

Andrej B. BOGUCKI, Pietro K. WOŁOSZYN

**Rola procesów kriogenicznych w formowaniu właściwości
geologiczno-inżynierskich lessów SW części platformy
wschodnioeuropejskiej**

Role of Cryogenic Processes for Geological-Engineering Properties of Loesses in the
Southwestern Part of the East European Platform

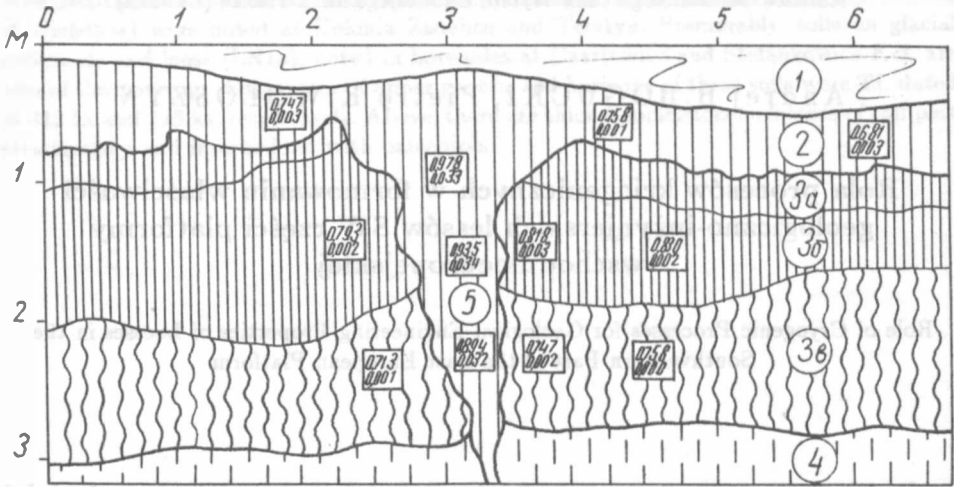
Podstawę niniejszej pracy stanowią materiały z południowo-zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej, gdzie w obrębie pokrywy lessowej odkryto i zbadano dość złożony kompleks deformacji kriogenicznych (Bogucki i inni 1975, 1980, 1985). Stwierdzono, że omawiany obszar w środkowym i górnym plejstocenie stanowił arenę aktywnego rozwoju procesów kriogenicznych charakterystycznych dla obszarów objętych wieloletnią zmarzliną.

Spośród wielu typów paleokriogenicznych deformacji pokryw lessowo-glebowych w tej części platformy wschodnioeuropejskiej najczęściej obserwuje się deformacje soliflukcyjne osadów w postaci zaburzeń plastycznych w starszych strefach warstw czynnych. Obserwuje się także drobne i duże poligony szczelinowe i inne formy. Zjawiska kriogeniczne miały istotny wpływ na skład i budowę warstw lessowych omawianego obszaru; warunkowały ich cechy charakterystyczne.

Rola procesów kriogenicznych w tworzeniu cech geologiczno-inżynierskich skał lessowych będzie rozpatrzona na przykładzie deformacji strukturalnych w postaci pseudomorfoz po klinach lodowych z fazy „b” torczyńskiego (smoleńskiego) i krasiołowskiego (jarosławskiego) etapów górnego plejstocenu (Bogucki i inni 1975).

Badanie geologiczno-inżynierskie struktur przeprowadzaliśmy na reperyjnych profilach lessowych przede wszystkim w wyrobiskach cegielni. Korzystano ze świeżych ścian wyrobisk, które oczyszczano w szurfach do głębokości 0,5–0,7 m, skalowano, fotografowano i szczegółowo opróbowywano.

Próby pobierano w postaci monolitów z wypełnienia pseudomorfoz, stref w sąsiedztwie tych struktur oraz stref pomiędzy klinami (ryc. 2).



Ryc. 1. Pseudomorfoza fazy „b” torczyńskiego etapu paleokriogenicznego; 1 — gleba kopalna dubnowska, 2 — dolny poziom górnoplejstocenijskich lessów, 3 — kopalny gorochowski kompleks glebowy, a — poziom humusowy gleby stepowej naruszony przez soliflukcję, b — humusowa warstwa gleby stepowej, c — poziom iluwialny gleby leśnej, 4 — less ze środkowego plejstocenu, 5 — wypełnienie pseudomorfoz po klinie lodowym. Czworoboki oznaczają miejsca pobrania prób (monolity). Cyfry w czworobokach oznaczają odpowiednio: porowatość i zdolność do osiadania (przy $p=0,3$ MPa)

Pseudomorph from the phase „b” of the Torchin palaeocryogenic stage; 1 — Dubno palaeosol, 2 — Late Pleistocene lower loess, 3 — buried Gorochov soil complex, a — soliflucted (deformed) humus horizon of a steppe soil, b — humus horizon of a steppe soil, c — illuvial horizon of a forest soil, 4 — Middle Pleistocene loess, 5 — infilling of an ice-wedge pseudomorph. Quadrangles mark sampling sites (monoliths), numbers inside are porosity and subsidence capacity (at $p=0.3$ MPa), respectively

Badano: wilgotność naturalną, granice i stopień plastyczności, wskaźnik porowatości, stopień zapełnienia porów, wskaźnik deformacji w naturalnym i zawodnionym stanie, zdolność do osiadania i inne cechy. Dla oddzielnych struktur fazy „b” torczyńskiego paleokriogenicznego etapu badano także: skład mineralny frakcji piaszczysto-pylastej i gliniastej, skład mechaniczny (metodami dyspersyjną i mikroagregatową), zawartość CaCO_3 oraz gipsu. Ogólnie pobrano i zbadano powyżej 120 monolitów, z czego 40 z wypełnienia struktur kriogenicznych.

STRUKTURY FAZY „B” TORCZYŃSKIEGO ETAPU PALEOKRIOGENICZNEGO

Strop wymienionych powyżej struktur stwierdzono w środkowej części dolnego poziomu lessów górnoplejstoceńskich. Lessy te mają na Wyżynie Wołyńskiej miąższość 3–3,5 m i więcej, natomiast na Wyżynie Podolskiej nieco mniej (zwykle 2 m), a rzadko więcej. Kliny epigenetyczne przecinają poziomy A oraz B glebowego kompleksu gorochońskiego oraz część lessów środkowoplejstoceńskich (ryc. 1). Szerokość struktur w części górnej zwykle nie przekracza 1–1,5 m przechodząc niżej do 0,5–0,7 m, a w dolnej części tworzy wąskie szczeliny do 10–15 cm.

Szerokość sieci poligonalnej tej generacji struktur waha się w granicach 15–20 m. Występują one na głębokości 6–10 m od powierzchni terenu na Wyżynie Wołyńskiej oraz 3–5 m na Podolu. Pseudomorfozy wypełnione są głównie jednorodnym makroporowatym lessem, który w strefie krawędziowej struktury zaburzony jest drobnymi „uskokami” o amplitudzie kilkudziesięciu centymetrów. Utwory wypełniające strukturę odgięte są do góry. Mają one niejednorodną barwę: w górnej i środkowej części są jasnożółte, w dolnej szare miejscami z jasnoniebieskim odcieniem.

Parametry wilgotności naturalnej lessów wypełniających pseudomorfozę wahają się w zakresie 0,15–0,19%. Zazwyczaj są one równe bądź mniejsze od wilgotności na granicy plastyczności. Wskaźnik plastyczności waha się od 0,06 do 0,10 (średnio 0,08). Według tego parametru wypełnienie pseudomorfozy jest podobne do gruntów, które rozcina pseudomorfoza.

Pod względem składu mechanicznego, zawartości węglanów, gipsu, spistości, zdolności do osiadania i cech deformacyjnych wypełnienie pseudomorfozy wyraźnie różni się od utworów otoczenia oraz lessów nadległych. Osad wypełniający pseudomorfozę cechuje lżejszy skład mechaniczny, zdolność do osiadania (także w warunkach naturalnego ciśnienia), podwyższona zawartość CaCO_3 i pulchność. Zawiera 29,1% frakcji mniejszej od 0,005 mm, gdy w utworach otaczających strukturę jest 30,2%, a współczynnik agregatowości wynosi odpowiednio 21 i 29,6%.

Skład mineralny osadów wypełniających i otaczających strukturę jest podobny. Podstawową masę (99%) stanowią minerały frakcji lekkiej, reprezentowane przez kwarc (powyżej 5%), kalcyt (20–30%), skalenie (1,5–9%), okruchy skał (10–30%) oraz glaukonit, kallofonit, muskowit i inne minerały w ilości śladowej do 1%. We frakcji ciężkiej występuje 25 minerałów. Główne z nich to rutyl, cyrkon, ilmenit, granat, hornblenda oraz minerały grupy epidotu. Poza tym występują wodorotlenki i tlenki żelaza. Frakcja ilasta reprezentowana jest przez hydromikę z domieszką chlorytu oraz różnorodne związki hydro-miko-smektytowe. Na podstawie analizy dyferencyjno-

-termicznej stwierdzono także domieszki zdyspergowanego gipsu. Niektóre różnice w składzie mineralnym osadu wypełniającego pseudomorfozę oraz osadów otaczających widoczne są tylko w zawartości kalcytu, którego jest odpowiednio 32 i 17%. Utwory te różni także wskaźnik zwietrzenia minerałów frakcji ciężkiej (odpowiednio: 1,6 i 2,1).

Wskaźnik porowatości w obrębie pseudomorfozy zbliża się do jedności, natomiast względna zdolność do osiadania (przy $p=0,3$ MPa) często przekracza 3% (ryc. 2), a przy ciśnieniu naturalnym wynosi 1–2%. Zawartość CaCO_3 dochodzi do 8,5%, a więc prawie trzykrotnie więcej niż w utworach otaczających pseudomorfozę klina.

Zdolność do osiadania, węglanowość, spoistość oraz zawartość frakcji psamitowej w osadzie wypełniającym pseudomorfozę zmniejszają się od góry w dół, natomiast zawartość ilitu rośnie w tym kierunku. Wskaźnik deformacji osadu wypełniającego pseudomorfozę jest ponad 2 razy mniejszy od tego parametru w osadzie otaczającym pseudomorfozę. Średnia wartość kąta tarcia wewnętrznego w obrębie pseudomorfozy wynosi 28° , spójności właściwej 0,040 MPa, natomiast osady otaczające charakteryzują parametry odpowiednio: 29° i 0,045 MPa. Różnice w spoistości potwierdzają także rezultaty badań presjometycznych: średnia głębokość zagłębienia stożka w gruncie wypełniającym pseudomorfozę wynosi 6,8 mm, gdy w gruncie otaczającym 6,0 mm. W strefie kontaktowej pseudomorfozy osady otaczające strukturę są bardziej spoiste w porównaniu z występującymi w dalszej odległości. Średnie parametry wskaźnika porowatości w strefach spoistych w porównaniu z tłem zmniejszają się do 8%, a kąt tarcia wewnętrznego i moduł deformacji odwrotnie — zwiększają się odpowiednio do 10 i 15%. Największą spoistość obserwuje się w górnej najszerszej części pseudomorfozy, wraz z głębokością maleje. Szerokość strefy spoistej według naszych danych wynosi 1–1,5 m.

STRUKTURY KRASIŁOWSKIEGO ETAPU PALEOKRIOGENICZNEGO

Pseudomorfozy po klinach lodowych krasielewskiego etapu paleokriogenicznego zaczynają się poniżej współczesnej gleby i kończą w kopalnej strefie czynnej podpoziomu krasielewskiego o miąższości do 1 m reprezentowanego przez żółtoszare oraz jasnoniebieskie piaski gliniaste i gliny piaszczyste intensywnie oglejone (ryc. 2). Rozmiary pseudomorfoz w pionie zmieniają się od około 4 do 5 m (i więcej) na północy Wyżyny Wołyńskiej oraz 2–3 m na Wyżynie Podolskiej. Szerokość struktur w górnej części, tj. w spągu kopalnej warstwy czynnej, wynosi 2 m i więcej. Pseudomorfozy cechuje wyraźna klinopodobna forma. Rozmiary sieci poligonalnej są rzędu 20–30 m. Struktury

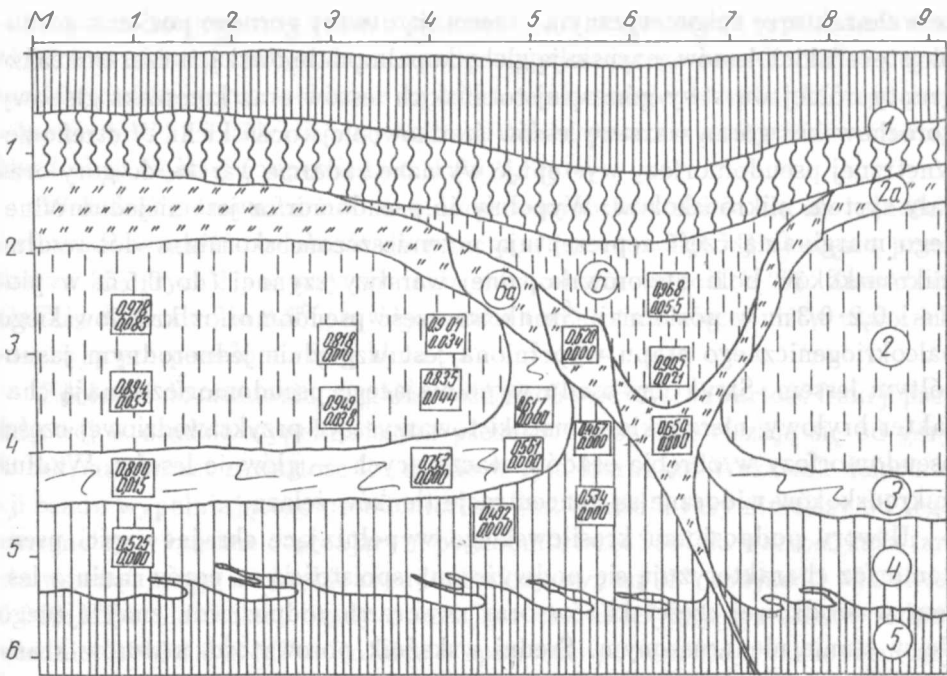
te o charakterze epigenetycznym przecinają utwory górnego poziomu górnoplejstoczeńskich lessów, naruszają glebę kopalną dubnowską, a czasami także grunty dolnej warstwy górnoplejstoczeńskich lessów oraz kompleks glebowy gorochowski i górną warstwę lessów środkowoplejstoczeńskich. W strefie zewnętrznej pseudomorfozy występuje wyraźne zadarcie warstw do góry oraz cały system mikrouskoków. Wypełnienie pseudomorfoz jest niejednorodne. Jego marginalną część reprezentują przemieszczone skośnie w dół wzdłuż mikrouskoków boki utworów kopalnej warstwy czynnej (do 0,5 m w pionie i 0,2–0,3 m w poziomie). Środkowa część pseudomorfoz krasielowskiego paleokriogenicznego etapu wypełniona jest względnie jednorodnym jasnożółtym lessem. Struktury osadu wypełniającego pseudomorfozę mają charakter bryłowy, nierzadkie są uskoki towarzyszące przykrawędziowej części pseudomorfozy w obrębie osadów otaczających — głównie lessów. Wzdłuż mikrouskoków widoczne są koncentracje tlenków żelaza.

Utwory podpoziomu krasielowskiego wypełniające skrajne części pseudomorfoz charakteryzują się podwyższoną spoistością w porównaniu z lessem w środkowej części klinów oraz utworami podpoziomu znajdującego się w stanie nienaruszonym. Średni wskaźnik porowatości utworów krasielowskiego podpoziomu w pseudomorfozach wynosi 0,656; utwory te nie są zdolne do osiadania w warunkach naturalnego ciśnienia (0,3 MPa).

Lessy w środkowej części struktur w większości (według wskaźników) odróżniają się od utworów kopalnej warstwy czynnej wypełniającej kliny oraz od otaczających utworów, a szczególnie gleby dubnowskiej i dolnego poziomu górnoplejstoczeńskich lessów. Cechuje je słaba spoistość ($e > 0,800$), podwyższona zdolność do osiadania, mniejsze wskaźniki modułu deformacji. Średnie parametry zdolności do osiadania wypełnień klina (przy $p = 0,3$ MPa) wynoszą 0,019, a otaczających pseudomorfozę lessów (tło) 0,015. Moduł deformacji wynosi odpowiednio 10,6 i 18 MPa. Są też miejsca, gdzie wypełnienie struktur — jak wykazują to jego właściwości — odróżnia się od otaczających lessów, a według wskaźników wilgotności naturalnej i plastyczności wypełnienie klinów istotnie odróżnia się tylko od tworzywa gleby dubnowskiej i lessów dolnego poziomu górnoplejstoczeńskiego.

W sąsiadujących z pseudomorfozą lessach w większości przypadków stwierdzano strefę osadów spoistych. Jej szerokość w znacznym stopniu wyznaczana jest przez rozmiary pseudomorfoz. W miejscach rozwoju dużych struktur (więcej niż 4–5 m) szerokość tej strefy przewyższa 1,5–2,0 m. Utwory otaczające w obrębie tej strefy nawet przy ciśnieniu 0,3 MPa nie są zdolne do osiadania.

Utwory gleby kopalnej dubnowskiej i dolnego poziomu górnoplejstoczeńskiego lessów w niektórych miejscach „poddarte” są do góry na wysokość



Ryc. 2. Pseudomorfoza z krasilowskiego etapu paleokriogenicznego; 1 — gleba współczesna, 2 — górna warstwa górnoplejstoceniśkich lessów, a — kopalna warstwa czynna krasilowskiego paleokriogenicznego etapu (podpoziom krasilowski), 3 — gleba kopalna dubnowska, 4 — dolny poziom górnoplejstoceniśkich lessów, 5 — poziom humusowy gleby stepowej kompleksu glebowego gorochowskiego, 6 — wypełnienie pseudomorfozy po klinie lodowym, a — wypełnienie w postaci gruntów kopalnego poziomu warstwy czynnej (kwadratami oznaczono miejsca poboru prób: liczby w kwadratach oznaczają parametry geologiczno-inżynierskie analogicznie jak na ryc. 1)

Pseudomorph from the Krasilov palaeocryogenic stage; 1 — recent soil, 2 — Late Pleistocene upper loess, a — buried active layer of the Karsilov palaeocryogenic stage (Krasilov subhorizon), 3 — Dubno palaeosol, 4 — Late Pleistocene lower loess, 5 — humus horizon of a steppe soil of the Gorochov soil complex, 6 — ice-wedge pseudomorph infilling, a — infilling with soils of a buried active layer (quadrangles mark sampling sites, numbers inside are engineering-geological parameters similarly as in Fig. 1)

1–1,5 m. Wskaźniki geologiczno-inżynierskie właściwości gruntów w miejscach intensywnej deformacji istotnie odróżniają się od wskaźników w obrębie tła tych utworów oraz od utworów wypełniających kliny (ryc. 2). Otrzymane rezultaty nie pozostawiają wątpliwości co do tego, że procesy strukturalnej dezintegracji w postaci szczelin oraz cechy wypełnienia struktur po stopieniu się lodu miały istotny wpływ na kształtowanie i zróżnicowanie właściwości geologiczno-inżynierskich gruntów w pokrywach lessowych. Występujące na różnych głębokościach generacje dużych pseudomorfoz po klinie

nach lodowych stwarzają wielopiętrową warstwowo-blokową strukturę lessów istotnie odróżniającą się od pokryw lessowych wykształconych poza strefą peryglacjalną.

Obecność swoistych „anomalnych” stref fizyczno-mechanicznych właściwości utworów (głównie zdolności do osiadania) odpowiadających pseudomorfozom istotnie komplikuje obraz inżyniersko-geologicznych wskaźników w lessach. Muszą być one uwzględnione w trakcie badań oraz na etapie projektowania.

Stwierdzone prawidłowości nie uwzględniają jednak różnorodności wpływu wieloletniej zmarzliny na skład i właściwości utworów. Niezbędne są dalsze badania inżyniersko-geologiczne i pelegoograficzne w tym zakresie.

LITERATURA

- Bogucki A. B., Wieliczko A. A., Nieczajew W. P. 1975; Paleokriogenne procesy na zapadzie Ukrainy w wierzchnim i średnim plejstocenie. [W:] Problemy regionalnej i obszarowej paleogeografii lessowych i periglacialnych obszarów. Moskwa, 80-89.
- Bogucki A. B., Nieczajew W. P. 1980; Dynamika paleokriogennych procesów na terenie jugo-zapadnej Ukrainy Wschodnio-Europejskiej platformy w plejstocenie. Periglacialne obrazowanie plejstocena. Materiały k VI wsiesojuznomu sowieszczaniju po krajowym obrazowaniam materikowych oledenienij. Kijew, 4-6.
- Bogucki A. B., Wołoszyn P. K. 1985; Rol' kriogennych procesów w formowaniu inżyniersko-geologicznych właściwości lessów. [W:] Teorija ciklicznosti lessów w praktyce inżyniersko-geologicznych zyskanij. Moskwa, 131-138.

SUMMARY

The paper concerns geological-engineering studies of loesses and cryogenic structures occurring in them in the area of Volhynia and Podolia Uplands in western Ukraine. The following parameters were examined: natural moisture content, limits and degree of plasticity, void ratio, degree of pore filling, index of deformation in natural and saturated condition, settlement capacity, and other characteristics. Samples for studies were taken as monoliths; more than 120 monoliths were examined.

We analysed two horizons of cryogenic structural deformations developed as ice wedges' pseudomorphs occurring in the loesses of the last glaciation (Vistulian=Würm). The older horizon of structures is the Torczyn level ("b" stage), and the younger one — Krasilów level. The older horizon of structures is stratigraphically connected with the middle part of the lower Würm loesses. It is composed of epigenetic ice wedges, up to 1-1.5 m wide in top part, which form a net of polygons 15-20 m in size (Fig. 1). The

younger horizon of structures is stratigraphically connected with upper Würm loesses. It is composed of epigenetic wedges, up to 2 m wide in top part, and the size of polygonal net is 20–30 m (Fig. 2).

Investigation procedure and some results (void ratio and settlement capacity) are presented in figures (Figs 1, 2). Generally, it can be stated that a great differentiation of geological-engineering features occurs between loesses with cryogenic structures and undisturbed loesses. This fact has two aspects: a scientific and a practical one. It must be taken into consideration at the stage of planning of building foundation on loesses developed in periglacial zone.