

Zdzisław Jary¹, Ludwig Zoeller², Pierre Antoine³,
Piotr Moska⁴, Andrij Bogucki⁵, Przemysław Mroczek⁶,
Marcin Krawczyk¹, Michał Łopuch¹, Jerzy Raczyk¹,
Jacek Skurzyński¹, Olena Tomeniuk⁵

¹Zakład Geografii Fizycznej, Uniwersytet Wrocławski

²Chair of Geomorphology, University of Bayreuth, Germany

³Laboratoire de Géographie Physique Environnements quaternaires et actuels
(UMR 8591, CNRS-Universités Paris I & Paris XII), France

⁴Centrum Naukowo-Dydaktyczne, Instytut Fizyki, Politechnika Śląska, Gliwice

⁵Katedra Geomorfologii i Paleogeografii,

Wydział Geografii, Narodowy Uniwersytet im. I. Franki, Lwów, Ukraina

⁶Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku,
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin



Późnoplejstoceńskie zmiany klimatyczno-środowiskowe zapisane w lessach Polski i zachodniej części Ukrainy

Pokrywy lessowe powszechnie uznaje się za jedno z podstawowych lądowych źródeł informacji o zmieniającym się klimacie plejstoce-
nu. Sekwencje lessowo-glebowe Chińskiej Wyżyny Lessowej (Kukla, An
1989) i Wojwodiny (Marković i in. 2015) wskazują na ciągłość depozycji
pyłu lessowego i bardzo dobrze korelują się z zapisem głębokomorskim,
potwierdzając następstwo globalnych, cyklicznych zmian klimatycznych
w czwartorzędzie. Lessy polskie i lessy Wyżyny Wołyńsko-Podolskiej
zalegają w północnej części Europejskiego Pasa Lessowego. Były one de-
ponowane w dynamicznie zmieniających się środowiskach strefy ekstra-

glacialnej lądolodu skandynawskiego. Depozycja pyłu w tej strefie najprawdopodobniej nie miała ciągłego charakteru (Moska i in. 2015; 2017; 2019), a charakterystyczną cechą sekwencji lessowo-glebowych jest duże zróżnicowanie zapisu glebowo-sedymentacyjnego oraz powszechne występowanie erozyjnych powierzchni niezgodności i struktur peryglacialnych (Lehmkuhl i in. 2021), które zazwyczaj występują w formie dobrze wykształconych horyzontów (Jary 2009).

Późnoplejstocenijskie struktury i horyzonty peryglacialne na obszarze badań powstały w rezultacie zmian klimatyczno-środowiskowych – nagłych ochłodzeń i gwałtownych ociepleń. Horyzonty struktur peryglacialnych zazwyczaj powtarzają się w określonej sytuacji stratygraficznej, co sugeruje ich związek ze zdarzeniami klimatycznymi o charakterze globalnym lub co najmniej regionalnym. Wydaje się zatem, że próba określenia tzw. stratygrafii zdarzeń (*event stratigraphy* – Ager 1973) dla późnoplejstocenijskich sekwencji lessowo-glebowych badanego obszaru jest usprawiedliwiona i może przynieść pozytywne rezultaty. Korelacja badanych sekwencji z zapisem głębokomorskim (Martinson i in. 1987) oraz zsynchronizowanymi, grenlandzkimi rdzeniami lodowymi (Rasmussen i in. 2014), oparta na wysokorozdzielczych, równoległych oznaczeniach wieku metodą radiowęglową i luminescencyjną, może pomóc w określeniu przedziałów czasowych, w których formowały się horyzonty peryglacialne.

Późnoplejstocenijskie struktury i horyzonty peryglacialne występują we wszystkich jednostkach lito-pedostratygraficznych badanych sekwencji lessowo-glebowych. Wykazują jednak duże zróżnicowanie przestrzennego rozmieszczenia zarówno na osi wschód-zachód, jak i północ-południe.

W **pedokompleksie S1** zazwyczaj występuje od jednej do trzech generacji klinów z pierwotnym wypełnieniem mineralnym. Szczególnie często występują one w lessach wschodniej Polski oraz Wyżyny Wołyńsko-Podolskiej. Struktury klinów z pierwotnym wypełnieniem mineralnym wskazują na głębokie, sezonowe przemarzanie gruntu w warunkach rozrzedzonej pokrywy roślinnej oraz nieciągłej pokrywy śnieżnej. Najprawdopodobniej powstały w zimnych okresach MIS₅, które można korelować z interstadiałami Hering (MIS 5d) i Rederstall (MIS 5b). W niektórych odsłonięciach materiał wypełniający najmłodszą generację struktur pochodzi z deflacji stropowego poziomu humusowego pedokompleksu S1.

Brak bardziej szczegółowego określenia pozycji chronostratygraficznej wynika głównie z dużego błędu metod luminescencyjnych i niemożności zastosowania metody radiowęglowej.

Nagła, lecz konsekwentna zmiana klimatu na przełomie MIS₅ i MIS₄ zapisała się w postaci horyzontu geliflukcji i krioturbacji w stropie pedokompleksu S₁. Można ją korelować z grenlandzkim stadiem GS-20 lub GS-19. Rozpoczęła się depozycja lessów L₁LL₂ i rozwinęła się wieloletnia zmarzlina, którą dokumentują pseudomorfozy klinów lodowych. Rezultaty datowań OSL wypełnienia struktury w Zaprężynie (Wzgórza Trzebnickie) oraz warstwy lessów zalegającej bezpośrednio powyżej pseudomorfozy sugerują, że degradacja zmarzliny nastąpiła tam w okresie korelowanym z interstadiem grenlandzkim GI-17 lub GI-16.

Kolejnym powszechnie występującym markerem stratygraficznym jest horyzont krioturbacji i geliflukcji w stropie pedokompleksu L₁SS₁. Najprawdopodobniej dokumentuje on gwałtowną zmianę klimatu i rozwój wieloletniej zmarzliny w okresie przejściowym z MIS₃ do MIS₂. Dotychczasowe rezultaty datowań OSL wskazują na korelację z GS-3, ale nie można na tym etapie badań wykluczyć korelacji z GS-4, a nawet GS-5.

MIS₂ to okres intensywnej depozycji lessów L₁LL₁. W tym czasie nastąpił również maksymalny rozwój wieloletniej zmarzliny w trakcie ostatniego zlodowacenia (Vandenberghé i in. 2014). Lessy L₁LL₁ nie są jednak w pełni homogeniczne. Świadczą o tym potwierdzone analizami składu granulometrycznego cykle depozycyjne oraz słabo wykształcone poziomy glejowe rozwinięte na lessach o drobniejszym uziarnieniu (Jary 2007; Jary i Ciszek 2013). W profilach lessowych odnotowuje się przeciętnie 4–6 cykli depozycyjnych, co w zestawieniu z wynikami datowań OSL sugeruje, że w trakcie depozycji lessów L₁LL₁ badany obszar znajdował się pod wpływem submilenijnych zmian klimatycznych. Pojawia się pytanie, czy amplituda tych zmian była znacząca i czy w tym czasie dochodziło do częściowej degradacji ciągłej zmarzliny. Bogucki (1987) w autorskim schemacie stratygraficznym późnoplejstoceńskich lessów Wyżyny Wołyńsko-Podolskiej postulował obecność 2 generacji pseudomorfoz klinów lodowych w lessach L₁LL₁, które określał jako krasiałowski (młodszy) i rowieński (starszy) poziom kriogeniczny. Struktury krasiałowskie powszechnie występują na badanym obszarze, jednak występowanie

pseudomorfoz klinów lodowych poziomu rowieńskiego w lessach polskich nie było do tej pory dostatecznie udokumentowane. W trakcie badań sekwencji lessowo-glebowej w Tyszowcach (Grzęda Sokalska) stwierdzono występowanie pseudomorfozy klina lodowego w dolnej części lessów L1LL1. Wstępne wyniki badań wskazują na korelację okresu rozwoju wieloletniej zmarzliny z początkiem GS-3, a jej zanik, prawdopodobnie częściowy, ze stosunkowo krótkim, gwałtownym ociepleniem GI-2 (ok. 23 ka b2k). Prawdopodobnie większość klinów lodowych przetrwała ten krótki okres ocieplenia klimatu i rozwijały się one syngenetycznie wraz z narastającą pokrywą lessów L1LL1. Najmłodszy, a zarazem najczęściej spotykany horyzont pseudomorfoz klinów lodowych uległ wytopieniu wraz z częściową lub całkowitą degradacją wieloletniej zmarzliny w końcowej fazie GS-2 lub na początku GI-1.

Powszechne występowanie i znaczne rozmiary najmłodszej generacji pseudomorfoz klinów lodowych wskazują na występowanie ciągłej wieloletniej zmarzliny w środkowej i wschodniej części obszaru badań. Jednak w południowo-zachodniej Polsce struktury te rozwijały się prawdopodobnie zarówno w warunkach ciągłej (Wzgórza Trzebnickie), jak i nieciągłej wieloletniej zmarzliny (Płaskowyż Głubczycki). Zapis ten wskazuje na wyraźne różnice klimatyczne między zachodnią i wschodnią częścią badanego obszaru, a także silny południkowy gradient klimatyczny w trakcie ostatniego zlodowacenia.

Badania prowadzone są w ramach projektu NCN 2017/27/B/ST10/01854 „Gwałtowne ochłodzenia w trakcie ostatniego zlodowacenia w centralnej części Europejskiego Pasa Lessowego – w Polsce i w zachodniej części Ukrainy”.

- Ager D.V., 1973. *The nature of the stratigraphical record*, Macmillan, Londyn.
- Bogucki A.B., 1987. Osnovnyje ljossovyje i paleopočvennyje horyzonty peryglacialnoj ljossovo-počvennoj serii plejstocena jugo-zapada Vostočno-Evropejskoj Platformy, [w:] *Stratigrafyja i korrelacyja morskich i kontinentalnyh otłożenij Ukrainy*, Naukova Dumka, Kiev, 47–52.
- Jary Z., 2007. *Zapis zmian klimatu w górnoplejstocenijskich sekwencjach lessowo-glebowych w Polsce i w zachodniej części Ukrainy*. *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego*, 1, IGiRR UW, Wrocław.

- Jary Z., 2009. Periglacial markers within the Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in Poland and western part of Ukraine. *Quaternary International*, 198, 124–135.
- Jary Z., Ciszek D., 2013. Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in Poland and western Ukraine. *Quaternary International*, 296, 37–50.
- Kukla G.J., An Z.S., 1989. Loess stratigraphy in central China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72, 203–225.
- Lehmkuhl F., Nett J.J., Pötter S., Schulte P., Sprafke T., Jary Z., Antoine P., Wacha L., Wolf D., Zerboni A., Hošek J., Marković S.B., Obrecht I., Sümeği P., Veres D., Zeeden C., Boemke B., Schaubert V., Viehweger J., Hambach U., 2021. Loess landscapes of Europe – Mapping, geomorphology, and zonal differentiation. *Earth-Science Reviews*, 215, 103–496. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103496
- Marković S.B., Stevens T., Kukla G.J., Hambach U., Fitzsimmons K.E., Gibbard Ph., Buggle B., Zech M., Guo Z., Hao Q., Wu H., O’Hara-Dhand K., Smalley I.J., Ujvari G., Sumegi P., Timar-Gabor A., Veres D., Sirocko F., Vasiljević D.A., Jary Z., Svensson A., Jović V., Lehmkuhl F., Kovacs J., Svircev Z., 2015. Danube loess stratigraphy – Towards a pan-European loess stratigraphic model. *Earth Science Reviews*, 148, 228–258.
- Martinson D.G., Pisias N.G., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C. Jr., Shackleton N.J., 1987. Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages: Development of a High-Resolution 0 to 300,000-Year Chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1–29.
- Moska P., Jary Z., Adamiec G., Bluszcz A., 2019. Chronostratigraphy of a loess-palaeosol sequence in Biały Kościół, Poland using OSL and radiocarbon dating. *Quaternary International*, 502, Part A, 4–17. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.05.024
- Moska P., Jary Z., Adamiec G., Bluszcz A., 2015. OSL chronostratigraphy of a loess-palaeosol sequence in Złota using quartz and polymineral fine grains. *Radiation Measurements*, 81, 23–31. DOI: 10.1016/j.radmeas.2015.04.012
- Moska P., Adamiec G., Jary Z., Bluszcz A., 2017. OSL chronostratigraphy for loess deposits from Tyszowce, Poland. *Geochronometria*, 44, 1, 307–318. DOI: 10.1515/geochr-2015-0074
- Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P., Blunier T., Buchardt S.L., Clausen H.B., Cvijanovic 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., Vinther 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 Science Reviews*, 106, 14–28.

Vandenberghe J., French H.M., Gorbunov A., Marchenko S., Velichko A.A., Jin H., Cui Z., Zhang T., Wan X., 2014. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: Permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. *Boreas*, 43, 652–666. DOI: 10.1111/bor.12070.