

Analiza sumarycznych rozkładów gęstości prawdopodobieństwa (PDFs) dat radiowęglowych i luminescencyjnych z nieciągłych profili osadów rzecznych na tle zmian klimatycznych zapisanych w rdzeniu NGRIP

Danuta J. Michczyńska¹, Danuta A. Dzieduszyńska², Piotr Gębica³, Dariusz Krzyszkowski⁴, Małgorzata Ludwikowska-Kędzia⁵, Joanna Petera-Zganiacz², Lucyna Wachecka-Kotkowska², Dariusz Wieczorek⁶



D.J. Michczyńska



D.A. Dzieduszyńska



P. Gębica



D. Krzyszkowski

Analysis of summed probability density functions (PDFs) of radiocarbon and luminescence dates from discontinuous profiles of river deposits against the background of climate changes recorded in the NGRIP core. *Prz. Geol.*, 71: 527–529; doi: 10.7306/2023.41

Abstract. The study presents the results of a comprehensive analysis of radiocarbon and luminescence dates from samples taken from a fluvial environment for selected regions south of the LGM line, presented against a high-resolution INTIMATE stratigraphy. It is shown that discontinuous records of fluvial environmental responses in such an analysis reveal significantly more details than studies conducted at individual sites. A strong correlation is observed between peaks in the PDF curves of radiocarbon dates and interstadial periods, while accumulations of luminescence dates are correlated with stadial periods.

Keywords: Poland, fluvial environment, radiocarbon and luminescence dates; summary probability density distributions, 80–11,7 ka cal kBP



M. Ludwikowska-Kędzia



J. Petera-Zganiacz



L. Wachecka-Kotkowska



D. Wieczorek

Autorzy podjęli próbę zbiorczej analizy dostępnych wyników datowania radiowęglowego i luminescencyjnego osadów rzecznych w wybranych regionach Polski na południe od linii maksymalnego zasięgu ostatniego zlodowacenia (gdzie od wielu lat są prowadzone badania nad reakcją systemów rzecznych na zmiany klimatu w okresie czwartorzęd, a następnie porównania uzyskanego zapisu z wysokorozdzielczymi danymi z grenlandzkiego rdzenia lodowego NGRIP – *North Greenland Ice Core Project* i stratygrafią INTIMATE – *INTEgration Ice core, MARine and TERrestrial records* (Rasmussen i in., 2014). Celem badań było sprawdzenie, czy zbiorcza analiza danych chronostratygraficznych pochodzących z licznych, nieciągłych profili pozwala na rekonstrukcję reakcji środowiska flu-

wialnego na globalne zmiany klimatu w znacznie dokładniejszy sposób niż wynika to z analizy pojedynczych stanowisk. Podobne analizy różnych typów osadów z innych regionów wykonywali np. Michczyńska, Pazdur (2004), Michczyńska i in. (2007, 2022a), Michczyńska, Hajdas (2010) i Dzieduszyńska (2017, 2019).

OBSZAR BADAŃ

Obszar badań jest zlokalizowany na południe od linii maksymalnego zasięgu ostatniego zlodowacenia w Polsce (LGM – *Last Glacial Maximum*) i obejmuje region łódzki (Krzyszkowski, 1990, 1991, 1998; Petera, 2002; Wachecka-Kotkowska i in., 2014; Dzieduszyńska, 2019; Michczyńska

¹ Instytut Fizyki, Centrum Naukowo-Dydaktyczne, Politechnika Śląska, ul. S. Konarskiego 22B, 44–100 Gliwice; Danuta.Michczyńska@polsl.pl; ORCID ID: 0000-0001-5348-5791

² Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, ul. G. Narutowicza 88, 90–139 Łódź; danuta.dzieduszyńska@geo.uni.lodz.pl; joanna.petera@geo.uni.lodz.pl; lucyna.wachecka@geo.uni.lodz.pl; ORCID ID: D.A. Dzieduszyńska – 0000-0002-2284-2183, J. Petera-Zganiacz – 0000-0002-1045-5506, L. Wachecka-Kotkowska – 0000-0002-5440-6300

³ Instytut Archeologii, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Moniuszki 10, 35–015 Rzeszów; pgebica@ur.edu.pl; ORCID ID: 0000-0001-8109-267X

⁴ Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski, ul. W. Cybulskiego 34, 50–205 Wrocław; dariusz.krzyszkowski@uwr.edu.pl; ORCID ID: 0000-0003-4451-2051

⁵ Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, ul. Uniwersytecka 7, 25–406 Kielce; malgorzata.ludwikowska@ujk.edu.pl; ORCID ID: 0000-0001-5747-4934

⁶ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski im. Jana Czarnockiego, ul. Zgoda 21, 25–378 Kielce; dwie@pgi.gov.pl; ORCID ID: 0000-0001-6612-5349

i in., 2022a), rejon Gór Świętokrzyskich (Ludwikowska-Kędzia, 2000, 2018), kotliny podkarpackie i Karpaty (Gębica i in., 2015; Starkel i in., 2017).

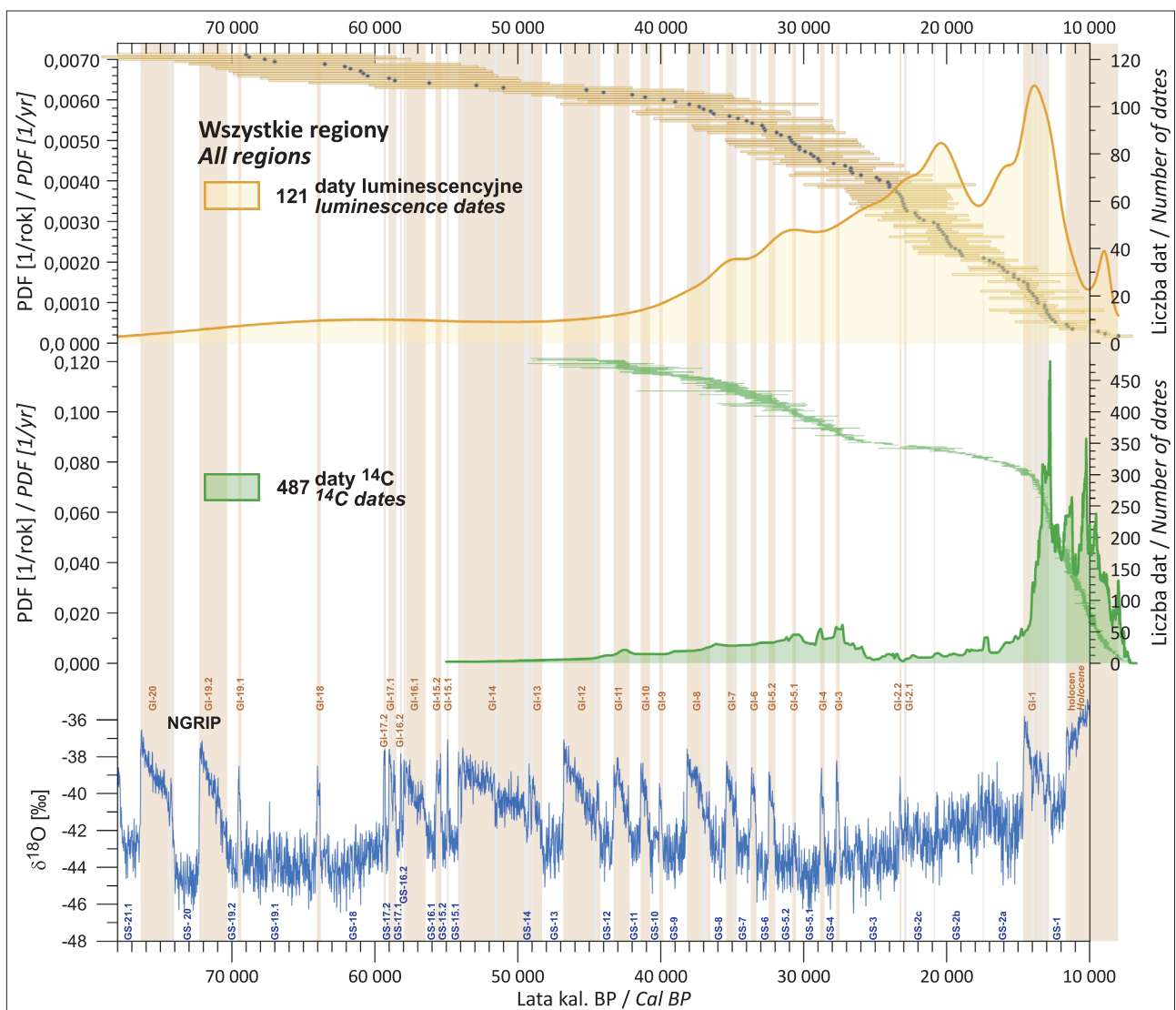
METODY I ANALIZOWANE DANE

Analizie poddano daty z przedziału 80–11,7 ka cal kBP zgromadzone przez autorów zespołu (Michczyńska i in., 2022b – suplement i obszerna literatura dotycząca poszczególnych stanowisk tam cytowana; w niniejszym artykule zaprezentowano zbiór uzupełniony o udostępnione, niepublikowane daty), ale przedmiot badań zawężono tylko do środowiska fluwialnego. Datowane próbki pochodzą z miejsc w profilach osadów, w których następowały istotne zmiany w zapisie sedimentologicznym, np. zmiany facjalne osadów rzecznych, różnice w zawartości materii

organicznej (wyznaczające spąg i strop przewarstwień organicznych) lub znaczące zmiany udziału poszczególnych taksonów pyłkowych w diagramach palinologicznych wypełnień starorzeczy.

Analizami objęto łącznie 487 dat radiowęglowych i 121 luminescencyjnych. Korzystając z programu *OxCal* v.4.4.4 (Bronk Ramsey, 2009, 2017) i najnowszej krzywej kalibracyjnej *IntCal20* (Reimer i in., 2020), stworzono krzywe funkcji gęstości prawdopodobieństwa PDF (*Probability Density Functions*) i porównano ich przebieg ze stratygrafią INTIMATE (Rasmussen i in., 2014).

Krzywe PDF (ryc. 1) są tworzone poprzez sumowanie rozkładów prawdopodobieństwa poszczególnych dat. Przy czym w przypadku dat radiowęglowych są to rozkłady prawdopodobieństwa dat kalibrowanych, a w przypadku dat luminescencyjnych rozkłady Gaussa. Dzięki takiemu



Ryc. 1. Rozkłady gęstości prawdopodobieństwa (PDF) dat luminescencyjnych oraz radiowęglowych na tle krzywej $\delta^{18}\text{O}$ z rdzenia lodowego NGRIP i stratygrafii INTIMATE. Piki rozkładu dat luminescencyjnych są skorelowane przede wszystkim z okresami ochłodzeń (GS), natomiast dat radiowęglowych – z okresami ociepleń (interstadiałów GI, zaznaczonych beżowymi, pionowymi pasami). Przedstawienie każdej daty w postaci poziomego odcinka reprezentującego przedział 68,3% ufności pozwala dodatkowo zaobserwować nagromadzenia dat

Fig. 1. Probability Density Functions (PDFs) of luminescence and radiocarbon dates on the background of the $\delta^{18}\text{O}$ curve from the NGRIP ice core and INTIMATE stratigraphy. Peaks in the luminescence date distribution are primarily correlated with cooling periods (GS), while radiocarbon dates are correlated with warming periods (interstadials GI indicated by beige vertical bars). Presenting each date as a horizontal bar representing a 68.3% confidence interval allows for additional observation of date clusters

podejściu w analizach sumarycznych jest uwzględniana pełna informacja o poszczególnych wynikach oznaczeń wieku. Przyjęto założenie, że zmiany facjalne w badanych osadach w większości przypadków były odpowiedzią na impulsy klimatyczne. Jeśli w wielu stanowiskach pojawia się synchroniczna zmiana, to w rozkładach PDF pojawia się wyraźny pik, świadczący o zarejestrowaniu zjawiska o szerszym zasięgu niż lokalny (Michczyńska, Pazdur, 2004; Michczyńska i in., 2007). Interesującym problemem jest w szczególności reakcja systemu fluwialnego analizowanych regionów na zmiany klimatyczne o zasięgu globalnym, udokumentowane danymi wysokiej rozdzielczości z Grenlandii – np. z rdzenia lodowego NGRIP, które w stratygrafii INTIMATE zostały ujęte w okresy stadiałów (GS – *Greenland Stadials*) i interstadiałów (GI – *Greenland Interstadials*; Rasmussen i in., 2014). Stąd wynika idea porównania rozkładów PDF dat radiowęglowych i luminescencyjnych z krzywą tlenową z rdzenia NGRIP i stratygrafią INTIMATE.

WYNIKI

Zbiorcza analiza oznaczeń wieku osadów wykazała bardzo dobrą korelację analizowanych zmian aktywności środowiska fluwialnego (zapisanych w zróżnicowaniu litofacjalnym aluwiów oraz w rzeźbie dna dolin) z wielkoskalowymi zmianami warunków klimatycznych zapisanymi w rdzeniu NGRIP (ryc. 1). Datowana metodą radiowęglową materia organiczna dokumentuje zmiany w funkcjonowaniu środowiska fluwialnego głównie w okresach interstadiałów. Natomiast nagromadzenia dat luminescencyjnych są przede wszystkim skorelowane z okresami stadiałów. Brak idealnej zgodności sygnału klimatycznego zapisanego w krzywych PDF i krzywej tlenowej z rdzenia NGRIP wynika przede wszystkim z: a) czasu potrzebnego na reakcję środowiska na zmianę klimatu w zależności od położenia geograficznego stanowisk, b) wpływu lokalnych warunków, c) faktu, że w większości przypadków datowaniu podlegały próbki z miejsc w profilu przed widoczną zmianą w zapisie sedimentologicznym lub po niej, a nie dokładnie na granicy warstw, d) niepewności statystycznych dat, które rosną wraz z wiekiem. Z tej przyczyny piki na krzywej, odpowiadające seriom coraz starszych osadów, stają się niższe i szersze.

WNIOSKI

Analiza sumarycznych rozkładów gęstości prawdopodobieństwa (PDFs) dat radiowęglowych i luminescencyjnych jest dobrą metodą zbiorczej analizy danych geochronologicznych. Wykazano, że nieciągłe zapisy reakcji środowiska fluwialnego w tego typu analizie ujawniają znacznie więcej szczegółów niż wyniki badań pojedynczych stanowisk. Zaobserwowano dobrą korelację pików na krzywych PDF z datami radiowęglowymi z okresów interstadialnych – przy czym im młodsze ramy czasowe, tym rekonstrukcja jest bardziej precyzyjna. Nagromadzenia dat luminescencyjnych są natomiast skorelowane głównie z okresami stadiałów. Dalsze prace będą dotyczyły analiz danych z poszczególnych regionów.

Autorzy dziękują recenzentowi Profesorowi Janowi Dzierżkowi za cenne, merytoryczne uwagi, które przyczyniły się do podniesienia jakości artykułu.

LITERATURA

- BRONK RAMSEY C. 2009 – Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51 (1): 337–360.
- BRONK RAMSEY C. 2017 – Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon*, 59 (6): 1809–1833.
- DZIEDUSZYŃSKA D. 2017 – Przydatność zbioru dat radiowęglowych do rekonstrukcji zmian w środowisku schyłku wistulianu Polski Środkowej. *Acta Geogr. Lodziensia*, 106: 117–127.
- DZIEDUSZYŃSKA D.A. 2019 – Timing of environmental changes of the Weichselian decline (18.0–11.5 ka cal BP) using frequency distribution of ^{14}C dates for the Łódź region, Central Poland. *Quater. Intern.*, 501: 135–146.
- GĘBICA P., MICHCZYŃSKA D.J., STARKEL L. 2015 – Fluvial history of the Sub-Carpathian Basins (Poland) during the last cold stage (60–8 ka cal BP). *Quater. Intern.*, 388: 119–141.
- KRZYSZKOWSKI D. 1990 – Middle and Late Weichselian stratigraphy and palaeoenvironments in central Poland. *Boreas*, 19 (4): 333–350.
- KRZYSZKOWSKI D. 1991 – Vistulian fluvial sedimentation near Belchatow, central Poland. *Bull. Pol. Acad. Sci. Earth Sci.*, 39 (3): 311–329.
- KRZYSZKOWSKI D. 1998 – Stratigraphy and sedimentology of Weichselian deposits at Folwark, Belchatow outcrop, central Poland. *Quater. Stud. Pol.*, 15: 3–26.
- LUDWIKOWSKA-KĘDZIA M. 2000 – Ewolucja środkowego odcinka doliny rzeki Belnianki w późnym glacie i holocenie. *Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa*.
- LUDWIKOWSKA-KĘDZIA M. 2018 – Litologia, geneza i stratygrafia osadów czwartorzędowych w południowej części Gór Świętokrzyskich. *Instytut Geografii, Uniw. Jana Kochanowskiego w Kielcach*.
- MICHCZYŃSKA D.J., HAJDAS I. 2010 – Frequency distribution of ^{14}C ages for chronostratigraphic reconstructions: Alaska region study case. *Radiocarbon*, 52 (3): 1041–1055.
- MICHCZYŃSKA D.J., PAZDUR A. 2004 – Shape analysis of cumulative probability density function of radiocarbon dates set in the study of climate change in the Late Glacial and Holocene. *Radiocarbon*, 46 (2): 733–744.
- MICHCZYŃSKA D.J., MICHCZYŃSKI A., PAZDUR A. 2007 – Frequency distribution of radiocarbon dates as a tool for reconstructing environmental changes. *Radiocarbon*, 49 (2): 799–806.
- MICHCZYŃSKA D.J., WIECZOREK D., WACHECKA-KOTKOWSKA L., KRZYSZKOWSKI D. 2022a – Oscylacje klimatyczne w zakresie 20 000–11 000 cal BP zapisane w utworach formacji Piaski i Szerokie w odkrywkach Kopalni Węgla Brunatnego Belchatów: spojrzenie poprzez analizę dat radiowęglowych. *Acta Geogr. Lodziensia*, 112: 123–140.
- MICHCZYŃSKA D.J., DZIEDUSZYŃSKA D.A., PETERA-ZGANIACZ J., WACHECKA-KOTKOWSKA L., KRZYSZKOWSKI D., WIECZOREK D., LUDWIKOWSKA-KĘDZIA M., GĘBICA P., STARKEL L. 2022b – Climatic oscillations during MIS 3-2 recorded in sets of ^{14}C and OSL dates – A study based on data from Poland. *Radiocarbon*, 64 (6): 1373–1386.
- PETERA J. 2002 – Vistuliańskie osady dolinne w basenie uniejowskim i ich wymowa paleogeograficzna. *Acta Geogr. Lodziensia*, 83: 8–164.
- RASMUSSEN S.O., BIGLER M., BLOCKLEY S.P., BLUNIER T., BUCHARDT S.L., CLAUSEN H.B., CVJANOVIC I., DAHL-JENSEN D., JOHNSEN S.J., FISCHER H., GKINIS V., GUILLEVIC M., HOEK W.Z., LOWE J.J., PEDRO J.B., POPP T., SEIERSTAD I.K., STEFFENSEN J.P., SVENSSON A.M., VALLELONGA P., VINSTER B.M., WALKER M.J.C., WHEATLEY J.J., WINSTRUP M. 2014 – A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Sci. Rev.*, 106: 14–28.
- REIMER P.J., AUSTIN W.E.N., BARD E., BAYLISS A., BLACKWELL P.G., BRONK RAMSEY C., BUTZIN M., CHENG H., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAJDAS I., HEATON T.J., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KROMER B., MANNING S.W., MUSCHELER R., PALMER J.G., PEARSON C., VAN DER PLICHT J., REIMER R.W., RICHARDS D.A., SCOTT E.M., SOUTHON J.R., TURNER C.S.M., WACKER L., ADOLPHI F., BÜNTGEN U., CAPANO M., FAHRNI S.M., FOGTMANN-SCHULZ A., FRIEDRICH R., KÖHLER P., KUDSK S., MIYAKE F., OLSEN J., REINIG F., SAKAMOTO M., SOOKDEO A., TALAMO S. 2020 – The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62 (4): 725–757.
- STARKEL L., MICHCZYŃSKA D.J., GĘBICA P. 2017 – Reflection of climatic changes during interpleniglacial in the geoeosystems of South-Eastern Poland. *Geochronometria*, 44 (1): 202–215.
- WACHECKA-KOTKOWSKA L., KRZYSZKOWSKI D., KLACZAK K., KRÓL E. 2014 – Middle Weichselian pleniglacial sedimentation in the Krasówka river palaeovalley, Central Poland. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 84 (4): 323–340.

Praca wpłynęła do redakcji 29.08.2023 r.
Akceptowano do druku 15.09.2023 r.