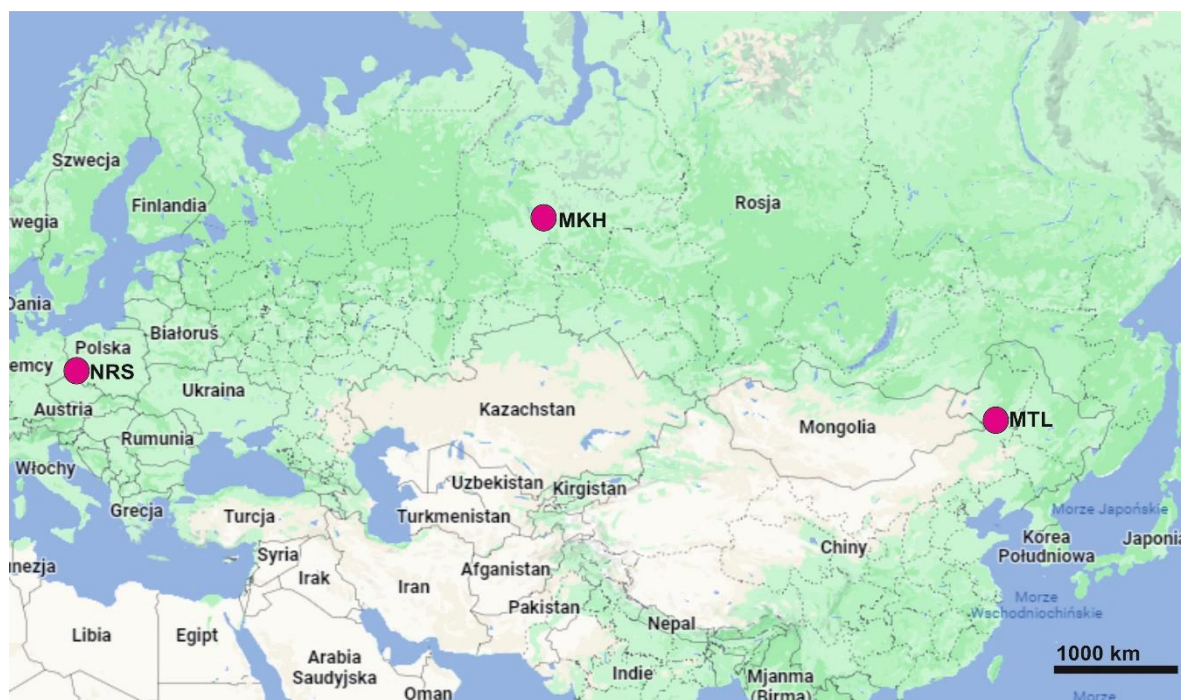
Cele osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o stopień hab. zdefiniowałam następująco:

- Zbadanie synchroniczności stratygraficznego zapisu zmian koncentracji oraz akumulacji (rozumianej jako depozycję masy pierwiastka na jednostkę powierzchni terenu w jednostce czasu; $\text{mg m}^{-2} \text{rok}^{-1}$) wybranych pierwiastków śladowych - ołowiu, cynku, miedzi, niklu, chromu, pierwiastków ziem rzadkich w profilach torfowych z różnych obszarów Eurazji oraz wyjaśnienie przyczyn obserwowanych zmian.
- Ustalenie dróg transportu naturalnych i antropogenicznych aerozoli atmosferycznych na podstawie sygnatur izotopowych Pb, Nd i Sr w profilach torfowych.
- Określenie możliwości wykorzystania technogenicznych mikrosfer jako chronomarkeru antropocenu.

- Ocena zmian w koncentracji i akumulacji pierwiastków oraz innych wskaźników geochemicznych znaczników kontekście wyznaczenia dolnej granicy antropocenu.

4.3.1 Teren badań

Teren badań obejmuje trzy torfowiska (Ryc.1) zlokalizowane na obszarze Eurazji: w Polsce (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2020-4.2B; Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2022-4.2D), Rosji (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2016-4.2A) oraz Chinach (4.2C). Torfowisko *Mukhrino* (zachodnia Syberia) oraz *Motianling* (północnowschodnie Chiny) są znacznie oddalone od głównych ośrodków przemysłowych, natomiast torfowisko *Na równi pod Śnieżką* jest zlokalizowane w obrębie tzw. transgranicznego *czarnego trójkąta* (obszaru o dużym zagęszczeniu przemysłu i znacznym stopniu zanieczyszczenia środowiska zlokalizowanego na pograniczu Czech, Niemiec oraz Polski), dzięki czemu jest to wyjątkowe stanowisko badawcze reprezentujące wzorzec emisji i depozycji zanieczyszczeń dla całej zachodniej Europy.



Ryc.1. Mapa prezentująca lokalizację badanych stanowisk. NRS–*Na równi pod Śnieżką* (Sudety); MKH–*Mukhrino* (Zachodnia Syberia); MTL–*Montianling* (Północno-wschodnie Chiny, Wielki Chingan).

4.3.2 Określenie chronologii badanych stanowisk

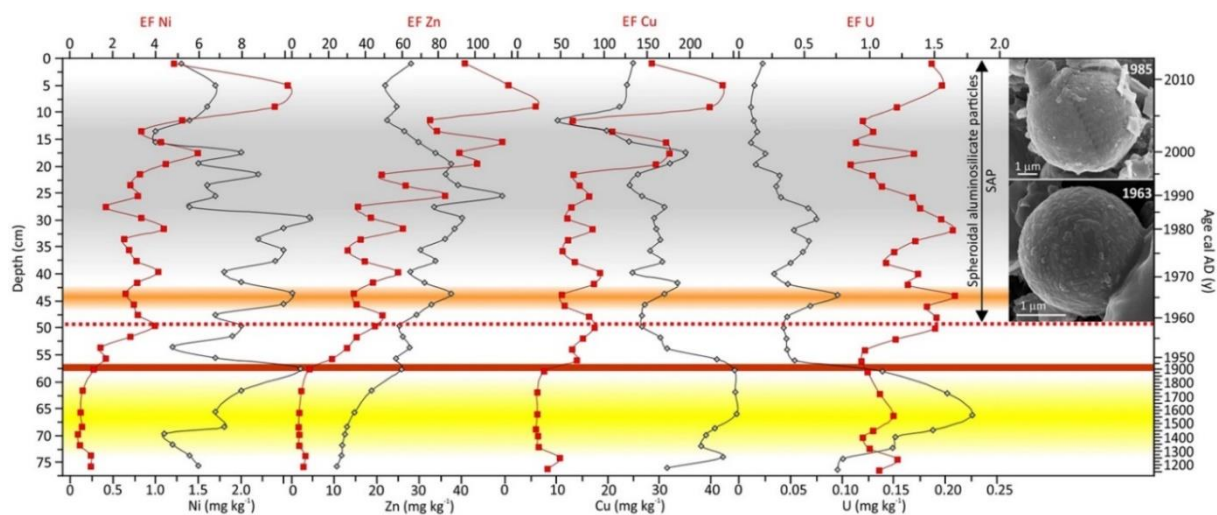
Kluczowym etapem poprzedzającym analizę geochemiczną badanych profili torfowych było określenie wieku badanych warstw torfu.

W torfowisku *Mukhrino* wiek określono metodą ^{14}C (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2016–4.2A). W przypadku *Montianling* (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2022–4.2C) bazowano na wieku określonym metodą ^{210}Pb oraz ^{137}Cs , opublikowanym przez Bao i in. (2012). Torfowisko *Na równi pod Śnieżką* charakteryzuje się najbardziej szczegółową chronologią, którą określono na podstawie pomiaru ^{210}Pb , ^{14}C , ^{137}Cs oraz $^{239+240}\text{Pu}$ (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2020–4.2B oraz Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2022–4.2D). Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że w publikacjach dotyczących stanowiska *Na Równi pod Śnieżką* zastosowano odmienne podejścia do modelowania wieku. W pracy 4.2B (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2020) wiek ołowiowy (^{210}Pb) określono z wykorzystaniem modelu CRS (*constant rate of supply*) skorelowanego z maksymalną aktywnością plutonu ($^{239+240}\text{Pu}$) interpretowaną jako marker roku 1963 CE. Z kolei w pracy 4.2D (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2022) zastosowano model CF/CS (*constant flux/constant sedimentation*), który wyznacza młodsze zakresy dat w stosunku do modelu CRS. Zmiana modelu była związana z faktem, iż wynik modelowania CRS (1900 CE) był nierealistycznie postarzony w porównaniu z datą pierwszego zapisu w profilach środowiskowych niezależnego i wiarygodnego chronomarkera w postaci plutonu ($^{239+240}\text{Pu}$). Według powszechnie stosowanego podejścia (Krey, 1968; Koide i in., 1979; UNSCEAR, 2000) pierwszy globalny opad plutonu, interpretowany, na podstawie niewielkiej mobilności Pu w torfie, jako wzrost jego aktywności powyżej poziomu tła geochemicznego, miał miejsce w roku 1952 (Waters i in., 2015). Zastosowanie modelu ołowiowego CF/CS pozwoliło na niwelację zaistniałego problemu i daty uzyskane na podstawie pomiaru aktywności ^{210}Pb wskazują zbliżony zakres wieku. Data 1952 jest identyfikowana na głębokości 41,5 cm (1948 ± 4 CE) w profilu Sn1 i na głębokości 39,5 cm (1949 ± 6 CE) w profilu Sn0. Zatem wynik tego ostatniego modelowania należy uznać za obowiązujący.

A. Fiałkiewicz-Kozieł B., Smieja-Król B., Frontasyeva M., Słowiński M., Marcisz K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Jassey V.E.J., Kaliszan K., Laggoun-Defarge F., Kołaczek P., Lamentowicz M., 2016. Anthropogenic and natural sources of dust in peatland during the Anthropocene. *Scientific Reports* 6, 38731, doi: 10.1038/srep38731.

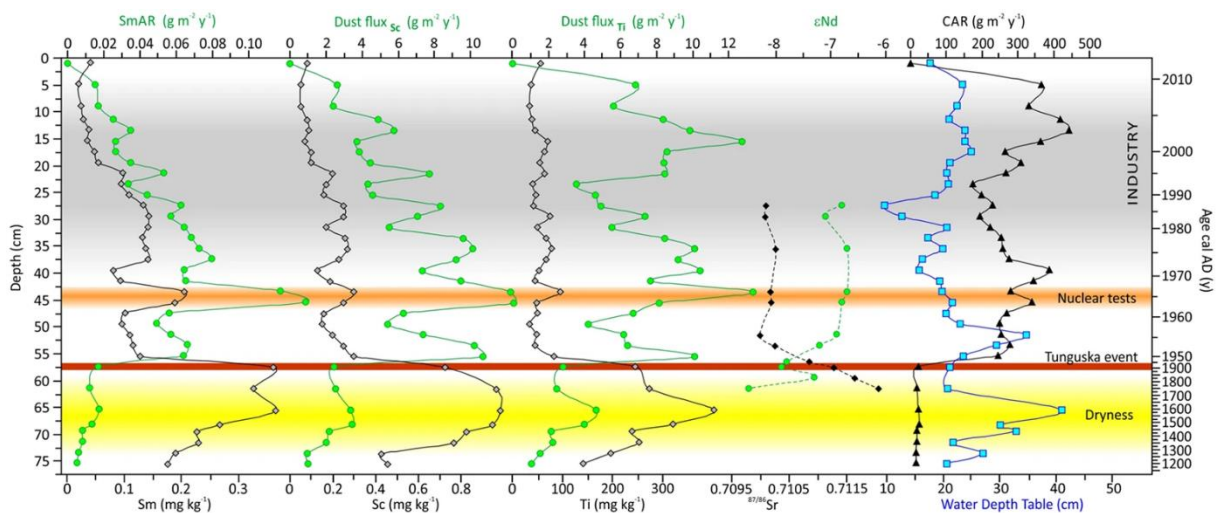
Torfowiska zachodniej Syberii stanowią jeden z najważniejszych kompleksów torfowisk na świecie. Dzięki znacznemu oddaleniu od istotnych ośrodków przemysłowych, dają one unikatową możliwość badań nad dalekim transportem zanieczyszczeń i depozycji naturalnych aerozoli i pyłów.

Dzięki wieloletniej współpracy z panią profesor Mariną Frontasyevą (JINR, Dubna), wykonałam pomiar pierwiastków metodą aktywacji neutronowej (NAA) celem określenia wpływu człowieka na syberyjskie torfowisko, który zaznaczył się w postaci wzrostów wartości współczynników wzbogacenia, obliczanych przy użyciu skandu jako pierwiastka odniesienia, dla Ni, Zn, Cu i U od lat 50. XX w. (Ryc.2). Współczynniki wzbogacenia wskazują na najwyższe wzbogacenie w cynk, nikiel oraz miedź po 2000 roku, co jest typowe dla azjatyckiego wzorca rozwoju przemysłowego, który nastąpił w czasie późniejszym w stosunku do trendów opisywanych dla Europy. Podobne zjawisko jest również opisywane dla Chin (Bao i in., 2015) czy Wietnamu (Costa-Böddeker i in., 2018). W pracy 4.2A po raz pierwszy zaproponowałam wykorzystanie glinokrzemianowych mikrosfer (SAP) jako potencjalnego markeru antropocenu. Cząstki te są składnikiem popiołu lotnego powstającego w wyniku spalania węgla i w analizowanym profilu zostały rozpoznane przez prof. Beatę Smięę- Król (Uniwersytet Śląski). Analiza wykazała, że pierwsze pojawienie się SAP miało miejsce w roku 1958±6.



Ryc.2. Zmiany czasowe w depozycji Ni, Zn, Cu, U oraz obliczone współczynniki wzbogacenia dla tych pierwiastków w torfowisku *Mukhrino* (zachodnia Syberia, Rosja; Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2016). Czerwona kropkowana linia wskazuje na początek pojawienia się glinokrzemianowych mikrosfer (SAP) ze spalania węgla. Czerwona ciągła linia wskazuje na moment hipotetycznego wpływu katastrofy tunguskiej. Pomarańczowa linia – 1963 rok – największa ilość próbnych testów jądrowych.

Pierwiastki ziem rzadkich, dzięki bardzo słabej rozpuszczalności, są istotnym wskaźnikiem zmian klimatycznych (Le Roux i in., 2012; Fagel i in., 2014). Niektóre jednak, jak na przykład La, Sm i Gd, okazują się być wskaźnikami aktywności industrialnej (Gałuszka i in., 2014; Migaszewski, Gałuszka, 2015; Migaszewski i in., 2016). Badania na stanowisku *Mukhrino* pokazały, że także próbne wybuchy jądrowe w latach 60. XX w. przyczyniły się do emisji i szerokiego rozprzestrzenienia się pyłu wzbogaconego w ziemie rzadkie (Ryc. 3).



Ryc.3. Zmiany koncentracji Sm, traktowanego jako reprezentatywny dla pierwiastków ziem rzadkich, depozycji pyłu w oparciu o skand i tytan, skład izotopowy neodymu i strontu oraz tempo akumulacji węgla (CAR) i zmiany poziomu lustra wody w torfowisku *Mukhrino* (WDT został umieszczony na wykresie w celu wykluczenia wpływu naturalnych źródeł dostawy pyłu w latach 60. XX w.) (4.2A)

Świadczy o tym wyraźny wzrost tempa akumulacji Sm jako reprezentatywnego pierwiastka ziem rzadkich w warstwie torfu datowanej na lata 60. XX w., korespondujący ze wzrostem tempa depozycji pyłu określonego na podstawie Sc oraz Ti (Ryc.3). Określono również skład izotopowy Nd i Sr frakcji mineralnej, celem identyfikacji źródeł pyłów. W dolnej części profilu stwierdzono najbardziej ujemną wartość ϵ_{Nd} (-8,5) oraz najwyższą wartość $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,712061), co zinterpretowano jako efekt dostawy naturalnego pyłu podczas suszy (Ryc.3). Co godne uwagi, od lat 50. XX w. ϵ_{Nd} wzrasta, zaś stosunek $^{87}Sr/^{86}Sr$ spada, wskazując na aktywność człowieka.

Opisana publikacja stała się inspiracją do podjęcia dalszych badań nad geochemicznym zapisem globalnego wpływu człowieka.

B. Fiałkiewicz-Kozieł B., Łokas E., Gałka M., Kołaczek P., De Vleeschouwer F., Le Roux G., Smieja-Król B., 2020. Influence of transboundary transport of trace elements on mountain peat geochemistry (Sudetes, Central Europe). Quaternary Science Reviews 230, 106162, doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106162.

W ramach projektu badawczego p.t. *Depozycja metali ciężkich i zmiany paleośrodowiskowe w wybranych torfowiskach z południowo-zachodniej Polski* - 2011/01/D/ST10/02579, którego byłam kierownikiem, prowadziłam wielowymiarowe badania nad zapisem geochemicznym dalekiego transportu zanieczyszczeń w torfowisku *Na Równi pod Śnieżką (NRS)* (Fiałkiewicz-Kozieł in., 2020 - 4.2B), położonym w Karkonoszach. Szczególny nacisk w tym opracowaniu został położony na wpływ tzw. *czarnego trójkąta* oraz Sudeckiego Okręgu Przemysłowego na obszary górskie. Publikacja ta stanowi wielowskaźnikową analizę geochemiczną górskiego geosystemu torfowego, gdzie położenie względem wysokości n.p.m. oraz dominacja wiatrów zachodnich ma kluczowy wpływ na dynamikę zmian geochemicznych w profilu torfowym oraz na identyfikację źródeł pochodzenia pierwiastków. Omawiana publikacja jest również szerokim studium literatury, przedstawiającym istniejące trendy i wyniki badań na świecie.

Do badań pobrałam dwa profile torfowe – Sn1 i Sn2, w których zidentyfikowałam globalnie rozpoznawane sygnały związane z działalnością hut stali nierdzewnej i elektrowni węglowych, wydobywaniem uranu, testami nuklearnymi oraz wybuchem elektrowni w Czarnobylu.

Moje badania wpisują się w koncepcję definicji antropocenu za Watersem i in. (2022), według której wielowiekowa tradycja wykorzystania metali zapisuje się w profilach znacznie wcześniej niż lata 50. XX w. Profile Sn1 oraz Sn2 obejmują czas rewolucji przemysłowej i skoki technologiczne, które miały diametralne znaczenie dla zapisu geochemicznego.

Zaobserwowałam wzrost koncentracji i akumulacji niklu oraz chromu w roku 1904±15 CE w profilu Sn1 oraz od 1922±7 do 1928±6 CE w profilu Sn2. Interpretacja zmian w koncentracji chromu i niklu jest trudna ze względu na możliwe przemieszczanie się tego pierwiastka w głąb torfu (Nieminen i in., 2002; Ukonmaanaho i in., 2004). Koncentracje obu pierwiastków były określane wcześniej w profilach torfowych Polski, Czech czy Niemiec (np. De Vleeschouwer i in., 2009, Bohdalkova i in., 2018, Gałka i in., 2019). Rozdzielczość datowania górnych warstw torfu reprezentujących ostatnie 150 lat jest niewystarczająca, by cytowane wyniki porównywać z wynikami dla Śnieżki. Niemniej jednak porównywalność wzorców depozycji Cr i Ni w profilu Sn1 i Sn2 (4.2B) pokazuje, że oba analizowane pierwiastki są częściowo

unieruchamiane w geosystemie torfowym i w konsekwencji stanowią zapis historii ich emisji atmosferycznej. Wzrost koncentracji i akumulacji Cr i Ni na początku XX w. powiązany został z depozycją pyłów powstających w procesie produkcji stali nierdzewnej. Technologia otrzymywania stali nierdzewnej została opracowana w opisywanym czasie. Stąd też produkcja wyrobów ze stali (jachtów, ale również broni dla III Rzeszy) przez światowego potentata w tamtym czasie (James, 2012) mogła być prawdopodobnym źródłem chromu i niklu, co jest nowatorską hipotezą. W omawianym okresie powstało wiele hut na terenie Niemiec, jak na przykład w Kilonii, zagłębiu Ruhry, jednak identyfikacja konkretnego źródła pyłów jest trudna z powodu ograniczonych danych. Na działalność hutniczą wskazuje również cząsteczka tlenku chromu, występująca w profilu Sn1 na tej samej głębokości co obserwowany wzrost Cr i Ni. Takie cząsteczki nie występowały w górnej warstwie profilu i wskazują na wykorzystanie prostych technologii podczas produkcji stali (4.2).

Przełomowym czasem w zapisie stratygraficznym NRS są lata 50. XX w., kiedy to obserwuje się gwałtowny wzrost koncentracji i akumulacji wszystkich badanych pierwiastków (śladowych oraz ziem rzadkich). Maksymalna koncentracja ołowiu (365 mg kg^{-1}) oraz obliczone tempo akumulacji rzędu $77\text{-}78 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ zostały odnotowane w latach 70., w czasie największego natężenia produkcji przemysłowej w obrębie *czarnego trójkąta* (Novak i in., 2008; Oko-Institut, 2017; Vrablik i in., 2017). Ta czasowa koincydencja wskazuje, że zmiany w akumulacji metali śladowych stanowią zapis działalności przemysłowej przynajmniej w skali regionalnej. Od lat 90. obserwuje się z kolei w torfowisku NRS systematyczny spadek mierzonych koncentracji ołowiu, odzwierciedlający zmniejszenie intensywności działalności przemysłowej w Czarnym Trójkącie (Grübler, 2002; Kolar i in., 2015). Badania NRS dowodzą także, iż człowiek znacząco przyczynił się do emisji ołowiu na przestrzeni ostatnich siedemdziesięciu lat, zmieniając również sygnaturę $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ na mniej radiogeniczną (1,1749–1,1544). Sygnatura ta istotnie różni się od wartości lokalnych skał granitoidowych (1,252–1,297), co wskazuje na fakt, że lokalne wietrzenie skał ma niewielki wpływ na wzbogacenie torfowiska w ołów. Wyniki uzyskane dla stanowiska NRS wykazują duże podobieństwo z danymi izotopowymi opracowanymi dla stanowisk z Czech (Novak i in., 2003), Szwajcarii (Weiss i in., 1999) i Belgii (De Vleeschouwer i in., 2008), co podkreśla fakt wpływu antropogenicznych źródeł dalekiego transportu.

Ze względu na transgraniczne położenie u styku trzech państw oraz dominację wiatrów zachodnich, torfowisko *Na równi pod Śnieżką* otrzymuje ładunek zanieczyszczeń głównie z Niemiec, Czech oraz innych krajów zachodniej Europy. Lokalny polski przemysł, jak

również naturalne anomalie (np. ołowiowa) mają tu mniejsze znaczenie, na co wskazują otrzymane stosunki izotopowe ołowiu (4.2B).

C. Fiałkiewicz-Kozieł B., Bao K., Smieja-Król B., 2022. Geographical drivers of geochemical and mineralogical evolution of Motianling peatland (Northeast China) exposed to different sources of rare earth elements and Pb, Nd, and Sr isotopes. *Sci. Total Environ.* 807, 150481.

Badania torfowiska *Mukhrino* (zachodnia Syberia) oraz *Na równi pod Śnieżką* przyczyniły się do postawienia hipotez dotyczących wpływu człowieka na emisję pyłów i zaburzenia naturalnych cykli geochemicznych ziem rzadkich, a w konsekwencji stały się przyczynkiem do napisania kolejnego projektu badawczego p.t. *Depozycja wybranych markerów mineralnych i geochemicznych w torfowiskach północnej hemisfery jako narzędzie do określenia cezury czasowej antropocenu (EARTH-ANTHROPOCENE)* 2017/27/B/ST10/00428, który jest obecnie realizowany pod moim kierownictwem.

Projektowane badania dotyczą globalnych wzorców depozycji wybranych markerów mineralnych i geochemicznych (glinokrzemianowe mikrosfery; mullit; związki organiczne; REE; izotopy Sr, Pb, Nd) w wybranych torfowiskach północnej półkuli, zlokalizowanych w Polsce, Estonii, Islandii, Rosji, Chinach, na Spitzbergenie i Alasce. Publikacja wyników badań stanowiska chińskiego stała się składową dzieła habilitacyjnego.

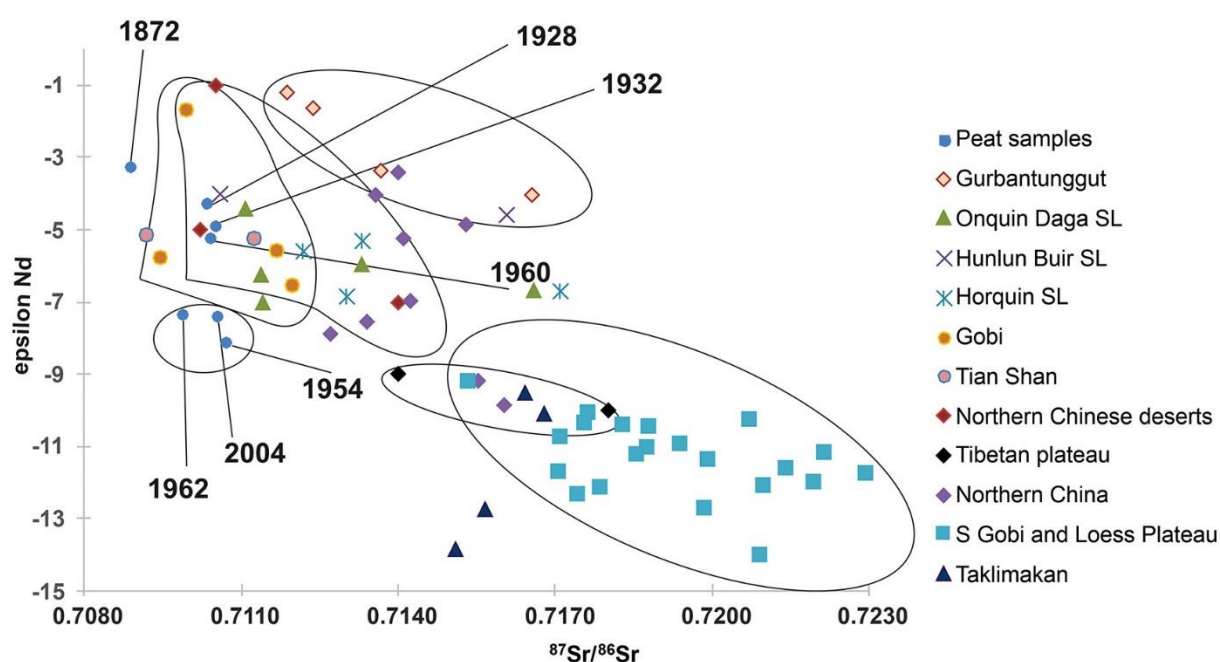
W artykule 4.2C (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2022) przedmiotem badań było torfowisko *Montianling*, leżące na granicy Chin z Mongolią oraz Rosją (Ryc.1), na północnych zboczach Wielkiego Chinganu, wulkanicznego pasma stanowiącego wschodnie obrzeżenie Wyżyny Mongolskiej (Trepieńska, 2002). Azja jest kontynentem o dużym stopniu zapylenia w związku z występowaniem wielu obszarów suchych (Sun i in. 2001), a Mongolia i północne Chiny należą do jednych z najbardziej istotnych źródeł emisji naturalnego pyłu, którego depozycja ma wpływ na funkcjonowanie ekosystemów torfowiskowych leżących w zasięgu wiatrów (np. Ferrat i in., 2012; Bao i in., 2012; Pratte i in. 2020) i znajduje swoją reprezentację w geochemicznej strukturze torfowisk. Stąd też dla interpretacji geochemii torfu ze stanowiska *Montianling* istotna była analiza rozkładu częstości i kierunków dominujących wiatrów na badanym obszarze. Niezbędne również było przeanalizowanie położenia stanowiska względem istniejących ośrodków przemysłowych, a także historii powstania i aktywności elektrowni węglowych oraz fabryk.

Prezentowany artykuł jest wielopłaszczyznową analizą torfowiska górskiego, znajdującego się w otoczeniu wielu istotnych barier orograficznych, wyznaczających granicę zasięgu monsunu letniego. W pierwszym etapie celem było określenie w profilu torfowym zmian w koncentracji pierwiastków śladowych i ziem rzadkich będących wynikiem działania procesów hipergenicnych. Analiza popielności wykazała znaczny udział frakcji nieorganicznej (36-75%) na głębokości 62-44 cm w badanym profilu torfowym, co uznano za argument na rzecz minerotrofii torfowiska we wczesnej fazie jego rozwoju. Koncentracja REE wynosiła od 67 do 31 mg kg⁻¹. W celu wykazania wpływu procesów hipergenicnych koncentracje ziem rzadkich normalizowałam względem PAAS–Post-Archean Australian Shale (Mc Lennan, 1989). Anomalia europowa (Eu/Eu*), liczona wg wzoru $Eu/Eu^* = (Eu)/[(Sm) \times (Gd)]^{0.5}$ za McLennan (1989), oraz stosunek lantanu do iterbu (PAASLa/Yb)–zostały wykorzystane za Ferrat i in. (2011) jako wskaźniki czytelnie różnicujące pochodzenie pyłów pustynnych. Na podstawie przeprowadzonej analizy mineralogicznej, REE oraz sygnatur izotopowych neodymu wykazałam wpływ powierzchniowego spłukiwania wulkanicznych skał podłoża na geochemiczny skład badanych warstw torfu. Dwie najniższe warstwy torfu (datowane na lata 1872±10 i 1890±10) charakteryzowały się najniższą wartością stosunku La/Yb_{PAAS} (0,7), co wskazuje na wzbogacenie w tzw. ciężkie REE. Również wartości [Eu/Eu*] (1,22–1,24) w opisywanych warstwach są znacząco wyższe w porównaniu z sygnaturami potencjalnych allochtonicznych źródeł pyłu, którymi są chiński płaskowyż lessowy (0,91–1,05), chińskie pustynie (0,95–1,00) oraz gleby Wyżyny Tybetańskiej (0,94–0,99; Ferrat i in., 2011). Jednocześnie otrzymane wartości zbliżone są do sygnatury typowej dla skał bazaltowych [Eu/Eu*]_{PAAS} = 1,29–1,56 (Schettler i in., 2006; Pratte i in., 2020). Wpływ podłoża bazaltowego na skład REE w badanym torfie jest także odzwierciedlony w wartościach εNd (-3,26; -4,91) (Nakano i in., 2004) oraz w obecności szkliwa wulkanicznego i minerałów typowych dla skał wulkanicznych (augit, hematyt), jak również znacznie niższej wartości stosunku La/Yb (0,7) w porównaniu do wyższych warstw torfu, gdzie stosunek La/Y waha się pomiędzy 1,5 a 0,9.

Powyżej głębokości 44 cm koncentracja REE sukcesywnie spada, zmieniają się także stosunki izotopowe Sr, Nd i Pb, jak również skład mineralny, co wskazuje na zmianę sposobu dostawy frakcji mineralnej do torfowiska poprzez zniwelowanie lokalnego wpływu skał podłoża oraz zmianę statusu troficznego torfowiska z minerotrofii na ombrotrofię.

Kolejnym etapem analizy torfowiska *Montianling* było określenie geochemicznych wskaźników allochtonicznych procesów eolicznych. Wpływ transportu pustynnych cząstek był wielokrotnie podejmowany w literaturze (Zhang i in., 1997; Sun i in., 2001; Qian i in., 2002;

Nakano i in., 2005; Wang i in., 2011), co istotnie ułatwiło interpretację uzyskanych przeze mnie danych. Dokonałam pierwszej analizy źródeł pyłów pustynnych dla *Montianling* przy wykorzystaniu pomiarów koncentracji REE oraz systemów izotopowych Pb, Nd, Sr, co skonfrontowałam z analizą mineralogiczną. Na podstawie analizy tempa depozycji pyłu, obliczonego przy użyciu sumy koncentracji REE, wykazałam zapis zdarzeń związanych ze zwiększoną dostawą pyłu do torfowiska w związku z historycznie udokumentowanymi epizodami wielkiej suszy, jaka cyklicznie nawiedza Chiny. Najwyższą depozycję pyłu odnotowałam w 1928±5 CE, kiedy to miał miejsce jeden z największych kataklizmów w historii Chin (4.2C).



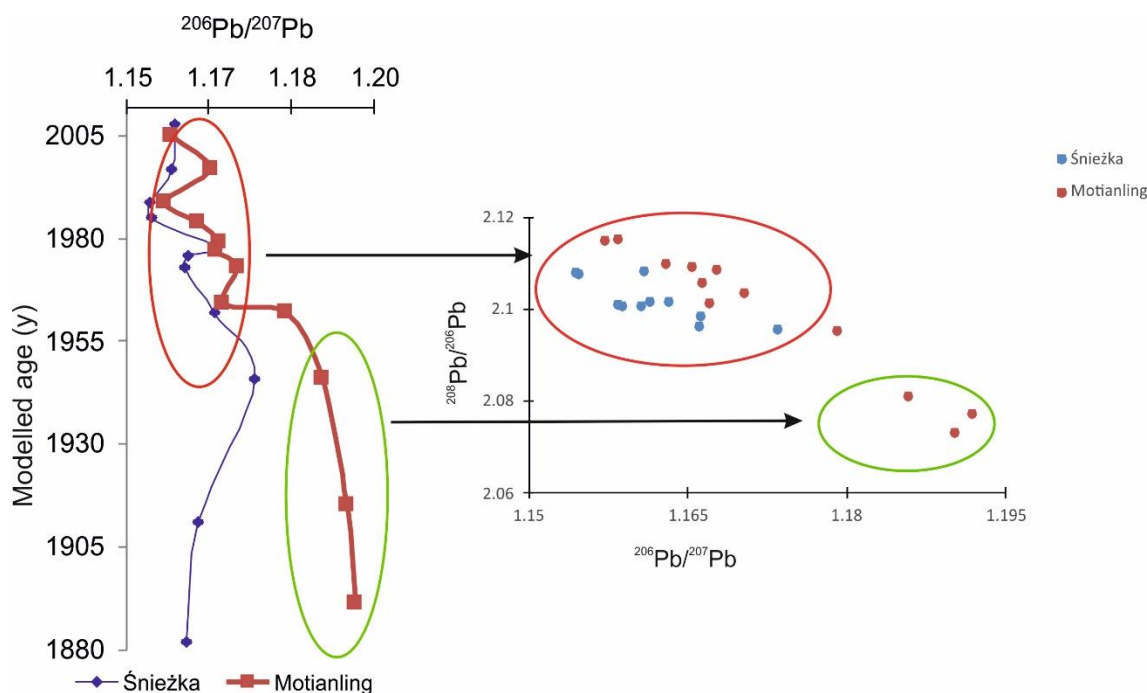
Ryc. 4. Porównanie sygnatur izotopowych neodymu oraz strontu celem identyfikacji potencjalnych źródeł naturalnych pyłów. Badane próby torfu oznaczono niebieskimi pięciokątami. Dane dla pustyni Gurbantunggut, Onqin Daga, Hunlun Buir, Horqin z Chen i in. (2007); Gobi – Chen i in. (2007), Biscaye i in. (1997), Tian Shan - Liu i in. (1994), północne chińskie pustynie (Northern Chinese deserts) oraz Tibetan Plateau na podstawie Li i in. (2009), południowa Gobi, chiński płaskowyż lessowy (Chinese Loess Plateau) i Taklimakan za Nakano i in. (2004).

Zarówno stosunki znormalizowanych koncentracji REE jak i sygnatury izotopowe określone dla dolnej części profilu wskazują na naturalne źródło pyłu, jakim jest pustynia Gobi oraz północne pustynie chińskie, na co, obok właściwej temu źródłu sygnatury REE oraz izotopów,

wskazuje obecność hornblendy (minerału z grupy amfiboli, charakterystycznego dla składu pyłu z Gobi (Jeong i in., 2014).

W górnej warstwie analizowanego profilu (1954±5, 1962±2, 2004±1), otrzymane wartości wskaźników geochemicznych wykazują bardziej kompleksowy trend. Mimo iż na podstawie analizy mineralogicznej wpływ allochtonicznych pyłów pustynnych jest ewidentny, wartości ϵNd i $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ określone dla warstw torfu datowanych na wiek 1954±5, 1962±2 i 2004±1 różnią się od warstw 1872±10, 1928±5, 1932±5 i 1960±2 (Ryc.4), wskazując na dodatkowe, prawdopodobnie antropogeniczne źródło pyłu.

Pojawienie się mikrosfer popiołu lotnego w latach sześćdziesiątych jednoznacznie dowodzi oddziaływania szeroko rozumianej działalności przemysłowej. Niewielkie rozmiary tych cząstek (<2 μm) wskazują na daleki transport. Wynik ten potwierdza badania prowadzone na rosyjskim torfowisku *Mukhrino* (4.2A), gdzie również obecność SAP stwierdzono w latach 1960±2 CE. Pojawienie się markerów wysokotemperaturowego spalania węgla koresponduje z istotnym spadkiem radiogeniczności stosunków izotopowych ołowiu (z 1,194 w 1872±10 roku do 1,167 w 1964±2 roku), co jest trendem obserwowanym zarówno na *Śnieżce* (Ryc.5), jak i na całym świecie (Weiss i in., 1999; Novak i in., 2003; De Vleeschouwer i in., 2012).



Ryc. 5. Porównanie trendów w depozycji ołowiu w torfowiskach *Na równi pod Śnieżką* oraz *Montianling*. Na wykresie przedstawiającym zmiany czasowe sygnatur trwałych izotopów ołowiu, czerwona elipsa oznacza antropogeniczne źródła ołowiu, zielona – naturalne (sygnatura charakterystyczna dla skorupy kontynentalnej i tzw. chińskiego tła). Od przełomu lat 50. i 60. sygnatura stosunku $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ oznaczona dla Śnieżki i Montianling charakteryzuje się zbliżonymi wartościami, co świadczy o podobnym udziale źródeł antropogenicznych.

Celem bardziej pogłębionej analizy zmienności geochemicznej profilu *Montianling* na tle historii działalności przemysłowej w Chinach przeanalizowałam Globalną Bazę Danych Elektrowni (*Global Base of Power Plants; GBPP*), zawierającą spis elektrowni węglowych z całego świata. Na tej podstawie przedstawiłam trendy w rozwoju przemysłowym Chin oraz Rosji (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2022 – 4.2C). Na podstawie GBPP stwierdziłam, że do lat 80. XX w. na terenie Chin funkcjonowało tylko około dwadzieścia elektrowni węglowych (4.2C), w tym trzy na terenie prowincji Heljonjang, znajdującej się na południowy wschód od Montianling w strefie występowania zmiennych wiatrów monsunowych oraz odmiennych wartości sygnatur izotopowych ołowiu: $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$: 1,186-1,206; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 2,047-2,082 (Bi i in., 2017), podczas gdy na badanym obszarze, zlokalizowanym w strefie umiarkowanej na północnym stoku góry, dominują wiatry zachodnie oraz północnozachodnie. Niewiele ośrodków przemysłowych działało na zachód od badanego obszaru. Największy ośrodek znajdował się na terenie Kazachstanu, który jest oddzielony górami Ałtaju, skutecznie blokującymi transport cząstek antropogenicznych. Mało prawdopodobny jest również transport

częstek z Europy, również z powodu obecności istotnych barier orograficznych. W związku z tym postanowiłam przeanalizować rosyjskie trendy działalności elektrowni węglowych. Pierwsze elektrownie zostały wybudowane na początku XX w. blisko Moskwy i nie miały istotnego znaczenia dla dostawy pyłów węglowych do chińskiego torfowiska. Jednak do lat 80. na terenie Rosji funkcjonowało około 120 elektrowni opalanych węglem lub olejem. Wiele z nich było zlokalizowanych przy granicy rosyjsko-chińskiej. Moje przypuszczenia potwierdziła analiza sygnatury izotopowej ołowiu dla węgla z obszaru południowej i wschodniej Rosji ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$: 1,120-1,170; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 2,080-2,132; Mukai i in., 2001), wykazująca podobieństwo do sygnatury określonej dla prób torfu. Dopiero od lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku na terenie Chin zaczęto masowo budować i oddawać do użytku elektrownie węglowe, które mogły dostarczać antropogeniczne cząstki do *Montianling*.

Kolejnym osiągnięciem było stwierdzenie przeze mnie wzrostu koncentracji Gd względem Eu i zaburzenia anomalii Eu w czterech próbach z lat 70. oraz 80. XX w., co powiązałam z działalnością antropogeniczną. Podobne zjawisko zaobserwowałam na Śnieżce oraz w Górach Izerskich (mat. niepublikowane). Ponadto było ono wcześniej opisywane z torfowiska Misten w Belgii (Fagel i in., 2014). Do tej pory zidentyfikowano obecność antropogenicznej anomalii Gd w wodach (Bau i Dulski 1996; Gałuszka i in., 2014), nie odnotowano jednak atmosferycznych źródeł Gd zdeponowanych w torfach. Zdaniem Gałuszki i współautorów (2014) rozpuszczalne formy Gd są rzadkie w naturze, stąd też antropogeniczny wpływ na frakcjonowanie tego pierwiastka w środowisku jest łatwy do identyfikacji. Jak do tej pory stwierdzono występowanie antropogenicznych chlorków Gd w powietrzu (Hirano i Suzuki, 1996), jednak wskazanie konkretnej aktywności, która wpłynęła na selektywne wzbogacenie Gd względem sąsiednich ziem rzadkich, dając geochemiczny sygnał w torfowisku, jest kompleksowym zagadnieniem, które wymaga dalszych rozważań.

D. Fiałkiewicz-Kozieł B., Łokas E., Smieja-Król B., Turner S.D., De Vleeschouwer F., Woszczyk M., Marcisz K., Gałka M., Lamentowicz M., Kołaczek P., Hajdas I., Karpińska-Kołaczek M., Kołtonik K., Mróz T., Roberts S.L., Rose N.L., Krzykawski T., Boom A., Yang H. (2022, in press). The Śnieżka peatland as a candidate for the Global Boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series. *The Anthropocene Review*, doi.org/10.1177/20530196221136425

W 2020 roku, po opublikowaniu artykułu 4.2B dotyczącego stanowiska *Na równi pod Śnieżką* zostałam zaproszona do wzięcia udziału w projekcie prowadzonym przez dra Simona Turnera oraz prof. Colina Watersa, przy współudziale innych członków Grupy Roboczej ds. Antropocenu. Projekt ma na celu wyznaczenie profilu stratotypowego dolnej granicy antropocenu i zdefiniowanie nowej jednostki stratygraficznej w obrębie czwartorzędu w randze epoki. Jednym z kilkunastu stanowisk kandydackich na stratotyp (tzw. złoty gwóźdź) antropocenu stało się przebadane przeze mnie torfowisko *Na równi pod Śnieżką*. Zostało ono wytypowane w r. 2020 (biuletyn AWG) z uwagi na wysoką rozdzielczość zapisu paleośrodowiskowego i różnorodność wskaźników zastosowanych w pracy 4.2B.

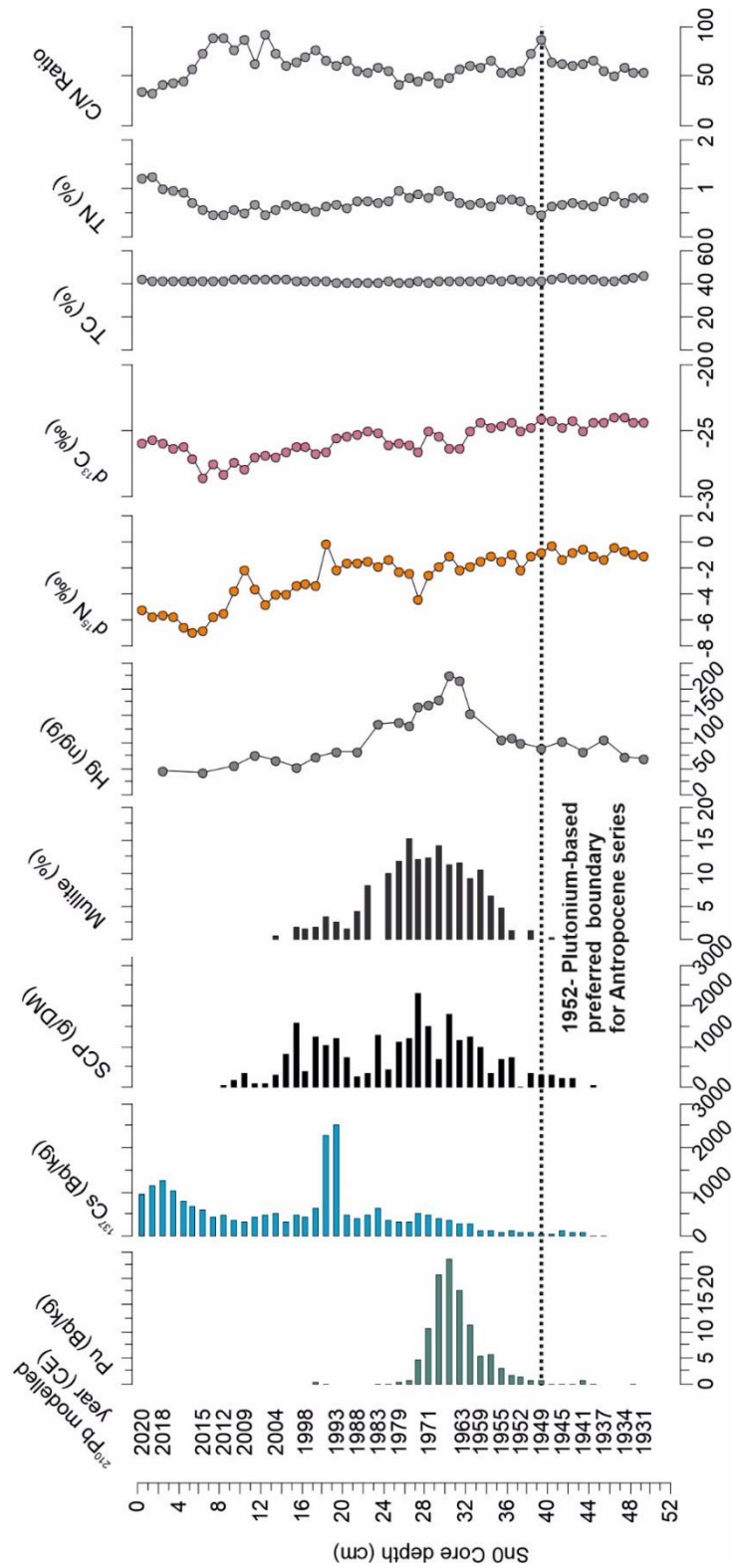
W związku z wymogiem obecności w profilu niezaburzonych, charakterystycznych warstw stratygraficznych o ciągłej akumulacji, dla celów projektu pobrano z *NRS* nowy profil, nazwany Sn0 i ponownie opracowano go pod względem geochemicznym w pracy 4.2D. Praca ta wchodzi w skład specjalnego tomu czasopisma *Anthropocene Review*, poświęconego prezentacji wszystkich stanowisk rozważanych jako potencjalne profile stratotypowe antropocenu. Artykuł 4.2D prezentuje wyniki otrzymane dla profilu Sn0, ale również stanowi metodyczno-interpretacyjną syntezę wszystkich profili Sn na tle innych torfowisk świata, i w związku z tym może stać się kompendium do wyznaczenia granicy antropocenu na podstawie tych matryc środowiskowych.

Dla profilu Sn0 wykonano pomiar aktywności ^{210}Pb , ^{137}Cs oraz $^{239+240}\text{Pu}$ w celu określenia wieku, jak również pomiar frakcji F^{14}C w celu wykazania wpływu próbných wybuchów jądrowych na wzrost koncentracji radiowęgla. Maksimum względnej koncentracji radiowęgla odnotowano w 1963 roku.

Badany profil poddano standardowej analizie właściwości fizycznych (zawartość popiołu i gęstość) oraz analizie makroszczątków w celu wykazania podobieństwa do badanych wcześniej profili Sn1 i Sn2. Wykonano również analizę zawartości glinokrzemianowych mikrosfer oraz mullitu, a także mikrosfer węglowych. Zmierzono stosunki izotopowe stabilnych izotopów węgla ($\delta^{13}\text{C}$) oraz azotu ($\delta^{15}\text{N}$) w materii organicznej oraz w wybranych próbach wykonano pomiar koncentracji rtęci. Przeprowadzone analizy pozwoliły na korelację wyników otrzymanych dla profilu Sn0 z danymi dla profili Sn1 i Sn2 (4.2B) i na tej podstawie możliwe było uznanie komplementarności zapisu we wszystkich badanych profilach.

W kontekście wyznaczenia granicy antropocenu kluczowym markerem jest pluton (Waters i in., 2015; 2018; Head i in., 2021), posiadający izotopy alfa-promieniotwórcze. Szczególne znaczenie dla badań nad antropoceniem mają antropogeniczne izotopy ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$. Charakteryzują się one długim okresem połowicznego rozpadu (^{239}Pu – 24,11 tysiąca

lat). Radionuklidy te w warunkach naturalnych nie występują, natomiast zostały uwolnione do wyższych warstw atmosfery w wyniku prób z bronią jądrową i opadały systematycznie na powierzchnię Ziemi jako tzw. globalny opad promieniotwórczy (Krey, 1968; Koide i in., 1979; UNSCEAR, 2000), zapisany w różnorodnych środowiskach akumulacji (np. osady jeziorne, morskie, torf, etc.) na całym świecie. W torfie, w którym wyróżniamy wierzchnią warstwę tlenowego akrotelmu oraz położoną pod nią warstwę beztlenowego katotelmu niektórzy specjaliści obserwują zjawisko przemieszczania się plutonu w głąb profilu (Quinto i in., 2013; Kazakevičiūtė-Jakučiūnienė i in., 2022). Niemniej jednak znakomita większość danych wskazuje na nieznaczną mobilność Pu w torfie. W analizowanych profilach z torfowiska NRS $^{239+240}\text{Pu}$ pojawia się w profilu Sn0 na głębokości 43,5-44,5 cm, zaś w Sn1 na głębokości 45,5-46,5 cm. Na podstawie korelacji z modelem wieku stwierdziłam, iż ta warstwa odpowiada dacie 1952 – 1953 CE, kiedy to nastąpiła pierwsza globalnie istotna próba jądrowa. Biorąc pod uwagę artykuł Watersa i in. (2015), według którego najlepszą datą dla początku antropocenu jest rok 1952, również wskazałam tę datę jako początek nowej epoki.



Ryc.6. Zestawienie analizowanych wskaźników aktywności człowieka w kontekście wyznaczenia dolnej granicy antropocenu w torfowisku *Na równi pod Śnieżką*. Czarna kropkowana linia wskazuje na pierwszy globalny opad plutonu (1952) i jest propozycją ulokowania dolnej granicy antropocenu.

Analiza profili Sn1 i Sn2 wykazała, iż działalność człowieka do lat 50. XX w. zaznaczyła się w postaci wzrostu koncentracji ołowiu oraz obecności palinologicznych wskaźników odlesienia. W okresie późniejszym, w profilach pojawiły się markery próbných detonacji ładunków jądrowych, wysokotemperaturowego spalania węgla oraz sygnały związane ze zmianami klimatycznymi. Referencyjny poziom dolnej granicy antropocenu (zapis pierwszego globalnego opadu plutonu) w profilu Sn0 (Ryc.6) jest zgodny z pierwszym pojawieniem się mikrosfer glinokrzemianowych (SAP) oraz mullitu (1947 ± 7 CE) we wszystkich profilach, jak również z gwałtownym wzrostem ilości mikrosfer węglowych (1959 ± 6 CE) w Sn0. $\delta^{13}\text{C}$ oraz $\delta^{15}\text{N}$ osiągnęły bardziej ujemne wartości odpowiednio w ~ 1963 and ~ 1952 CE, nie dając jednak istotnie wyraźnego sygnału korelującego z proponowanym początkiem epoki. Częściowo jest to związane z faktem, iż węgiel i azot, będąc pierwiastkami biogenicznymi, podlegają procesom fizjologicznym i biogeochemicznym.

Interpretacja wzrostu koncentracji i akumulacji badanych pierwiastków w kontekście antropocenu jest bardziej kompleksowa. Do dyskusji ww. zagadnienia wybrane zostały dwa reprezentatywne pierwiastki, tj. ołów oraz cynk, które opracowałam w profilach Sn1 oraz Sn2. Ołów jest najlepiej przebadanym pierwiastkiem w torfowiskach ze względu na fakt jego uwalniania do atmosfery w wyniku wielu procesów przemysłowych (Kabata-Pendias i Pendias, 1999; Pacyna, 2007) i depozycji w torfowisku (Shotyk i in., 1997; 1998; De Vleeschouwer i in., 2008; 2010). Cynk współwystępuje z ołowiem i przeważnie oba pierwiastki są pozyskiwane z rud siarczkowych (sfaleryt – ZnS i galena – PbS), z których otrzymuje się 90% produkcji cynku i ołowiu. Longman i inni (2020) dokonali porównania zapisu depozycji ołowiu w kilkudziesięciu profilach torfowych z całego świata. Każdy analizowany region charakteryzował się inną datą rozpoczęcia produkcji ołowiu, jak również obserwowano duże zróżnicowanie w zapisie maksymalnej akumulacji ołowiu. Jednakże, mimo istotnych różnic w produkcji ołowiu w skali lokalnej oraz regionalnej, gwałtowny wzrost w latach pięćdziesiątych we wszystkich analizowanych profilach został statystycznie potwierdzony, co ma istotne implikacje dla wyznaczenia dolnej granicy antropocenu i jest zgodne z koncepcją „wielkiego przyspieszenia” (*GAEA* sensu Waters - 2022). Gwałtowny wzrost koncentracji i akumulacji ołowiu w latach pięćdziesiątych jest wskaźnikiem obserwowanym globalnie na całym świecie (Czechy -Novak i in., 2008; Szkocja- Farmer i in., 2007; Grenlandia- Shotyk i in., 2003; Chiny- Bao i in., 2015; Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2022, 4.2C; Kirgizstan- Grigholm i in., 2016; cały świat - Longman i in., 2020) i, ze względu na jego synchroniczny charakter, może być wykorzystany do wyznaczenia warstwy referencyjnej. Istotne jest również pojawienie się technofosyliów – mikrosfer glinokrzemianowych i węglowych, które istotnie

zwiększyły częstość pojawiania się w latach 50. XX w., oraz mullitu, który pojawia się *stricte* w latach 50. Te produkty wysokotemperaturowego spalania węgla są łatwo identyfikowalne w środowisku torfowym (Rose, 2015; Smieja-Król i Fiałkiewicz-Kozieł, 2015; Smieja-Król i in., 2019; Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2020-4.2B; 2022-4.2C), co pozwala wyznaczyć precyzyjnie dolną granicę dyskutowanej epoki (Ryc.6).

We współpracy z prof. Mariuszem Lamentowiczem i dr hab. Katarzyną Marcisz stwierdziłam obserwowany globalnie (Lamentowicz i in., 2015; van Bellen i in., 2016; 2018) od końca lat 50. zanik wrażliwych na zmiany hydroklimatyczne gatunków ameb. W przypadku *NRS* obserwowana zmiana może być efektem synergii zanieczyszczenia powietrza i zmian klimatycznych. Przy czym należy zwrócić uwagę, że określona dla warstw torfu całkowita zawartość pierwiastków potencjalnie toksycznych nie jest frakcją biodostępną i zanik ameb należy raczej powiązać z wpływem potęgujących się susz, niż z toksycznym oddziaływaniem metali śladowych, choć nie można go całkowicie wykluczyć.

Godne uwagi jest także stwierdzenie przeze mnie wykorzystywania przez ameby skorupkowe cząstek lotnych popiołów ze spalania węgla do budowy skorupki. Ów nowy ekotyp ameb skorupkowych po raz pierwszy został opisany na stanowisku w Górach Izerskich (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2015).

Na podstawie analizy palinologicznej wykonanej przez dra hab. Piotra Kołaczka wykazałam pojawienie się w latach 1950. *Ambrosia artemisiifolia* jako gatunku obcego dla rodzimej flory (Ryc.6). Jest to istotny dowód na wpływ postępującej globalizacji i kosmopolityzacji świata na przekraczanie barier geograficznych przez nowe gatunki i zaburzenie równowagi środowiska przyrodniczego (Tokarska-Guzik i in., 2012). Pojawienie się *Ambrosia* pod koniec lat 50. w górskim torfowisku istotnie wyniesionym ponad drogi transportu ziaren pyłku świadczy o intensyfikacji zjawiska i wpisuje się w koncepcję „wielkiego przyspieszenia”.

Stanowisko *Na równi pod Śnieżką* jest jednym z najdokładniej zbadanych stanowisk, i ze względu na położenie w industrialnym sercu Europy, doskonale dokumentuje ślady wzmożonej aktywności człowieka od lat 1950. Mimo braku charakterystycznych dla jezior warw, charakteryzuje się odpowiednią miąższością i ma bardzo dobrze opracowaną chronologię, względem której obserwowane zmiany można interpretować w wysokiej rozdzielczości. Wielopłaszczyznowa analiza markerów geochemicznych oraz biotycznych, stanowi materiał referencyjny dla specjalistów zajmujących się rekonstrukcją zmian klimatycznych oraz działalności człowieka na podstawie torfowisk.

Podsumowanie

Tematem przewodnim wszystkich przedłożonych prac jest geochemiczny zapis działalności człowieka w profilach torfowych w kontekście fundamentalnego wpływu tej działalności na środowisko przyrodnicze w skali globalnej, co leży u podstaw wydzielenia antropocenu jako odrębnej jednostki stratygraficznej. Dobór zróżnicowanych przestrzennie stanowisk pozwolił na transkontynentalne porównanie trendów zmian koncentracji pierwiastków śladowych i ziem rzadkich oraz stosunków izotopowych Pb, Nd i Sr w geosystemach torfowiskowych oddalonych od głównych centrów przemysłowych oraz odróżnienie źródeł naturalnych od antropogenicznych celem ustalenia granicy nowej epoki. Każde z opracowanych stanowisk charakteryzuje się lokalnymi uwarunkowaniami rozwoju, które były analizowane przed rozpoczęciem interpretacji w kontekście globalnym. Zmiany zarejestrowane w torfowisku *Na równi pod Śnieżką* korespondują z historią przemysłu zachodniej Europy, z wyraźnie zaznaczoną w profilach rewolucją przemysłową oraz maksimum aktywności elektrowni węglowych i fabryk w latach siedemdziesiątych. Ponadto, za istotne uważam udokumentowanie wzrostu koncentracji niklu oraz chromu w warstwie torfu z torfowiska *NRS* datowanej na lata 20. XX w. i jego powiązanie z działalnością pierwszych hut stali nierdzewnej. W Azji Rewolucja Przemysłowa na początku XIX w. nie jest widoczna w profilu stratygraficznym, a maksymalne zawartości pierwiastków śladowych odnotowuje się od lat 1990., co jest szczególnie widoczne na Syberii.

Istotnym *novum* w moich pracach było zidentyfikowanie zaburzeń naturalnego obiegu pierwiastków ziem rzadkich wskutek szeroko rozumianej działalności człowieka (np. próbne wybuchy jądrowe, spalanie węgla). Dowody na te zaburzenia występują we wszystkich analizowanych stanowiskach, świadcząc o globalnym charakterze tych zmian.

Elementami łączącymi wszystkie analizowane stanowiska i pozwalającymi na ich analizę porównawczą są: obecność technofosyliów (w latach pięćdziesiątych – w przypadku *Na równi pod Śnieżką* i nieco później – początek lat sześćdziesiątych – w zachodniej Syberii oraz na północy Chin) oraz tzw. „wielkie przyspieszenie”, czyli gwałtowny wzrost koncentracji i akumulacji badanych pierwiastków, jak również zmiany w sygnaturze izotopowej ołowiu, strontu i neodymu. Wg Watersa i innych (2022), technofosylia stanowią drugi typ markerów antropocenu i są jednym z najważniejszych wskaźników wykorzystania paliw kopalnych przez człowieka jako siły sprawczej indukującej globalne zmiany na Ziemi.

Prace składające się na osiągnięcie naukowe dowodzą, że torfowiska stanowią ważne lądowe archiwum depozycji markerów antropocenu, co podkreśla wybór torfowiska *Na Równi pod*

Śnieżką jako stanowiska referencyjnego dla wszystkich innych profili torfowych analizowanych w kontekście antropocenu.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

- 2005-2010 odbyłam studia doktoranckie na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytetu Śląskiego. Po uzyskaniu stopnia doktora **zmieniłam miejsce zatrudnienia** i od 2010 roku pracuję na stanowisku adiunkta na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.
- 2009-2012 byłam wykonawcą w projekcie dr hab. Beaty Smieja-Król *Wpływ procesów biogeochemicznych na obieg pierwiastków śladowych w torfowiskach zanieczyszczonych pyłami atmosferycznymi (umowa o dzieło)*, gdzie przeprowadziłam ekstrakcję pierwiastków śladowych oraz określałam i interpretowałam wzorce depozycji pierwiastków śladowych w torfowiskach Wyżyny Śląskiej. Wymiernym efektem tej współpracy jest publikacja: *Smieja-Król B., Fiałkiewicz-Kozieł B., Sikorski J. and Palowski B. 2010. Heavy metal behaviour in peat - A mineralogical perspective Sci Total Environ 408 (23), 5924–5931 (Załącznik 4, pkt. 1.2.7).*
- 2013 wrzesień – październik, Praga, Czechy. Staż naukowy w Czech Geological Survey, podczas którego pogłębiałam wiedzę na temat analizy izotopów węgla.
- 2007, 2008 wrzesień, Liege, Belgia. **Wyjazd badawczy** w ramach CGRI Poland-Wallonia cooperation i **wykonanie ekstrakcji oraz pomiaru izotopów stabilnych w analizowanych próbach torfu**. 2016 październik Tuluza, Francja. **Wyjazd badawczy** w ramach programu POLONIUM. Wymiernym efektem tej współpracy jest publikacja: *Fiałkiewicz-Kozieł B., De Vleeschouwer F., Mattielli N., Fagel N, Palowski B., Pazdur A. Smieja-Król, B., 2018- Record of Anthropocene pollution sources of lead in disturbed peatlands from Southern Poland. Atmospheric Environment 179:61-68 (Załącznik 4, pkt. 1.2.1).*
- 2016-2019 byłam wykonawcą w granicie *Mechanizmy powstawania biogenicznych siarczków cynku, ołowiu i kadmu w mokradłach (umowa o dzieło)*, realizowanym na Uniwersytecie

Śląskim, gdzie wykonałam sekwencyjną ekstrakcję w celu określenia ilościowego rozkładu wybranych pierwiastków śladowych w poszczególnych składowych torfu. Wstępne wyniki tych badań były prezentowane na konferencji Goldschmidt 2019 (Załącznik 4, pkt. 2.2.9) oraz PTIM 2019 (Załącznik 4, pkt. 2.1.8) w formie posteru oraz referatu.

Współpraca w międzynarodowych zespołach

- W 2021 roku zostałam powołana na członka Grupy Roboczej ds. Antropocenu (voting member of Anthropocene Working Group). Grupa ta zrzesza naukowców z całego świata i ma na celu zebranie dowodów świadczących o istnieniu nowej epoki. W grupie tej pełnię rolę eksperta geochemii torfowisk, migracji zanieczyszczeń emitowanych przez działalność przemysłową i wykorzystania wybranych markerów geochemicznych wyznaczających granicę antropocenu (spotkania grupy roboczej w Domu Kultur Narodów w Berlinie). Wymiernym efektem działalności w ramach AWG jest prestiżowa publikacja, której jestem współautorem. *Colin N. Waters, Mark Williams, Jan Zalasiewicz, Simon D. Turner, Anthony D. Barnosky, Martin J. Head, Scott L. Wing, Michael Wagemann, Will Steffen, Colin P. Summerhayes, Andrew B. Cundy, Jens Zinke, **Barbara Fiałkiewicz-Kozieł**, Reinhold Leinfelder, Peter K. Haff, J.R. McNeill, Neil L. Rose, Irka Hajdas, Francine M.G. McCarthy, Alejandro Cearreta, Agnieszka Gałuszka, Jaia Syvitski, Yongming Han, Zhisheng An, Ian J. Fairchild, Juliana A. Ivar do Sul, Catherine Jeandel: Epochs, events and episodes: Marking the geological impact of humans, *Earth-Science Reviews* 234 (2022):104171. Mój udział polegał na ogólnej dyskusji oraz opisie nowego dla antropocenu markeru, jakim jest mullit oraz glinokrzemianowe mikrosfery (SAP).*
- Jestem jednym z liderów projektu w ramach międzynarodowego konsorcjum pod kierownictwem Simona Turnera (AWG), w ramach współpracy z Haus der Kulturen der Welt (HKW, Berlin) (**umowa**). Projekt dotyczy ustalenia globalnej granicy antropocenu i zapisu markerów antropocenu w różnorodnych matrycach środowiskowych. Wymiernym efektem działalności jest włączony w skład dzieła habilitacyjnego przeglądowy artykuł *Fiałkiewicz-Kozieł B., Łokas E., Smieja-Król B., Turner S.D., De Vleeschouwer F., Woszczyk M., Marcisz K., Gałka M., Lamentowicz M., Kołaczek P., Hajdas I., Karpińska-Kołaczek M., Koltonik K., Mróz T., Roberts S.L., Rose N.L., Krzykawski T., Boom A., Yang H. (2022, in press) The Śnieżka peatland as a candidate for the Global Boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series. *The Anthropocene Review*.*

Projekty badawcze kierowane przeze mnie:

- Depozycja metali ciężkich i zmiany paleośrodowiskowe w wybranych torfowiskach z południowo-zachodniej Polski
Kierownik projektu: (projekt zakończony)
Numer wniosku: 2011/01/D/ST10/02579
Instytucja realizująca: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Typ projektu: Sonata1
- Depozycja wybranych markerów mineralnych i geochemicznych w torfowiskach północnej hemisfery jako narzędzie do określenia cezury czasowej antropocenu (EARTH - ANTHROPOCENE)
Kierownik projektu (Lider konsorcjum): (projekt w realizacji)
Numer wniosku: 2017/27/B/ST10/00428
Instytucja realizująca: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz Uniwersytet Śląski
Typ projektu: Opus 14
- POLONIUM NO. 3333. POL-PEAT: POLish Peat Environments: Anthropogenic Tracers and environmental impacts. Kierownik: Barbara Fiałkiewicz-Kozieł, 1600 + 990 euro, 2015-2016, Finansowane przez rząd Francji.
- IGCP 732 "LANGUAGE of the Anthropocene (LANGUAGE - Lessons in anthropogenic impact: a knowledge network of geological signals to unite and assess global evidence of the Anthropocene)". Projekt realizowany pod patronatem UNESCO. Lider z Polski.
- Retrospective study of air pollution in some selected areas of Poland and Russia using peat bog cores and nuclear and related analytical techniques Program JINR
Kierownicy: Dr Marina Frontasyeva – 2500 USD i Barbara Fiałkiewicz-Kozieł – 2500 USD

Inne podjęte problemy badawcze

Wieloskaźnikowe badania torfowisk Kotliny Orawsko-Nowotarskiej zaburzonych przez działalność człowieka

Torfowiska Kotliny Orawsko-Nowotarskiej były pierwszym obiektem badań dotyczących wpływu szeroko rozumianej działalności człowieka na kondycję torfowiska, akumulację torfu i zaburzenie zapisu środowiskowego, czego efektem było opublikowanie sześciu prac

dotyczących oceny źródeł zanieczyszczeń w dwóch zaburzonych torfowiskach na podstawie analizy stosunków izotopów ołowiu (mierzonych w Belgii podczas stażu – Zał.4., pkt.5.1), metodycznych aspektów modelowania wieku przy użyciu ^{14}C oraz ^{210}Pb (Zał.4, pkt.1.2.1-1.2.3). Mimo obecności znacznych zaburzeń możliwa była identyfikacja warstw o ciągłej akumulacji torfu i ciągłym zapisie depozycji zanieczyszczeń, jak również wykazane spadku radiogeniczności izotopów ołowiu spowodowanego zmianą źródła pochodzenia ołowiu. Wykazałam, iż do końca XIX w. sygnatura izotopów ołowiu charakteryzowała się wartością tożsamą z galeną, podczas gdy od lat 50. Nastąpiło dalsze obniżenie stosunku $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ spowodowane emisją Pb ze spalania węgla czy użycia benzyny ołowiowej.

Badania geochemiczno-mineralogiczne ekstremalnie zanieczyszczonych metalami (Pb, Zn, Cd) torfowisk Wyżyny Śląskiej

Od wielu lat współpracuję z Prof. UŚ dr hab. Beatą Smieją-Król z Uniwersytetu Śląskiego. W 2010 roku powstała wspólna, wysoko cytowana, publikacja dotycząca procesów postdepozycyjnych zachodzących w przesuszonym torfowisku, będącym pod wpływem intensywnej depozycji powietrznej metali ciężkich ze względu na bliskie sąsiedztwo ważnych ośrodków przemysłowych Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (Smieja-Król i in., 2010 – Zał.4, pkt.1.2.7). Badania te były prowadzone w ramach projektu *Wpływ procesów biogeochemicznych na obieg pierwiastków śladowych w torfowiskach zanieczyszczonych pyłami atmosferycznymi* pod kierownictwem dr hab. Beaty Smieji-Król (Zał.4, pkt.3.1.2). Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na określeniu właściwości fizyko-chemicznych oraz analizie koncentracji frakcji antropogenicznej metali ciężkich w próbach torfu, jak również interpretacji otrzymanych wyników w kontekście wpływu człowieka na czasowe zmiany w depozycji opisywanych pierwiastków i pomocy przy pisaniu tekstu. Wyniki te były również kilkakrotnie prezentowane na konferencjach (Peat Congress 2012 – Zał.4, pkt.1.3.2). Na wyróżnienie zasługuje publikacja dotycząca metodycznych aspektów określenia zapisu mullitu – glinokrzemianu, który w naturze występuje niezwykle rzadko, a jest uwalniany do atmosfery podczas wysokotemperaturowego spalania węgla (Zał.4, pkt.1.2.9). Analizowane profile torfowe zawierają podwyższone ilości mullitu w przedziale czasowym pomiędzy ok. 1950-1990. Mój udział polegał na współpracowaniu koncepcji artykułu, poborze materiału, opróbowaniu profilu torfowego, wykonaniu analiz właściwości fizyko-chemicznych torfu, ekstrakcji pierwiastków w próbach torfu i interpretacji zmian czasowych koncentracji Pb, Cu, Hg oraz zaproponowaniu mullitu jako markeru uprzemysłowienia w skali globalnej.

Jestem również wykonawcą w granice *Mechanizmy powstawania biogenicznych siarczków cynku, ołowiu i kadmu w mokradłach*, realizowanym na Uniwersytecie Śląskim pod kierownictwem dr hab. Beaty Smieci-Król (Załącznik 4, pkt.3.2.3), gdzie wykonuję sekwencyjną ekstrakcję w celu określenia ilościowego rozkładu wybranych pierwiastków śladowych w poszczególnych składowych torfu i wykazania nowych faz mineralnych. Wstępne wyniki tych badań były prezentowane na konferencji Goldschmidt 2019 (Załącznik 4, pkt.2.2.9) oraz PTIM 2019 (Załącznik 4, pkt.2.1.8) w formie posteru oraz referatu.

Pokłosiem tych badań jest również publikacja (Załącznik 4, pkt.1.2.10), gdzie wykorzystaliśmy ekstremalnie zanieczyszczone mokradła jako małoskalowy model złoża siarczkowego Zn-Cd-Pb i wykazałyśmy, iż mogą być one użyteczne dla określenia roli materii organicznej w tworzeniu złóż siarczkowych w przeszłości.

Badania wpływu zmian klimatycznych i aktywności pożarowej na sekwestrację węgla w skali lokalnej i regionalnej

Torfowiska są ważnymi rezerwuarami węgla, jednak ich zdolności skałotwórcze są zależne od czynników środowiskowych, a delikatna równowaga może zostać zachwiana przez podwyższenie temperatury i suszę, co daje wyraz w zmianie właściwości fizycznych torfu, przede wszystkim gęstości pozornej, stopniu rozkładu, jak również zawartości popiołu. Zaburzona zostaje również zdolność akumulacji torfu, a tym samym węgla. Określenie zmian w gęstości pozornej w rozdzielczości 1 cm wymaga dużej precyzji, dokładności oraz doświadczenia w próbowaniu profili torfowych. We współpracy z innymi specjalistami z Instytutu Geoekologii i Geoinformacji (Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, UAM) badałam wpływ anomalii środowiskowych na właściwości fizyczne torfu oraz akumulację węgla dla stanowiska Stążki (Lamentowicz i in. 2013 – Załącznik 4, pkt.1.2.11) oraz dla stanowiska Kusowskie Bagno (Gałka i in., 2014 – Załącznik 4, pkt.1.2.12), gdzie wykazałam bezpośrednią korelację wzrostu gęstości ze zmianami składu botanicznego, będącymi efektem zmian klimatycznych. Dane z tych stanowisk zostały włączone do międzynarodowej bazy opublikowanej w Holocene (Załącznik 4, pkt.1.2.16).

Właściwości fizyczne oraz tempo akumulacji węgla były także opracowane dla stanowiska *Mukhrino* (Lamentowicz i in. 2015 – Załącznik 4, pkt.1.2.13) i wykorzystane w późniejszej publikacji (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2016-4.2A), włączonej w skład dzieła habilitacyjnego. Gęstość pozorna została wykorzystana do obliczenia tempa akumulacji pierwiastków ziem rzadkich.

Wyniki gęstości i akumulacji węgla dla opracowanych przeze mnie stanowisk z *Puścizny Małej* (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2014-Załącznik 4, pkt.1.2.3), *Mukhrino, Linje* (Marcisz i in., 2015 – Załącznik 4, pkt.1.2.14) oraz *Bagna Mikołeska* (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2014 - Załącznik 4, pkt.1.2.8), zostały umieszczone w skład bazy opublikowanej w prestiżowym czasopiśmie *Nature Climate Change* (Załącznik 4, pkt.1.2.17), która posłużyła do projekcji odpowiedzi badanych ekosystemów na ocieplenie klimatu w kontekście sekwestracji węgla.

W publikacji autorstwa Prof. dr hab. inż. Krystyny Mileckiej (Milecka i in. 2017 – Załącznik 4, pkt.1.2.15) dotyczącej stanowiska Rzecin zmiany w zawartości popiołu, gęstości pozornej i opracowanej na ich podstawie akumulacji węgla skorelowałam z epizodem uwolnienia piasku wydmowego na skutek wylesienia Puszczy Noteckiej, co spowodowało znaczące spowolnienie akumulacji torfu. Torfowisko wykazało predyspozycję do odbudowy, co ma istotne znaczenie w badaniach renaturyzacji torfowisk.

Wielowskaźnikowe, paleoekologiczne badania torfowisk sudeckich

W ramach grantu *Depozycja metali ciężkich i zmiany paleośrodowiskowe w wybranych torfowiskach z południowo-zachodniej Polski* (konkurs Sonata 1 – Załącznik 4, pkt.3.2.1), prowadzonego pod moim kierownictwem, oprócz wyników włączonych w skład dzieła habilitacyjnego (Fiałkiewicz-Kozieł i in., 2020 – 4.2B), wraz ze specjalistami z Zakładu Biogeografii i Paleoekologii IGIG (aktualnie Pracownia Ekologii Zmian Klimatu), Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych badałam również paleoekologiczne zmiany w ekosystemie torfowiskowym pod wpływem szeroko rozumianej działalności człowieka, jak uprawa roli, wylesianie czy drenaż (Kajukało i in. 2016 – Załącznik 4, pkt.1.2.19). Były to badania prowadzone w ramach pracy magisterskiej pani mgr Katarzyny Kajukało, prezentowane również na konferencji: 9th Conference Geocological Problems of the Krkonoše/Karkonosze Mountains (Załącznik 4, pkt.2.1.12).

W ramach badań torfowisk Izery współpracowałam również z panią Mariną Frontasyevą ze Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnie (JINR). Współpraca polegała na wymianie doświadczenia w zakresie technik geochemicznych, co zaowocowało zdobyciem dofinansowania z funduszu JINR (Załącznik 4, pkt.9) oraz wspólnymi publikacjami (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2015 – Załącznik 4, pkt.1.2.18; Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2016 – Załącznik 4, pkt.1.1.).

W pracy Fiałkiewicz-Kozieł i in., (2015) po raz pierwszy wykazałam, w jaki sposób ekstremalne zawartości metali wpływają na strukturę ameb skorupkowych, będących składnikiem biocenozy ekosystemu torfowego. Mimo braku odniesienia do wieku w postaci

szczegółowej chronologii, analiza mineralogiczna potwierdziła, że maksimum koncentracji pierwiastków koresponduje z maksymalną zawartością glinokrzemianowych mikrosfer (SAP), będących wskaźnikiem wielkopieczowych procesów spalania węgla i może być powiązane z intensyfikacją działalności Czarnego Trójkąta. Odpowiedzią ameb skorupkowych, które stanowią jedną z najważniejszych grup troficznych torfowiska, na znaczne zawartości glinu (4%), miedzi (96 mg kg^{-1}), chromu (98 mg kg^{-1}) czy arsenu (20 mg kg^{-1}) był zanik wrażliwych, miksotroficznych gatunków, żyjących w symbiozie z glonami, a zwiększenie ilości ameb aglutynujących, które wykorzystują frakcję mineralną do budowy skorupki. Dzięki analizie mineralogicznej wykazaliśmy pojawienie się nowych ekotypów, które wykorzystywały pył wyemitowany z elektrowni węglowych do budowy skorupki. Prezentowane wyniki były również przedstawione na kilku prestiżowych konferencjach. Np. ISTA 2014 (Załącznik 4, pkt. 2.2.2), PTIM 2019 (Załącznik 4, pkt. 2.1.5).

Torfowiska sudeckie były również analizowane w ramach współpracy z Czeskim Instytutem Geologicznym, gdzie odbyłam miesięczny staż i preparowałam próby pod kątem analizy izotopów węgla.

[Źródła pyłu w Jeziorach Sibińskich \(E Kazachstan\) - implikacje środowiskowe w skali regionalnej i globalnej](#)

Jestem również kierownikiem projektu wydziałowego, który jest realizowany we współpracy z Wielkopolskim Centrum Zaawansowanych Technologii i dotyczy środowiskowej analizy Jezior Sybińskich znajdujących się we wschodnim Kazachstanie. Celem pracy jest określenie zmian w koncentracji makro- i mikroelementów jako wyniku procesów endo- i egzogenicznych zachodzących w środowisku jeziornym; rozróżnienie wpływu dalekiego transportu od lokalnego wpływu skał granitowych, które są podstawowym źródłem dostawy frakcji mineralnej do jeziora i określenie źródeł emisji pyłu, w tym, sprawdzenie czy obserwuje się zwiększoną depozycję pyłu w czasie emisji radionuklidów związanych z naziemnymi testami nuklearnymi. Badania są obecnie w trakcie realizacji.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Udział w kształceniu młodej kadry

Promotorstwo prac licencjackich

Byłam promotorem 9 prac licencjackich. Obecnie mam pod opieką 3 dyplomantki. Jedna z prac licencjackich została opublikowana w czasopiśmie Inżynieria i Ochrona Środowiska (Aldona Grzelak). 2 prace zostały wyróżnione w Wydziałowym konkursie prac licencjackich (Dominik Dadaniak, Marika Kaminik).

Tematy zrealizowanych prac licencjackich:

1. Perspektywy i potencjalne zagrożenia ponownego wykorzystania wody szarej -
Aldona Grzelak
2. Magazynowanie węglowodorów płynnych na przykładzie Podziemnego Magazynu Ropy i Paliw w Górze koło Inowrocławia
Weronika Bączkowska
3. Wpływ zanieczyszczeń metalami ciężkimi na roślinność w mieście
Natalia Matlach
4. Koncepcja ekopolis o obiegu zamkniętym na przykładzie miasta Ostrowa Wielkopolskiego - wybrane aspekty
Dominik Dadaniak
5. Projekt parku ekoprzemysłowego w strefie przemysłowej Gorzowa Wielkopolskiego jako przykład innowacyjnych rozwiązań gospodarki cyrkularnej
Joanna Wojcieszek
6. Proekologiczne sposoby modernizacji bloku z wielkiej płyty
Marika Kaminik
7. Zmiany liczebności wróbla domowego na przestrzeni roku dla miejscowości Skórzewo
Zuzanna Biskupska
8. Projekt zamkniętego obiegu odpadów poprodukcyjnych i rolniczych w gminie Sława
Martyna Zdunek
9. Problem kolizji drogowych z udziałem zwierząt leśnych na terenie Polski
Kornelia Sydor

Prace, którymi obecnie się opiekuję:

10. Czynniki geograficzne wpływające na zróżnicowanie depozycji ołowiu w wybranych torfowiskach europejskich (Spitzbergen, Estonia, Islandia, Polska)

Małgorzata Szuwarowska

11. Czynniki geograficzne wpływające na wzorce zanieczyszczenia obszaru Islandii
Julia Kuska
12. Proekologiczne metody modernizacji budynków mieszkalnych na Osiedlu Winogrady
(Poznań)
Lidia Olejnik

Działalność dydaktyczna

- Od 2010 roku pracuję jako adiunkt w Instytucie Geoekologii i Geoinformacji, gdzie prowadziłam i prowadzę zajęcia w formie ćwiczeń, wykładów, laboratoriów oraz praktyk terenowych w wymiarze 210 h w ramach przedmiotów takich jak:
- Ekologia; Ekologia i Ochrona Środowiska; Biogeografia; Geoekologia; Analiza Krajobrazu; Przyrodnicze podstawy gospodarki przestrzennej; Przyrodnicze aspekty waloryzacji terenu; Geoekologia terenów przemysłowych i zurbanizowanych; Geochemia środowiska i ekotoksykologia; Globalne ocieplenie i reakcje ekosystemów; Gospodarka odpadami; Koncepcje projektów badawczych w ekologii miasta; Fauna w mieście; Jakość życia w mieście – zdrowie fizyczne i psychiczne; Toksykologia i epidemiologia; Regiony turystyczne Ameryki Północnej; Proseminarium; Laboratorium licencjackie; Laboratorium magisterskie; Seminarium licencjackie.
- Dla takich przedmiotów jak Geoekologia, Analiza Krajobrazu, Geoekologia terenów uprzemysłowionych i zurbanizowanych, Geochemia środowiska i ekotoksykologia, Gospodarka odpadami, Antropocen, Environmental geochemistry in the Anthropocene przygotowałam autorskie programy.
- Ponadto brałam udział w przygotowaniu materiałów i sylabusów dla specjalności Paleoekologia oraz Ekologia miasta.
- W ramach działalności organizacyjnej byłam członkiem Komisji Programowej ds. Geoekologii.

Promocja nauki:

- Angażowałam się w promocję nauki na różnych poziomach edukacji (Spotkanie z grupą przedszkolną z przedszkola Zielony zakątek; Konkurs ekologiczny „Drugie życie odpadów” dla klasy 3 SP nr1, im. Arkadego Fiedlera w Przeźmierowie).
- Brałam udział w promocji Wydziału na dniach otwartych Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych oraz w Dniu Kandydata.

- 20.05.2022 Prowadziłam warsztaty z udziałem publiczności: *Markers – Material Delineations of the Present; Reading the ashes.*
https://www.hkw.de/en/programm/projekte/veranstaltung/p_204788.php
- 16.11.2022 Prowadziłam internetowe warsztaty (Nairobi) jako specjalista geochemii torfowisk prezentując metodykę badań torfowisk w kontekście wyznaczenia granicy antropocenu dedykowaną studentom z krajów rozwijających się (przede wszystkim z Afryki)
- 17.03.2023 Wygłosiłam wykład: *Jak pęd ku nowoczesności przyczynił się do powstania nowej epoki czyli teoria antropocenu* dedykowany grupom licealnym, w ramach inicjatywy Różne oblicza geografii

Wywiady promujące naukę:

- 05.2022 wywiad dla Orion magazine
<https://storymaps.arcgis.com/stories/4e3a34e2b3704b43bd90718e53b1b080>
- 12.07.2022 Wywiad dla radia RDC - Z innej planety: o poszukiwaniu "złotego gwoźdź", czyli granicy między epokami geologicznymi https://www.rdc.pl/podcast/z-innej-planety_fY7TF0S0caRGGuoABNJe?episode=LjiFwLL8oQf2QcMSVf3q&active_page=5
- 13.07.2022 Wywiad dla radiowej trójki "Złoty gwóźdź". Czy Równia pod Śnieżką będzie "granica między epokami"? <https://trojka.polskieradio.pl/artukul/2999891,Zloty-gwozdz-Czy-Rownia-pod-Sniezka-bedzie-granica-miedzy-epokami>
- 10.07.2022 Wywiad dla PULSARU
<https://www.projektpulsar.pl/srodowisko/2172979,1,polskie-torfowisko-podpowiada-kiedy-zaczal-sie-antropocen.read>
- 13.08.2022 Wywiad dla Marcel aan de Brugh https://www-nrc-nl.translate.goog/nieuws/2022/09/30/de-mens-schept-een-geologisch-tijdperk-a4143478?_x_tr_sl=nl&_x_tr_tl=pl&_x_tr_hl=pl&_x_tr_pto=sc

Wzmianki w publicznych mediach:

- <https://dzieje.pl/rozmaitosci-histeryczne/rownia-pod-sniezka-moze-zostac-oficjalna-granica-miedzy-epokami>
- <https://wroclaw.tvp.pl/61126430/rownia-pod-sniezka-moze-zostac-oficjalna-granica-miedzy-epokami>
- <https://spidersweb.pl/2022/07/antropocen-nowa-epoka.html>

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Nagrody:

- 2011; 2016 Nagroda Rektora UAM I stopnia dla nauczycieli akademickich za wybitny dorobek publikacyjny
- 2016 Stypendium Rektora UAM za wybitną działalność naukową
- 2020 laureatka konkursu *Wsparcie najbardziej produktywnej naukowo doświadczonej kadry („bonus dla doświadczonych”)* w ramach Inicjatywy Doskonałości – Uczelnia Badawcza
- 2020, 2023 laureatka konkursu *Wsparcie publikowania w prestiżowych czasopismach naukowych - Premia za publikację w prestiżowym czasopiśmie naukowym* w ramach Inicjatywy Doskonałości – Uczelnia Badawcza

Informacje naukometryczne:

Index H: 16 (baza Scopus)

Sumaryczny IF: 111,6

Liczba cytowań (razem z autocytoowaniami, bez autocytoowań): 1084, 990

Informacja o liczbie punktów MNiSW: Do 2018 roku-650 pkt + od 2019 roku-1200 pkt

Wykaz publikacji wykorzystanych w autoreferacie

1. AWG 2020. Newsletter vol 10 Anthropocene Working Group of the subcommission on quaternary stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). AWG Washington.
2. Bao K., Xia W., Lu X. and Wang G. 2010. Recent atmospheric lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog of Great Hinggan Mountains, Northeast China, from 210Pb and 137Cs dating. *J Environ Radioact* 101:773–779.
3. Bao K., Xing W., Yu X., Zhao H., McLaughlin N., Lu X. and Wang G. 2012. Recent atmospheric dust deposition in an ombrotrophic peat bog in Great Hinggan Mountain, Northeast China. *Sci Total Environ* 431:33–45.

4. Bao K., Shen J., Wang G., Le Roux G. 2015. Atmospheric deposition history of trace metals and metalloids for the last 200 years recorded by three peat cores in Great Hinggan Mountain, Northeast China. *Atmosphere* 6 (3): 380-409.
5. Bau M., Dulski P. 1996. Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth Planet. Sc.Lett.* 143:245-255.
6. Bergin M.S., West J.J., Keating T.J., Russell A.G., 2005. Regional atmospheric pollution and transboundary air quality managements. *Annu. Rev. Environ.Resour.* 30: 1-37.
7. Bi X.-Y.; Li Z.-G.; Wang S.-X.; Zhang L.; Xu R.; Liu J.-L.; Yang H.-M.; Guo M.-Z. 2017. Lead Isotopic Compositions of Selected Coals, Pb/Zn Ores and Fuels in China and the Application for Source Tracing. *Environ. Sci. Technol.* 51 (22):13502–13508.
8. Bindler R., 2006. Mired in the past – looking to the future: geochemistry of peat and the analysis of past environmental changes. *Global Planet. Change* 53, 209–221.
9. Biscaye P.E., Grousset F.E., Revel M., Van der Gaast S., Zielinski G.A., Vaars A., Kukla G. 1997. Asian provenance of glacial dust (stage 2) in the Greenland Ice Sheet Project 2 Ice Core, Summit, Greenland. *J. Geophys. Res. Oceans* 102 (C12): 26765–26781.
10. Bohdálková L., Bohdálék P., Břizová E., Pacherová P., Kuběna A.A. 2018. Atmospheric metal pollution records in the Kovářská Bog (Czech Republic) as an indicator of anthropogenic activities over the last three millennia. *Sci. Total Environ.* 633: 857-874.
11. Bollhöfer A., Rosman K. J. R. 2001. Isotopic source signatures for atmospheric lead: the Northern Hemisphere. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65 (11): 1727–1740.
12. Chen J., Li G.J., Yang J.D., Rao W.B., Lu H.Y., Balsam W., Sun Y.B., Ji J.F. 2007. Nd and Sr isotopic characteristics of chinese deserts: implications for the provenances of Asian dust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71: 3904–3914.
13. Costa-Böddeker S., Hoelzmann P., de Stigter H.C., van Gaever P., Huy H.D., Schwalb A. 2018. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: Assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary, Southern Vietnam. *Environ. Pollut.* 242: 348–356.
14. Crutzen P.J. and Stoermer E.F. 2000. The "Anthropocene". *Global Change. IGBP Newsletter*, 41: 17–18.
15. De Vleeschouwer F., Fagel N., Cheburkin A., Pazdur A., Sikorski J., Mattielli N., Renson V., Fialkiewicz B., Piotrowska N., Le Roux G. 2009. Anthropogenic impacts in North Poland over the last 1300 years - a record of Pb, Zn, Cu, Ni and S in an ombrotrophic peat bog. *Sci. Total Environ.* 407 (21): 5674-5684.
16. De Vleeschouwer F., Le Roux and G., Shotyk W. 2010. Peat as an archive of atmospheric pollution and environmental change: A case study of lead in Europe. *PAGES news* 18 (1): 20-22.

17. De Vleeschouwer F., Pazdur A., Luthers C., Streel M., Mauquoy D., Wastiaux C., Le Roux G., Moschen R., Blaauw M., Pawlyta J., Sikorski J., Piotrowska N. 2012. A millennial record of environmental change in peat deposits from the Misten bog (East Belgium) *Quaternary International* 268: 44-57.
18. Erel Y., Axelrod T., Veron A., Mahrer Y., Katsafados P., Dayan U. 2002. Transboundary atmospheric lead pollution. *Environ. Sci. Technol.* 36 (15): 3230-3233.
19. Erel Y., Dayan U., Rabi R., Rudich Y., Stein M., 2006. Transboundary transport of pollutants by atmospheric mineral dust. *Environ. Sci. Technol.* 40 (9): 2996-3005.
20. Fagel N., Allan M., Le Roux G., Mattielli N., Piotrowska N., Sikorski J. 2014. Deciphering human-climate interactions in an ombrotrophic peat record: REE, Nd and Pb isotope signatures of dust supplies over the last 2500 years (Misten bog, Belgium). *Geochim. Cosmochim. Acta* 135: 288–306.
21. Farmer J.G., MacKenzie A.B., Sugden C.L., Edgar P.J., Eades L.J. 1997. A comparison of the historical lead pollution records in peat and freshwater lake sediments from central Scotland. *Water Air and Soil Pollution* 100: 253-270.
22. Ferrat M., Weiss D.J., Strekopytov S., Dong S., Chen H., Najorka J., Gupta S., Tada R., Sinha R. 2011. Improved provenance tracing of asian dust sources using rare earth elements and selected trace elements for palaeomonsoon studies on the eastern Tibetan plateau. *Geochim. Cosmochim. Acta* 75: 6374–6399.
23. Ferrat M., Weiss D.J., Dong S., Large D.J., Spiro B., Sun Y., Gallagher K. 2012. Lead atmospheric deposition rates and isotopic trends in asian dust during the last 9.5 kyr recorded in an ombrotrophic peat bog on the eastern Qinghai-tibetan plateau. *Geochim. Cosmochim. Acta* 82: 4–22.
24. Fiałkiewicz-Kozieł B., Kołaczek P., Piotrowska N., Michczyński A., Łokas E., Wachniew P., Woszczyk M., Sensuła B. 2014. High-resolution age-depth model of a peat bog in Poland as an important basis for paleoenvironmental studies. *Radiocarbon* 56: 109–125.
25. Fiałkiewicz-Kozieł B., Kołaczek P., Michczyński A., Piotrowska N. 2015. The construction of a reliable absolute chronology for the last two millennia in an anthropogenically disturbed peat bog: Limitations and advantages of using a radio-isotopic proxy and age-depth modelling. *Quaternary Geochronology* 25: 83–95.
26. Fiałkiewicz-Kozieł B., Smieja-Król B., Ostrovnyaya T.M., Frontasyeva M., Siemińska A., Lamentowicz M., 2015. Peatland Microbial Communities as Indicators of the Extreme Atmospheric Dust Deposition. *Wat. Air and Soil Poll.* 226: 97-103.
27. Fiałkiewicz-Kozieł B., De Vleeschouwer F., Mattielli N., Fagel N., Palowski B., Pazdur A., Smieja-Król B. 2018. Record of Anthropocene pollution sources of lead in disturbed peatlands from Southern Poland. *Atmospheric Environment* 179: 61-68.

28. Gałka M., Szal M., Bruder T., Loisel J., Knorr K-H. 2019. Peatbog resilience to pollution and climate change over the past 2700 years in the Harz Mountains, Germany. *Ecological Indicators* 97: 183-193.
29. Gałuszka A., Migaszewski Z., Zalasiewicz J., 2014. Assessing the Anthropocene with geochemical methods. Geological Society, London, Special Publications, doi 10.1144/SP395.5.
30. Gałuszka A., and Wagreich M. 2019. Metals. In: Zalasiewicz, J., Waters, C., Williams, M. et al. (eds) *The Anthropocene as a Geological Time Unit: A Guide to the Scientific Evidence and Current Debate*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 178–186.
31. Gałuszka A. and Migaszewski Z.M., Rose, N.L., 2020. A consideration of polychlorinated biphenyls as a chemostratigraphic marker of the Anthropocene. *Anthropocene Rev.* 7(2), pp. 138-158.
32. Grigholm B, Mayewski P.A., Aizen V., Kreutz K., Wake C.P., Aizen E., Kang S., Maasch K.A., Handley, M.J., Sneed, S.B. 2016. Mid-twentieth century increases in anthropogenic Pb, Cd and Cu in central Asia set in hemispheric perspective using Tien Shan ice core. *Atm. Env.* 131: 17–28.
33. Grousset F.E., Biskaye P.E. 2005. Tracing dust sources and transport patterns using Sr Nd and Pb isotopes *Chemical Geology* 222: 149-167.
34. Head M.J., Steffen W., Fagerlind D., Waters C.N., Poirier C., Syvitski J., Zalasiewicz J.A., Barnosky A.D., Cearreta A., Jeandel C., Leinfelder R., McNeill J. R., Rose N.L., Summerhayes C., Wagreich M., Zinke J. 2021. The Great Acceleration is real and provides a quantitative basis for the proposed Anthropocene Series/Epoch. Episodes. 10.18814/epiugs/2021/021031.
35. Hirano S., Suzuki K.T. 1996. Exposure, metabolism, and toxicity of rare earths and related compounds. *Environ Health Perspect* 104 (Suppl 1):85-95.
36. Holynska B., Ostachowicz B., Ostachowicz J., Samek L., Wachniew P., Obidowicz A., Wobruschek P., Strelci C., Halmetschlager G. 1998. Characterisation of ²¹⁰Pb dated peat core by various X-ray fluorescence techniques. *Sci Tot Environ.* 218: 239–248.
37. Huuskonen H., Shikano T., Mehtätalo L., Kettunen J., Eronen R., Toiviainen A., Kekäläinen J. 2017. Anthropogenic environmental changes induce introgression in sympatric whitefish ecotypes. *Biol. J. Linn. Soc.* 121, 613–626.
38. James H. 2012. *Krupp: A History of the Legendary German Firm*. Princeton Univers. Press, pp. 360.
39. Jeong G.Y., Kim J.Y., Seo J., Kim G.M., Jin H.C. Chun Y. (2014) Long-range transport of giant particles in Asian dust identified by physical, mineralogical, and meteorological analysis. *Atmos. Chem. Phys.* 14: 505–521.
40. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN.

41. Kamenov D.G., Brenner M., Tucker J.L. 2009. Anthropogenic versus natural control on trace element and Sr-Nd-Pb isotope stratigraphy in peat sediments of southeast Florida (USA)~1500 to present *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73: 3549–3567.
42. Kazakevičiūtė-Jakučiūnienė L., Tarasiuk N., Maceika E., Druteikienė R., Ežerinskis Ž., Šapolaitė J., Žukauskaitė Z., Gvozdaitė R. 2022. Analysis of the vertical distribution of ¹³⁷Cs and ^{239,240}Pu in waterlogged and non-boggy soils by the sequential extraction method. *Journal of Environmental Radioactivity* 253: 106990.
43. Koide M, Michel R, Goldberg ED, Herron MM, Langway Jr CC, 1979. Depositional history of artificial radionuclides in the Ross Ice Shelf Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters* 44: 205-223.
44. Krey P.W. 1967. Atmospheric burnup of a plutonium-238 generator. *Science* 84158: 769–771.
45. Lamentowicz M., Słowiński M., Marcisz K., Zielińska M., Kaliszan K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Fiałkiewicz-Kozieł B., Jassey VEJ., Laggoun-Defarge F., Kołaczek P. 2015. Hydrological dynamics and fire history of the last 1300 years in Western Siberia reconstructed from a high-resolution ombrotrophic peat archive. *Quaternary Research* 84: 312-325.
46. Le Roux G., Fagel N., De Vleeschouwer F., van Leeuwen J.F., Shotyk W. 2012. Volcano- and climate-driven changes in atmospheric dust sources and fluxes since the Late Glacial in Central Europe. *Geology* 40 (4): 335-338.
47. Li G., Chen J., Yang J., Conway T.M. 2009. Natural and anthropogenic sources of east asian dust. *Geology* 37 (8): 727–730.
48. Liu C.Q., Masuda A., Okada A., Yabuki S., Fan Z.L. 1994. Isotope geochemistry of Quaternary deposits from the arid lands in northern China. *Earth Planet. Sci. Lett.* 127: 25–38.
49. Longman J., Ersek V., Veres D. 2020. High variability between regional histories of long-term atmospheric Pb pollution. *Scientific Reports* 10: 20890.
50. Migaszewski Z.M. and Gałuszka A. 2015. The Characteristics Occurrence and Geochemical Behavior of Rare Earth Elements in the Environment: A Review *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45(5): 429-471.
51. Migaszewski Z.M., Gałuszka A., Dołęgowska S., 2016. Rare earth and trace element signatures for assessing an impact of rock mining and processing on the environment: Wiśniówka case study south-central Poland. *Environ Sci and Poll Res* 101007/s11356-016-7713-y.
52. Mukai H., Tanaka A., Fujii T., Zeng Y., Hong Y. 2001. Regional characteristic of sulfur and lead at several chinese urban sites. *Environ. Sci. Technol.* 35: 1064–1071.
53. Nakano T., Yokoo Y., Nishikawa M., Koyanagi H. 2004. Regional Sr–Nd isotopic ratios of soil minerals in northern China as asian dust fingerprints. *Atmos. Environ.* 38: 3061–3067.

54. Nakano T., Nishikawa M., Mori I., Shin K., Hosono T., Yokoo Y. 2005. Source and evolution of the “perfect asian dust storm” in early april 2001: implications of the Sr–Nd isotope ratios. *Atmos. Environ.* 39: 5568–5575.
55. Nieminen T.M., Ukonmaanaho L. and Shotyk W. (2002) Enrichments of Cu, Ni, Zn, Pb and As in an ombrothrophic peat bog near a Cu–Ni smelter in Southwest Finland. *Sci. Total Environ.* 292: 81-89.
56. Novak M., Emmanuel S., Vile M.A., Erel Y., Véron A., Paces T., Wieder R.K., Vanecek M., Stepanova M., Brizova E., Hovorka J. 2003. Origin of lead in eight central European peat bogs determined from isotope ratios, strengths, and operation times of regional pollution sources. *Environ. Sci. Technol.* 37: 437–445.
57. Novak M., Brizova E., Adamova M., Erbanova L., Bottrell S.H. 2008. Accumulation of organic carbon over the past 150 years in five freshwater peatlands in western and central Europe. *Sci. Total Environ.* 390(2-3): 425-436.
58. Öko-Institut. 2017. „Die deutsche Braunkohlenwirtschaft - Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen“. Studie im Auftrag von Agora Energiewende und der European Climate Foundation. Berlin: Öko-Institut. https://www.agoraenergiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/Deutsche_Braunkohlenwirtschaft/Agora_Die-deutsche-Braunkohlen-wirtschaft_WEB.pdf.
59. Osterberg E., Mayewski P., Kreutz K., Fisher D., Handley M., Sneed S., Zdanowicz C., Zheng J., Demuth M., Waskiewicz M., Bourgeois J. 2008. Ice core record of rising lead pollution in the North Pacific atmosphere. *Geophys. Res. Lett.* 35: L05810.
60. Pacyna E.G., Pacyna J.M., Fudala J., Strzelecka- Jastrzab E., Hlawiczka S., Panasiuk D., Nitter S., Pregger Th., Pheiffer H., Friedrich R. 2007. Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe. *Atmos. Environ.* 41 (38): 8557–8566.
61. Pawełczyk F., Chrost L., Magiera T., Michczyński A., Sikorski J., Tudyka K., Zajac E., 2017. Radiocarbon and lead-210 age-depth model and trace elements concentration in the Wolbrom fen (S Poland). *Geochronometria* 44(1): 40-48.
62. Pawełczyk F., Bloom K., Jucha W., Michczyński A., Okupny D., Sikorski J., Tomkowiak J., Zajac E., Fagel N., 2019. Reconstruction of atmospheric lead and heavy metal pollution in the Otrębowski Brzegi peatland (S Poland). *Geological Quarterly* 63 (3): 568-585.
63. Pratte S., Bao K., Sapkota A., Zhang W., Shen J., Le Roux G., De Vleeschouwer F. 2020. 14 kyr of atmospheric mineral dust deposition in north-eastern China: A record of palaeoclimatic and palaeoenvironmental changes in the Chinese dust source regions *The Holocene* 30 (4): 492-506.
64. Qian W., Quan L., Shi S. 2002. Variations of the dust storm in China and its climatic control. *J. Clim.* 15: 1216–1229.

65. Quinto F., Hrncsek E., Krachler M., Shotyk W., Steier P., Winkler S.R. 2013. Determination of ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu ^{242}Pu at femtogram and attogram levels—evidence for the migration of fallout plutonium in an ombrotrophic peat bog profile. *Environ Sci: Proc & Imp* 15(4): 839-847.
66. Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson A., Stuart Chapin F., Lambin E.F., Lenton, T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472–475.
67. Rose N.L. 2015. Spheroidal carbonaceous fly ash particles provide a globally synchronous stratigraphic marker for the Anthropocene. *Environ. Sci. Technol.* 49 (7): 4155-4162.
68. Samson P.J. 1988. Atmospheric transport and dispersion of air pollutants associated with vehicular emissions. In: Watson A.Y., Bates R.R., Kennedy D. (Eds.), *Air Pollution, the Automobile, and Public Health*. National Academies Press (US), Washington (DC).
69. Sapkota A. 2006. Mineralogical, Chemical, and Isotopic (Sr, Pb) Composition of Atmospheric Mineral Dusts in an Ombrotrophic Peat Bog, Southern South America. University of Heidelberg, PhD dissertation, pp.182.
70. Schettler G., Liu Q., Mingram J., Stebich M., Dulski P. 2006. East-asian monsoon variability between 15 000 and 2000 cal. yr BP recorded in varved sediments of Lake Sihailongwan (north-Eastern China, long gang volcanic field). *The Holocene* 16: 1043–1057.
71. Shotyk W., Cheburkin AK, Appleby PG, Fankhauser A, Kramers JD (1998) Lead in three peat bog profiles Jura Mountains Switzerland: enrichment factors isotopic composition and chronology of atmospheric deposition *Wat. Air and Soil Poll.* 100 (3–4): 297-310.
72. Shotyk W., Weiss, D., Heisterkamp M., Cheburkin A.K., Appleby, P.G., Adams, F.C., 2002. New peat bog record of atmospheric lead pollution in Switzerland: Pb concentrations, enrichment factors, isotopic composition, and organolead species. *Environ. Sci. Technol.* 36 (18): 3893–3900.
73. Shotyk W., Goodsite, M.E., Roos-Barracough F., Lohse C., Hansen T.S. 2003. Anthropogenic contributions to atmospheric Hg, Pb and As accumulation recorded by peat cores from southern Greenland and Denmark dated using the ^{14}C "bomb pulse curve". *Geochim. Cosmochim. Acta* 67 (21): 3991–4011.
74. Słomka A., Wolny E., Kuta E., 2014. *Viola tricolor* (Violaceae) is a karyologically unstable species. *Plant Biosystems* 148(4): 602-608.
75. Smieja-Król B., Fiałkiewicz-Kozieł B., Sikorski J. and Palowski B. 2010. Heavy metal behaviour in peat - A mineralogical perspective *Sci Total Environ* 408 (23): 5924–5931.
76. Sun J.M., Zhang M.Y., Liu T.S. 2001. Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960–1999: relations to source area and climate. *J. Geophys. Res. Atmos.* 106: 10325–10333.

77. Taylor S.R. and McLennan S.M. 1985. *Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks.* Blackwell Scientific Publications.
78. Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz. 2012. *Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych.* Wyd. GDOŚ, Warszawa, pp. 196.
79. Trepńska J. 2002. *Górskie klimaty.* Wyd. Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków, UJ.
80. Ukonmaanaho L., Nieminen T., Rausch N. and Shotyk W. 2004. Heavy metal and arsenic profiles in ombrogenous peat cores from four differently loaded areas in Finland. *WAT. AIR AND SOIL POLL.* 58: 277-294.
81. UNSCEAR 2000. *Exposure from man-made sources of radiation Report volume 1: sources annex C.*
82. Wang X., Zhang C.X., Wang H.T., Qian G.Q., Luo W.Y., Lu J.F. 2011. The significance of Gobi desert surfaces for dust emissions in China: an experimental study. *Environ. Earth Sci.* 64: 1039–1050.
83. Waters C.N., Syvitski J.P.M., Gałuszka A. 2015. Can nuclear weapons fallout mark the beginning of the Anthropocene Epoch? *Bulletin of the Atomic Scientists* 71(3): 46–57.
84. Waters C.N., Zalasiewicz J., Summerhayes C., Barnosky A.D., Poirier C., Gałuszka A., Cearreta A., Edgeworth M., Ellis E.C., Ellis M., Jeandel C., Leinfelder, R., McNeill J.R., Richter D. de B., Steffen W., Syvitski J., Vidas D., Waple M., Williams M., An Zhisheng, Grinevald J., Odada E., Oreskes N. and Wolfe A.P., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351.
85. Waters C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes C., Fairchild I.J., Rose N., Loader N.J., Shotyk W., Cearreta A., Head M.J., Syvitski J.P.M., Williams M., Waple M., Barnosky A.D., Zhisheng A., Leinfelder R., Jeandel C., Gałuszka A., Ivar dosul J.A., Gradstein F., Steffen W., McNeill J.R., Wing S. , Poirier C. and Edgeworth M., 2018. Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Anthropocene Series: Where and how to look for potential candidates. *Earth-Sc Rev* 178: 379-429.
86. Waters C.N., Williams M., Zalasiewicz J., Turner S.D., Barnosky A.D., Head M.J., Wing S.L., Waple M., Steffen W., Summerhayes C.P., Cundy A.B., Zinke J., Fiałkiewicz-Kozieł B., Leinfelder R., Haff P.K., McNeill J.R., Rose N.L., Hajdas I., McCarthy F.M.G., Cearreta A., Gałuszka A., Syvitski J., Han Y., An Z., Fairchild I.J., Ivar do Sul J.A., Jeandel C. 2022. Epochs, events and episodes: Marking the geological impact of humans, *Earth-Sc. Rev.* 234: 104171.
87. Waters C. and Turner S. (2022) Defining the onset of the Anthropocene. *Science* 378 (6621): 706-708.

88. Weiss D., Shotyk W., Kramers J.D., Gloor M. (1999) Sphagnum mosses as archives of recent and past atmospheric lead deposition in Switzerland. *Atm. Env.* 33: 3751-3763.
89. van Bellen S., Magnan G., Davies L., Froese D., Mullan-Boudreau G., Zaccone C., Garneau M., Shotyk W. 2018. Testate amoeba records indicate regional 20th-century lowering of water tables in ombrotrophic peatlands in central-northern Alberta, Canada. *Glob. Chang. Biol.* 24: 2758-2774.
90. van Bellen S., Mauquoy D., Hughes P.D., Roland T.P., Daley T.J., Loader N.J., Street-Perrott F.A., Rice E.M., Pancotto V.A., Payne R.J. 2016. Late-Holocene climate dynamics recorded in the peat bogs of Tierra del Fuego South America. *The Holocene* 26: 489-501.
91. Vrablik P., Wildova E., Vrablikova J. 2017. The Effect of Brown Coal Mining on the Environment and Health of the Population in Northern Bohemia (Czech Republic) *IJCCE* 06(01):1-13.
92. Zhang X.Y., Arimoto R., An Z.S. 1997. Dust emission from Chinese desert sources linked to variations in atmospheric circulation. *J. Geophys. Res.* 102: 28,041–28,047.
93. Zieliński M., Dopieralska J., Belka Z., Walczak A., Siepak M., Jakubowicz M. 2017. The strontium isotope budget of the Warta River (Poland): Between silicate and carbonate weathering, and anthropogenic pressure. *Appl. Geochemistry* 81: 1-11.
94. Zieliński M., Dopieralska J., Królikowska-Ciągło S., Walczak A., Belka Z. 2021. Mapping of spatial variations in Sr isotope signatures ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in Poland — Implications of anthropogenic Sr contamination for archaeological provenance and migration research. *Sci. Total Environ.* 775: 145792.

.....
(podpis wnioskodawcy)