

¹ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego

² Uniwersytet im. I. Franko we Lwowie, Instytut Geograficzny, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii

ZDZISŁAW JARY¹, ANDRIJ BOGUCKYJ², DARIUSZ CISZEK¹,
JANUSZ KIDA¹

*Zmiany klimatu zapisane w uziarnieniu górnoplejstocieńskich
sekwencji lessowo-glebowych zachodniej części Ukrainy*

Climate changes recorded in grain-size of Upper Pleistocene loess-soil sequences
at the western part of Ukraine

W P R O W A D Z E N I E

Rezultaty interdyscyplinarnych badań, prowadzonych w ciągu ostatnich kilkunastu lat, jednoznacznie wskazują, że sekwencje lessowo-glebowe w Chinach i Centralnej Azji stanowią najważniejsze lądowe źródło informacji potrzebnych do rekonstrukcji zmian klimatu w czwartorzędzie (np. Derbyshire i in. 1997; Liu, Ding 1998; Liu i in. 1999, 2004; Sun i in. 2006). Analiza wielu sukcesji lessowo-glebowych dowodzi, że sedymentacja lessów w tych rejonach ma ciągły charakter, chociaż tempo akumulacji lessów jest wyraźnie zróżnicowane w czasie. Proces sedymentacji lessów jest tam silnie związany ze zmianami systemu monsunowego (Liu, Ding 1998; An 2000; An i in. 2001; Sun i in. 2006), a zapis zmian klimatu uzyskany za pomocą najważniejszych wskaźników pośrednich (podatność magnetyczna, uziarnienie lessów) wykazuje olbrzymie podobieństwo do zapisu izotopowo-tlenowego osadów głębokomorskich (Kukła 1987; Ding i in. 1994, 2000, 2002).

Warunki depozycji lessów chińskich i środkowoazjatyckich wyraźnie różnią się od warunków panujących w Europie, gdzie tempo depozycji pyłu było bardziej zróżnicowane, nie miało ciągłego charakteru, a w większości odsłoneć

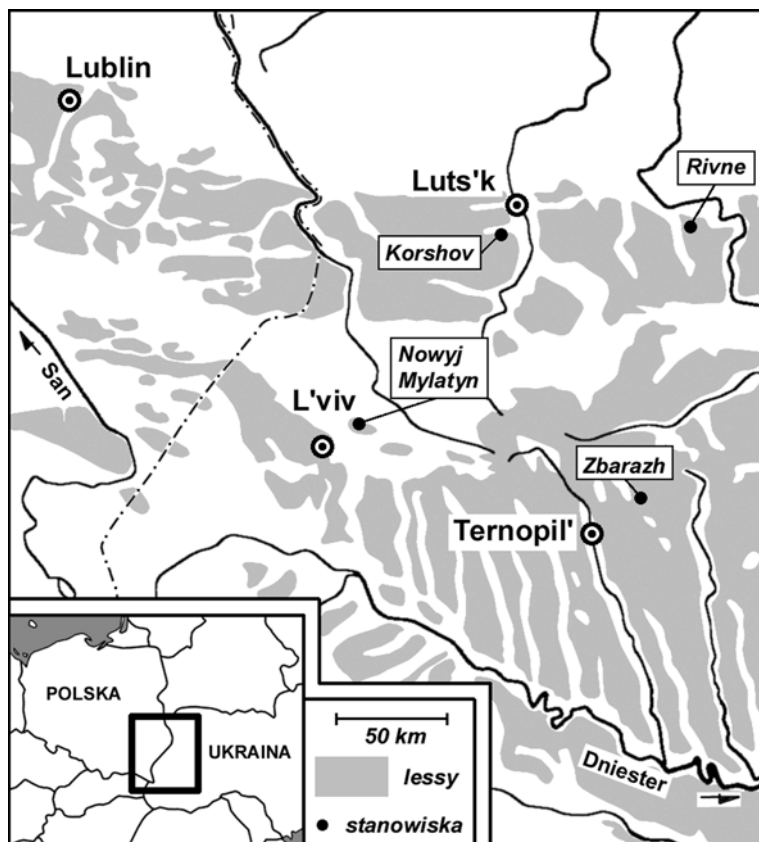
zaznaczają się struktury potwierdzające dużą rolę procesów redepozycyjnych (Vandenberghe i in. 1998; Vandenberghe, Nugteren 2001; Antoine i in. 2001; Łanczont, Boguckij 2002; Rousseau i in. 2002; Jary 2004). Można jednak przypuszczać, że zmienność podstawowych cech litologicznych odpowiednio wyselekcjonowanych sekwencji na europejskich obszarach lessowych, przeanalizowana w profilu pionowym z zastosowaniem gęstego poboru próbek do analiz laboratoryjnych oraz precyzyjnych, powtarzalnych metod oznaczeń składu granulometrycznego lessów, dostarczy nowych, bardziej szczegółowych danych o zmianach klimatu środowiska sedymentacji lessów (Antoine i in. 1999, 2001; Vandenberghe, Nugteren 2001; Rousseau i in. 2002; Jary i in. 2003a, 2003b, 2004; Jary 2004).

Charakterystyki składu granulometrycznego lessów stanowią istotne fragmenty wielu prac w polskiej literaturze lessowej (np. Cegła 1965, 1972; Jersak 1965, 1973; Kida 1978; Dolecki 1981, 1987, 1993; Dwucet 1993, 1999; Jary 1996). Standardowe procedury stosowane w badaniach terenowych i laboratoryjnych pozwalają na określenie cech uziarnienia jednostek litostratygraficznych lessów. Takie charakterystyki wskazują na podstawowe różnice litologiczne pomiędzy tymi jednostkami, lecz nie dostarczają informacji na temat subtelnych zmian składu granulometrycznego wewnątrz poszczególnych jednostek litostratygraficznych. Nie zmienia tego zasadniczo nawet obliczenie statystycznych parametrów uziarnienia, ponieważ ich wartość interpretacyjna wynika ze sposobu pobierania próbek w profilu (duże odstępki pomiędzy próbkami; pobieranie dużej, uśrednionej próbki zawierającej materiał złożony w rezultacie wielu pojedynczych zdarzeń depozycyjnych, np. burz pyłowych) oraz możliwości technicznych wybranej metody oznaczania składu granulometrycznego osadów (ilość możliwych do uzyskania klas uziarnienia, precyzja i powtarzalność oznaczeń).

WYBRANE STANOWISKA LESSOWE ORAZ ZASTOSOWANE METODY BADAŃ

W rezultacie prac terenowych prowadzonych w latach 2001–2003 w zachodniej części Ukrainy, do dalszych badań wybrano 4 profile lessowe (ryc. 1): Rivne (Wyżyna Wołyńska), Korshov (Wyżyna Wołyńska), Novyj Mylatyn (Pobuże) oraz Zbarazh (Wyżyna Podolska). Wszystkie stanowiska zostały założone w skarpacech poziomów eksploatacyjnych cegielni. Wysokość górnoplejstocenijskich sekwencji lessowo-glebowych, wytypowanych do badań szczegółowych, wahała się w przedziale od 6 (Zbarazh) do 11,5 m (Korshov).

W celu uzyskania porównywalnych rezultatów badań, które mogłyby być podstawą dla określenia wskaźników pośrednich informujących o procesach na-

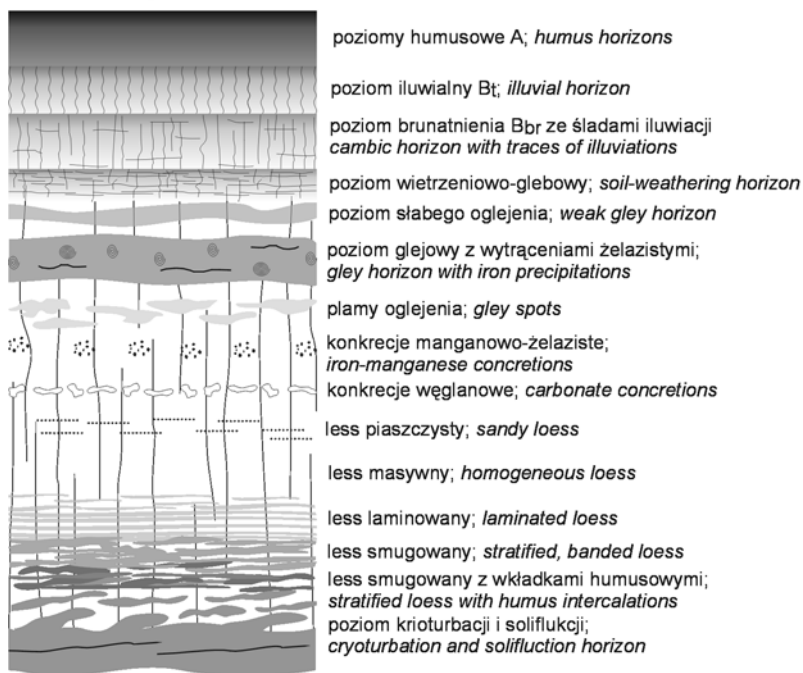


Ryc. 1. Lokalizacja badanych sekwencji lessowo-glebowych w zachodniej części Ukrainy
 Fig. 1. Location of investigated loess-soil sequences at the western part of Ukraine

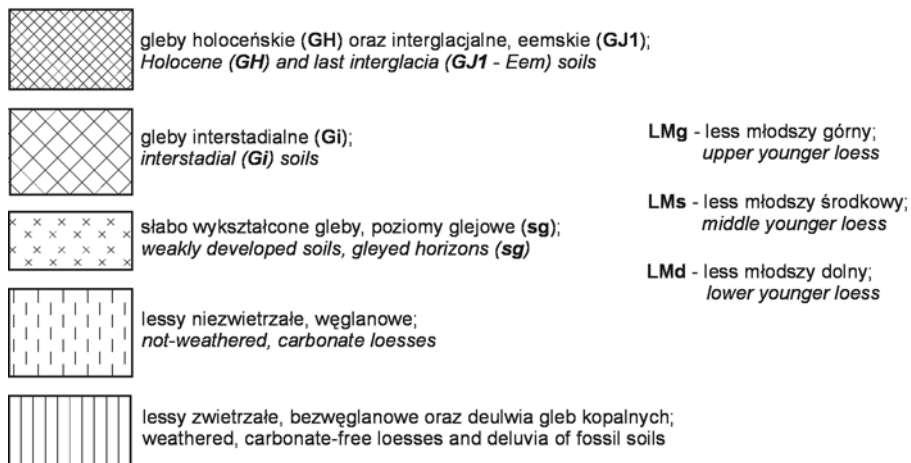
rastania górnoplejstoczeńskich sekwencji lessowo-glebowych, zastosowano określoną procedurę w pracach terenowych, poborze próbek do badań analitycznych oraz w preparatyce próbek i wykonaniu oznaczeń laboratoryjnych.

Prace związane z przygotowaniem profilu, gromadzeniem dokumentacji rysunkowej i fotograficznej oraz poborem próbek były wykonywane przy pomocy drabin oraz sprzętu alpinistycznego. Pionowe sekwencje lessowo-glebowe zostały oczyszczone do stanu, w którym wilgotność odsłoniętych osadów była zbliżona do naturalnej, co zdecydowanie ułatwiło możliwość uzyskania szczegółowego obrazu zróżnicowania sedymentologicznego i paleopedologicznego badanych sukcesji. Litologię oraz stratygrafię sekwencji lessowo-glebowych przedstawiono za pomocą sygnatur (ryc. 2). Próbkę do badań laboratoryjnych pobrano w 5- (Novyj Mylatyn, Zbarazh) lub 10- (Korshov, Rivne) -centymetrowych interwa-

Litologia



Stratygrafia



Ryc. 2. Objasnienia sygnatur litologicznych i stratygraficznych w profilach geologicznych
Fig. 2. Explanations of lithologic and stratigraphic signatures used in geological profiles

łach, w jednej, rzadziej dwóch pionowych sekwencjach dobranych w taki sposób, aby spełniony był warunek superpozycji. Próbkę (ponad 500) o masie 50–100 g pobierano z warstewek o grubości 1–2 cm do szczelnych woreczków foliowych.

W badaniach laboratoryjnych największe znaczenie przypisano oznaczeniom składu granulometrycznego osadów (Jary 2006). Badania uziarnienia osadów wykonywane są współcześnie na wiele różnych sposobów (McCave, Syvitski 1991). Spośród nowych metod największe znaczenie mają metody optyczne – oparte na pomiarze rozproszenia wiązki światła przechodzącej przez ośrodek, w którym w postaci zawiesiny występuje analizowany osad (Issmer 2000). Podstawy teoretyczne dyfraktometrii laserowej zostały opracowane już w latach 70. ubiegłego wieku (Cornillault 1972; Weiss, Frock 1976). Pierwsze granulometry laserowe wykorzystywały model dyfrakcji Fraunhofera (Pluta 1982; Issmer 2000), który nie sprawdza się w przypadku frakcji ilastych (McCave i in. 1986). Współczesne wiodące dyfraktometry laserowe wykorzystują kombinację modelu Fraunhofera i pełnej teorii rozproszenia światła Mie (Agrawal i in. 1991; Mason i in. 2003).

Oznaczenia składu granulometrycznego próbek lessu wykonano w Pracowni Gruntoznawczej Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego na aparacie Mastersizer 2000 firmy Malvern. Przed analizą próbkę przesiewano przez sito o średnicy oczek 1 mm, a następnie rozcieńczano w wodzie destylowanej i poddawano działaniu ultradźwięków.

Najważniejsze zalety wynikające z zastosowania dyfraktometru laserowego Mastersizer 2000 firmy Malvern to:

- ♦ wykorzystanie modelu Mie do określenia rozproszenia światła przez badane cząstki,
- ♦ szybkość przeprowadzenia pomiarów,
- ♦ niewielka masa analizowanej próbki (ok. 0,3 g),
- ♦ wysoka precyzja oznaczeń,
- ♦ bardzo duża powtarzalność wyników,
- ♦ możliwość otrzymania ponad 100 klas uziarnienia,
- ♦ duży zakres wielkości analizowanych cząstek (od 0,02 μm do 2000 μm),
- ♦ możliwość sprecyzowania żądanych parametrów i wieloraki sposób prezentacji otrzymanych danych.

W porównaniu z tradycyjnie stosowaną metodą pipetowo-sitową wyniki oznaczeń laserowych lekko zaniżają udział frakcji ilastych ($< 4 \mu\text{m}$) i piaszczystych ($> 63 \mu\text{m}$), a zawyżają udział frakcji pyłowych (4–63 μm), co wielokrotnie odnotowano w literaturze (Beuselinck i in. 1998; Mason i in. 2003). Należy jednak podkreślić, że istnieje duża zgodność wyników oznaczeń pomiędzy tymi metodami przy lepszej powtarzalności metody laserowej (Beuselinck i in. 1998; Mason i in. 2003).

Reasumując, metoda laserowa jest metodą szybką, precyzyjną, powtarzalną i ciągle poddawana jest procesom ulepszania (Agrawal i in. 1991). Doskonale zatem nadaje się do masowych oznaczeń składu granulometrycznego lessów, które mogą zostać wykorzystane do obliczenia wskaźników pośrednich umożliwiających rekonstrukcję zmian klimatu na obszarach lessowych.

Oprócz oznaczeń składu granulometrycznego wykonano również inne, pomocnicze analizy laboratoryjne:

- ♦ pomiary podatności magnetycznej za pomocą mostka podatności magnetycznej KLY-2 firmy AGICO z Brna. Pomiary wykonano w Laboratorium Geofizycznym Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie,

- ♦ oznaczenia zawartości węgla wapnia za pomocą aparatu „calcitbombe”. Oznaczenia wykonano w Pracowni Gruntoznawczej IGiRR Uniwersytetu Wrocławskiego,

- ♦ oznaczenia zawartości węgla organicznego i substancji organicznej metodą Tiurina. Oznaczenia wykonano w Pracowni Gruntoznawczej IGiRR Uniwersytetu Wrocławskiego.

Skład granulometryczny osadów przedstawiono zgodnie ze skalą uziarnienia Wentwortha (1922) oraz obliczono standardowe parametry statystyczne (Inman 1952; Folk, Ward 1957), które zestawiono w tab. 1.

Obliczono również dwa wskaźniki uziarnienia. Stosunek wagowy frakcji grubopyłowej (31–62 μm) do ilastej (<4 μm) ma podobny sens fizyczny jak wskaźnik K_d (*loess index* – Liu i in. 1985), który pośrednio informuje o relacjach pomiędzy tempem akumulacji pyłu lessowego, a intensywnością pedogenezy. Stosunek frakcji grubopyłowej (31–62 μm) do drobnopyłowej (8–16 μm) określa względną rolę dalekich i bliskich obszarów źródłowych oraz pośrednio wskazuje na tempo akumulacji pyłu lessowego. Zaletą tego wskaźnika jest pominięcie wtórnych minerałów ilastych (efekt wietrzenia i pedogenezy), które zacierają obraz pierwotnych procesów sedymentacyjnych (Vandenberghe i in. 1993; Vandenberghe, Nugteren 2001; Nugteren i in. 2004).

LITO- I PEDOSTRATYGRAFIA BADANYCH SEKWENCJI LESSOWO-GLEBOWYCH

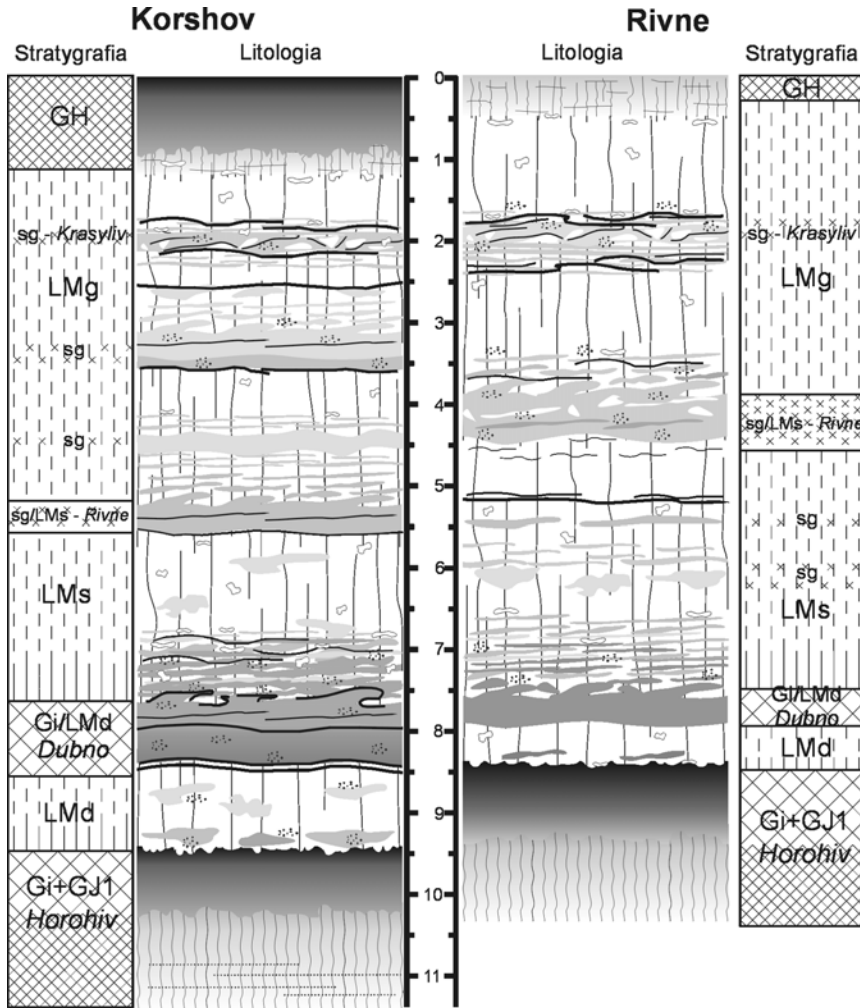
Stratygrafia poszczególnych profili została określona na podstawie kryterium paleopedologicznego. Litologię oraz stratygrafię analizowanych sukcesji lessowo-glebowych przedstawiono na ryc. 3 i 4. Zastosowano symbole oraz nazwy jednostek lito- i pedostratygraficznych podobnie jak w pracy Maruszczaka z roku 1991.

Tab. 1. Statystyczne parametry uziarnienia górnoplejstocенskich lessów i gleb kopalnych w badanych stanowiskach zachodniej części Ukrainy; M_d wg Immana (1952); M_z , δ_p , Sk_r , K_G wg Folk'a i Warda (1957)
 Table 1. Statistical grain-size parameters of Upper-Pleistocene loess-soil units in the investigated sites of the western part of Ukraine. M_d acc. to Imman (1952); M_z , δ_p , Sk_r , K_G acc. to Folk and Ward (1957).

Stanowisko	Poziom	Ilość próbek	Md (phi)		Mz (phi)		δ (phi)		Sk _r		K _G						
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	średnia				
Korshov	LMg	41	5,37	5,86	5,65	5,71	6,18	5,98	1,55	1,76	1,65	0,33	0,43	0,37	1,05	1,31	1,15
	sg/LMs	4	5,73	5,84	5,78	6,02	6,16	6,11	1,61	1,70	1,67	0,34	0,37	0,35	1,07	1,15	1,09
	LMS	20	5,48	5,92	5,69	5,75	6,23	5,98	1,49	1,65	1,56	0,33	0,40	0,37	1,05	1,34	1,22
	Gi/LMd	10	5,92	6,20	6,08	6,27	6,50	6,39	1,66	1,75	1,71	0,27	0,35	0,30	0,91	1,03	0,95
	LMd	10	5,69	6,06	5,97	6,00	6,36	6,27	1,61	1,74	1,68	0,29	0,35	0,31	0,99	1,13	1,05
	Gi+GJ1 (A)	6	5,73	6,15	5,94	6,02	6,39	6,21	1,63	1,72	1,68	0,24	0,32	0,29	0,96	1,12	1,05
Rivne	Gi+GJ1 (B)	10	5,07	5,64	5,43	5,24	5,97	5,70	1,48	2,00	1,58	0,11	0,37	0,33	1,10	1,39	1,22
	LMg	38	5,35	5,73	5,50	5,66	6,14	5,86	1,51	1,81	1,64	0,39	0,44	0,41	1,13	1,40	1,29
	sg/LMs	7	5,37	5,70	5,52	5,75	6,06	5,94	1,62	1,77	1,70	0,38	0,46	0,43	1,13	1,28	1,18
	LMS	32	5,35	5,97	5,60	5,74	6,41	6,01	1,49	1,85	1,70	0,35	0,47	0,42	1,00	1,41	1,20
	Gi/LMd	4	5,92	6,04	5,98	6,31	6,41	6,35	1,68	1,87	1,81	0,32	0,33	0,33	0,92	1,10	0,97
	LMd	4	5,87	6,08	5,94	6,23	6,47	6,30	1,77	1,92	1,80	0,31	0,35	0,34	0,85	1,05	0,99
Gi+GJ1 (A)	9	5,48	6,10	5,72	5,79	6,41	6,06	1,58	1,81	1,71	0,29	0,38	0,35	0,95	1,23	1,08	
Gi+GJ1 (B)	11	5,19	5,52	5,40	5,46	5,89	5,71	1,45	1,65	1,55	0,38	0,41	0,39	1,17	1,41	1,26	

Tab. 1. c.d.

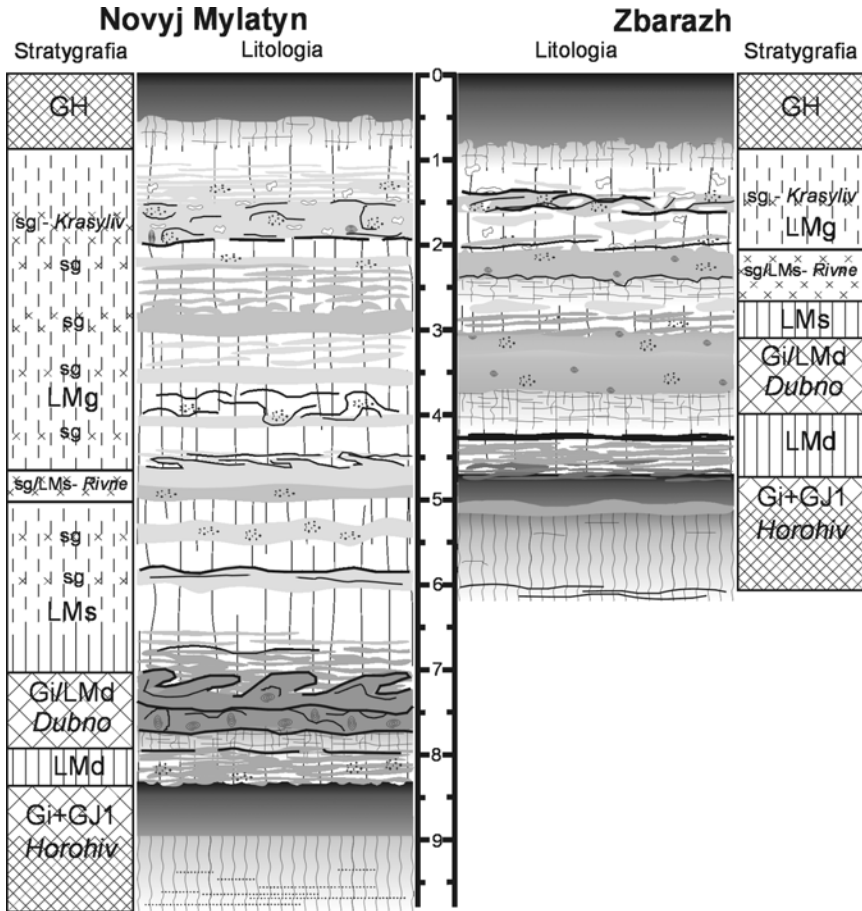
Novyj Mylatyn	LMg	77	5,17	5,87	5,49	5,51	6,20	5,84	1,48	1,86	1,71	0,30	0,41	0,37	0,97	1,30	1,13
	sg/LMs	7	5,60	5,99	5,82	6,00	6,29	6,17	1,80	1,89	1,82	0,29	0,37	0,32	0,93	1,02	0,99
	LMS	39	5,53	6,24	5,80	5,95	6,47	6,15	1,71	1,85	1,79	0,23	0,41	0,33	0,94	1,09	1,01
	Gi/LMd (A)	19	5,99	6,29	6,18	6,27	6,53	6,44	1,69	1,82	1,75	0,22	0,30	0,25	0,87	1,06	0,96
	Gi/LMd (B)	4	5,93	6,06	6,00	6,25	6,33	6,29	1,74	1,79	1,77	0,26	0,30	0,28	0,96	1,00	0,98
	LMd	5	5,92	6,18	6,08	6,20	6,41	6,33	1,72	1,87	1,79	0,20	0,28	0,24	0,91	1,03	0,97
	Gi+GJI (A)	14	5,61	6,12	5,89	5,92	6,29	6,13	1,84	2,02	1,95	0,14	0,26	0,20	0,89	1,05	0,96
	Gi+GJI (B)	20	3,73	5,71	5,01	4,34	6,03	5,30	1,78	2,94	2,29	-0,02	0,50	0,21	0,70	1,23	0,92
	LMg	23	5,52	6,02	5,84	5,75	6,34	6,16	1,42	1,81	1,69	0,29	0,39	0,34	1,03	1,33	1,13
	sg/LMs	9	5,94	6,32	6,12	6,28	6,60	6,44	1,77	1,82	1,79	0,25	0,32	0,30	0,90	1,00	0,96
	LMS	10	5,98	6,36	6,10	6,27	6,62	6,41	1,65	1,79	1,73	0,24	0,32	0,30	0,94	1,12	1,02
	Gi/LMd (A)	16	6,19	6,42	6,31	6,51	6,66	6,59	1,65	1,75	1,71	0,23	0,32	0,27	0,90	1,01	0,96
	Gi/LMd (B)	4	6,21	6,29	6,26	6,51	6,58	6,55	1,74	1,77	1,76	0,26	0,28	0,27	0,87	0,91	0,90
	LMd	16	5,89	6,24	6,09	6,20	6,50	6,40	1,63	1,83	1,74	0,25	0,34	0,29	0,91	1,12	0,98
Gi+GJI (A)	7	5,99	6,33	6,17	6,38	6,59	6,49	1,89	1,96	1,93	0,21	0,30	0,25	0,77	0,82	0,81	
Gi+GJI (B)	22	5,31	5,66	5,50	5,61	6,03	5,81	1,50	1,70	1,56	0,33	0,39	0,37	1,05	1,27	1,20	



Ryc. 3. Litologia i stratygrafia górnoplejstocenijskich sekwencji lessowo-glebowych Korshov i Rivne. Objasnienia sygnatur litologicznych i stratygraficznych jak na ryc. 2

Fig. 3. Lithology and stratigraphy of Upper Pleistocene loess-palaeosol sequences at Korshov and Rivne. Explanations of lithologic and stratigraphic signatures as in fig. 2

Nawiązując do wydzieleni stratygraficznych lessów wołyńskich i podolskich Boguckij'ego (1986, 1987) oraz sugestii zawartych w pracy Maruszczaka (1991), skorelowano zespół gleb kopalnych Gi+GJ1 (Maruszczak 1991) z pedokompleksem typu Horohiv (Boguckij 1986, 1987), a najlepiej wykształconą glebę kopalną (zespół gleb kopalnych) wykształconą w obrębie lessów młodszych Gi/LMd (Maruszczak 1991) z glebą kopalną typu Dubno (Boguckij 1986, 1987).



Ryc. 4. Litologia i stratygrafia górnoplejstocenijskich sekwencji lessowo-glebowych Novyj Mylatyn i Zbarazh. objaśnienia sygnatur litologicznych i stratygraficznych jak na ryc. 2
 Fig. 4. Lithology and stratigraphy of Upper Pleistocene loess-palaeosol sequences at Novyj Mylatyn and Zbarazh. Explanations of lithologic and stratigraphic signatures as in fig. 2

Logiczną konsekwencją przyjęcia korelacji stratygraficznej pomiędzy glebami Gi/LMd i Dubno (Maruszczak 1991) jest założenie, że najwyraźniejsza, śródlęsowa gleba kopalna młodsza od gleby Gi/LMd według schematu Maruszczaka (1991) określona symbolami literowymi sg-Gi/LMs, odpowiada jedynej glebie młodszej od gleby typu Dubno wykazywanej w schemacie stratygraficznym Boguckij'ego (1986, 1987) jako poziom Rivne.

Identyfikacja oraz korelacja stratygraficzna zespołów gleb kopalnych Gi+GJ1 (Horohiv) i gleby Gi/LMd (Dubno) w badanych sekwencjach lessowo-glebo-

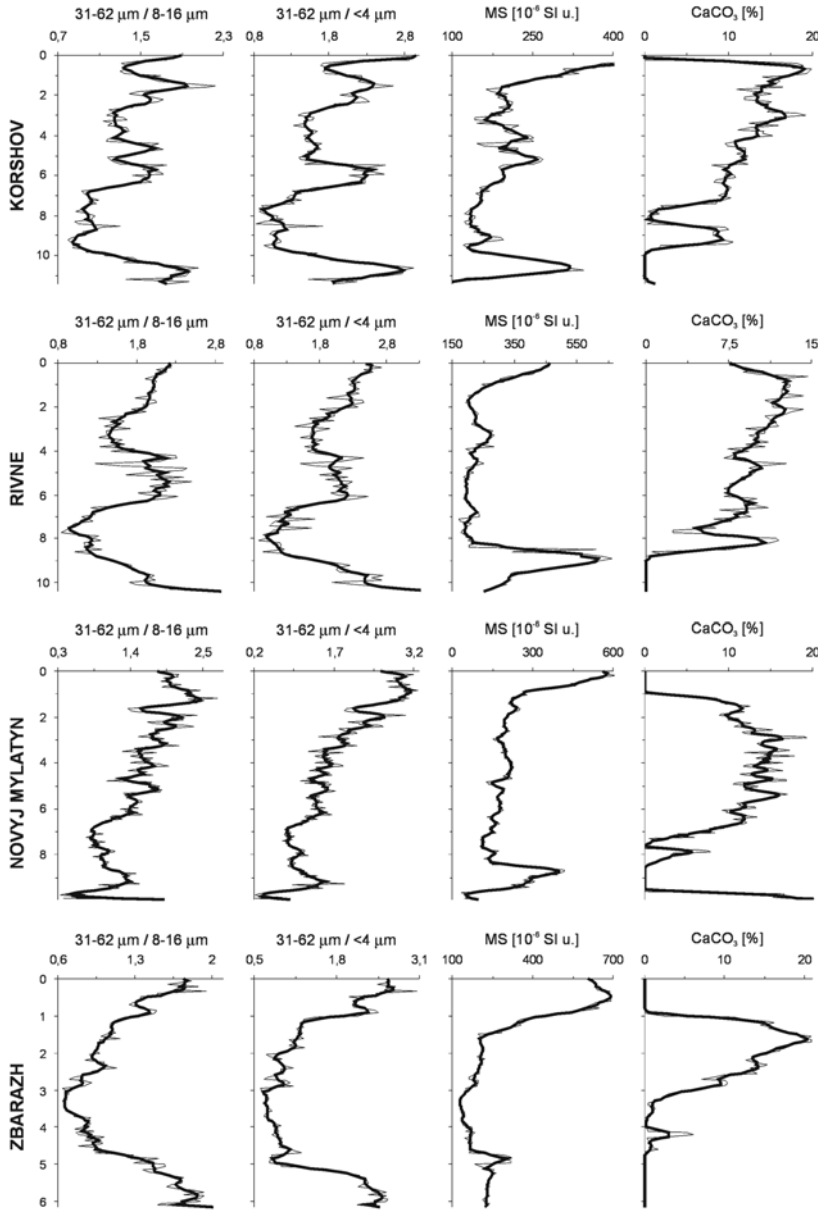
wych nie wzbudza raczej wątpliwości ze względu na charakterystyczne cechy tych gleb kopalnych spowodowane intensywnymi i długotrwałymi procesami glebotwórczymi. Jednak rozpoznanie poziomu sg-Gi/LMs (Rivne) nie zawsze jest w pełni przekonujące. W sekwencjach lessowych, w których łączna miąższość lessów młodszych od gleby Gi/LMd (Dubno) jest niewielka (np. Zbarazh), lessy te w całości są objęte procesami syn- i postsedymencyjnego oglejenia, które utrudniają rozpoznanie horyzontów o relatywnie większym natężeniu pedogenezy. Z kolei w sekwencjach lessowych charakteryzujących się względnie dużym tempem akumulacji pyłu eolicznego (Korshov, Rivne, Novyj Mylatyn) powyżej gleby Gi/LMd (Dubno) występuje kilka poziomów wietrzeniowo-glebowych o cechach litologicznych i strukturalnych podobnych do poziomu sg-Gi/LMs (Rivne). Identyfikacja takich horyzontów w dużym stopniu jest uzależniona od dobrego przygotowania odsłoneń przed przeprowadzaniem badań szczegółowych.

ZRÓŻNICOWANIE UZIARNIENIA JEDNOSTEK LITOSTRATYGRAFICZNYCH W GÓRNOPLEJSTOCENSKIEJ SEKWENCJI LESSOWO-GLEBOWEJ

Średnie wartości standardowych parametrów statystycznych (Inman 1952; Folk, Ward 1957) dla próbek pobranych w obrębie poszczególnych jednostek litostratygraficznych w analizowanych sekwencjach lessowo-glebowych zostały zestawione w tabeli 1. Dla wszystkich badanych profili obliczono omówione wyżej wskaźniki uziarnienia i przedstawiono je na wykresach razem z wynikami oznaczeń podatności magnetycznej (*magnetic susceptibility* – MS) oraz zawartości CaCO_3 (ryc. 5).

Rezultaty szczegółowego kartowania litologiczno-strukturalnego sekwencji lessów młodszych wyraźnie sugerują, że sedimentacja lessów w trakcie ostatniego zlodowacenia nie miała ciągłego charakteru i odbyła się w dwóch głównych etapach przedzielonych okresem rozwoju śródlessowego kompleksu gleb tundrowo-glejowych (Gi/LMd, Dubno).

Najbardziej spektakularne zmiany uziarnienia w analizowanych sekwencjach lessowo-glebowych występują w warstwach bezpośrednio zalegających nad eemsko-wczesnoglacialnym zespołem gleb kopalnych (spagowe partie LMd) oraz powyżej kompleksu gleb tundrowo-glejowych Gi/LMd (Dubno) w dolnych partiach LMs (tab. 1; ryc. 5). Warstwy te z reguły wykazują widoczne ślady deformacji i redepozycji wskutek działania soliflukcji i innych procesów stokowych. Akceleracja intensywności procesów grawitacyjnych została najprawdopodobniej wywołana raptowną deterioracją warunków klimatycznych, która spowodowała znaczące rozrzedzenie szaty roślinnej. Można zatem przypuszczać, że w trak-



Ryc. 5. Wskaźniki uziarnienia, wartości podatności magnetycznej oraz udziały węglańka wapnia w badanych profilach lessowych zachodniej części Ukrainy

Fig. 5. Grain-size indices, magnetic susceptibility and calcium carbonate content in the investigated loess sections at the western part of Ukraine

cie sedymentacji tych warstw zachodziły najpoważniejsze zmiany klimatyczno-środowiskowe na badanych obszarach lessowych w okresie ostatniego zlodowacenia.

Analiza rozkładów i wskaźników uziarnienia wskazuje, że udział frakcji grubopyłowych zazwyczaj systematycznie wzrasta w kierunku stropu analizowanych sekwencji lessowo-glebowych (tab. 1, ryc. 5), co może pośrednio wskazywać na zwiększający się stopień kontynentalizacji klimatu oraz rosnące tempo akumulacji lessu spowodowane większą dostępnością i bliskością obszarów źródłowych. Hipotezę tę potwierdzają zwiększone udziały węglanów w stropowych partiach sekwencji lessowych. Frakcje grubopyłowe transportowane są głównie blisko powierzchni ziemi poprzez krótkoterminową suspensję i zmodyfikowaną saltację (Pye 1987, 1995; Tsoar, Pye 1987). Ten rodzaj transportu w rekonstrukcjach paleośrodowiskowych oraz współcześnie obserwowanych procesach lessotwórczych najczęściej wiązany jest z burzami pyłowymi (Cegła 1972; Wojtanowicz 1972, 2000; Sun i in. 2002, 2004). Krótkie akty transportu mogą się wielokrotnie powtarzać do momentu, w którym transportowany materiał grubopyłowy zostanie skutecznie zatrzymany przez powierzchnie pokryte roślinnością, przeszkody terenowe lub wilgotne podłoże (Cegła 1969, 1972; Różycki 1976, 1991; Jary 1996; Jary, Kida 2000). Frakcje drobnopyłowe są transportowane w suspensji na znaczne odległości od miejsca deflacji, a proces ich sedymentacji ma charakter zdecydowanie bardziej ciągły (Pye 1987, 1995; Pye, Zhou 1989; Sun i in. 2002, 2004).

W literaturze geologicznej wielokrotnie zwracano uwagę na przestrzenne zróżnicowanie miąższości, właściwości litologicznych oraz charakteru występowania lessów zaznaczające się w przekroju równoleżnikowym lessów polskich (np. Cegła 1972; Jersak 1973, 1985). Jary (2006) odnotowuje zróżnicowanie uziarnienia lessów południowo-zachodniej Polski w profilu południkowym. Zaznacza się ono m.in. redukcją przeciętnych wielkości cząstek lessu z północy (Wzgórz Trzebnickie) na południe (Płaskowyż Głubczycki). Rozkłady uziarnienia lessów młodszych w badanych profilach zachodniej części Ukrainy również sugerują podobny przebieg zmian przeciętnych wielkości cząstek lessu, co koresponduje z wcześniejszymi badaniami Tokarskiego (1936). Południkowa zmienność uziarnienia lessów zachodniej części Ukrainy mogłaby być dowodem południkowej zmienności stref klimatyczno-roślinnych w trakcie etapów lessotwórczych oraz pośrednio wskazywać na pierwotne źródło podstawowej masy materiału lessowego. Weryfikacja tej hipotezy wymaga jednak zgromadzenia znacznie większej ilości porównywalnych danych analitycznych.

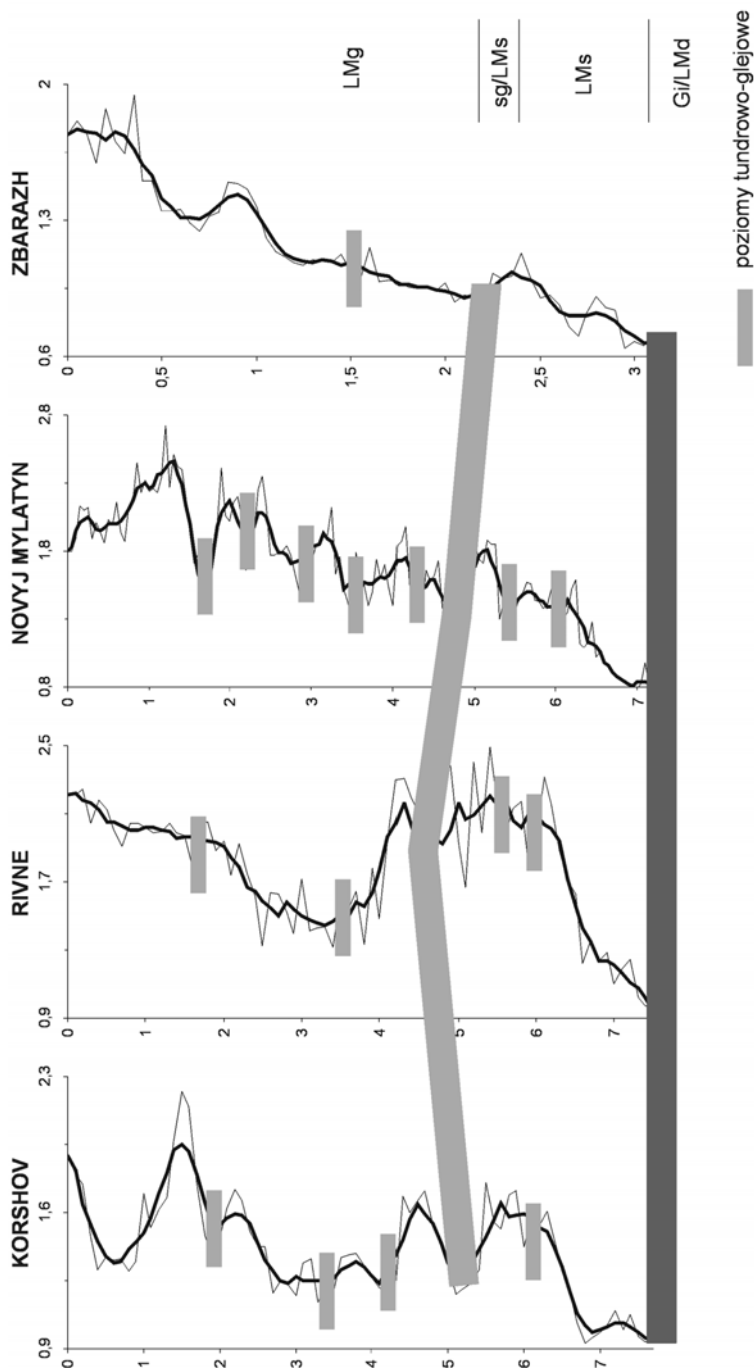
CYKLE DEPOZYCYJNE W LESSACH MŁODSZYCH
ŚRODKOWYCH I GÓRNYCH ORAZ ICH ZWIĄZEK
Z KRÓTKOOKRESOWYMI ZMIANAMI KLIMATU

W badanych sekwencjach lessów młodszych środkowych i górnych, w obrębie niemal homogenicznych lessów masywnych stwierdzono obecność nagłych zmian uziarnienia, którym często towarzyszą szarawe, plamiste poziomy słabego oglejenia. Występowanie takich zjawisk dowodzi, że nawet w czasie dwóch podstawowych etapów lessotwórczych ostatniego zlodowacenia sedymentacja lessu w zachodniej części Ukrainy przebiegała ze zmienną intensywnością i nie miała ciągłego charakteru (Jary w druku).

Słabe poziomy oglejenia w sekwencjach lessów młodszych były wielokrotnie odnotowywane w polskiej literaturze lessowej, chociaż ich interpretacja genetyczna była zróżnicowana (np. Cegła 1972; Jersak 1973; Maruszczak red. 1991, 2001). Coraz częściej pojawiał się pogląd, że niektóre poziomy oglejenia reprezentują słabo wykształcone, inicjalne gleby tundrowo-glejowe, które są dowodem nierównomiernego tempa akumulacji pyłu lessowego w czasie etapów lessotwórczych. Inicjalne, tundrowe gleby glejowe od dawna były opisywane w literaturze niemieckiej (*Nassböden* – Freising 1957; Zöllner, Semmel 2001) i czeskiej (Klima 1958). Dzisiaj podobne dowody niejednorodnych warunków sedymentacji lessu w górnym pleniglacie ostatniego zlodowacenia notowane są powszechnie w lessach chińskich (Rokosh i in. 2003), syberyjskich (Chlachula 2003), oraz na obu kontynentach amerykańskich (Bettis III i in. 2003; Muhs i in. 2003; Zarate 2003).

Dla przedstawienia zmienności wskaźnika uziarnienia opartego na stosunku frakcji grubopyłowej (31–62 μm) do drobnopyłowej (8–16 μm) i wykazania obecności sygnałów zjawisk cyklicznych, porównano jedynie równoległe fragmenty analizowanych sekwencji lessowych zalegające ponad stropem gleby Gi/LMd (Dubno). Szczegółowa analiza tego wskaźnika w lessach młodszych środkowych i górnych (ryc. 6) daje podstawy do wyróżnienia w obrębie tych lessów kilku cykli depozycyjnych, które są najprawdopodobniej rezultatem krótkookresowych wahań klimatycznych z okresu depozycji lessów (Jary i in. 2003a, 2003b; Jary 2006, w druku).

Lessy grubofrakcyjne przechodzą w lessy charakteryzujące się drobniejszym uziarnieniem. W okresach panowania surowego klimatu tempo depozycji grubofrakcyjnego pyłu eolicznego było względnie wysokie, a wpływ synchronicznie działających procesów wietrzeniowo-glebowych relatywnie mały. Najważniejszym komponentem tworzywa lessowego były frakcje grubego pyłu transportowane na niewielkie odległości z pobliskich obszarów źródłowych. W okresach względnie cieplejszych tempo przyrastania pokryw lessowych spadało. Depono-



Ryc. 6. Stosunek frakcji grubego (31–62 μm) do drobnego (8–16 μm) pyłu dla sekwencji lessów młodszych zalegających ponad stropem gleby Gi/LMd (Dubno). Ciągła linia połączono strop gleby Gi/LMd (Dubno) oraz poziom sg/LMs. Poziomy tundra-oglejowe w lessach młodszych górnych i środkowych zaznaczono szarymi znacznikami

Fig. 6. Proportion of coarse (31–62 μm) and fine silt (8–16 μm) fractions for loess sequences above Gi/LMd (Dubno) unit. The upper parts of Gi/LMd and sg/LMs units are connected by grey line. Weak tundra-oglej horizons are marked by grey markers

wany pył eoliczny pochodził w znacznym stopniu ze źródeł oddalonych od obszarów akumulacji lessów, przez co charakteryzował się drobniejszym uziarnieniem i w większym stopniu przekształcany był przez procesy inicjalnej pedogenezy doprowadzające do rozwoju słabych horyzontów glejowych. Cykle depozycyjne w lessach górnopleniglacialnych można również zarejestrować w zmiennym przebiegu krzywych podatności magnetycznej i zawartości węgla wapnia (ryc. 5). Horyzonty glejowe na ogół charakteryzują się spadkiem podatności magnetycznej wywołanym destrukcją nośników podatności magnetycznej przez procesy glejowe (Nawrocki i in. 1999).

Krzywe wybranego wskaźnika uziarnienia (ryc. 6) wykazują wyraźne zróżnicowanie w sekwencjach lessów charakteryzujących się dużym tempem akumulacji lessów młodszych środkowych i górnych (Korshov, Rivne, Novyj Mylatyn) w przeciwieństwie do profilu Zbarazh, w którym grubość tych jednostek litostratygraficznych jest zdecydowanie mniejsza. Podobieństwo przebiegu krzywych wskaźnika uziarnienia w wielu przypadkach jest wystarczająco duże, aby można było skorelować charakterystyczne wychylenia na krzywych. Jednak ilość pików rejestrujących nagły spadek lub wzrost udziału frakcji grubopyłowych nie jest taka sama w poszczególnych profilach. Zazwyczaj można wyróżnić 1–2 wychylenia w warstwach lessów młodszych środkowych i 2–4 piki w lessach młodszych górnych. Maksymalną ilość inicjalnych poziomów glejowych stwierdzono na stanowisku Novyj Mylatyn. W lessach młodszych środkowych i górnych, powyżej gleby Gi/LMd (Dubno), występuje tam 8 poziomów glejowych.

Obecny stan badań nie pozwala jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie, czy cykle depozycyjne i poziomy słabego oglejenia w lessach są wyrazem lokalnych lub regionalnych oscylacji w natężeniu burz pyłowych, czy też są one związane z ponadregionalnymi cyklami Dansgaard-Oeschgera (Dansgaard i in. 1993). Próba określenia wieku (metodą TL, OSL i ^{14}C AMS) podobnych cykli akumulacyjnych i gleb glejowych stwierdzonych w profilu Nußloch (Niemcy) nie zakończyła się pomyślnie, głównie ze względu na standardowy błąd tych metod (Rousseau i in. 2002), który często przekracza długość datowanego okresu.

Niezależnie od przyszłego wyjaśnienia genezy cykli depozycyjnych w sekwencjach lessowych, można z dużym przekonaniem stwierdzić, że są one zapisem krótkookresowych wahań klimatycznych o trudnym do określenia zasięgu. Rekonstrukcja tych wahań jest możliwa w miąższych sekwencjach lessów facji wysoczyznowej, charakteryzujących się dużym tempem akumulacji pyłu lessowego.

Udokumentowanie krótkookresowych wahań klimatycznych w lessach młodszych oraz właściwa korelacja tych zdarzeń może być ważnym elementem w rekonstrukcji paleogeograficznej obszarów lessowych. Oznaczone wiekowo cykle sedymentacyjno-klimatyczne w lessach mogą w przyszłości pełnić rolę „markerów” stratygraficznych (Jary, w druku).

Przedstawione wyniki wskazują na konieczność prowadzenia dalszych interdyscyplinarnych badań lessów, umożliwiających korelację cykli depozycyjnych w sekwencjach lessowych z krótkookresowymi zdarzeniami klimatycznymi rejestrowanymi w osadach morskich i rdzeniach lodowych (Bond i in. 1992, 1993; Johnsen i in. 1992, 1995; Dansgaard i in. 1993).

Badania przeprowadzono w ramach grantu KBN nr 3 P04E 019 23.

LITERATURA

- Agrawal Y. C., McCave I. N., Riley J. B. (1991): *Laser diffraction size analysis*, [w:] J. P. M. Syvitski (ed.), *Principles, methods, and application of particle size analysis*, Cambridge University Press: 119–128.
- An Z. S. (2000): *The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate*, *Quaternary Science Reviews* 19: 171–187.
- An Z. S., Kutzbach J. E., Prell W. L., Porter S. C. (2001): *Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan Plateau since late Miocene times*, *Nature* 411: 62–66.
- Antoine P., Rousseau D. D., Lautridou J. P., Hatte C. (1999): *Last Interglacial-Glacial climatic cycle in loess-paleosol successions of N–W France*, *Boreas* 28: 551–563.
- Antoine P., Rousseau D. D., Zöller L., Lang A., Munaut A. V., Hatte C., Fontugne M. (2001): *High-resolution record of the last interglacial–glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area, Germany*, *Quaternary International* 76/77: 211–229.
- Bettis III E. A., Muhs D. R., Roberts H. M., Wintle A. G. (2003): *Last glacial loess in the conterminous USA*, *Quaternary Science Reviews* 22: 1907–1946.
- Beuselinck L., Govers G., Poesen J., Degraer G., Froyen L. (1998): *Grain-size analysis by laser diffractometry; comparison with the sieve-pipette method*, *Catena* 32: 193–208.
- Boguckij A. B. (1986): *Antropogenovye pokrovnije otlozhenija Wołyno-Podolji*, [w:] *Antropogenovye otlozhenija Ukrainy*, Naukova Dumka, Kiev: 121–132.
- Boguckij A. B. (1987): *Osnovnyje ljosovyyje i paleopočvennyje horyzonty peryglacialnoj ljosowo-počvennoj serii plejstocena jugo-zapada Vostočno-Evropejskoj Platformy*, [w:] *Stratigrafija i korrelacija morskich i kontynentalnyh otlozhenij Ukrainy*, Naukova Dumka, Kiev: 47–52.
- Bond G., Broecker W., Johnsen S., McManus J., Labeyrie L., Jouzel J., Bonani G. (1993): *Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice*, *Nature*, 365: 143–147.
- Bond G., Heinrich H., Broecker W., Labeyrie L., McManus J., Andrews J., Huon S., Jantschik R., Clasen S., Simet C., Tedesco K., Klas M., Bonani G., Ivy S. (1992): *Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic during the last glacial period*, *Nature*, 360: 245–249.
- Cegła J. (1965): *Porównanie utworów pyłowych kotlin karpackich z lessami Polski*, *Annales UMCS, B, XVIII*: 69–116.
- Cegła J. (1969): *Influence of capillary ground moisture on aeolian accumulation of loess*, *Bull. Acad. Pol. Sci. Geol. Geog.*, 17: 25–27.

- Cegła J. (1972): *Sedymentacja lessów Polski*, Acta Universitatis Wratislaviensis 168, Studia Geograficzne, 17: 72.
- Chlachula J. (2003): *The Siberian loess record and its significance for reconstruction of Pleistocene climate change in north-central Asia*, Quaternary Science Reviews, 22: 1879–1906.
- Cornillault J. (1972): *Particle size analyser*, Applied Optics, 11: 265–268.
- Dansgaard W., Johnsen S. J., Clausen H. B., Dahl-Jensen D., Gundestrup N., Hammer C. U., Hvidberg C. S., Steffensen J. P., Sveinbjornsdottir A. E., Jouzel J., Bond G. (1993): *Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record*, Nature: 364: 218–220.
- Derbyshire E., Kemp R. A., Meng X. (1997): *Climate change, loess and palaeosols: proxy measures and resolution in North China*, Journal of the Geological Society, London, 154: 793–805.
- Ding Z. L., Derbyshire E., Yang S. L., Yu Z. W., Xiong S. F., Liu T. S. (2002): *Stacked 2.6-Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea $\delta^{18}O$ record*, Paleoceanography 17.
- Ding Z. L., Rutter N. W., Sun J. M., Yang S. L., Liu T. S. (2000): *Re-arrangement of atmospheric circulation at about 2.6 MA over northern China: evidence from grain size records of loess-palaeosol and red clay sequences*, Quaternary Science Reviews 19: 547–558.
- Ding Z. L., Yu Z., Rutter N. W., Liu T. S. (1994): *Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits*, Quaternary Science Reviews 13: 39–70.
- Dolecki L. (1981): *Litologia i stratygrafia lessów Grzędy Horodelskiej*, Annales UMCS, sec. B, 32/33: 151–187.
- Dolecki L. (1987): *Differentiation of Grain Size of the Vistulian Loesses on the Grzęda Horodelska Plateau (SE Poland)*, Annales UMCS, B, XLI (1986): 165–178.
- Dolecki L. (1993): *Regionalne i stratygraficzne zróżnicowanie uziarnienia lessów młodszych w wybranych płatach lessów międzyrzecza Wisły i Bugu*, Annales UMCS, sec. B, 48: 101–114.
- Dwucet K. (1993): *Charakterystyka stopnia agregatyacji lessów w Polsce*, Geographia. Studia et Dissertationes, 18: 30–48.
- Dwucet K. (1999): *Litogeneza górnego lessu vistuliańskiego na Wyżynach Polskich i na Nizinie Śląskiej*, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 1792: 163.
- Folk R. L., Ward W. C. (1957): *Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters*, Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3–27.
- Freising H. (1957): *Neue Altsteinzeitfunde aus Württemberg und ihr erdgeschichtliches Alter*, Fundber aus Schwaben N. F., 14: 7–27.
- Inman D. L. (1952): *Measures for describing the size distribution of sediments*, Jour. Sedim. Petrol., 22.
- Issmer K. (2000): *Optical methods in the grain-size analysis of fine-grained sediments*, Geological Quarterly 44 (2): 205–210.
- Jary Z. (1996): *Chronostratygrafia oraz warunki sedymentacji lessów południowo-zachodniej Polski na przykładzie Płaskowyżu Głubczyckiego i Wzgórz Trzebnickich*, Acta Universitatis Wratislaviensis, 1766, Studia Geograficzne, 63: 103.
- Jary Z. (2004): *Zróżnicowanie uziarnienia lessów młodszych jako wskaźnik zmian klimatu*, [w]: Z. Jary (red.), *Zmiany klimatu zapisane w sekwencjach lessowych. IV Seminarium Lessowe, Strzelin 13–16 października 2004*, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego: 50–52.

- Jary Z. (2006): *Cechy granulometryczne lessów młodszych jako pośrednie wskaźniki zmian klimatu*, Regionalne Problemy Ochrony Środowiska, XIV Seminarium Naukowe, Politechnika Szczecińska: 69–82.
- Jary Z., Boguckij A., Ciszek D., Kida J. (2003a): *Krótkookresowe cykle klimatyczne zapisane w vistuliańskiej sekwencji lessowej w Polsce i Zachodniej Ukrainie, Lessy i paleolit Naddniestrza Halickiego, XII seminarium polsko-ukraińskie „Korelacja stratygraficzna lessów i utworów lodowcowych Polski i Ukrainy”*, Halicz 15–19 września 2003: 18–20.
- Jary Z., Ciszek D., Kida J. (2003b): *Loess Grain-Size and Magnetic Susceptibility as a Proxy Record of Climatic Changes During OIS2 in Poland and West Ukraine*, XVI INQUA Congress Shaping The Earth – A Quaternary Perspective, Programs with Abstracts, Reno, Nevada, July 23–30, 2003: 218.
- Jary Z., Ciszek D., Kida J. (2004): *Zmiany klimatu zapisane w uziarnieniu lessów Przedgórze Sudeckiego*, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, t. IV, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań: 137–157.
- Jary Z., Kida J. (2000): *Loess particles sources, transport and deposition on the example of SW Poland*, Acta Universitatis Wratislaviensis 2269, Studia Geograficzne, LXXIV: 71–77.
- Jersak J. (1965): *Stratygrafia i geneza lessów okolic Kunowa*, Acta Geogr. Lodz., 20: 121.
- Jersak J. (1973): *Litologia i stratygrafia lessu wyżyn południowej Polski*, Acta Geographica Lodziensia 32: 139.
- Jersak J. (1985): *Poland's loess formations and their facial differentiation. Materials on the Issue of Poland's Loesses*, Silesian University, Katowice: 1–9.
- Johnsen S. J., Clausen H. B., Dansgaard W., Fuhrer K., Gundestrup N., Hammer C. U., Iversen P., Jouzel J., Stauffer B., Steffensen J. P. (1992): *Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core*, Nature 359: 311–313.
- Johnsen S. J., Clausen H. B., Dansgaard W., Gundestrup N., Hammer C. U., Tauber H. (1995): *The Eem stable isotope record along the GRIP ice core and its interpretation*, Quaternary Research, 43: 117–124.
- Kida J. (1978): *Uziarnienie osadów lessowych w profilu Głogówek*, Acta Univ. Wratisl. 340, Prace Inst. Geogr., A2: 51–73.
- Klima B. (1958): *Prispěvek ke stratigrafii nejmladšího sprašového pokryvu (A Contribution to the Stratigraphy of the Youngest Loess Cover)*, Anthropozoikum VII, Praha: 111–143.
- Kukla G. J. (1987): *Loess stratigraphy in central China*, Quaternary Science Reviews 6: 191–219.
- Łanczont M., Boguckij A. B. (2002): *Badane profile lessowe i stanowiska paleolityczne Naddniestrza halickiego*, [w:] T. Madeyska (red.), *Lessy i paleolit Naddniestrza halickiego (Ukraina)*, Studia Geologica Polonica, 119: 33–181.
- Liu T. S. i in. (1985): *Loess and the Environment*, China Ocean Press, Beijing: 251.
- Liu T. S., Ding Z. L. (1998): *Chinese loess and the palaeomonsoon*, Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences 26: 111–145.
- Liu T. S., Ding Z. L., Rutter N. (1999): *Comparison of Milankovitch periods between continental loess and deep sea records over the last 2.5 Ma*, Quaternary Science Reviews, 18: 1205–1212.
- Lu H., Van Huissteden J., An Z. S., Nugteren G., Vandenberghe J. (1999): *East Asia winter monsoon variations on a millennium time-scale before the Last Glacial-Interglacial cycle*, Journal of Quaternary Science 14: 101–110.
- Lu H., Zhang F., Liu X., Duce R.A. (2004): *Periodicities of palaeoclimatic variations recorded by loess-paleosol sequences in China*, Quaternary Science Reviews 23: 1891–1900.

- Maruszczak H. (1991): *Zróżnicowanie stratygraficzne lessów polskich*, [w:] H. Maruszczak (red.), *Podstawowe profile lessów w Polsce*, Wyd. UMCS, Lublin: 13–35.
- Maruszczak H. (red.) (1991): *Podstawowe profile lessów w Polsce (Main section of loesses in Poland)*, Wyd. UMCS, Lublin: A 61; B 200; C 17.
- Maruszczak H. (red.) (2001): *Podstawowe profile lessów w Polsce II (Main section of loesses in Poland II)*, Wyd. UMCS, Lublin: 162.
- Mason J. A., Jacobs P. M., Greene R. S. B., Nettleton W. D. (2003): *Sedimentary aggregates in the Peoria Loess of Nebraska*, USA. *Catena* 53: 377–397.
- McCave I. N., Bryant R. S., Cook H. F., Coughanowr C. A. (1986): *Evaluation of a laser-diffraction-size analyzer for use with natural sediments*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 561–564.
- McCave I. N., Syvitski J. P. M. (1991): *Principles and methods of geological particle size analysis*, [w:] J. P. M. Syvitski (ed.), *Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK: 3–21.
- Muhs D. R., Ager T. A., Bettis III E. A., McGeehin J., Been J. M., Beget J. E., Pavich M. J., Stafford Jr. T. W., Stevens D. S. P. (2003): *Stratigraphy and palaeoclimatic significance of Late Quaternary loess-palaeosol sequences of the Last Interglacial-Glacial cycle in central Alaska*, *Quaternary Science Reviews* 22: 1947–1986.
- Nawrocki J., Bakhmutov V., Bogucki A., Dolecki L. (1999): *The paleo- and petromagnetic record in the Polish and Ukrainian loess-palaeosol sequences*, *Phys. Chem. Earth*, (A), 24: 773–777.
- Nugteren G., Vandenberghe J., Van Huissteden K., An Z. (2004): *A Quaternary climate record based on grain size analysis from the Luochuan loess section on the Central Loess Plateau*, *Global and Planetary Change*, 41: 167–183.
- Pluta M. (1982): *Mikroskopia optyczna*, PWN, Warszawa: 960.
- Pye K. (1987): *Aeolian Dust and Dust Deposits*, Academic Press, London: 335.
- Pye K. (1995): *The nature, origin and accumulation of loess*, *Quat. Science Reviews*, 14: 653–667.
- Pye K., Zhou L. P. (1989): *Late pleistocene and holocene aeolian dust deposition in North China and the Northwest Pacific Ocean*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 73: 11–23.
- Rokosh D., Bush A. B. G., Rutter N. W., Ding Z., Sun J. (2003): *Hydrologic and geologic factors that influenced spatial variations in loess deposition in China during the last interglacial-glacial cycle: results from proxy climate and GCM analyses*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193: 249–260.
- Rousseau D. D., Antoine P., Hatte C., Lang A., Zöller L., Fontugne M., Ben Othman D., Luck J. M., Moine O., Labonne M., Bentaleb I., Jolly D. (2002): *Abrupt millennial climatic changes from Nussloch (Germany) Upper Weichselian eolian records during the Last Glaciation*, *Quaternary Science Reviews* 21: 1577–1582.
- Różycki S. Z. (1976): *Zagadnienia warunków powstawania lessów*, *Biul. Inst. Geol.*, 297: 77–92.
- Różycki S. Z. (1991): *Loess and loess-like deposits*, Ossolineum, Wrocław: 187.
- Sun D. H., Bloemendal J., Rea D. K., An Z. S., Vandenberghe J., Lu H., Su R., Liu T. S. 2004: *Bimodal grain-size distribution of Chinese loess, and its palaeoclimatic implications*, *Catena* 55: 325–340.
- Sun D. H., Bloemendal J., Rea D. K., Vandenberghe J., Jiang F., An Z. S., Su R. 2002: *Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components*, *Sedimentary Geology* 152: 263–277.

- Sun Y., Clemens S. C., An Z., Yu Z. (2006): *Astronomical timescale and palaeoclimatic implication of stacked 3.6-Myr monsoon records from the Chinese Loess Plateau*, Quaternary Science Reviews 25: 33–48.
- Tokarski J. (1936): *Physiographie des podolischen Lösses und das Problem seiner Stratigraphie*, Memoires de l'Academie Polonaise des Sciences et des Lettres, A: 1–61.
- Tsoar H., Pye K. (1987): *Dust transport and the question of desert loess formation*, Sedimentology 34: 139–153.
- Vandenbergh J., Huijzer A. S., Mucher H. J., Laan W. (1998): *Short climatic oscillations in a western European loess sequence (Kesselt, Belgium)*, Journal of Quaternary Science, 13: 471–485.
- Vandenbergh J., Nugteren G. (2001): *Rapid climatic changes recorded in loess succession*, Global and Planetary Change: 28: 1–9.
- Vandenbergh J., Mommersteeg H., Edelman D. (1993): *Lithogenesis and geomorphological processes of the Pleistocene deposits at Maastricht–Belvedere*, Meded. Rijks Geol. Dienst, Nieuwe Ser. (Neth.) 47: 7–18.
- Weiss E. L., Frock H. N. (1976): *Rapid analysis of particle-size distributions by laser light scattering*, Powder Technology, 14: 287–293.
- Wentworth C. K. (1922): *A scale of grade and class terms for clastic sediments*, Journal of Geology, 30: 377–392.
- Wojtanowicz J. (1972): *Burze pyłowe i ich znaczenie geomorfologiczne w świetle dotychczasowych badań*, Czasopismo Geograficzne 43: 265–294.
- Wojtanowicz J. (2000): *Global and zonal nature of aeolian process; types of deposits, sedimentation intensity*, [w:] R. Dulias, J. Pełka-Gościniak (eds.), *Aeolian processes in different landscape zones*, Faculty of Earth Sciences, The Association of Polish Geomorphologists, Sosnowiec: 7–17.
- Zarate M. A. (2003): *Loess of southern South America*, Quaternary Science Reviews 22: 1987–2006.
- Zöller L., Semmel A. (2001): *175 years of loess research in Germany – long records and “unconformities”*, Earth-Science Reviews, 54: 19–28.

SUMMARY

Grain size is the most important loess lithologic property. Grain size composition depends mainly on factors connected with depositional processes (i.e. variety of source areas, distance from source areas, frequency and intensity of dust transporting winds).

The influence of postdepositional processes on changes in grain size composition seems to be of less importance with the exceptions for warm and long periods of intensive pedogenesis, which are favourable for formation of clay minerals. Therefore it can be assumed that grain size differentiation within thick loess sections may be used as a proxy record of climate changes during loess cover development.

As a result of field investigations, four Upper Pleistocene loess-soil sequences were chosen from western part of Ukraine: Korshov, Rivne, Novyj Mylatyn and Zbarazh. The thickness of loess deposits ranges between 6 (Zbarazh) and 11.5 m (Korshov). All these profiles were sampled in vertical sections at close intervals (5–10 cm) and documented in respect of their stratigraphy, sedimentology and palaeopedology. The following analyses were conducted: grain-size distribution (laser diffraction method), magnetic susceptibility and CaCO₃ contents.

There are two horizons within the last glacial loess-soil sequences strongly deformed by solifluction and other slope processes: lower part of LMd (lower younger loess), directly above eemian-early glacial pedocomplex Gi+GJ1 (Horohiv) and lower part of LMs (middle younger loess) just above tundra-gley soil complex Gi/:Md (Dubno). Within these layers the most spectacular grain size changes have been found. Therefore we can assume that during the sedimentation of these layers the most considerable, rapid climatic-environmental changes occurred.

The results of grain size analyses indicate the occurrence of short depositional cycles within the thick upper plenivistulian loess sequences of LMg and LMs. Relatively coarse loess is alternated with fine-grained loess. Times of high dust influx coincided with severe climate conditions inferred from grain-size variations. Periods of decreased, fine-grain loess accumulation and development of weak pedogenic gley horizons, marked by relatively low values of magnetic susceptibility, probably represent warmer episodes. However, the number of weak tundra-gley horizons within particular thick loess successions (Korshov, Rivne, Novyj Mylatyn) varies from 5 to 8.

Currently, it is not possible to state univocally, whether depositional cycles and weak tundra-gley horizons within loess successions are connected with local climatic oscillations or they should be linked with global Dansgaard-Oeschger events recorded in ice-cores.

Further investigations of thick Upper Pleistocene loess-soil sequences are necessary to solve the problem of genesis, extent, time and correlations of this feature within Polish and Ukrainian loess areas.