

## Zapadowość plejstocenijskich poziomów lessowo-glebowych i kriogenicznych Wołynia i Podola

Andriy Bogucki<sup>1</sup>, Petro Voloshyn<sup>1</sup>, Olena Tomeniuk<sup>1</sup>



A. Bogucki



P. Voloshyn



O. Tomeniuk

**The collapsibility of Pleistocene loess-palaeosols and cryogenic levels in Volhynia and Podolia.** *Prz. Geol.*, 62: 553–559.

*Abstract.* The article presents the characteristics of collapse levels of stratigraphic loesses in Volhynia and Podolia. The authors examined physical and mechanical properties of loess-palaeosols of upper, middle and lower Pleistocene. Cryogenic processes and their effects on the collapsibility of loesses are discussed.

**Keywords:** loess-palaeosols stratigraphy of western Ukraine, cryogenic processes, collapse processes

Najbardziej rozpowszechnionym typem genetycznym osadów plejstocenijskich równinnej zachodniej części Ukrainy są lessy eoliczno-deluwialne. Pokrywy lessowe występują na Wyżynach Wołyńskiej i Podolskiej oraz Przedkarpaciu (ryc. 1). Miąższość warstw lessowych, w zależności od rzeźby terenu, waha się od 3–5 do 25–30 m i więcej. Zaliczono do nich lessowe, glebowe i kriogeniczne poziomy, będące przedmiotem rozważań w artykule. W celu zagospodarowania przestrzennego i bezpiecznego wykorzystania osadów lessowych, jako podłoża obiektów budowlanych, konieczne są dokładne badania geologiczno-inżynierskie. W tradycyjnych opracowaniach o charakterze doradczo-ekspertycznym nie zawsze są uwzględnione specyficzne właściwości lessów. W szczególności dotyczy to występowania zjawiska zapadowości w różnych typach gleb kopalnych, ich kompleksach oraz strukturach kriogenicznych. Proponowana i zweryfikowana w praktyce przez autorów metodyka badań geologiczno-inżynierskich lessów wydaje się być przydatna, zwłaszcza przez możliwość ekstrapolacji doświadczeń na inne tereny pokryte tymi gruntami, uznawanymi za problematyczne. Polega ona na kompleksowym badaniu reperowych profili lessowych w kopalnianych wyrobiskach (cegielniach). Umożliwia to szczegółowe rozpoznanie stratygrafii, uwzględniającej paleogeograficzne warunki formowania i diagenetyczne przekształcenia lessów, oraz prowadzenie analiz ich właściwości z uwzględnieniem mikrostratygraficznych elementów i cech związanych z zapadowością w warunkach *in situ*.

W profilach lessów badanego regionu stwierdzono powtarzalność występowania poziomów lessów, gleb kopalnych i ich kompleksów oraz poziomów kriogenicznych spowodowanych cyklicznymi zmianami paleoklimatu.

Kompleksowe badanie reperowych profili lessu plejstocenu górnego, środkowego i dolnego Wołynia i Podola, na podstawie szczegółowego

schematu stratygraficznego (Bogucki, 1986; Bogucki i in., 1998; Madeyska, 2002), pozwoliło zebrać syntetyczne dane o najważniejszych właściwościach analizowanych osadów, zwłaszcza o ich zapadowości (Bogucki & Voloshyn, 1991, 2013).



**Ryc. 1.** Rozmieszczenie lessów na Wołyniu, Podolu i Przedkarpaciu  
**Fig. 1.** Loess deposits in Volhynia, Podolia and Forecarpathians

<sup>1</sup> Lwowski Uniwersytet Narodowy im. I. Franko, ul. Doroszenka, 41, 79000, Lwów, Ukraina; petro.voloshyn@gmail.com, prostolena.87@ukr.net.

**Tab. 1.** Schemat stratygraficzny lessów Wołynia i Podola  
**Table 1.** Stratigraphy of loess of Volhynia and Podolia

Ogólny schemat stratygraficzny <i>General stratigraphy</i>		Wołyń i Podole (Bogucki, 1986) <i>Volhynia and Podolia (Bogucki, 1986)</i>						
Oddział <i>Series</i>	Ogniwo <i>Member</i>	Nadpoziom <i>Superlevel</i>	Nr poziomu <i>Level number</i>	Nazwa poziomu <i>Level name</i>	Nr podpoziomu <i>Sublevel number</i>	Nazwa podpoziomu <i>Sublevel name</i>		
HOLOCEN <i>Holocene</i>	WSPÓŁCZESNE <i>Recent</i>		1	współczesna gleba <i>Recent soil</i>				
PLEJSTOCEN <i>Pleistocene</i>	GÓRNE (górnny plejstocen) <i>Upper Pleistocene</i>	WOŁYŃSKI <i>Volhynia</i>	2	Górny poziom lessów górnoplejstocenijskich <i>Upper level of upper Pleistocene loess</i>	2f	less <i>loess</i>		
					2e	krasiłowski – kopalna warstwa czynna w. zm. <i>Krasyliv – paleosoil active permafrost</i>		
					2d	less <i>loess</i>		
					2c	rówieński soliflukcyjny (oglejenie, gleba kopalna) <i>Rivne Solifluction (gleification, paleosoil)</i>		
					2b	less <i>loess</i>		
					2a	soliflukcyjny (kopalna warstwa czynna w. zm.) <i>Solifluction (paleosoil, active permafrost)</i>		
			3	dubnowska gleba <i>Dubno soil</i>				
			4	dolny poziom lessów górnoplejstocenijskich <i>Lower level of upper Pleistocene loess</i>	4b	less <i>loess</i>		
		4a			kopalna warstwa czynna w. zm. (soliflukcja) <i>Permafrost (solifluction)</i>			
			5	horochowski kompleks glebowy <i>Chorochov soil complex</i>	5b	gleba drugiej (stepowej) fazy kompleksu – górna <i>2-nd phase steppe soil</i>		
		gleba pierwszej (leśnej) fazy kompleksu – dolna <i>1-st phase forest soil</i>						
		ŚREDNIE (środkowy plejstocen) <i>Middle Pleistocene</i>	PODOLSKI <i>Podolia</i>	6	górnny poziom lessów środkowoplejstocenijskich <i>Upper level of Middle Pleistocene loess</i>			
	7					korszewski kompleks glebowy <i>Korsiv soil complex</i>		
	8					dolny poziom lessów środkowoplejstocenijskich <i>Lower level of Middle-Pleistocene loess</i>		
			9	łucka gleba (kompleks glebowy ?) <i>Luck soil (soil complex ?)</i>				
	DOLNE (dolny plejstocen) <i>Lower Pleistocene</i>		10	górnny poziom lessów dólnoplejstocenijskich <i>Upper level of lower Pleistocene loess</i>				
					11	sokalska gleba <i>Sokal soil</i>		
					12	dolny poziom lessów dólnoplejstocenijskich <i>Lower level of Lower-Pleistocene loess</i>		

W reperowych profilach wydzielono sześć poziomów lessów (po dwa w plejstocenie górnym, środkowym i dolnym), pięć poziomów gleb kopalnych i kopalnych kompleksów glebowych oraz osiem poziomów kriogenicznych (Bogucki, 1986; Bogucki i in., 1996; Bogucki i in., 1998). Różnią się one ze względu na skład granulometryczny i wilgotność, determinującą stopień nasycenia i zapadowość.

**Górny plejstocen.** W przekroju górnego plejstocenu wyodrębniono górny (2<sup>2</sup>) i dolny (4) poziom lessów, dubnowską glebę kopalną (3) i horochowski kopalny kompleks glebowy (5). Górny poziom górnoplejstoceniowych lessów zalega pod współczesną glebą. Na Wyżynie Wołyńskiej i północnym wschodzie Podola jego miąższość wynosi 5–8 m, a nieraz dochodzi do 9–10 m. W centralnej i południowej części Podola miąższość ta jest znacznie mniejsza.

Poziom ten, ze względu na cechy morfologiczne, skład i właściwości, podzielono na kilka podpoziomów (tab. 1).

Lessy podpoziomu 2f to zachowana warstwa ostatniego plejstoceniowego etapu kriogenicznego. Składa się ona z żółtoszarych pyłów piaszczystych i pyłów ilastych o niebieskim odcieniu. Grunty tego podpoziomu są intensywnie oglejone i zażelazone. Wypełniają go liczne pseudomycelie, twarde kongrecje węglanowe oraz żelaziste wytrącenia typu pierścieni Liesegang. Warstwa charakteryzuje się małą wilgotnością naturalną (7–17%), podwyższoną wartością wskaźnika porowatości  $e$  (0,60–0,70), która zmniejsza się (do 0,80) na terenach zintensyfikowanych procesów glebowych.

Niżej zalega o wiele częściej występujący, górny (tzw. krasylowski) podpoziom (2e) górnego poziomu górnoplejstoceniowych lessów, o miąższości do 3,0 m. Zbudowany

**Tab. 2.** Zapadowość serii lessowo-glebowej Wyżyny Wołyńskiej (górnym plejstocenie)  
**Table 2.** Collapsibility of loess-palaeosols of Volhynia Upland (Upper Pleistocene)

Poziomy, podpoziomy i ich numery <i>Levels, sublevels and their numbers</i>		Zapadowość przy naturalnym obciążeniu <i>Collapsibility at natural geostatic load</i>	Zapadowość przy dodatkowym naprężeniu [MPa] <i>Collapsibility at additional load [MPa]</i>			Początkowe naprężenie zapadowości (wartość średnia) [MPa] <i>Initial collapsibility load (average value) [MPa]</i>
			0,1	0,2	0,3	
2	GÓRNY POZIOM górnoplejstoceniowych lessów: <i>UPPER LEVEL of Upper Pleistocene loess:</i>					
	2i Krasylowski podpoziom <i>Krasyliv sublevel</i>	0,000–0,008 0,001	0,000–0,017 0,004	0,000–0,023 0,009	0,002–0,068 0,016	0,205
2d	Górny podpoziom lessów <i>Upper loess sublevel</i>	0,000–0,020 0,003	0,000–0,076 0,008	0,000–0,088 0,017	0,000–0,092 0,026	0,125
2c	Riwneński podpoziom <i>Rivne sublevel</i>	0,000–0,007 0,002	0,000–0,008 0,003	0,000–0,008 0,005	0,000–0,016 0,008	>0,300
2b	Dolny podpoziom lessów <i>Lower loess sublevel</i>	0,000–0,013 0,003	0,000–0,013 0,005	0,000–0,026 0,007	0,000–0,052 0,017	0,230
		3	DUBNOWSKA GLEBA <i>DUBNO SOIL</i>	0,000–0,013 0,0001	0,000–0,010 0,001	0,000–0,022 0,002
4	DOLNY POZIOM górnoplejstoceniowych lessów <i>LOWER LEVEL of Upper Pleistocene loess</i>	0,000–0,014 0,002	0,006–0,014 0,001	0,000–0,017 0,002	0,000–0,021 0,002	>0,300
5	HOROCHOWSKI KOMPLEKS: <i>HOROHIV COMPLEX:</i>					
5b	Gleba fazy stepowej powstawania gleby <i>Phase steppe soil</i>	0,000–0,016 0,003	0,000–0,015 0,022	0,000–0,020 0,003	0,000–0,024 0,007	>0,300
		5a	Gleba fazy leśnej powstawania gleby <i>Phase forest soil</i>	0,000–0,015 0,003	0,000–0,005 0,000	0,000–0,007 0,001
	Grunt wypełniacza struktur w kształcie klina krasylowskiego etapu paleokriogenicznego <i>Filling soil as a Krasyliv wedge of paleo-cryogenic stage</i>	0,005–0,013 0,009	0,005–0,017 0,011	0,015–0,036 0,025	0,021–0,055 0,038	0,090
	Grunt wypełniacza struktur w kształcie klina torczyńskiego etapu paleokriogenicznego <i>Filling soil as a Torchin wedge of paleo-cryogenic stage</i>	0,008–0,015 0,011	0,006–0,014 0,010	0,010–0,017 0,014	0,014–0,033 0,027	0,100

<sup>2</sup> Numery poziomów i podpoziomów są podawane zgodnie ze skalą stratygraficzną (Bogucki, 1986; Bogucki i in., 1998).

jest on z jednolitych pyłów piaszczystych koloru żółtoszarego, które charakteryzują się makroporowatością, pionowymi spękaniami i występowaniem węgla wapnia. Ze względu na skład granulometryczny i inne cechy fizyczne, grunty tego podpoziomu uznawane są za tzw. lessy typowe. Największy udział w omawianym gruncie mają cząstki pylaste, których zawartość wynosi średnio 64%. Frakcja ilowa i piaszkowa stanowią odpowiednio 10 i 26%. Wilgotność naturalna wynosi 10–15%, wskaźnik porowatości  $e = 0,70-0,90$ , stopień wilgotności  $S_t = 0,3-0,6$ , a wskaźnik plastyczności  $I_p = 0,06-0,07$ .

Górny podpoziom górnopolejstoczeńskich lessów jest podścielony gruntami podpoziomu rówieńskiego (2c), o miąższości 0,4–0,5 m. Zbudowany jest on z pyłów piaszczystych charakteryzujących się wysokim wskaźnikiem porowatości, w formie oglejonych i zażelazionych soczewek. Grunty tego podpoziomu mają prawie taką samą wilgotność jak lessy górnego podpoziomu, ale nieco wyższy wskaźnik porowatości. Wskaźnik porowatości  $e$  pyłów piaszczystych wynosi od 0,65 do 0,75.

Dolny podpoziom górnego poziomu górnopolejstoczeńskich lessów (2b) składa się z pyłów piaszczystych, o małej i średniej zawartości frakcji ilowej, oraz z pyłów ilastych w kolorze szarym i jasnobrązowym. Miąższość tej warstwy wynosi do 2,5 m, sporadycznie więcej. Poziom 2b ma wiele widocznych śladów humusu, zażelazienia i oglejenia. Właściwości fizyczne tej warstwy są podobne do lessów górnego podpoziomu (2d), z wyjątkiem wilgotności naturalnej, która w wielu badanych profilach wyniosła 17–19%, co odpowiada wartościom wilgotności na granicy plastyczności.

Bezpośrednio nad dubnowską glebą kopalną (poziom 3) zalega podpoziom (2a), który stanowi zdeformowana soliflukcyjna warstwa, intensywnie oglejona i zażelaziona. Jej miąższość zazwyczaj nie przekracza 1,0 m. Wskaźniko-

we parametry oglejenia i soliflukcji dla tych gruntów są zbliżone do podpoziomów krasiliwskiego i rówieńskiego, ale o względnie większej wilgotności 17–20% i wskaźniku porowatości od 0,60 do 0,70. Osady górnego poziomu górnopolejstoczeńskich lessów są podścielone dubnowską glebą kopalną, którą tworzą szare i niebieskoszare pyły ilaste i pyły piaszczyste, również o intensywnym oglejeniu, ze śladami bezładnych deformacji kriogenicznych. Miąższość dubnowskiej gleby wynosi 0,5–1,0 m. Charakteryzuje ją duża wilgotność naturalna (do 26%), względnie większa zawartość drobnych cząstek (średnio 58%), zaś wskaźnik porowatości  $e$  nie przekracza zazwyczaj 0,55–0,65. Dubnowska gleba kopalna, ze względu na wartości parametrów porowatości, stopnia nasycenia i procentową zawartość cząstek drobnych, nie wykazuje właściwości zapadowych.

Dolny poziom górnopolejstoczeńskich lessów (4a, 4b) ma miąższość od 0,5 do 2,0 m. Jest on zbudowany z pyłów ilastych, rzadziej pyłów piaszczystych, w kolorze żółtoszarym z czerwonym odcieniem, ze śladami oglejenia i zażelazienia. W dolnej części warstwy można nie raz zaobserwować postkriogeniczne struktury, częściowo uporządkowane.

Dla gruntów dolnego poziomu górnopolejstoczeńskich lessów charakterystyczna jest przeważnie podwyższona wilgotność (ponad 20%), mały wskaźnik porowatości (0,60–0,75) oraz mniejsza, w porównaniu z górnym poziomem górnopolejstoczeńskich lessów, zawartość cząstek pyłowych.

Na samym dole profili lessów plejstocenu górnego zalegają osady horochowskiego kopalnego kompleksu glebowego (5b), o miąższości do 2,0 m i większej, zbudowanego z nałożonych na siebie gruntów, powstałych w kilku etapach i fazach. Jego charakterystyczną cechą są pow szechnie deformacje mrozowe.

Wilgotność naturalna gruntów horochowskiego kompleksu waha się w szerokich granicach 15–23%. Gleby

**Tab. 3.** Zapadowość serii lessowo-glebowej Wyżyny Podolskiej (górnego plejstocenu)  
**Table 3.** Collapsibility of loess-palaeosols of Podolia Upland (Upper Pleistocene)

Poziomy, podpoziomy i ich numery <i>Levels, sublevels and their numbers</i>		Zapadowość przy naturalnym obciążeniu geostatycznym <i>Collapsibility at natural geostatic load</i>	Zapadowość przy dodatkowym naprężeniu [MPa] <i>Collapsibility at additional load [MPa]</i>			Początkowe naprężenie zapadowości (wartość średnia) [MPa] <i>Initial collapsibility load (average value) [MPa]</i>
			0,1	0,2	0,3	
2	GÓRNY POZIOM górnopolejstoczeńskich lessów <i>UPPER LEVEL of Upper Pleistocene loess</i>	0,000–0,009	0,000–0,013	0,000–0,083	0,003–0,104	0,150
		0,003	0,006	0,013	0,018	
3	DUBNOWSKA GLEBA <i>DUBNO SOIL</i>	0,001–0,014	0,001–0,016	0,002–0,022	0,004–0,038	0,225
		0,004	0,006	0,009	0,013	
4	DOLNY POZIOM górnopolejstoczeńskich lessów <i>LOWER LEVEL of Upper Pleistocene loess</i>	0,001–0,011	0,000–0,012	0,000–0,022	0,000–0,040	0,250
		0,004	0,005	0,008	0,011	
5	HOROCHOWSKI KOMPLEKS <i>HOROHIV COMPLEX</i>	0,001–0,015	0,000–0,016	0,000–0,033	0,000–0,056	0,200
		0,004	0,005	0,010	0,018	
Grunt wypełniacza struktur w kształcie klina krasylivskiego etapu paleokriogenicznego <i>Filling soil as a Krasyliv wedge of paleo-cryogenic stage</i>		0,001–0,004	0,005–0,012	0,011–0,015	0,012–0,022	0,180
		0,001	0,008	0,014	0,015	
Grunt wypełniacza struktur w kształcie klina torczyńskiego etapu paleokriogenicznego <i>Filling soil as a Torchin wedge of paleo-cryogenic stage</i>		0,001–0,005	0,001–0,006	0,002–0,015	0,004–0,020	0,200
		0,002	0,003	0,010	0,015	

powstałe w różnych jego fazach różnią się także między sobą wartościami wskaźnika porowatości. Wskaźnik porowatości  $e$  gleb pierwszej fazy, tzw. fazy leśnej, przeciętnie wynosi 0,68, a fazy drugiej, tzw. fazy stepowej – 0,75.

Ważną rolę w formowaniu zapadowości warstw lessowo-glebowych plejstocenu górnego pełnią struktury kriogeniczne. W szczególności dotyczy to deformacji struktury gruntów wykształconych jako pseudomorfozy w postaci klinów lodowych. Największe znaczenie geologiczno-inżynierskie mają pseudomorfozy kriogenicznych etapów krasielewskiego i torczyńskiego (fazy „b”). Największe struktury w kształcie klina występują w gruntach etapu krasielewskiego, a ich pionowe rozmiary osiągają nawet 4–5 m i więcej na Wyżynie Wołyńskiej, natomiast na Wyżynie Podolskiej – 2–3 m i więcej. Szerokość deformacji mrozowych w górnej części wynosi średnio 2 m, lokalnie przewyższając tę wartość. Struktury kriogeniczne torczyńskiego etapu mają nieco mniejsze rozmiary pionowe i poziome, odpowiednio 3,0–3,5 i 1,0–1,5 m.

Lessowe wypełnienie klinów lodowych cechuje zwykle mniejsza gęstość w stosunku do gruntów je otaczających. W strefie kontaktowej „macierzysty maszyn gruntowy-wypełnienie” obserwowane są charakterystyczne szczeliny. Osady w klinach są mało wilgotne (wilgotność 10–16%), a ich wskaźniki porowatości  $e$  z reguły przekraczają wartość 0,80, co w połączeniu z małymi parametrami wilgotności powoduje, że struktury wykazują potencjalną zapadowość.

Wartości bezwzględne wskaźników zapadowości poziomów lessowych, glebowych i kriogenicznych górnego plejstocenu zestawiono w tabelach 2 i 3. Można z nich odczytać, że przy naprężeniach 0,3 MPa, działających na grunty z Wyżyny Wołyńskiej, zapadowość jest cechą osadów górnego poziomu górnoplejstocenijskich lessów, zwłaszcza gruntów podpoziomu krasielewskiego górnego i dolnego. Zgeneralizowane wyniki dotyczące gruntów zaliczonych do podpoziomu rówieńskiego i do naddubnowskiego podpoziomu soliflukcyjnego nie wykazują zapadowości. Brakiem cech zapadowych charakteryzują się również grunty dolnego poziomu górnoplejstocenijskich lessów (4). Tylko w pojedynczych profilach, w których dla lessów wymienionych poziomów i podpoziomów są charakterystyczne małe wskaźniki wilgotności naturalnej i wskaźniki porowatości, może wystąpić nietrwała struktura. Dla gruntów wypełniających wszystkie kliny lodowe stwierdzono zapadowość w warunkach dodatkowego obciążenia, natomiast dla struktur kriogenicznych etapu torczyńskiego już pod naturalnym obciążeniem geostatycznym. Na Wyżynie Podolskiej wszystkie poziomy lessowe, glebowe i kriogeniczne pod dodatkowym obciążeniem cechują się nietrwałą strukturą, implikującą ich zapadowość w szczególnych warunkach gruntowo-wodnych.

Własny ciężar gruntów budujących wszystkie poziomy lessowe nie jest na tyle duży, żeby samoistnie powodować efekty zapadowości, bez dodatkowego obciążenia zewnętrznego. Tylko w nielicznych przypadkach, przy

**Tab. 4.** Zapadowość serii lessowo-glebowej Wyżyny Wołyńskiej (środkowy i dolny plejstocen)  
**Table 4.** Collapsibility of loess-palaeosols of Volhynia Upland (Middle and Lower Pleistocene)

	Poziomy, podpoziomy i ich numery <i>Levels, sublevels and their numbers</i>	Zapadowość przy naturalnym obciążeniu geostatycznym <i>Collapsibility at natural geostatic load</i>	Zapadowość przy dodatkowym naprężeniu [MPa] <i>Collapsibility at additional load [MPa]</i>			Początkowe naprężenie zapadowości (wartość średnia) [MPa] <i>Initial collapsibility load (average value) [MPa]</i>
			0,1	0,2	0,3	
6	GÓRNY POZIOM środkowoplejstocenijskich lessów <i>UPPER LEVEL of Middle Pleistocene loess</i>	0,000–0,022 0,005	0,000–0,013 0,002	0,000–0,016 0,004	0,000–0,026 0,008	>0,300
7	KORSZEWSKI KOMPLEKS: <i>KORISV COMPLEX:</i> gleba II fazy <i>2-nd phase soil</i> gleba I fazy <i>1-st phase soil</i>	0,000–0,024 0,008	0,000–0,008 0,002	0,000–0,011 0,004	0,000–0,024 0,010	0,300
		0,000–0,018 0,008	0,000–0,006 0,002	0,000–0,011 0,004	0,000–0,018 0,009	>0,300
		0,000–0,007 0,002	0,000–0,004 0,001	0,000,004 0,002	0,000–0,007 0,002	>0,300
		0,000–0,010 0,002	0,000–0,006 0,001	0,000–0,008 0,002	0,000–0,010 0,003	>0,300
10	GÓRNY POZIOM dolnoplejstocenijskich lessów <i>UPPER LEVEL of Lower Pleistocene loess</i>	0,000–0,005 0,002	0,000–0,002 0,001	0,000–0,003 0,002	0,000–0,005 0,002	>0,300
11	SOKALSKA GLEBA <i>SOKAL SOIL</i>	0,000–0,000 0,000	0,000–0,000 0,000	0,000–0,000 0,000	0,000–0,000 0,000	>0,300
12	DOLNY POZIOM dolnoplejstocenijskich lessów <i>LOWER LEVEL of Lower Pleistocene loess</i>	0,000–0,000 0,000	0,000–0,000 0,000	0,000–0,000 0,000	0,000–0,000 0,000	>0,300

miąższości ponad 10,0 m, na tarasie rzeki Horyń blisko miasta Równo, zapadowość górnego poziomu górnoplejstocenijskich lessów sumarycznie osiąga 0,1 m. Największą bezwzględną zapadowością charakteryzują się zatem lessy górnego i dolnego podpoziomu górnego poziomu górnoplejstocenijskich lessów.

**Środkowy plejstocen.** W środkowym plejstocenie zgodnie ze schematem stratygraficznym (Bogucki, 1986; Bogucki i in., 1998) wyodrębniono górny (6) i dolny (8) poziom środkowoplejstocenijskich lessów, korszewski kopalny kompleks glebowy (7) oraz łucką glebę kopalną (9)<sup>3</sup>.

Górny poziom środkowoplejstocenijskich lessów zalega pod horochowskim kopalnym kompleksem glebowym i osiąga miąższość do 7 m i więcej. Na Wyżynie Podolskiej wyróżnia go nie tylko maksymalna miąższość, lecz również duży stopień jednorodności. Poziom ten zbudowany jest z zielono-żółtoszarych pyłów piaszczystych i lekko zaglinionych pyłów, o małej zawartości frakcji ilowej, w których można zaobserwować liczne pseudomycelie i węglany. W dolnej części warstwy pyły ilaste są bardziej wilgotne, oglejone i zażelazone. W poziomie tym występu-

je kilka tzw. stref czynnych, czyli podpoziomów soliflukcyjnych W odróżnieniu od Wyżyny Podolskiej, na Wyżynie Wołyńskiej poziom jest bardzo niejednorodny, ze względu na częste zaburzenia procesami deluwialno-soliflukcyjnymi. Dodatkowo zaobserwowano w trakcie badań minimum trzy generacje pseudomorfoz w formie klinów lodowych, których rozmiary pionowe przekraczają czasem 4,5 m.

Wilgotność naturalna gruntów górnego poziomu środkowoplejstocenijskich lessów waha się od 10 do 23%, przy przeciętnej wartości 15%, a wskaźnik plastyczności  $I_p$  od 0,04 do 0,11. Granulometrycznie osady tego poziomu są bliskie lessom górnego poziomu górnego plejstocenu, lecz cechują się znacznie większą wartością wskaźnika porowatości  $e$ , który waha się od 0,70 do 0,75. Ze względu na dużą wartość wskaźnika porowatości grunty tego poziomu charakteryzują się średnią zapadowością (tab. 4, 5).

Wartości bezwzględne wskaźnika zapadowości wahają się od zera do 0,026, ale niektóre próbki przy obciążeniu geostatycznym również ulegały zjawisku gwałtownego osiadania, a jego wartość nie przekraczała 0,010–0,022.

**Tab. 5.** Zapadowość serii lessowo-glebowej Wyżyny Podolskiej (środkowy i dolny plejstocen)  
**Table 5.** Collapsibility of loess-palaeosols of Podolia Upland (Middle and Lower Pleistocene)

Poziomy, podpoziomy i ich numery <i>Levels, sublevels and their numbers</i>		Zapadowość przy naturalnym obciążeniu geostatycznym <i>Collapsibility at natural geostatic load</i>	Zapadowość przy dodatkowym naprężeniu [MPa] <i>Collapsibility at additional load [MPa]</i>			Początkowe naprężenie zapadowości (wartość średnia) [MPa] <i>Initial collapsibility load (average value) [MPa]</i>
			0,1	0,2	0,3	
6	GÓRNY POZIOM środkowoplejstocenijskich lessów UPPER LEVEL of Middle Pleistocene loess	0,002–0,010	0,002–0,012	0,006–0,018	0,010–0,030	0,200
		0,006	0,006	0,010	0,017	
7	KORSZEWSKI KOMPLEKS KORISV COMPLEX:  gleba II fazy 2-nd phase soil  gleba I fazy 1-st phase soil	0,005–0,012	0,000–0,008	0,000–0,013	0,002–0,021	0,200
		0,007	0,006	0,010	0,013	
		0,003–0,009	0,001–0,008	0,005–0,009	0,002–0,009	>0,300
		0,007	0,005	0,007	0,009	
8	DOLNY POZIOM środkowoplejstocenijskich lessów LOWER LEVEL of Middle Pleistocene loess	0,004–0,008	0,000–0,005	0,000–0,008	0,004–0,009	>0,300
		0,006	0,003	0,006	0,007	
9	LUCKA GLEBA LUCK SOIL	0,002–0,007	0,000–0,004	0,002–0,007	0,002–0,009	>0,300
		0,005	0,002	0,005	0,007	
10	GÓRNY POZIOM dolnoplejstocenijskich lessów UPPER LEVEL of Lower Pleistocene loess	0,004–0,007	0,001–0,003	0,003–0,005	0,003–0,007	>0,300
		0,006	0,002	0,006	0,006	
11	SOKALSKA GLEBA SOKAL SOIL	0,005–0,006	0,003–0,004	0,005–0,006	0,006–0,007	>0,300
		0,006	0,004	0,005	0,006	
12	DOLNY POZIOM dolnoplejstocenijskich lessów LOWER LEVEL of Lower Pleistocene loess	0,004–0,006	0,001–0,002	0,004–0,005	0,005–0,007	>0,300
		0,005	0,002	0,004	0,006	
	Grunt wypełniacza struktur w kształcie klina łanowieckiego etapu paleokriogenicznego <i>Filling soil as a Lanowec wedge of paleo-cryogenic stage</i>	0,002–0,010	0,005–0,010	0,011–0,012	0,016–0,026	0,190
		0,005	0,005	0,011	0,021	

<sup>3</sup> W nowszych schematach stratygraficznych (Madeyska, 2002) do środkowego plejstocenu zaliczono górny poziom dolnoplejstocenijskich lessów i sokalską glebę (nr 10 i 11).

Zalegający niżej korszewski kopalny kompleks glebowy składa się z dwóch nałożonych na siebie serii gleb, powstałych w dwóch fazach. Gleba drugiej fazy (górna) to pełnoprofilowa gleba podobna do czarnoziemów. W glebie pierwszej fazy (dolnej) jej genetyczny profil nie zawsze jest widoczny. Częściej dominuje akumulacja gleby powstałej w drugiej fazie leżącego niżej poziomu B. Dla gruntów kompleksu korszewskiego charakterystyczna jest również podwyższona zawartość cząstek o  $\varnothing < 0,005$  mm, która wynosi średnio 52,8%. Wilgotność naturalna waha się od 16 do 22%, wskaźnik plastyczności  $I_p$  wynosi od 0,07 do 0,10, a wskaźnik porowatości  $e$  – średnio 0,76. Dla mniej wilgotnych gruntów i tych powstałych w drugiej fazie charakterystyczna jest mniejsza gęstość, co powoduje większą zapadowość niż w gruntach fazy pierwszej. Wartości bezwzględne wskaźnika zapadowości zestawiono w tabelach 4 i 5.

Grunty korszewskiego kopalnego kompleksu glebowego (7) są usytuowane w profilu na osadach dolnego poziomu środkowoplejstocenijskich lessów (8).

Dolny poziom środkowoplejstocenijskich lessów (8) składa się z żółtoszarych, niekiedy niebieskoszarych, często warstwowanych pyłów ilastych, o dużym wskaźniku porowatości i o miąższości 2,0–2,5 m. Miąższość ta rzadko jest większa. Można w nich zaobserwować duże (do 7,0 cm) kongregacje węglanowe. Wilgotność naturalna gruntów również jest duża – od 20 do 25%. Wskaźnik plastyczności  $I_p$  wynosi 0,12, zaś średni wskaźnik porowatości  $e = 0,59$ . Wskaźnik zapadowości w żadnej badanej próbce z Wyżyny Wołyńskiej i Wyżyny Podolskiej nie osiągnął 0,01 (tab. 4, 5), co oznacza, że lessy tego poziomu nie należą do gruntów zapadowych.

Pod lessami dolnego poziomu (8) obserwuje się łucką glebę kopalną typu leśnego (9), o miąższości 1,5 m i większej. Jej profil jest zróżnicowany, a w górnej części dodatkowo mocno zaburzony procesami soliflukcji. Dla gleby łuckiej charakterystyczna jest duża zawartość frakcji ilowej, podwyższona wilgotność (ok. 20%) i stosunkowo duża wartość wskaźnika porowatości  $e = 0,70$ . Ze względu na wymienione cechy fizyczne nie są to grunty zapadowe (tab. 4, 5).

W środkowym plejstocenie Wołynia i Podola odnotowano minimum cztery etapy kriogeniczne. Rozmiary pseudomorfoz w formie klinów lodowych wahają się od 2,0–2,5 m do 4,0–4,5 m i w znacznym stopniu wpływają na przestrzenny rozkład parametrów zapadowości. Podobnie jak w deformacjach mrozowych górnego plejstocenu, grunty wypełniające kliny są znacznie rozluźnione w porównaniu z otaczającymi je nienaruszonymi gruntami. Oprócz zapadowości, pod naprężeniem dodatkowym o wartości 0,3 MPa ulegają one nagłemu osiadaniu, nieraz przy naturalnym obciążeniu geostatycznym i preferencyjnych warunkach gruntowo-wodnych. Przeciętne wartości parametrów zapadowości gruntów wypełniających kliny mrozowe podano w tabeli 5.

**Dolny plejstocen** to górny (10) i dolny (12) poziom lessów rozdzielonych sokalską glebą kopalną (11).

Górny poziom dolnoplejstocenijskich lessów (10) nie występuje na całym obszarze i został opisany w oddzielnych, reperowych profilach. Budują go pyły ilaste barwy żółtej, o wilgotności 18–25%, wskaźniku porowatości  $e = 0,59$  i wskaźniku plastyczności  $I_p = 0,13$ . Mając takie parametry fizyczne, grunty tego poziomu nie charakteryzują się zapadowością przy dodatkowych ani tym bardziej przy naturalnych geostatycznych obciążeniach.

Miąższość kopalnej gleby sokalskiej na Wyżynie Wołyńskiej (przekrój Bojanyczi) wynosi średnio ok. 0,4 m, a na Wyżynie Podolskiej (Szaroweczka) ok. 1,2 m. Cały profil glebowy jest zróżnicowany, w zależności od miejsca

zalegania. Na Wyżynie Wołyńskiej został uformowany na morenie ockiej (san 2), a jego wilgotność naturalna wynosi 11–14%, zaś wskaźniki porowatości  $e$  są bardzo małe (0,45–0,50) i podobne do parametrów moreny, na której leży.

Na Wyżynie Podolskiej gleba sokalska zalega na lessach dolnego poziomu dolnoplejstocenijskich lessów (12). Jej osady charakteryzują się znacznie większą wilgotnością naturalną (20%) i znacznie większym wskaźnikiem porowatości  $e = 0,69$ . Zarówno na Wyżynie Wołyńskiej, jak i Wyżynie Podolskiej grunty gleby sokalskiej nie są zapadowe (tab. 4, 5).

Dolny poziom dolnoplejstocenijskich lessów zbudowany jest z pyłów ilastych w kolorze żółtobrazowym i miąższości do kilku metrów, rzadko większej. Wilgotność naturalna tych pyłów waha się od 21 do 25%, wskaźnik plastyczności  $I_p = 0,12$ , a wskaźnik porowatości  $e = 0,59$ . Ze względu na wysoką wilgotność i wskaźnik porowatości, gruntów tych również nie cechuje zapadowość (tab. 4, 5).

## PODSUMOWANIE

Analiza parametrów zapadowości poziomów lessowych, gleb kopalnych i poziomów kriogenicznych górnego, środkowego i dolnego plejstocenu Wołynia i Podola pozwala stwierdzić, że:

1. Na badanym terenie tylko grunty lessowe poziomów górnego i środkowego plejstocenu mają właściwości prowadzące do nagłych osiadań. Względne wartości wskaźników klasyfikują je jako grunty o słabej zapadowości. Proces nagłego osiadania górnego podpoziomu górnoplejstocenijskich lessów może się zacząć już przy naprężeniu 0,125 MPa, a dla pozostałych podpoziomów zachodzi przy naprężeniach 0,3 MPa i większych.

2. Na Wyżynie Wołyńskiej zdolności do zapadowości cechują tylko glebę kopalną drugiej fazy korszewskiego kopalnego kompleksu glebowego ze środkowego plejstocenu, a na Wyżynie Podolskiej właściwości zapadowe posiada gleba dubnowska, gleba horochowska i gleba powstała w drugiej fazie kompleksu korszewskiego.

3. Zapadowością cechują się również lessy wypełniające różnowiekowe kliny mrozowe górnego (krasyliwski i torczyński etap kriogeniczny) i środkowego (łanowecki etap kriogeniczny) plejstocenu. Struktury mrozowe oraz ich właściwości znacznie utrudniają kompleksową ocenę zapadowości w całym masywie lessowym. Szczególnego podkreślenia wymaga jednak zapadowość gruntów wypełniających kliny lodowe przy naturalnych obciążeniach geostatycznych.

## LITERATURA

- BOGUCKI A. 1986 – Antropogenovye pokrovyne otlozhenia Volyno-Podolii. Antropogenovye otlozhenia Ukrainy. Naukova dumka, Kiev: 121–132 [in Russian].
- BOGUCKI A., BOGUCKI AL. & VOLOSHIN P. 1996 – Cryogenic phenomena of Middle Pleistocene in the western part of the Ukraine. Sesija Polarna. Problemy współczesnej strefy peryglacjalnej. Wyd. UMCS, Lublin: 131–139.
- BOGUCKI A., BOGUCKI O. & VOLOSHYN P. 1998 – Lesovyi pokryv Volynskoi vysochyny. Ukrainke Polissia: vchora, s'ogodni, zavtra. Nadstytia, Lutsk: 105–107 [in Ukrainian].
- BOGUCKI A. & VOLOSHYN P. 1991 – Prosadochnye svoystva lessovo-pochvennoi serii verkhnego pleistotsena iugo-zapada Vostochno-Evropейskoi platformy. Antropogenovye (chetvertichnye) formatsii Ukrainy: sbornik nauchnykh trudov k Kongressu INQUA v Pekine. Kiev: 45–50 [in Russian].
- BOGUCKI A. & VOLOSHYN P. 2013 – Prosadochni vlastyivosti lesovykh horyzontiv lesovo-gruntovoi serii pleistotsenu Volyno-Podolii. Lesovyi pokryv Pivnichnoho Prychornomor'ia (do XVIII ukrains'ko-pol's'koho seminaru. Roksolany, 8–13 veresnia 2013 r.). Kartpol s.c. Lublin: 258–263 [in Ukrainian].
- MADEYSKA T. (red.) 2002 – Lessy i paleolit Naddniestrza halickiego (Ukraina). Studia Geol. Pol., 119, cz. III, s. 391.