

ANTONI BOLESŁAW DOBROWOLSKI

O pewnym zagadnieniu z petrografii lodu*

W artykule niniejszym pragnę zadać pytanie, pozostające w związku z ogólnym zagadnieniem rekrystalizacji — czy obszary lodowców i pokrywy lodowych na wodach, w których stwierdzamy paralelizm osi optycznych kryształów składowych, są monokryształami?

1. Od dawna znany jest fakt wzajemnego wpływu na siebie siatek kryształów przy dostatecznie ścisłym zetknięciu. Najwcześniej zauważono to w zrostach kryształów chemicznie i nawet krystalograficznie różnych. Mineralogowie dostarczyli wielu przykładów prawidłowego zrastania się kryształów naturalnych. Sadebeck (16) pierwszy, o ile mi wiadomo, ułożył tablicę ze wszystkich znanych wówczas przykładów zrastania się prawidłowego różnych minerałów. Tablica ta stwierdza bardzo różne stopnie prawidłowości nawet dla tej samej pary minerałów (np. tetragonalny rudy z rombownym brookitem). Osiągało się już przedtem sztuczne zrosty prawidłowe, np. powodując krystalizację roztworu regularnego jodku potasu na jednoskośnych blaszkach łyszczyku (Frankenheim, 11). Przed samą wojną U. Nakaya (14) ze swymi współpracownikami obserwował kryształy sztucznego szronu na różnych podłożach, w szczególności na łyszczyku, powtarzając w ten sposób z takimi samymi wynikami doświadczenia W. L. Bragga (4) z kryształami NH_4J na łyszczyku i wyżej wspomniane sprzed stu lat doświadczenia Frankenheima, aby stwierdzić to samo co tamten, mianowicie, że „the directions of the branches of all crystals are arranged in parallel and they must be defined by the axes of the base crystal of the mica“. Nic więc nowego.

Fakt jest ustalony. Zresztą dziś wydaje się, że można by go z góry przypuszczać. Nie znamy jednak dotąd z jaką taką dokładnością mecha-

* Wprowadzenie przez autora pojęcia „petrografii lodu“ wraz z ogólną charakterystyką skał lodowych i pierwszą próbą ich klasyfikacji znaleźć można we wstępnym zarysie w „Historii naturalnej lodu“ (5, s. I, II, 411, 412), szczegółowiej zaś w referacie pt. „La glace au point de vue pétrographique“ (6). Odsyłamy również do wykładu i oceny zarówno tej próby jak i innych przez nią wywołanych w podręczniku glaciologii dla szkół wyższych ZSRR akademika S. W. Kałesnika (12, s. 17-22).

nizmu tego wzajemnego wpływu orientacyjnego. Tu nie ma jeszcze nic sprecyzowanego ani ilościowo, ani nawet jakościowo.

2. Drugi przypadek, tylko przy pewnych założeniach teoretycznych do tamtego podobny, mianowicie gdy w dostatecznie ściśle zetknięcie wchodzi identyczne, ale nie równoległe siatki krystaliczne, może się zdarzać w naturalnych i sztucznych skupieniach kryształów, przede wszystkim więc w skałach krystalicznych monomineralnych, gdy są warunki umożliwiające takie zetknięcia. Stałobyśmy tu wobec zjawiska *rekrystalizacji* w interpretacji Tammanna (19) lub pokrewnej, opartej właśnie na założeniu wzajemnego wpływu siatek krystalicznych w takim zetknięciu. Interpretacja taka jest naukowym sprecyzowaniem i uogólnieniem pewnych spekulacji, głównie Emdena (9), zbyt jeszcze ogólnikowych i dotyczących tylko zagadki *lodowców* jako jedynych skupień kryształów, gdzie to zjawisko — występujące na skutek wyjątkowych własności termodynamicznych lodu szczególnie jaskrawo — było wtedy znane i uważane za właściwe *tylko lodowi*. Stąd wynikła podstawowa wada metodyczna teorii ziarna lodowcowego: brak systematycznego porównywania z innymi substancjami, to znaczy przeoczenie jednej z naczelnych reguł wszelkiego badania: szukać gdzie indziej zjawisk podobnych do zjawiska badanego, zwłaszcza w czystszej postaci — mniej skomplikowanej, wyraźniejszej, przejrzystszej. Światło przyszło od uczonych-inżynierów, głównie od metalurgów. Jeżeli pominiemy jako dorywczą notatkę Engelna (10) z r. 1915 o przykładzie wyraźnej rekrystalizacji przy obróbce żelaza, wskazanym mu przez metalurgów, wtedy za pierwszy poważny krok ku ogólnej teorii rekrystalizacji należy uznać próbę Tammanna sformułowaną w r. 1922 (19; ob. streszczenie polskie w 5, s. 691-699). Zaczął on właśnie od badań nad rekrystalizacją w metalach, rozszerzył je na pewne ciała organiczne, a za pomocą teorii, na tych badaniach częściowo sprawdzonej, spróbował wyjaśnić strukturę pewnych skał metamorficznych i także najpotężniejszych skał lodowych — lodowców (19, s. 214-215), w których rekrystalizacja musi mieć pewne wyjątkowe cechy z powodu wyjątkowych cech materiału. Powyżej wskazaną wadę metodyczną mocno podkreśliłem i odpowiednie wskazania sformułowałem w r. 1923, prawie więc równocześnie z datą ogłoszenia teorii Tammanna (1922) w mej „Historii naturalnej lodu“ (5; rozdział: Konkluzje, s. 700-701; w 8, s. 58-59). Tamże starałem się dowieść, że z dwóch prób teorii fizycznej tego zjawiska próba Tammanna, oparta na zasadzie rozdrabniania i na eksperymentach sprawdzających, zdaje się mieć więcej stron pozytywnych aniżeli twierdzenie Curie'go, oparte na zasadzie energii powierzchniowej ciał stałych, — że i ona jednak nic nam nie może powiedzieć o mechanizmie procesu, gdyż rozważa — podobnie jak zasada Curie'go — tylko stan początkowy i stan końcowy.

Od tego czasu uczyniono duży krok naprzód w kierunku poważnego uogólnienia badań i teorii rekrytalizacji dopiero po wojnie, po wyprawie, tuż przed wojną, stowarzyszenia „British Association for the Study of Snow and Ice“ (po wojnie — „British Glaciological Society“) na lodowiec Jungfrau-Joch z programem systematycznych badań petrograficznych. Znalazło to swój wyraz na posiedzeniach tego Towarzystwa, wspólnych z geologami i technologami, oraz na łamach jego organu „Journal of Glaciology“ (No. 10, October 1951, pp. 564-67, 569-71)¹. Obecnie wśród petrografów, którzy stworzyli całą gałąź bardzo szczegółowych badań laboratoryjnych struktury i tekstury skał („petrofabrics“), pewna grupa rozpoczęła — na razie dla przykładu i zachęty kolegów — stosowanie tej nowej drogi do lodu: petrografia weszła więc na serio do skał lodowych! Zrazu tylko do lodu lodowcowego w przekonaniu, że „własności mechaniczne lodu, w szczególności jego lepkość, zależą od jego struktury i tekstury...“, że więc wyniki „petrofabrics“ należy brać pod uwagę w każdym badaniu laboratoryjnym mechaniki lodu, więc i w badaniu dotyczącym zagadnienia ruchu lodowców (2, s. 519). Ci petrografowie idą nawet dalej niż autor niniejszej rozprawy: ich zdaniem, słusznym, właśnie „zastosowanie techniki petrografii strukturalnej do badań lodu może się istotnie przyczynić do zbadania zagadnienia szerszego: podobnego ruchu w skałach trwałszych“; fakt bowiem, że „lodowce są monomineralne i spływają po powierzchni ziemi“, sprawia, że „stanowią one przedmiot badań idealnie uproszczony w porównaniu z bardziej skomplikowanymi skałami metamorficznymi“ (15, s. 590). Tu zwrócę uwagę, że termin „metamorficzny“, zastosowany do skał lodowych (7) a kwestionowany przez niektórych petrografów, obecnie wyrabia sobie jednak miejsce w literaturze petrograficznej.

Jesteśmy więc dopiero u początku drogi i chociaż już bliżej, lecz jeszcze dość daleko do zrozumienia wewnętrznego mechanizmu owego wpływu orientacyjnego jednych siatek krystalicznych na drugie.

¹ Już przedtem M. Demorest przedsięwziął badania zakrojone na szeroką skalę; o ile jednak wiem, nie doczekały się one ogłoszenia drukiem przed śmiercią tego badacza i dotąd pozostają nieznanne, z wyjątkiem, zdaje się, jedynie „Glacier regimes and ice movement within glaciers“, part. I, Amer. Journ. Sci. 240, 1942, pp. 31-66. — Z notki w monografii B. P. Weinberga (redaktora) pt. „Ljod“, tom I, Moskwa i Leningrad 1940, s. 87, dowiaduję się, że ciekawe — niestety, na razie mi niedostępne — prace właśnie w celu wyjaśnienia procesu rekrytalizacji (Kornfeld w Physik. Ztschr. d. Sowjetunion) były prowadzone w Uralskim Instytucie Fizyczno-technicznym. — Zagadnieniu krystalizacji metali, skał i lodu poświęcone było ostatnio symposium odpowiednich specjalistów w Londynie w grudniu 1950 r. pod przewodnictwem prof. K. Lonsdale'a (18).

3. Rozważmy przypadek jeszcze bardziej specjalny i prostszy: przypadek skupienia kryształów lodu w ścisłym ze sobą kontakcie, gdy równoległość osi głównych (optycznych) zostaje stwierdzona, a o trzech drugorzędnych osiach nie wiemy nic poza tym, że osie te bywają pierwotnie równoległe tylko przypadkowo. Jest to przypadek *pokrywy lodowej wód*, złożonej, jak wiadomo, z włókien prostopadłych do powierzchni zamrażania z osiami optycznymi o tym samym kierunku.

Zdrowy rozsądek kazałby nam przypuszczać, że osi drugorzędne, o których zakładamy, że równoległe nie są, mogą tu — w odpowiednich warunkach — łatwiej, niż w innych przypadkach „uzgodnić się“, gdyż różnica kierunków nie może przekroczyć 30° . Otóż takie przypuszczenie zdaje się być — przypadkiem — zgodne z rzeczywistością. W samej rzeczy zdaje się ono być potwierdzone przez moje własne obserwacje i przez wyzyskanie obserwacji innych badaczy (5, 7).

A więc pokrywa lodowa nawet na dużych przestrzeniach mogłaby, nie bacząc na skład z wyraźnych włókien krystalicznych i początkowy brak jednolitej równoległości osi drugorzędnych na tych przestrzeniach, być naprawdę jednym kryształem. To samo twierdzi Beljankin (3). Ale obecnie Wadiło (20) zaprzecza temu po zbadaniu — zdaje się systematycznym — kilku rzek w ZSRR. Sprawa wymagałaby więc dalszych badań sprawdzających.

4. Znane są części lodowców, szczególnie w obszarze topnienia, których ziarna wykazują równoległość osi optycznych (zaznaczoną na skrawkach i ścianach grot lodowcowych równoległością prostopadłych do tych osi „prążków Forela“). Należałoby więc, jeśliby moje poprzednie wnioski o pokrywie lodowej były słuszne, oczekiwać, że w tych częściach lodowca osi drugorzędne będą równoległe.

5. Warto by sprawdzić ostatecznie wyżej podane wnioski, dotyczące lodowców zarówno jak pokryw lodowych na wodach. Co do metody, sądzę, że najbardziej wskazane byłoby stosowanie figur Tyndalla². Co do strony technicznej, zwracam uwagę na książkę Schoentjesa (17), która jest prawdziwym podręcznikiem techniki wywoływania tych figur³.

Warszawa, w lutym 1952 r.

² Metodę opartą na wywoływaniu i następnie zamrażaniu figur Tyndalla w celu wytworzenia „kryształów negatywnych“, stwierdzonych zresztą już bardzo dawno przez Leydolta na blokach lodu naturalnego (13), stosowali w r. 1934 Adams i Lewis (1). Zupełnie oryginalną i wartą sprawdzenia metodę specjalnie dla lodu rzeczno-ogłosił w roku ubiegłym Wadiło (20).

³ Obszerny wykład tej bardzo rzadkiej już książki można znaleźć w *Historii naturalnej lodu*, na s. 337-342, wraz z 11 reprodukcjami fotografii Schoentjesa.

LITERATURA CYTOWANA

1. ADAMS J. M. & LEWIS W. The production of large single crystals of ice. Univ. Calif. R. S. I, Los Angeles, November 1934.
 2. BADER H. Introduction to ice petrofabrics. Journ. Geol., vol. 59, No. 6 (Glaciological issue), pp. 519-536. Chicago, November 1951.
 3. BELJANKIN D. S. Metallurg, No. 7, 1932 (fide 20).
 4. BRAGG W. L. Atomic structure of minerals. London 1937.
 5. DOBROWOLSKI A. B. Historia naturalna lodu (Histoire naturelle de la glace). Kasa im. Mianowskiego (Instytut Mianowski). Warszawa 1923.
 6. DOBROWOLSKI A. B. La glace au point de vue pétrographique (Essai de classification des roches de glace). Bull. Soc. Franç. Minér. vol. 54, Paris 1931.
 7. DOBROWOLSKI A. B. Sur le métamorphisme de la couverture de glace. IV-me Confér. Hydrolog. des Etats Baltiques, C.-R., Rapports. Leningrad 1933.
 8. DOBROWOLSKI A. B. Glaciers structure and movement theories. Reprint of XIII and XIV chapters of „Historia naturalna lodu“ (Natural History of Ice). Pol. Tow. Geofizyków (Pol. Soc. Geophys.). Warszawa 1948.
 9. EMDEN R. Über das Kletscherkorn. Basel 1890. Idem: Denkschrift d. Schweiz. Naturf. Gesell. Zürich, 1892, pp. 33 etc.; Arch. Sci. Phys. Nat. Genève, vol. 20, 1892, pp. 211 etc.; vol. 22, 1894, pp. 366 etc.; N. Jahrb. Miner. etc., vol. 1, 1895, pp. 46 etc.
 10. ENGELN O. D. & late TARR R. S. Experimental studies of ice with reference to glacier structure and motion. Ztschr. Gletscherk. vol. 9, pp. 81-144. 1915.
 11. FRANKENHEIM M. L. Pogg. Ann., vol. 37, p. 521. 1836.
 12. KALESNIK S. V. Obščaja glaciologija. Leningrad 1939.
 13. LEYDOLT F. Beiträge zur Kenntniss d. Krystallform u. d. Bildungsart des Eises. Sitz.-Ber. K. K. Akad. Wiss. Wien, Math.-Naturw. Kl. Bd. 7. 1851.
 14. NAKAYA U., HANAZIMA M. & DEZUNO K. Experimental researches on window hoar crystals, a general survey. Invest. on Snow No. 12, Journ. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. II, vol. III, No. 1, Sapporo, Japan. 1939.
 15. RIGSBY G. P. Crystal fabric studies on Emmons Glacier, Mount Rainier, Washington. Jour. Geol., vol. 59, No. 6 (Glaciological issue), pp. 590-598. Chicago November 1951.
 16. SADEBECK A. Pogg. Ann. Erg.-Bd. 8, pp. 625, 1878. Wied. Ann. 5, p. 576. 1878.
 17. SCHOENTJES H. Fleurs de la glace. Observations, expériences, photographies. Pp. 1-43, 50 pl. Gand 1905.
 18. Symposium on the crystallization of metals, rocks and ice, held at the Royal Geographical Society's House, London, on 7 December 1950 (C. H. Desh, A. G. MacGregor, P. G. Owston). Jour. Glaciol., October 1951, pp. 564-573.
 19. TAMMANN G. Aggregatzustände. Die Zustandsänderungen der Materie in Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Leipzig 1922.
 20. VADILO P. S. Struktura lida ledjanogo pokrova rek. Priroda, izd. A. N. SSSR. No. 3, pp. 52-53. 1951.
-