

Louis Lliboutry*
Santiago

CHILE

STUDIA KRIOPEDOLOGICZNE W ANDACH ŚRODKOWO-CHILIJSKICH**

STAN BADAŃ

W Wysokich Andach, między 30° i 35° szerokości południowej formy „peryglacjalne“ są niezwykle liczne. Badane i opisywane były one jednak tylko przez Cortego (1, 2) oraz przez autora. W latach 1952-1956 autorowi udało się dokonać wielkiej pracy rozszyfrowania tych form; zasadnicze wyniki ogłoszono jedynie w krótkich notatkach Francuskiej Akademii Nauk (5, 6, 7, 8). Wyprawy w teren i przygotowanie do druku rozprawy glaciologicznej nie pozwoliły autorowi na szersze ujęcie niniejszego sprawozdania. Rezultaty badań zostaną przedstawione bardziej szczegółowo w szeregu artykułów w ciągu najbliższego roku.

Uniwersytet Chiński pozwolił mi zająć się w ciągu ostatnich dwóch lat wyłącznie pracą badawczą oraz sfinansował szereg mniejszych ekspedycji. Chciałbym, aby pełen rozmachu Rektor tegoż Uniwersytetu Juan Gomez Millas znalazł w tym miejscu wyrazy szczególnej wdzięczności.

Jako alpinista mogłem od początku moich badań glaciologicznych liczyć na cenną i dobrowolną pomoc kolegów alpinistów. Ich fotografie panoramiczne w zestawieniu z moim zdjęciem terenowym pozwoliły na znaczne ulepszenie map Wysokich Kordylierów. Mapy te przedstawiają po raz pierwszy lodowce; stanowią zestawienie map chilijskich i argentyńskich, zawierają poprawioną i uzupełnioną topografię oraz sprawdzone punkty wysokościowe; istniejący na mapach błąd oceniam jako nie przekraczający 20 m, zamiast spotykanych na mapach współczesnych błędów sięgających setek metrów. Przygotowanie współpracy alpinistów będzie w przyszłości zapewnione dzięki książce autora wydanej w języku hiszpańskim (9). Ósmy rozdział tej książki poświęcony zasadniczo śniegom,

* Profesor Uniwersytetu w Chile, wykładowca Uniwersytetu w Grenoble.

** Artykuł niniejszy stanowi dalszy ciąg Sprawozdań Komisji Geomorfologii Peryglacjalnej Międzynarodowej Unii Geograficznej, które zostały zamieszczone w *Biuletynie Peryglacjalnym*, nr 4, 1956.

współczesnym lodowcom i badaniom prowadzonym w Andach Chilijskich, wprowadza zwięźle kilka pojęć z zakresu morfologii glacialnej i peryglacialnej.

Jako główne przeszkody utrudniające mi pracę, poza tymi, które aż nadto dobrze znają koledzy europejscy, należy wymienić: 1. niemal całkowity brak dróg górskich, całkowity brak dróg o umocnionej nawierzchni, które by się nie zamieniały w bagno w okresie tajania śniegu, brak pługów śnieżnych i schronisk wysokogórskich; 2. trwający aż do ostatnich miesięcy zakaz przywożenia sprzętu alpinistycznego, jak również samochodów, nawet w celach użytkowych (dopiero ostatniego lata Uniwersytet wreszcie przydzielił mi do dyspozycji „jeepa”); 3. zakaz wykonywania w strefie granicznej szczegółowych pomiarów triangulacyjnych i zdjęć aerofotogrametrycznych; 4. okoliczność, że wiosną na nartach mogła mi towarzyszyć tylko niewielka grupa osób.

W Andach rejonu Santiago istnieje obszar, który nadaje się doskonale do systematycznych badań kriopedologicznych ze względu na nadzwyczajną obfitość form. Są to okolice kopalni La Disputada de Las Condes (3424 m) oddalonej od stolicy (540 m) o dwie godziny drogi samochodem. Obszar ten znajduje się 5 km na zachód od wielkich Lodowców Olivares, pod $33^{\circ}09'$ szer. pld. i $70^{\circ}18'$ dł. zach. Powyżej tej kopalni, o dwie godziny drogi mułem, na wysokości 4330 m Uniwersytet Chilijski zbudował według wskazówek autora schronisko—obserwatorium o powierzchni ponad 100 m² przeznaczone dla badań promieniowania kosmicznego, obserwacji meteorologicznych itp. To Observatorium de l'Infiernillo znajduje się na średniej wysokości czoła lodowców na tym obszarze (4) tak, że dokonane tutaj obserwacje meteorologiczne są szczególnie cenne.

Na tym obszarze, jak również na niektórych innych, autor obserwował jedynie współczesne zjawiska peryglacialne starając się wyjaśnić ich pochodzenie i związek z obecnym klimatem. Badanie form kopalnych byłoby przedwczesne na obszarze, na którym badania plejstocenu są dopiero w stadium początkowym (9, rozdz. XV).

KLIMAT I OKRES AKTYWNOŚCI KRIOPEDOLOGICZNEJ

Podałem już w innym miejscu zarys charakterystyki klimatu Andów rejonu Santiago (3, 4, 9). Jako zasadnicze cechy tego klimatu należy wymienić:

1° duże opady (1 m na wysokości 3800 m w porównaniu z 35 cm w Santiago) prawie wyłącznie zimowe, a powyżej 2500 m w postaci śniegu. W strefie procesów kriopedologicznych deszcz jest nieznany; fakt ten pozwala na przetrwanie form przez okres lata;

2° bardzo duże różnice pomiędzy poszczególnymi latami. W rejonie La Disputada czoło lodowców, które normalnie ustala się w pobliżu 4600 m, w niektórych latach schodzi poniżej 3800 m;

3° bardzo suche powietrze (25% wilgotności w południe słonecznych dni) i słabe zachmurzenie (wiosną 10 dni na miesiąc bez jednej chmurki). W rezultacie występują bardzo silne wahania temperatury gleby nawet wtedy, gdy wahania temperatury powietrza sięgają od 7° do 10°.

Na wysokościach, gdzie temperatura na ogół nie przekracza 0°, suchość powietrza i silne nasłonecznienie wywołują powstawanie penitentów (*penitents de neige*), jak to wyjaśniliśmy w innym miejscu (3, 4, 9). Niżej, tam gdzie wody roztopowe są obfitsze, lecz mróz nocny jest jeszcze dość silny, występuje maksimum aktywności kriopedologicznej. Na przykład w listopadzie granica nocnego zamarzania przebiega na wysokości około 3000 m, maksimum powstawania gleb strukturalnych na wysokości 3500 m, a dobrze wykształcone penitenty tworzą się powyżej 3800 m.

Wieczna zmarzlina istnieje jedynie powyżej 4500 m. W czasie lata Oskar Gonzalez i Krahł prowadząc badania archeologiczne znaleźli na szczycie Cerro Plomo (5430 m) wieczną zmarzlinę na głębokości 30 cm. Na szczycie Doña Ana (5690 m, 29°45' szerokości południowej) wieczna zmarzlina znajdowała się na głębokości 20 cm.

W ciągu roku istnieje krótki okres, w którym powstają omawiane formy. Jest to okres, kiedy pokrywa śnieżna już częściowo zanika, a obfite wody roztopowe przesycają glebę w głębi zmarzniętą, lecz zostają uwięzione przez nocne przymrozki. Początek tego okresu, który nazywamy aktywnym, wymaga dalszych obserwacji dokonywanych podczas okresowych wycieczek (przynajmniej co 15 dni) mających charakter wiosennych objazdów terenu na nartach. Kto zatrzymany na przykład przez egzaminy pod koniec roku może wyruszyć w teren dopiero w czasie pełnego lata będzie miał niekompletny obraz zjawisk i znajdzie jedynie formy szczątkowe, których pochodzenie wyda mu się niezrozumiałe.

REZULTATY BADAŃ

Autor studiował formy peryglacjalne jedynie na obszarach pozbawionych roślinności, która zanika w tych okolicach w pobliżu wysokości 3400 m. Udało się obserwować formy w czasie ich powstawania lub rozwoju. Okazało się przy tym, że pewne formy określone dotąd jako odrębne są jedynie wyrazami kolejnych faz tego samego zjawiska. Wyróżniono formy następujące:

Lód włóknisty (*pipkrake*) występuje powszechnie o świcie, poniżej płatów śniegu, na powierzchni lub pod pokrywą drobnych kamieni. Średnia

wysokość igiełek wynosi: w sierpniu 2 cm, w październiku i listopadzie 5 cm, wyjątkowo 7 cm.

Szczeliny wysychania i nabrzmienia na obszarach gliniastych występują:

a) na stokach o nachyleniu 35° w postaci bruzd wydłużonych zgodnie ze stokiem. Obserwowano jedynie dwa przykłady: na wysokości 4000 m i 4250 m;

b) na obszarach płaskich w związku z poligonami kamienistymi. Obserwowano przykład na obszarze z wykwitami solnymi, na wysokości około 3500 m.

Formy pasowe krótkotrwałe bardzo licznie występują pomiędzy 3300 m i 3900 m. Tworzą się pod pokrywą śniegu pociętą „bruzdami roztopowymi”, tak cienką, że promienie słoneczne mogą przenikać aż do gleby.

Formy pasowe długotrwałe są nadzwyczaj pospolite między 3500 m i 3900 m, szczególnie na zaokrąglonych pagórkach oraz na lodowcach kamienistych ze względu na cieńszą pokrywą śniegu. Gleby te płyną, a nabrzmienia gruntu są tym większe, im luźniejszy jest materiał podłoża. Pasy pofalowane dzięki procesowi powolnej soliflukcji nadają powierzchni lodowca kamienistego charakterystyczny wygląd. Wyjaśnienie ich pochodzenia jest w mojej notatce z 1956 (6).

Płaty żółtej gliny wynurzające się z bruku kamienistego (nie mieszać z tundrą plamistą) stanowią formę przejściową pomiędzy formami pasowymi czy poligonalnymi i ciągłym brukiem kamienistym. Liczne przykłady obserwowano na wysokości 3500—3900 m.

Bruk kamienisty powszechnie występuje jako forma końcowa w procesie rozwoju ziem strukturalnych. Powstaje dzięki całkowitemu usunięciu materiału drobnego przez wody roztopowe płynące pokrywowo po gruncie w głębi jeszcze zamarzniętym. Nie należy mylić tej formy z brukiem kamienistym obszarów pustynnych, powstającym wskutek wywiewania drobnego piasku przez wiatr. Na powierzchniach poziomych słabo przepuszczalnych, zajętych przejściowo przez kałuże w okresie tajania śniegów kamienie leżą płasko i stykają się ze sobą. Jest to więc bruk płytowy w ścisłym znaczeniu tego słowa.

Lodowce pogrzebane w poprzedniej notatce Akademii (5) nazwałem lodowcami osuwiskowymi. Po namyśle wolę jednak zatrzymać ten termin dla młodych lodowców gruzowych, zasobnych jeszcze w materiał drobnoziarnisty. Ta nowa forma jest zbliżona do małych lodowców stożków lawinowych, które się tworzą powyżej ogólnej granicy wiecznych śniegów. Różni się od nich jednak znaczną miąższością rocznych osuwisk, które każdego lata całkowicie pokrywają lodowiec. Śnieg dopiero po zasypaniu bardzo gwałtownie przekształca się w lód.

Lodowce osuwiskowe i lodowce gruzowe są bardzo liczne, w różnych stadiach rozwoju (7). Powstają z dawnego lodowca przysypanego lub podpowierzchniowego po zniknięciu lodu i po peryglacialnych przemianach struktury. Powstawanie i zanik tych lodowców pogrzebanych lub podpowierzchniowych (gruntowych) wiąże się z wielkimi wahaniami rocznych sum opadów.

Powierzchniowe strumienie błotne. Nie należy ich mylić ze strumieniami o dużej miąższości, złożonymi z błota i odłamków skalnych (strumienie kamieniste). Istnieje szereg typów pośrednich pomiędzy dwiema formami skrajnymi:

a) strumienie powierzchniowe gwałtowne, w bruzdach. Jest to zjawisko podobne do wiosennych lawin. Formy te są bardzo częste; zaczynają się na wysokości 4000—4500 m i schodzą aż do 2800—2500 m;

b) strumienie powierzchniowe pokrywowe, powolne, powstają w ciągu lat wyjątkowo wilgotnych, pod cienką pokrywą śniegu, która pozwala na przenikanie promieni słonecznych (8).

Osady stokowe, warstwowane są bardzo liczne (8). Jest to jedyna forma, którą często spotykałem jako kopalną w morenach ostatniego zlodowacenia.

WNIOSKI

W Andach rejonu Santiago obserwuje się wszystkie formy peryglacialne występujące na obszarach nie pokrytych roślinnością, z wyjątkiem poligonów tundrowych i lakkolitów lodowych charakterystycznych dla klimatów zimniejszych oraz strumieni gruzowych, które spotyka się w klimatach bardziej wilgotnych. Nie udało się nam nigdy zaobserwować inwolucji, plikacji ani innych struktur krioturbacyjnych, które stwierdził Corte (1).

Na zakończenie należy wspomnieć, że stary termin *formy krioniwalne*, choć jego złożone pochodzenie może się nie podobać zwolennikom poprawności językowej, jest odpowiedniejszy niż niedawno wprowadzone określenie *formy peryglacialne*. W strefie brzeżnej olbrzymich pól lodowych Patagonii, zarówno w rejonie Fitz-Roy jak i Païne nie obserwowaliśmy nawet najmniejszych zjawisk „peryglacialnych”.

Thumaczyła A. Dylikowa

Literatura

1. Corte, A. E. — Contribución a la morfología periglacial de la alta Cordillera, con especial mención al aspecto criopedológico. *Anales del Dep. de Invest. Cient. de la Univ. Nac. de Cuyo*, t. 1, no 2, Mendoza 1953.

2. Corte, A. E. — Contribución a la morfología periglacial, especialmente criopedológica de la República Argentina. *Acta Geographica*, 14, Helsinki 1955.
3. Lliboutry, L. — The origin of penitents. *Jour. Glaciology*, t. 2, no 15, 1954.
4. Lliboutry, L. — Le Massif du Nevado Juncal (Andes de Santiago), ses pénitents et ses glaciers. *Rev. Géogr. Alpine*, t. 42, no 3, Grenoble 1954,
5. Lliboutry, L. — L'incorporation des éboulis dans la glace. *C. R. Acad. Sci.*, no 240, 1955.
6. Lliboutry, L. — L'origine des sols striés et polygonaux des Andes de Santiago (Chili). *C. R. Acad. Sci.*, no 240, 1955.
7. Lliboutry, L. — Origine et évolution des glaciers rocheux. *C. R. Acad. Sci.*, no 240, 1955.
8. Lliboutry, L. — Coulées de boue en nappe et dépôts de pente stratifiés dans les Andes de Santiago. *C. R. Acad. Sci.*, 1956.
9. Lliboutry, L. — Nieves y glaciares de Chile, fundamentos de Glaciología. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago de Chile. 472 p. et nombreuses cartes horstexte.



fol. autor

Fot. 1. Lód włóknisty poniżej płata śniegu, wiosną o świcie



fol. autor

Fot. 2. Szczeliny wysychania w glebie gliniastej z nabrzmieniami wywołanymi przez mróz. Szczeliny wydłużone są zgodnie ze stokiem



fot. autor

Fot. 3. Stadium początkowe małych poligonów w glebie z wykwitami solnymi



fot. autor

Fot. 4. Poligony wielkich rozmiarów w glebie zwięzłej na powierzchni poziomej



fot. autor

Fot. 5. Pasy glebowe o świcie; pasy gleby są najeżone igielkami lodu włóknistego



fot. autor

Fot. 6. Platy żółtej gliny pośród bruku kamienistego



fot. autor

Fot. 7. Lodowiec Cerro Negro, język lodowca Olivares Beta w 1955 r. Linia przerywana: granica lodowca z 1934 r. Linia ciągła: dwa lodowce pogrzebane



fot. autor

Fot. 8. Szczelina w lodowcu gruzowym, którą infiltruje woda roztopowa



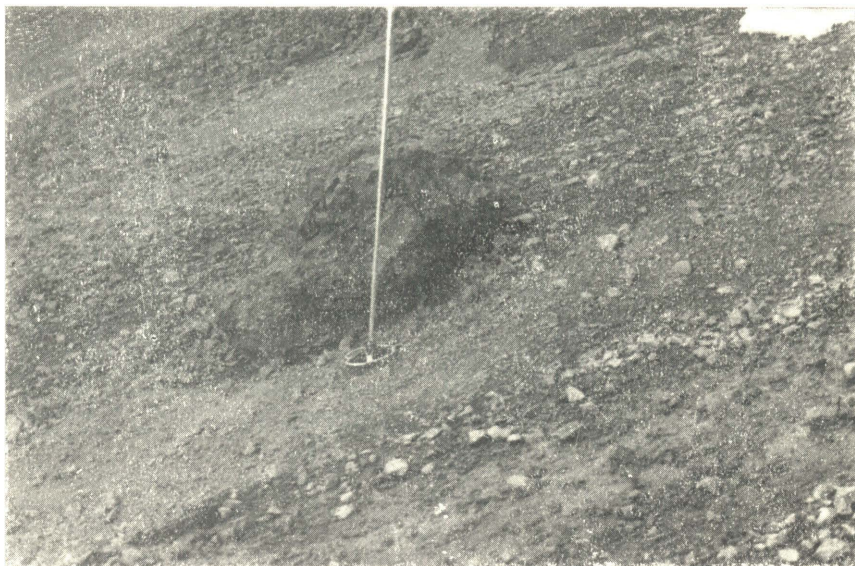
fot. autor

Fot. 9. Lodowiec gruzowy doliny l'Infiernillo. Na pierwszym planie budynek kopalni La Disputada. Na grzbiecie po lewej stronie niewidoczne na zdjęciu, znajduje się obserwatorium Uniwersytetu Chińskiego



fot. autor

Fot. 10. „Peryglacjalne” przekształcenie struktury na powierzchni lodowca skalistego. Zwraca uwagę przetrwały w bruzdach śnieg



fol. autor

Fot. 11. Powierzchniowy strumień błotny, płynący pokrywowo w czasie wyjątkowo wilgotnej wiosny. Zwraca uwagę wielki blok, który się zarył w stoku



fol. autor

Fot. 12. Kopalnia Disputada. Osady stokowe warstwowane utworzone z powierzchniowych strumieni błotnych. Przekrój poprzeczny do stoku