

N. N. Romanowskij

Moskwa

ZMARZLINOWE STRUKTURY POWLEKAJĄCE

Zarys treści

Na wyspie Wielkiej Lachowskiej i w północnej części Jano-Indygirskiej niziny występują zmarzlinowe struktury powlekające. Terminem tym autor określa struktury, które powstały w zagłębieniach po wytopieniu wieloletnich żył lodowych tworzących poligony. W warunkach powodziowych lub podobnych sieć zagłębień została wypełniona materiałem warstwowanym. Zmarzlinowe struktury powlekające powstają zazwyczaj na obszarach wiecznej zmarzliny.

Dla badania osadów czwartorzędowych duże znaczenie posiada poznanie śladów zjawisk zmarzlinowych, które występowały w procesie akumulacji, diagenety i kriogenezy osadów. Znając prawidłowości rozmieszczenia i rozwoju poszczególnych zjawisk zmarzlinowych w chwili obecnej, możemy na podstawie odpowiednich śladów kopalnych odtworzyć dawne środowisko geograficzne.

Ze względu na potrzeby paleogeografii celowy jest podział geologicznych zjawisk zmarzlinowych na dwie grupy. Do grupy pierwszej należy zaliczyć zjawiska, które występują jedynie na obszarze wiecznej zmarzliny. Do nich zaliczamy m.i. tundrę plamistą, wieloletnie żyły lodowe itp. Do drugiej grupy należą zmarzlinowe zjawiska, dla których powstania istnienie wiecznej zmarzliny nie jest konieczne, chociaż z reguły wskazują one na surowe warunki klimatyczne. Są to zjawiska soliflukcji, pęcznienia i tworzenie się szczelin mrozowych.

W tej pracy autor ogranicza się do rozważenia zagadnienia reliktyw wieloletnich żył lodowych, a w szczególności tzw. zmarzlinowych struktur powlekających, dotychczas nie badanych i nie opisanych.

Wieloletnie żyły lodowe dzieli się na ogół na epigenetyczne i syngenezytyczne. Jednakże podział ten jest w znacznym stopniu umowny, ponieważ nie zawsze jest możliwe ustalenie genezy żył. Obecność zachowanych żył epigenetycznych wskazuje, że od ich powstania do chwili obecnej osady wypełniające je i przykrywające znajdowały się w stanie zmarzniętym. Materiał wypełniający żyły osadzał się zapewne w stanie rozmarzniętym i dopiero później zamarzał. Syngenetyczne żyły lodowe dowodzą, że jednocześnie z ich rozwojem osadzał się i zamarzał materiał wypełniający je. Większość badaczy (Szumskij i in. 1955) uważa, że wieloletnie żyły

lodowe mogły rozwijać się przy średniej rocznej temperaturze około $3-3,5^{\circ}$. Żyły występujące na południe od izotermy 3° , na obszarach międzydolinnych, są relikdami okresów zimniejszych.

Żyły zmarzlinowe¹ świadczą o istnieniu w przeszłości żył lodowych oraz wskazują na późniejsze ocieplenie klimatu i rozwój termokrasu, który doprowadził do wytopienia lodu. Obecność żył zmarzlinowych poza obszarem współczesnej zmarzliny świadczy więc o jej dalszym niegdyś zasięgu na południe. Dlatego żyły zmarzlinowe mają niewątpliwie wielkie znaczenie dla paleogeografii i geologii czwartorzędu.

Dotychczas znany jest tylko jeden rodzaj struktur zmarzlinowych po dawnych żyłach lodowych, tzw. żyły gruntowe. W ZSRR Moskwitin (1940), a w Niemczech Galwitz (1949) i Soergel (1942) uważali, że żyły gruntowe są zawsze dowodem istnienia żył lodowych. Ostatnio Daniłowa (1956) udowodniła jednak, że żyły gruntowe są na ogół strukturami samodzielnymi, a nie powstały przez wypełnienie materiałem luźnym miejsc po wytopieniu żył lodowych. Żyły gruntowe mogą więc powstawać poza obszarem wiecznej zmarzliny. Przykładem mogą służyć żyły gruntowe w kraju Chabarowskim opisane przez Patalejewa (1955). Moskwitin, Galwitz i Soergel nie podali dowodów, że opisywane przez nich żyły są relikdami żył lodowych uważając, że świadczy o tym ich zewnętrzne podobieństwo. Jednakże na podstawie opisu tych form Daniłowa sądzi, że są to raczej struktury samodzielne. Popow (1957) stwierdził w wielu wypadkach dwudzielną naturę żył gruntowych i wysuwa z tego wniosek, że dolna część struktury powstała w wiecznej zmarzlinie, zaś górna część żyły rozwinęła się w strefie czynnej. Z prac Daniłowej (1956) i Popowa (1957) wynika więc, że żyły i kliny gruntowe są formami nie związanymi genetycznie z dawną obecnością żył lodowych.

Z przedstawionych powyżej rozważań nasuwa się również wniosek, że żyły zmarzlinowe nie są jeszcze dostatecznie poznane.

ZMARZLINOWE STRUKTURY POWLEKAJĄCE

Podczas prac terenowych w 1956 r. na wyspie Wielkiej Lachowskiej i w 1957 r. w północnej części Jano-Indygirskiej niziny nadmorskiej po raz pierwszy zauważono w stromych, urwistych brzegach nadmorskich nierówny kontakt dwóch serii utworów; nierówności te rysowały się w formie bruzd rozmieszczonych w jednakowych odstępach. Dolną serię stanowią jednolite, niewyraźnie warstwowane aleuryty lagunowe. Serię

¹ Autor w oryginale używa określeń *pseudomorfozy* względnie *metamorfozy* dla oznaczenia form powstałych na miejscu wytopionych żył lodowych. Swoistą odmianą pseudomorfoz są opisywane zmarzlinowe struktury powlekające.

górną budują aluwialne żółtobrazowo-szare warstwowane aleuryty z wkładkami allochtonicznego torfu. W tej serii znajduje się wielka ilość słodkowodnej fauny reprezentowanej przez *Pisidium*, *Sphaerium* i *Valvata*. Górne aleuryty przykrywają serię dolną i wypełniają owe bruzdy rozwinięte w stropie dolnych utworów. W ten sposób w bruzdach powstały struktury powlekające (fot. 1), które nazwać trzeba również zmarzlinowymi, gdyż powstają tylko na obszarach wiecznej zmarzliny.

Stwierdzono cztery poziomy zmarzlinowych struktur powlekających. Jeden z nich występuje na dużych obszarach na wyspie Wielkiej Lachowskiej i na północy Jano-Indygirskiej niziny. Inne mają raczej lokalne znaczenie. Wszystkie struktury powlekające mają zasadniczo te same cechy, lecz poznanie poszczególnych struktur może pomóc przy odtwarzaniu geologicznych i zmarzlinowych warunków panujących w przeszłości.

Dla wyjaśnienia genezy omawianych struktur powlekających i innych, podobnych struktur zmarzlinowych należy rozpatrzyć następujące zagadnienia:

1. jakie procesy doprowadziły do powstania bruzd, w których stwierdzono struktury powlekające;
2. jakim zmianom ulegały bruzdy;
3. warunki, w których odbywało się wypełnianie poligonalnej sieci bruzd;
4. jakie procesy mogą doprowadzić do zmian w obrębie struktur powlekających.

GENEZA BRUZD

Zagłębienia podobne do bruzd układają się w sieci poligonalne. Początkowo stwierdzono to w pionowych obrywach mierząc azymuty osi zmarzlinowych struktur powlekających. Później, w 1957 r. podczas badań Ojagoskiego jaru zauważono na gliniastej plaży zmarzlinowe struktury powlekające w planie, na kontakcie utworów lagunowych i zalewowych. Na tym odcinku struktury powlekające sięgają pod poziom morza, zaś ich górna część została ścięta przez abrazję (fot. 2). Na zamulonej plaży wyraźnie widać poligonalną sieć struktur powlekających (fot. 3). Materiał struktur jest odporniejszy na erozję niż osady, w których one się znajdują, gdyż zawiera znaczną ilość torfu allochtonicznego.

Poligonalny układ bruzd wskazuje, że powstały one po wytopieniu wypełniającego je niegdyś lodu. Rozumowanie powyższe potwierdzają również następujące fakty:

1. W utworach podłoża na kontakcie z niektórymi strukturami powlekającymi widać wygięcia warstw (fot. 4), które mogły powstać jedynie

w sąsiedztwie z żyłą lodową. Należy również pamiętać, że warstwowanie w strukturach powlekających świadczy o osiadaniu materiału w bruzdach już ukształtowanych.

2. Obecność w utworach podłoża soczewek torfu autochtonicznego pomiędzy strukturami powlekającymi, zarówno na kontakcie z materiałem struktur, jak i na pewnej głębokości od stropu. Soczewki torfu znajdują się w podłożu prawie wszystkich poziomów zmarzlinowych struktur powlekających. W niektórych wypadkach stwierdzono nawet trzy poziomy torfu przedzielające serię aleurytów. Gdy soczewka torfu leży na kontakcie z materiałem struktur powlekających, jej brzegi są nieco opuszczone w porównaniu z częścią środkową. Kształt soczewki zależy bowiem od wtórnych procesów termokrasowych. W przypadku drugim soczewki torfu z reguły posiadają kształt wklęsły z nieco podniesionymi ku górze brzegami; kształt ten od chwili powstania soczewki nie uległ zmianie. Taki kształt jest w ogóle typowy dla torfowisk powstających wewnątrz polygonów wieloletnich żył lodowych.

3. Polygonalną sieć bruzd spotyka się tylko w materiale podatnym dla rozwoju wieloletnich żył lodowych:

a. w utworach jeziernych z soczewkami autochtonicznego torfu w stropie. Na nizinie Przymorskiej i na wyspach Nowosyberyjskich spotyka się obecnie dość często wieloletnie żyły lodowe w osadach jeziernych. W stanie kopalnym występują one właśnie w tym typie utworów;

b. w osadach lagunowych (facja kontynentalnej mielizny). Wieloletnie żyły lodowe w tego rodzaju materiale występują dość powszechnie na półwyspie Łopatka, Mierkuszinowej „strzałce” itd.

Z wyżej podanych faktów wynika, że polygonalna sieć bruzd powstała wskutek wytopienia wieloletnich żył lodowych. Niestety nie opisano form współczesnych.

Podstawowym warunkiem powstania sieci szczelin mrozowych i rozwoju w nich wieloletnich żył lodowych jest zwartość utworów osadowych w wyniku dostatecznego scementowania lodem rozproszonym. Dlatego wieloletnie żyły lodowe nie występują w osadach spękanych przez szczeliny wysychania, jak na przykład na terasach zalewowych. W tych utworach nie stwierdzono również zmarzlinowych struktur powlekających.

Stopień nasycenia lodem (wilgotność) materiału podłoża jest jednym z podstawowych warunków rozwoju bruzd. Zagłębienie może powstać tylko w tym wypadku, gdy wilgotność rozmarzającego materiału macierzystego, w którym znajdowały się żyły lodowe, jest mniejsza od wilgotności górnej granicy plastyczności (wg Atterberga). Jeżeli ten warunek jest zachowany, to ścianki bruzd podczas rozmarzania są dostatecznie wytrzymałe. Terenowe i laboratoryjne badania wykazały, że materiał

podłoża posiada wilgotność z reguły znacznie mniejszą od górnej granicy plastyczności, lecz w stanie zmarzniętym jest zwarty.

Sprzyjającym warunkiem rozwoju bruzd są także torfowiska. Współcześnie podczas tajania żył lodowych na torfowiskach powszechnie obserwuje się powstawanie sieci poligonalnej bruzd ze stromymi ściankami.

PRZEOBRAŻANIE BRUZD

Ważnym zagadnieniem jest przeobrażanie bruzd powstających po wytopieniu żył lodowych. W idealnym wypadku powinny one odpowiadać dokładnie kształtowi dawnych żył. Wypadki takie są jednak wyjątkowe. Zmiana kształtu bruzd następuje bowiem zarówno podczas wytopiania lodu jak i później, po zakończeniu procesów termokrasowych. Ścianki bruzd ulegają rozmywaniu na skutek spływania silnie przesyconej wodą powierzchniowej warstwy gruntu. Przemyty i obsuwający się materiał osiada na dnie bruzd, które z czasem stają się płytsze i stosunkowo szerokie. Między późniejszym materiałem struktur powlekających i nienaruszonym podłożem na ściankach bruzd narasta warstewka przemitego i przemieszczonego materiału. „Podszełka” taka powstaje jednak nie zawsze. Nie ma jej, gdy w podłożu jest torf lub osady aleurytowe z przewarstwieniami torfu. Torf jest bowiem odporny na działanie procesów niszczących i chroni ścianki bruzd przed wymywaniem i spływaniem materiału. W utworach czysto mineralnych brak takiej podszełki jest mniej częsty. Gdy ścianki są nienaruszone bruzdy mają dość regularny kształt klina, prawdopodobnie odpowiadający wytopionej żyłce lodowej. Wtedy również strefa kontaktowa jest nienaruszona.

Bardzo często materiał „podszełki” jest zmieniony, lecz nigdy nie oddziela się od nienaruszonego podłoża, gdyż jest on jednorodny i bez wyraźnego warstwowania, jak na przykład osady lagunowe. Szereg cech wskazuje jednak, że klin lodowy był głębszy od bruzdy. Najważniejszą wskazówką jest to, że lekko wklęsła soczewka torfu autochtonicznego leży poniżej zmarzlinowej struktury powlekającej, pod którą zawsze znajduje się przerwa między dwiema sąsiednimi soczewkami torfu. W innych wypadkach soczewka jest bardzo wyraźna i najczęściej posiada następujące cechy:

1. niewyraźne warstwowanie;
2. specyficzny kolor, zwykle nieco ciemniejszy od materiału podłoża, głównie ze względu na zawartość substancji torfiastych. Często widoczne są kawałki torfu, muszelki słodkowodnych mięczaków itd;
3. bardzo często „podszełka” zawiera warstewki lodu, na ogół bardzo cienkie, ledwie dostrzegalne gołym okiem. Materiał po stajaniu lodu posiada płytkową strukturę.

Z opisanych faktów wynika, że kształt bruzd zależy w znacznym stopniu od litologii podłoża. Za doskonały przykład może służyć fot. 6, gdzie sąsiadujące ze sobą struktury powlekające mają różny kształt. Pierwsza jest szeroka z lekko wklęsłym dnem i rozwinęła się w osadach pozbawionych materiału torfiastego, druga zaś wąska, klinowata powstała w osadach zawierających torf.

Jednakże o formie bruzd w sposób istotny decyduje nie tylko litologia materiału podłoża, lecz także szybkość topnienia żył lodu i czas, który upłynął od momentu zakończenia procesu tajania lodu do chwili zapelnienia bruzdy osadami. Przy obecnej znajomości zagadnienia nie możemy oddzielić analizować wpływu tych czynników na kształt bruzd. Dlatego mówiąc o czasie istnienia bruzd mamy na myśli także szybkość procesów termokrasowych. Oczywiście jest, że im krótszy jest okres „życia” bruzdy przy identycznych warunkach pozostałych, tym forma jej będzie bardziej zbliżona do kształtu wytopionej żyły lodowej.

Prawie wszystkie zmarzlinowe struktury powlekające w osadach lagunowych mają kształt zbliżony do klina. Na podstawie analizy warunków geologicznych wydaje się, że nie było tu dłuższej przerwy w ich rozwoju. Natomiast liczne na omawianym obszarze zmarzlinowe struktury powlekające rozwinięte między utworami lagunowymi i zalewowymi posiadają na ogół zupełnie inny kształt. Górna część struktur jest bardzo szeroka (do 3—5 m), ścianki są strome, a dno lekko wklęsłe. U dołu struktur znajduje się dość gruba soczewka przemieszczonego materiału. Z analizy karpologicznej, pyłkowej i in. wynika, że pomiędzy okresem akumulacji serii dolnej i górnej istniała znaczna przerwa czasowa.

Forma bruzd, a równocześnie i zmarzlinowych struktur powlekających może więc świadczyć o długości istnienia tej bruzdy. Należy jednak pamiętać o całym zespole faktów dotyczących tego zagadnienia. W okresie występowania bruzd w postaci odkrytej działały również i inne procesy oprócz tych, które wpływały na zmianę ich pierwotnej formy. W jednej z odkrywek stwierdziliśmy na przykład zmarzlinową strukturę powlekającą, od której biegła w dół niegłęboka (1,5 m) wypełniona torfem szczelina o szerokości 5—10 cm. Prawdopodobnie jest to szczelina mrozowa.

WARUNKI WYPEŁNIANIA BRUZD POLIGONALNYCH I PRZEMARZANIE OSADÓW

Trzecim podstawowym zagadnieniem jest charakter wypełniania poligonalnej sieci bruzd, przekształconych już w mniejszym lub większym stopniu przez procesy denudacji i akumulacji.

Najczęściej bruzdy są wypełnione warstwowanymi osadami powleka-

jącymi. Są to aleuryty z domieszką allochtonicznego torfu. W jednej ze struktur znaleziono nagromadzenie odłamków pni i gałązek o wyraźnych śladach transportu.

Szybkość i sposób akumulacji materiału powlekającego był prawdopodobnie zróżnicowany nawet w obrębie tego samego obszaru lecz w różnych wiekowo horyzontach i w rozmaitych częściach. Często na równych przestrzeniach między 2—3 m bruzdami całkowicie wypełnionymi miąższość materiału powlekającego nie przekracza 50—80 cm, chociaż czasem osiąga nawet 2—3 m. O stanie wód można sądzić na podstawie stosunku grubości poszczególnych warstw w środku struktur powlekających do grubości warstw na odcinkach między bruzdami. Opierając się na ogólnym założeniu, że miąższość osadów jest wprost proporcjonalna do wysokości słupa wody, należy przyjąć, że im bliższy jedności jest stosunek grubości warstewek w strukturach i między nimi (przy jednakowej głębokości bruzd) tym głębszy był zbiornik, w którym odbywała się akumulacja. Ponieważ mamy do czynienia z aluwialnymi osadami zalewowymi możemy więc w pewnym stopniu wnioskować o wysokości poziomu wody. W spągowej części osadów powlekających prawie wszędzie miąższość poszczególnych warstewek między bruzdami ulega jedynie nieznacznym zmianom. Zmienna miąższość poszczególnych warstw w strukturach powlekających nie jest związana ze zmianą w czasie warunków hydrologicznych i powierzchni zalewanych. W zmarzlinowych strukturach powlekających dolne warstewki mają większą miąższość wtedy, jeśli materiał osadzał się gdy bruzdy były najgłębsze. Jeśli bruzdy były już w znacznym stopniu wypełnione, to warstewki osadów powlekających są mniejszej grubości.

Ulega również zmianie stosunek miąższości poszczególnych warstewek z bruzdy do miąższości odpowiadających im warstewek z płaskich odcinków między strukturami. Stosunek ten maksymalne wartości osiąga dla dolnych warstw i zmniejsza się w miarę wypełniania bruzd zbliżając się do jedności. W rozpatrywanym przypadku 2—3 m głębokość bruzd wywiera duży wpływ na miąższość warstw osadzających się na różnych elementach mikrorzeźby zalewanego obszaru; możemy więc wnosić, że wysokość wód powodziowych była nieznaczna. Należy jednak zwrócić uwagę, na fakt, że przy powstawaniu niektórych zmarzlinowych struktur powlekających mogło odbywać się spełzywanie i osadzanie materiału na stromych ściankach bruzd.

Szybkość ruchu wód powodziowych była również na ogół niewielka. Dowodzą tego ripple marki. Bardzo często są one symetryczne. Również zupełny brak śladów erozji w środku struktur powlekających wskazuje na małą szybkość przepływu wód. Prawdopodobnie znaczna ilość wody w bruzdach wyparowała. W wielu zmarzlinowych strukturach powleka-

jących tego poziomu charakter warstwowania jest zbliżony do krzyżowego. Wskazuje to, że nad bruzdami przepływ wody ulegał zmianie, ruch stawał się niespokojny, powstawały liczne wiry itd.

Nachylenie warstewek w strukturach powlekających na ścianach bruzd dochodzi do 70—80°. Mimo to jedynie wyjątkowo spotyka się ślady plastycznych deformacji tych warstw. Czasami na stromych ścianach warstewki mają bardzo nieznaczną miąższość (1—2 mm), względnie są przerwane (por. fot. 1). W takim wypadku nie stwierdzono w nich wkładek torfu allochtonicznego. Jeżeli natomiast osady powlekające składają się z aleurytu i torfu, wtedy nawet na bardzo stromych ściankach nie obserwuje się rozerwania warstw. Wpływ torfu bowiem na wytrzymałość warstw na stromych powierzchniach jest zupełnie oczywisty, prawdopodobnie ze względu na mniejszą plastyczność. Osady zmarzlinowych struktur powlekających zawierają nieznaczną ilość lodu rozproszonego. Czasami między warstwami znajdują się cieniutkie, do 1 mm soczewki lodu listkowego. Ogólna wilgotność osadów wynosi 20—30%, a w miejscach skupienia torfu jest na ogół większa. Prawie wszędzie osady wód zalewowych wypełniające bruzdy są przecięte układem szczelin prostopadłych do warstw. Głębokość szczelin sięga 20—30 cm. Pod nimi zaś występują mikrouskoki o amplitudzie 1—5 cm, które naruszyły również utwory podłoża. Wyżej, ponad strefą zaburzeń warstwy są nienaruszone. Świadczy to, że szczeliny i mikroprzemieszczenia powstały podczas akumulacji. Są to niewątpliwie szczeliny wysychania, zaś uskoki powstały wskutek przemarzania w strefie czynnej zmarzliny.

Oprócz warstwowanych struktur powlekających znacznie rzadziej występują podobne struktury, lecz wypełnione materiałem niewarstwowanym (fot. 5). Ten typ struktur spotyka się zwykle między osadami jeziernymi i lagunowymi. Bruzdy mają kształt niemal prawidłowego klina 2 m długości i w części środkowej szerokości około 0,75 m. Na kontakcie podłoża i utworu wypełniającego strukturę znajduje się 5 cm strefa brunatnoszarego aleurytu o niewyraźnym warstwowaniu i 3—5 cm warstewka autochtonicznego, słabo rozłożonego torfu (*Hypnum*) barwy brunatnej. Torf ten wyścielał jedną ściankę, dno i dolną część drugiej ściany bruzdy. Osady w odkrywcę były do głębokości ponad 1 m odmarzniete i dlatego nie udało się zaobserwować ich kriogenicznej tekstury.

Wnikliwa analiza kriogenicznej tekstury utworów podłoża oraz zmarzlinowych struktur powlekających i innych podobnych struktur pozwala określić także czas i sposób zamarzania osadów. Bardzo często jednak sama tekstura kriogeniczna nie wystarcza. Dopiero w połączeniu z charakterem zmarzlinowym struktur powlekających rozstrzygnięcie tego problemu staje się możliwe.

Można z całą pewnością mówić o epigenetycznym przemarzaniu struktur, jeśli utwory podłoża i powlekające struktury zmarzlinowe przecina jednolity system „szlirów” lodowych, nie załamujących się na kontakcie materiału. Natomiast syngenetyczne przemarzanie osadów powlekających należy prawdopodobnie przyjąć, jeżeli tekstura utworów w strukturach i podłoża okazuje się niejednolita; podłoże było wtedy zmarznęte. Jeżeli kriogeniczna tekstura osadów ma charakter zwarty (monolityczny), to także można przypuszczać, że na omawianym obszarze utwory powlekających struktur przemarzały syngenetycznie. Potwierdzenie tego znajdujemy w szczególności na południowo-zachodnim brzegu przylądka Święty Nos, gdzie zachowane żyły lodowe odpowiadające dolnemu poziomowi zmarzlinowych struktur powlekających występują pod utworami lagunowymi. Na powierzchni znajduje się poligonalna sieć bruzd wypełniona warstwowanymi aleurytami z warstewkami torfu pochodzenia zalewowego. Od chwili powstania osady lagunowe nie rozmärzały, a więc powlekający je materiał przemarzał także syngenetycznie.

DEFORMACJE ZMARZLINOWYCH STRUKTUR POWLEKAJĄCYCH

W wielu odkrywkach znajdowaliśmy zniekształcone struktury powlekające, w których dolna część osadów tworzyła leżącą fałdę, tak że część struktury była odchylona na bok (fig. 1). Powstanie tego rodzaju deformacji można tłumaczyć jedynie poziomym przesunięciem materiału wypełniającego strukturę. Takie przemieszczenia powstały zapewne wskutek nierównomiernego i bardzo powolnego przesunięcia górnego poziomu utworów podłoża w strefie czynnej zmarzliny, po słabo nachylonej ($1-2^\circ$) powierzchni. Tak nieznaczne przesunięcia podłoża (0,5–2 m) nie zapisały się w zaburzeniu warstwowania itp. i nie zostałyby rozpoznane, gdyby nie obecność deformacji w zmarzlinowych strukturach powlekających.

Charakter warstwowania w zniekształconych strukturach powlekających świadczy o tym, że w szeregu wypadków deformacje powstawały podczas akumulacji materiału w bruzdach. Wówczas dolne warstewki tworzą fałd leżący, górne zaś normalną synklinę z dość łagodnie opadającymi skrzydłami (fig. 1a). W wypadku zniekształcenia struktury powlekającej już wypełnionej wszystkie warstwy noszą ślady mikrofałdowych dyslokacji. Jeżeli górne warstewki nie tworzą fałdu leżącego, to nachylenie warstw na skrzydłach zwróconych w kierunku ruchu jest większe, niż nachylenie po stronie przeciwnej (fig. 1b).

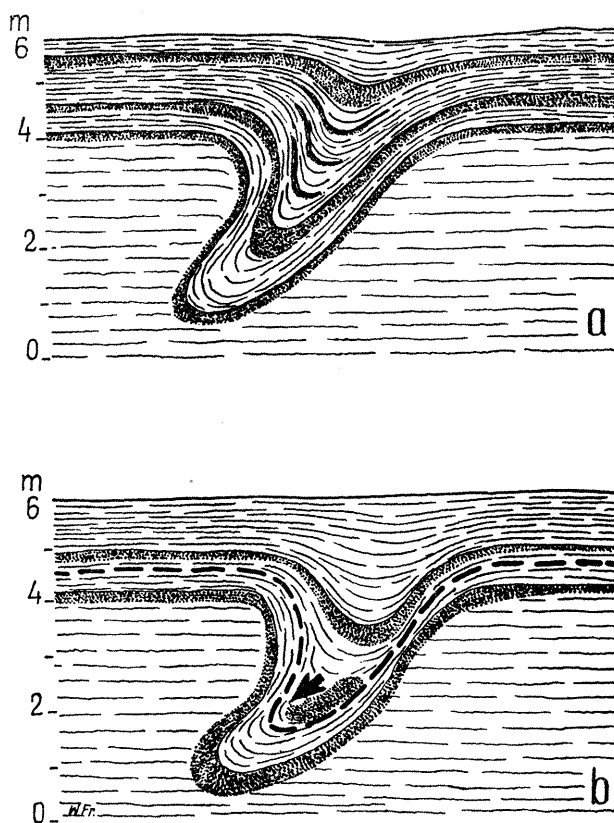


Fig. 1. Zdeformowane zmarzlinowe struktury powlekające
 a. zaburzenie nastąpiło po utworzeniu się struktury;
 b. zaburzenie równoczesne z rozwojem struktury

GENEZA ZMARZLINOWYCH STRUKTUR POWLEKAJĄCYCH

Wytapianie lodu w szczelinach sieci poligonalnych zostało wywołane na badanym obszarze zmianą głębokości strefy czynnej, a nie degradacją wiecznej zmarzliny. Dane uzyskane przez nas świadczą, że w okresie powstawania wszystkich znanych poziomów zmarzlinowych struktur powlekających, zarówno na północy niziny Przymorskiej jak i na wyspie Wielkiej Lachowskiej, występowały surowe warunki klimatyczne z wieczną zmarzliną, na obszarach wolnych od wód powodziowych. W rejonie przylądka Święty Nos występują zachowane wieloletnie żyły lodowe odpowiadające dolnemu poziomowi (z ogólnej liczby 4) zmarzlinowych struktur powlekających. W pewnych wypadkach zmiana miąższości strefy czynnej

była związana z ogólnymi zmianami klimatycznymi, przede wszystkim z wilgotnością. Poligonalna sieć bruzd mogła istnieć i prawdopodobnie istniała w różnym czasie. Świadczy o tym analiza pyłków, sporów i roślinnych makroreliktów z utworów podłoża i osadów powlekających. W pewnych wypadkach analiza nie wykazuje zmian (np. w zakresie lokalnego rozmieszczenia struktur), w innych natomiast wskazuje na poważne zmiany warunków fizyczno geograficznych, jak np. na kontakcie osadów lagunowych i zalewowych. Na uwagę zasługuje także okoliczność, że struktury wypełnione materiałem niewarstwowanym świadczą o przerwie czasowej między okresem tajania żył lodowych i wypełnianiem bruzd. Im dłuższa była ta przerwa tym bardziej zmieniała się pierwotna forma bruzdy. Klinowy kształt struktur, zwłaszcza w utworach mineralnych pozbawionych torfu, świadczy o stosunkowo krótkiej przerwie.

Akumulacja materiału powlekającego odbywała się w większości wypadków na podłożu zmarzniętym. Przemawia za tym między innymi fakt występowania żył lodowych poniżej poziomu zalewowego. Wyżej powiedziano, że nachylenie warstw na skrzydłach struktur wynosi 70–80°. Początkowo sądzono, że materiał osiadając na tak stromych ściankach bruzd musiał przymarzać do nich, aby nie spełznąć w dół (Romanowski 1958). Takie wyjaśnienie omawianego zjawiska nie jest jednak zadowalające. Obecnie sądzimy, że fakt ten można wyjaśnić w inny sposób.

Sezonowe warstewki na stromych ścianach bruzd nie przekraczały 1–2 mm miąższości. Ścianki bruzd nie były gładkie, lecz chropowate dzięki licznym spękanom, szczelinom wysychania, sterzącym szczątkom roślinnym. Dlatego cienka warstwa wilgotnego materiału miała zawsze możliwość zatrzymania się na powierzchni ścian. Materiał nie zatrzymywał się i spełzał w dół w wypadkach wyjątkowych, kiedy miąższość warstw sezonowych przekraczała punkt krytyczny. Jednak w warunkach rozległych powierzchni zalewowych warstwy o znacznej miąższości osadzały się rzadko, gdyż gwałtowne wody powodziowe rozprzestrzeniały się na dużym obszarze. W związku z tym ślady plastycznych deformacji warstw w zmarzlinowych strukturach powlekających występują rzadko. Po ustąpieniu wód powodziowych osadzony materiał wysychał, o czym świadczy szereg szczelin wysychania. Szczeliny te przeszkadzały powstawaniu szczelin mrozowych i żył lodowych. Stosunkowo suche osady wypełniające struktury dobrze zachowały się na stromych ściankach bruzd.

Struktury wypełnione osadami niewarstwowanymi powstały prawdopodobnie w zbiornikach wodnych (jeziora, laguny), gdzie zmarzlina leżała na znacznych głębokościach. O epigenetycznym zamarzaniu tych osadów świadczą cienkie poziome warstwy lodu, które często niezgodnie przecinają utwory podłoża i niewarstwowany materiał wypełniający ten typ struktur.

Epigenetyczne zamarzanie osadów miało również miejsce podczas powstawania całego szeregu zmarzlinowych struktur powlekających. W czasie powstawania, jak również po utworzeniu się niektórych zmarzlinowych struktur powlekających kształt ich lub forma bruzd, które nie zdążyły się wypełnić, uległy zmianie na skutek powolnego i nieznacznego ruchu w strefie czynnej. W rezultacie powstały zdeformowane zmarzlinowe struktury powlekające.

WNIOSKI

1. Zmarzlinowe struktury powlekające i struktury wypełnione niewarstwowanymi względnie horyzontalnie warstwowanymi osadami są dowodem, że:

a. w przeszłości w warunkach dość surowego klimatu (poniżej -3°C), na podłożu wiecznej zmarzliny rozwinęła się poligonalna sieć wieloletnich żył lodowych, jak sądzimy przeważnie epigenetycznych;

b. procesy krasu termicznego doprowadzają do zaniku żył lodowych. Na badanym obszarze rozwój krasu termicznego został uwarunkowany zmianą miąższości strefy czynnej zmarzliny w wyniku zmian klimatycznych, bądź też lokalnych zmian warunków na powierzchni;

c. istnieje przerwa między okresem akumulacji osadów podłoża i utworami powlekającymi;

d. między okresem tajania żył lodowych i powstaniem poligonalnej sieci bruzd z akumulacją materiału zmarzlinowych struktur powlekających i struktur wypełnionych niewarstwowanym materiałem istniała również przerwa czasowa;

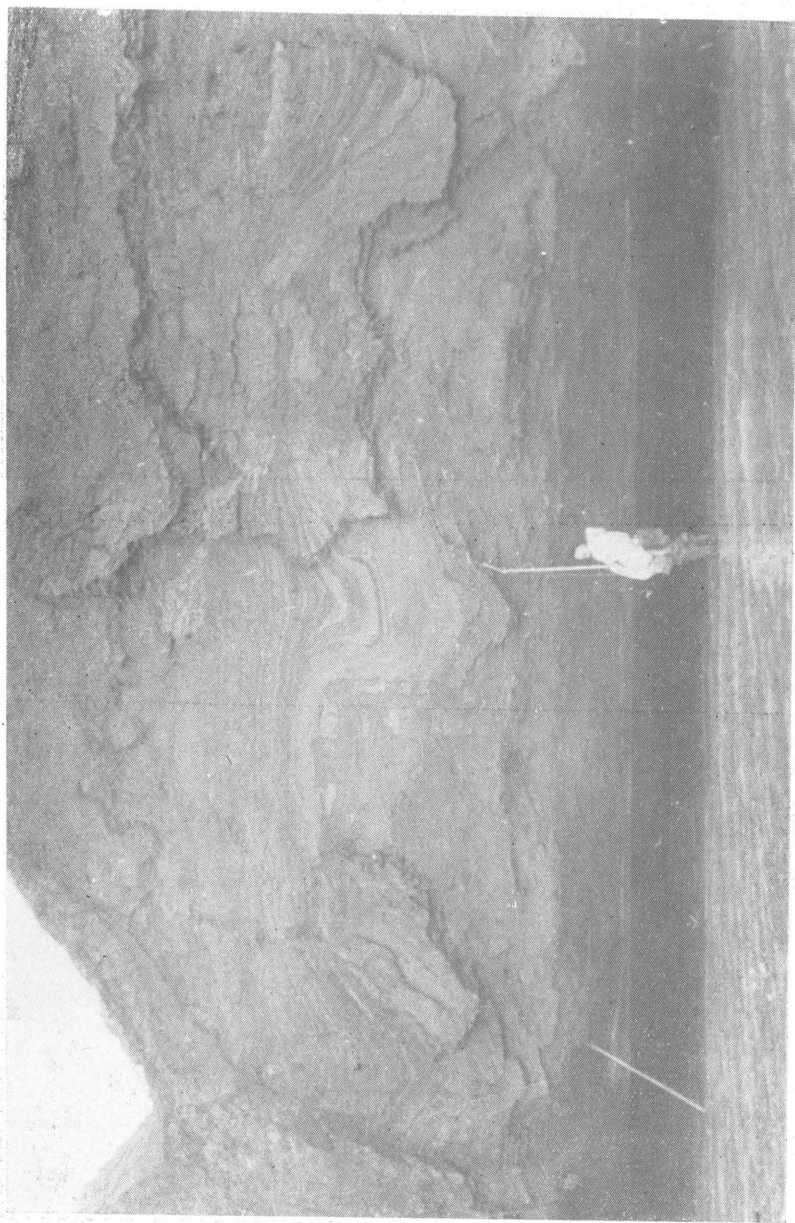
e. zmarzlinowe struktury powlekające rozwijały się najczęściej na obszarach zalewowych, na podłożu wiecznej zmarzliny. Osady powlekające przemarzały w tym wypadku syngenetycznie. Struktury wypełnione materiałem niewarstwowanym i horyzontalnie warstwowanym, a także niektóre zmarzlinowe struktury powlekające powstały w zbiornikach wodnych, w miejscach gdzie wieczna zmarzlina zalegała na znacznej głębokości. Przemarzały one epigenetycznie, po wyschnięciu zbiornika.

2. Szerokie rozwinięcie przestrzenne wielu poziomów zmarzlinowych struktur powlekających świadczy o zmianach ogólnoklimatycznych, które spowodowały tajanie wieloletnich żył lodowych. W tym wypadku zmarzlinowe struktury powlekające rozwinięte lokalnie wskazują zwykle na surowe warunki klimatyczne panujące w okresie ich rozwoju i na obecność wiecznej zmarzliny. Dlatego występowanie omawianych struktur na obszarach obecnie pozbawionych wiecznej zmarzliny, albo w horyzontach nie zmarzniętych, posiada znaczenie stratygraficzne.

3. Kopalne zmarzlinowe struktury powlekające występują powszechnie w północnej części Jano-Indygirskiej niziny nadmorskiej i na Wyspie Wielkiej Lachowskiej. Spotyka się je często również na Syberii Zachodniej. Badanie więc tych struktur posiada nie tylko znaczenie lokalne, lecz jest ważne dla badań ogólnych w zakresie geologii czwartorzędu i zmarzlinoznawstwa.

Literatura

- Daniłowa, N. S. 1956 — Gruntowyje żyły i ich proischożdienije (Frost-veins and their origin). *Materialy k osnovam uczenija o mierzłych zonach zjemnoj kory*, wyp. 3, Moskwa.
- Gallwitz, H. 1949 — Eiskeile und glaziale Sedimentation. *Geologica*, Berlin.
- Moskwitin, A. I. 1940 — Ledianyje klinia — klinowidnyje treszcziny i ich stratigraficzskoje znaczenije (Zusammenfassung: Eiskeile — keilartige Spalten und ihre stratigraphische Bedeutung). *Biul. Mosk. Obszcz. Ispytat. Prirody*, otd. gieol., t. 18.
- Patalejew, A. W. 1955 — Morozobojnyje treszcziny w gruntach (Frost-cracks in the ground). *Priroda*.
- Popow, P. I. 1957 — Gieologiczeskije i gieomorfologiczeskije usłowija tierritorii Podmoskowogo stacionara. Sjezonnoje promierzanie gruntow i primienienije Ida dla stroitielnych celej (Geological and morphological conditions of the research station in the surrounding of Moscow). Akad. Nauk SSSR.
- Romanowskij, N. N. 1958 — Mierzłotnyje struktury oblekaniya w czetwierticznych otłożenijach (Frost surrounding structures in the Quaternary deposits). *Naucznyje doklady wysszej szkoły*, no 3.
- Soergel, W. 1942 — Die eiszeitliche Temperaturverminderung in Mitteleuropa. *Oberzhein. Verein.*, 31.
- Szumskij, P. A., Szwiecow, P. F., Dostowałow, B. N. 1955 — Osobiennosti inżynierno-gieologiczeskoj razwiedki w rajonach rasprostranienija żilnych podziemnych ldow (Characteristics of engineering and geological prospecting in the area of ground-ice veins). Akad. Nauk SSSR.



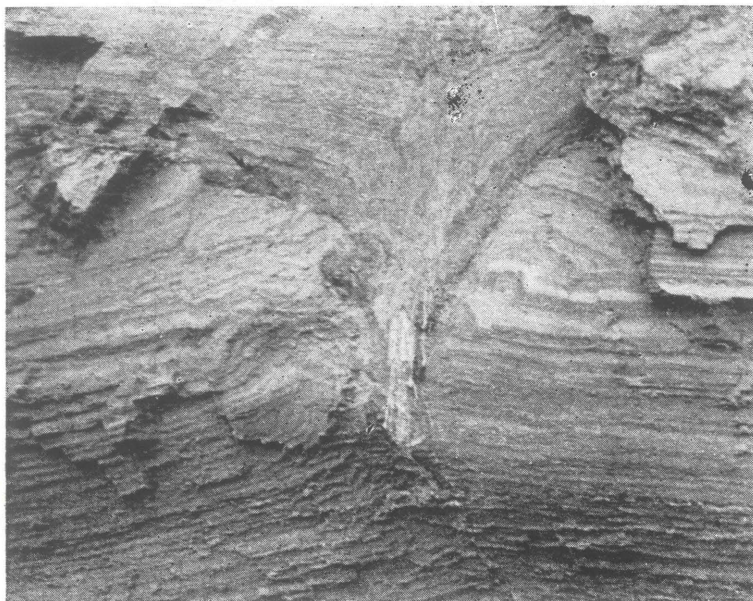
Fot. 1. Zmarzlinowe struktury powlekające



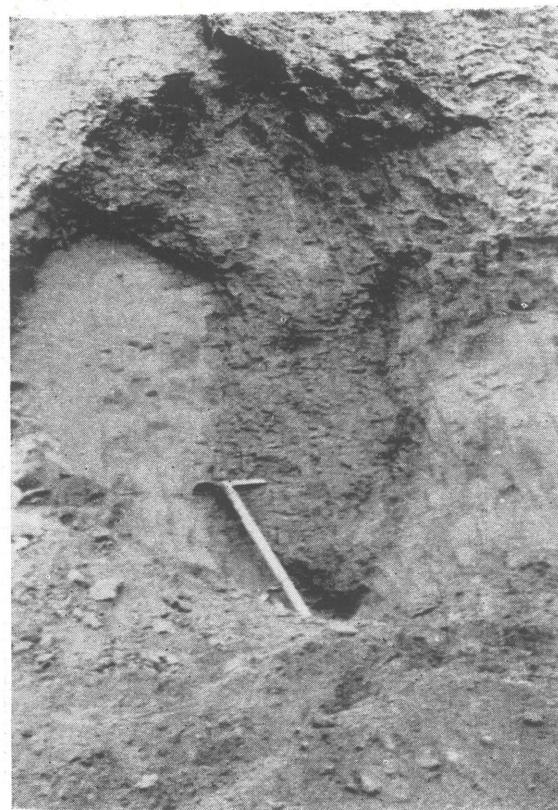
Fot. 2. Zmarzlinowe struktury powlekające — część górna ścięta przez abrazję



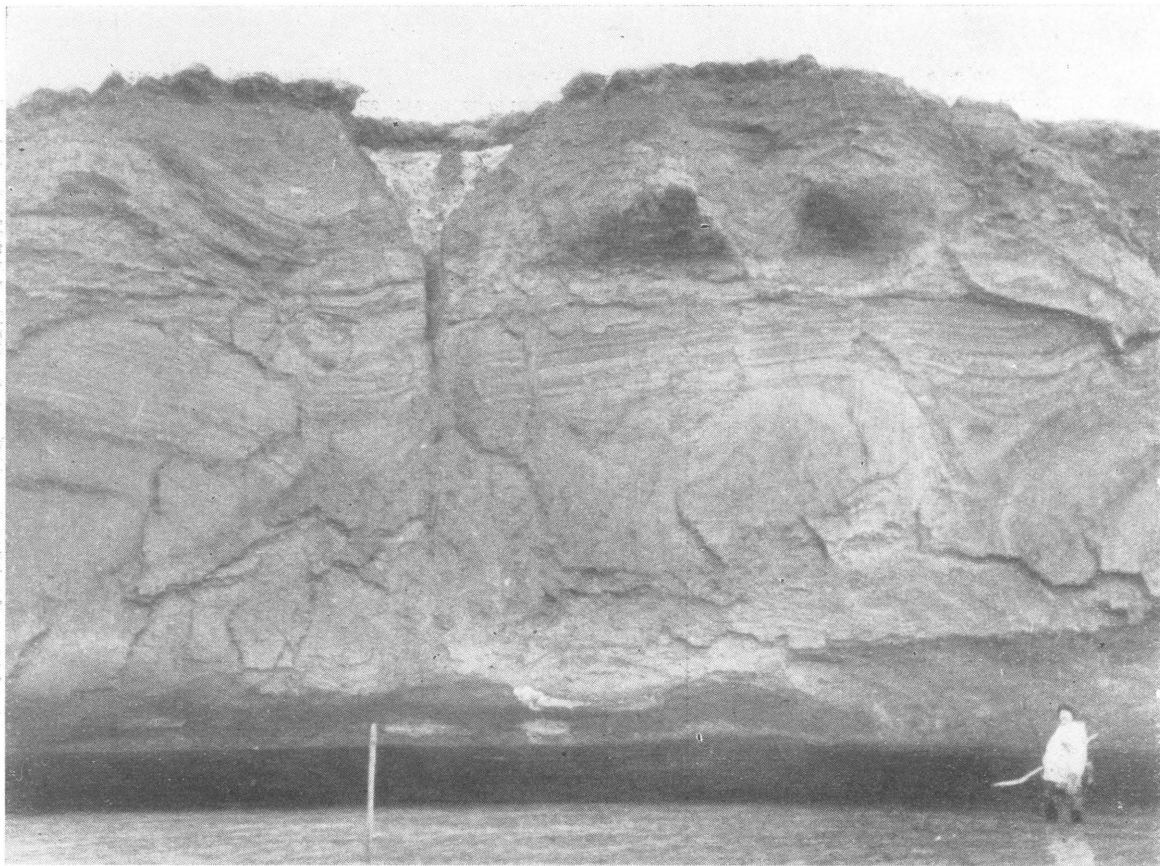
Fot. 3. Poligonalna sieć zmarzlinowych struktur powlekających



Fot. 4. Deformacje warstw w utworach podłoża w kontakcie ze zmarzlinową strukturą powlekającą



Fot. 5. Struktura wypełniona materiałem niewarstwowanym



Fot. 6. Dwa poziomy zmarzlinowych struktur powlekających
struktura rozwinięta w torfie (ciemna warstwa) ma wyraźniejszy, ostrzejszy kształt, niż struktura w aleurycie pozbawionym torfu