

Zygmunt Babiński

Instytut Geografii
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Bydgoszcz

**POCHODZENIE I DEGRADACJA
FORM ZMARZLINOWYCH TYPU PINGO W MONGOLII
ORIGIN OF THE PINGO FORMS IN MONGOLIA
AND THEIR DEGRADATION**

Zarys treści: Na tle charakterystyki i występowania wieloletniej zmarzliny w centralnej i zachodniej części Mongolii przedstawiono pochodzenie i degradację form typu pingo. Typologię form i ich pochodzenie omówiono na podstawie trzech głównych miejsc ich koncentracji, zaś degradację na przykładzie kotliny Bayan-Nuurin-Khotnor (Changaj). Analizę form pingo opracowano na podstawie wielokrotnych badań letnich w okresie od 1974 do 2005 roku.

Słowa kluczowe: wieloletnia zmarzlina, formy typu pingo, pochodzenie form pingo, degradacja form pingo, występowanie wieloletniej zmarzliny w Mongolii, kotlina Bayan-Nuurin-Khotnor

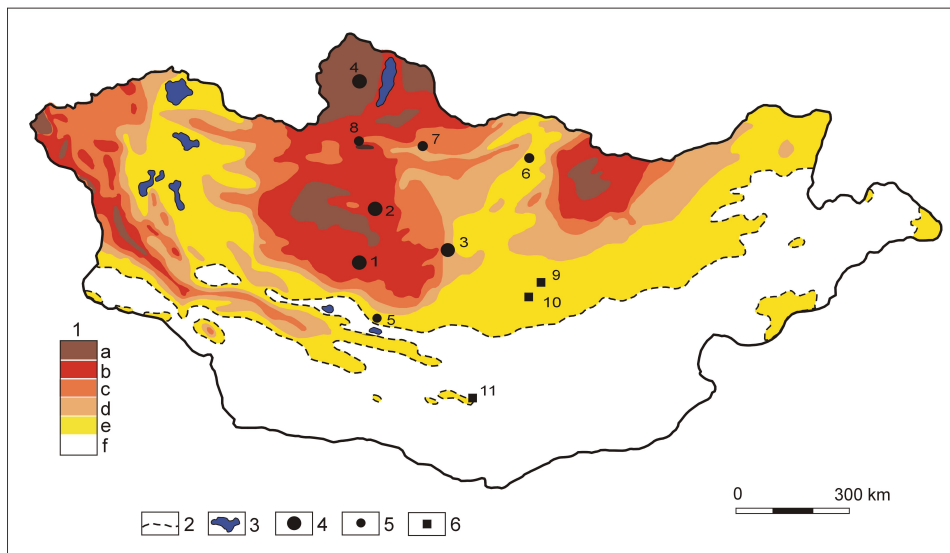
Key words: permafrost, pingo forms, origin of pingo, degradation of pingo, occurrence of permafrost in Mongolia, Bayan-Nuurin-Khotnor Basin

Wprowadzenie

Występowanie wieloletniej zmarzliny jest ściśle związane z odpowiednimi warunkami makroklimatycznymi danego regionu, charakteryzującymi się ujemnym bilansem termicznym. Według A.A. Ziemcova (1960) zewnętrzna granica wieloletniej zmarzliny o charakterze nieciągłym (peryferie zlodowacenia podziemnego) znajduje się w miejscu, w którym średnia roczna temperatura powietrza mieści się w granicach od -1°C do -5°C . Na obszarach chłodniejszych występuje zmarzlina o charakterze ciągłym, przybierając znaczne miąższości przy temperaturze powietrza niższej niż -8°C . Ujemny bilans termiczny gruntu, uwarunkowany szerokością geograficzną i bezwzględną wysokością terenu, modyfikowany jest przez warunki lokalne: rzeźbę terenu, mikroklimat (zastoiska chłodu, pokrywę śnieżną itp.), szatę roślinną, rodzaj i własności fizyczne gruntu (litologię), wilgotność gleby, stosunki hydrologiczne. W ostatnim czasie do czynników wpływających na zmarzlinę należy włączyć także

działalność człowieka (Babiński 1998b, Glazik 1994). Dlatego też marginalny charakter występowania zmarzliny w Mongolii oraz duże zróżnicowanie warunków lokalnych sprawia, że jest ona tu niejednolita i zmienna przestrzennie, podlega znacznym przeobrażeniom. Prawidłowość tę potwierdzają badania prowadzone od 1974 r. przez S.A. Harrisa (2001, s. 30) na obszarze górzystego plateau i w strefie MacMillan Pass w Kordylierach Kanadyjskich. Obszar ten podlegał ustawicznemu ocieplaniu i tam, gdzie średnia roczna temperatura była wyższa niż -2°C , zmarzlina była niestabilna i uległa silnej degradacji, natomiast w strefie, gdzie temperatura była niższa niż -5°C , ocieplenie nie miało na nią wpływu.

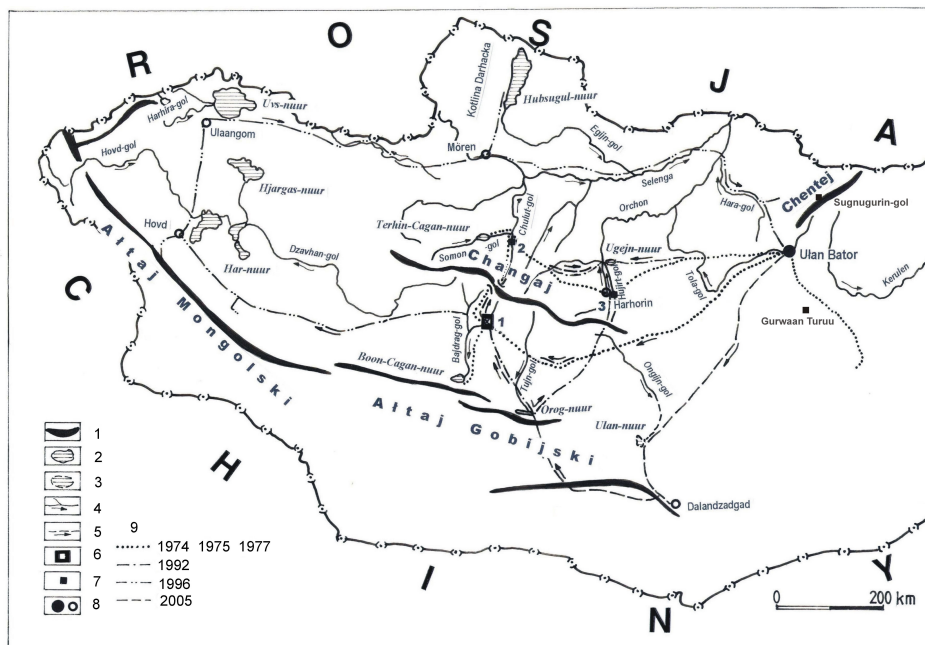
Wieloletnia zmarzlina, oprócz typowego dla niej charakteru występowania w postaci scementowanego lodem gruntu, jest rozpoznawana w terenie w postaci form zmarzlinowych. Należą do nich bągry i gleby poligonalne (traktowane jako podstawowy wskaźnik zalegania zmarzliny), pinga i palsa, jezory soliflukcyjne, kliny mrozowe oraz wszelkiego rodzaju zjawiska związane z rozwojem termokrasu (Jahn 1970).



Ryc. 1. Rozprzestrzenie wieloletniej zmarzliny w Mongolii wg Sharkhuu (2000): 1 – strefy występowania wieloletniej zmarzliny: a) ciągła, b) nieciągła, półwyspowa, c) wyspowa, d) wyspowa-rzadka, e) sporadyczna, f) pozbawiona zmarzliny z sezonowym przemarzaniem i odmarzaniem, 2 – południowa granica maksymalnego rozprzestrzenia zmarzliny, 3 – jeziora, 4 – obszary występowania skupisk form pingo, 5 – pojedyncze pinga, 6 – formy zmarzlinowe strefy marginalnej

Fig. 1. Distribution of permafrost in Mongolia after Sharkhuu (2000): 1 – zones of: a) continuous, b) discontinuous, c) widespread islands, d) rear islands, e) sporadic permafrost occurrence, f) without permafrost; 2 – south boundary of permafrost occurrence, 3 – lakes, 4 – areas of multitude occurrence pingo forms, 5 – single pingo, 6 – forms of the permafrost marginal zone

Celem opracowania jest przedstawienie, na tle mapy rozprzestrzenienia wieloletniej zmarzliny w Mongolii (Gravis 1974, Sharkhuu 2000), występowania form typu pingo (ryc. 1), a także określenie pochodzenia ping, ukazanie specyfiki ich lokalizacji oraz procesu tworzenia i kierunków degradacji. Analizą objęto obszary badań ekspedycji fizycznogeograficznych, głównie Mongolii centralnej i zachodniej (ryc. 2), prowadzonych przez autora w latach 1974, 1975, 1977, 1992, 1996 (Babiński 1995, 1997, 1998a,b), 2001 (Babiński 2001) i 2005.



Ryc. 2. Przebiegi tras ekspedycji autora w latach 1974-2005 (9): 1 – pasma górskie, 2 – jeziora, 3 – zanikłe jeziora, 4 – rzeki stałe, 5 – rzeki okresowe, 6 – kotlina Bayan-Nuurin-Khotnor, 7 – doliny rzek Tarjat i Hujirt z licznymi pingami, 8 – Ulaan Bator i inne miasta

Fig. 2. The routes of author expedition in years 1974 to 2005 (9): 1 – mountain ranges, 2 – lakes, 3 – disappear lakes, 4 – rivers, 5 – periodical rivers, 6 – Bayan-Nuurin-Khotnor Basin, 7 – Tarjat and Hujirt rivers bottom with pingo forms, 8 – Ulaanbaatar and another cities

Występowanie form pingo na tle rozprzestrzenienia wieloletniej zmarzliny w Mongolii

Zmarzliną objęty jest obszar 63,3% powierzchni Mongolii (976 500 km²). Według S.I. Zabołotnika (2001) wieloletnia zmarzlina w formie ciągłej występuje już od wysokości 2500-2800 m n.p.m., natomiast do 1500 m n.p.m. zalega jedynie w obniżeniach den dolin (depresje stanowiące tzw. zastoiska chłodu), na stokach o ekspozycji północnej oraz na działach wodnych. Wydzielono (ryc. 1) pięć stref

występowania zmarzliny: a) ciągłą (zmarzlina pokrywa więcej niż 85% powierzchni strefy), b) nieciągłą (50-85%), c) wyspową (10-50%), d) rzadką wyspową (1-10%), e) sporadyczną (poniżej 1%) oraz strefę f bez zmarzliny, sezonowo zamarzającą. Miąższość zmarzliny w poszczególnych strefach i średnia roczna temperatura powietrza wynoszą odpowiednio: a – 250-500 m, maksymalnie w górach do 800 m, od -4°C do -6°C , b – 120-250 m, od -2°C do -4°C , c – 50-120 m, od -1°C do -2°C , d – 15-50 m, od $-0,2^{\circ}\text{C}$ do -1°C , e – 5-15 m, od $-0,1^{\circ}\text{C}$ do $-0,2^{\circ}\text{C}$, f – 0-5 m, od $0,3^{\circ}\text{C}$ do $-0,1^{\circ}\text{C}$ (Sharkhuu 2000). Problematiczne w tym podziale jest stwierdzenie przez N. Sharkhuu (2001) występowania zmarzliny w strefie f – pozbawionej, jak sama nazwa wskazuje, tej formy zlodzenia. Parametry zmarzliny występującej w tej strefie w pełni odpowiadają obszarowi sporadycznego występowania zmarzliny (Gravis 1974).

Formy zmarzlinowe typu pingo

Nazwa formy zmarzlinowej typu pingo (*hydrolakkolit*, *bugor*, *bułgunniach*) pochodzi z języka eskimoskiego i po raz pierwszy została użyta w literaturze przez A.E. Porsilda w 1938 r. (za: Washburn 1980, Mackay 2005). Jest to forma pozytywna, w kształcie pagóra o zarysie okrągłym lub owalnym – podłużnym. Jej długość (średnica) waha się od kilku do 600 m, natomiast wysokość od około 3 do 70 m (Mackay 1963). Według J.R. Mackaya (2005) prawie $\frac{1}{4}$ światowej liczby form typu pingo występuje na półwyspie Tuktoyaktuk w Kanadzie, z których przeważająca część powstała na obszarach drenowanych jezior o piaszczystych dnach. Pingo zasadniczo powstaje w wyniku utworzenia się jądra lodowego pochodzenia iniekcyjnego z wód powierzchniowych, podzmarzlinowych lub tzw. talików. W zależności od pochodzenia wód, a tym samym i ich krążenia w strefie warstwy czynnej i w zmarzlinie, wyróżnia się za A.E. Porsildem i E. de K. Leffingwellem (Mackay 2005, s. 7) dwa systemy – zamknięty i otwarty.

Pingo w systemie zamkniętym lub „systemu hydrostatycznego” (Mackay 1979), zwane także typem Mackenzie, występuje na obszarach równinnych, na których znajdują się zbiorniki wodne (Mackay 1963, Jahn 1970). W miejscu zbiorników wodnych ocieplający wpływ wody doprowadza do nierównomiernego (opóźnionego w stosunku do otoczenia), sezonowego przemarzania gruntu warstwy czynnej. Zamarzający ze wszystkich stron grunt odizolowuje w zmarzlinie soczewkę wodnistej materii. Na skutek dużego parcia wód ku górze następuje wysadzenie przemarzniętej już warstwy powierzchniowej gruntu. W efekcie powstaje pagór, w którym przemarzające wody tworzą lodowe jądro (Jahn 1970).

Pingo systemu otwartego typu wschodniogrenlandzkiego lub systemu hydraulicznego (Mackay 1979) powstaje w wyniku krążenia wód podzmarzlinowych między stokiem górskim a dnem doliny (kotliny). Wody te, płynąc w formie naczyń połączonych pod zmarzliną ku dnu doliny, nabierają cech wód artezyjskich (w badanej strefie klimatu półsuchego – stepowego jako wody subartezyjskie) i wykorzystując szczeliny w zmarzlinie, taliki itp., dążą ku powierzchni. Napotykając na przemarniętą warstwę czynną, powodują jej wygięcie w kształcie pagóra. Jak twierdzi

A. Jahn (1970), część wód może wydostać się na powierzchnię i wówczas formują się z nich lodowe nabrzemia. Stwierdzono, że pinga systemu otwartego osiągają mniejszą wysokość niż pinga systemu zamkniętego.

Położenie ping na tle mapy występowania wieloletniej zmarzliny w Mongolii

W wyniku wieloletnich badań terenowych stwierdzono występowanie pagórów pingo w postaci obiektów pojedynczych oraz w formie skupisk i to przede wszystkim w centralnej Mongolii (ryc. 1 i 2). Na podobną lokalizację tych form na terenie Mongolii wskazują badacze mongolscy (Tumurbaatar i in. 2005, s. 63), wiążąc ich występowanie z utworami mułkowo-ilastymi rejonu kotliny Nalaih (na południe od Ułan Bator), w depresjach gór Changaj i Ałtaju Mongolskiego, w Kotlinie Wielkich Jezior oraz w dolinach jeziornych Bajanhongor. Ponadto D. Tumurbaatar (2001) stwierdził ich występowanie w Kotlinie Darhackiej, położonej na zachód od jeziora Chubsugul (ryc. 1, pkt 4.4). Potwierdzają to także badania V.I. Vasilieva i in. (1987) w centralnej Mongolii, gdzie ich lokalizacja jest ściśle związana z osadami jeziornymi kotlin śródgórskich i den dolin rzecznych, m.in. Toły i jej dopływów. Podczas badań ekspedycji polsko-mongolskich, prowadzonych w latach 1974-1978, pinga stwierdzono także w górach Chentej w dolinie Sugnugin-gol (Ziętara, Pękala 1980) i w pobliżu stacji Gurwaan-Turuu (Nowaczyk 1984) (ryc. 2). Należy więc przypuszczać, że są to główne miejsca lokalizacji tych form w Mongolii i być może, ze względu na rozległy i trudno dostępny obszar, nie jedyne.

Pinga, na tle mapy rozprzestrzenienia wieloletniej zmarzliny (ryc. 1, sygnatury 4 i 5), najliczniej występują w strefie jej nieciągłego i wyspowego charakteru zalegania. W dwóch przypadkach formy te ukształtowały się w strefie sporadycznego rozprzestrzenienia i tylko w jednym w zmarzlinie ciągłej Kotliny Darhackiej. Z tego wynika, że formy zmarzlinowe pingo w Mongolii są głównie związane ze strefami o nieciągłym – wyspowym charakterze rozprzestrzenienia marzłoci i to w dnach dolin rzecznych oraz w kotlinach. Ponadto powstanie tych form warunkują nie tyle niskie temperatury (zmarzlina o charakterze ciągłym), co morfologia terenu i litologia, kształtująca odpowiedni układ obiegu wody. Jednocześnie należy zauważyć, że w Mongolii wieloletnia zmarzlina o charakterze ciągłym występuje przede wszystkim na obszarach wysokogórskich, gdzie nie ma dogodnych warunków geologicznych do tworzenia się omawianych form.

Geneza ping

Najlepiej rozpoznane i zbadane pinga w Mongolii znajdują się w kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor (ryc. 1, pkt 1, 2 i 6), zostały one opisane przez autora m.in. w pracach z lat 1982, 1994, 1998b. Przeprowadzone w okresach letnich 1974, 1975, 1992 i 1996 roku badania wykazały, że formy te, długości przekraczającej często 100 m, rzędu dziesiątek metrów szerokości i wysokości dochodzącej do kilkunastu metrów (najczęściej 2-6 m), kwalifikują się do systemu otwartego. W ogólnym założeniu oznacza to, że pinga w Mongolii powstają w wyniku krążenia wód podzmarzlino-

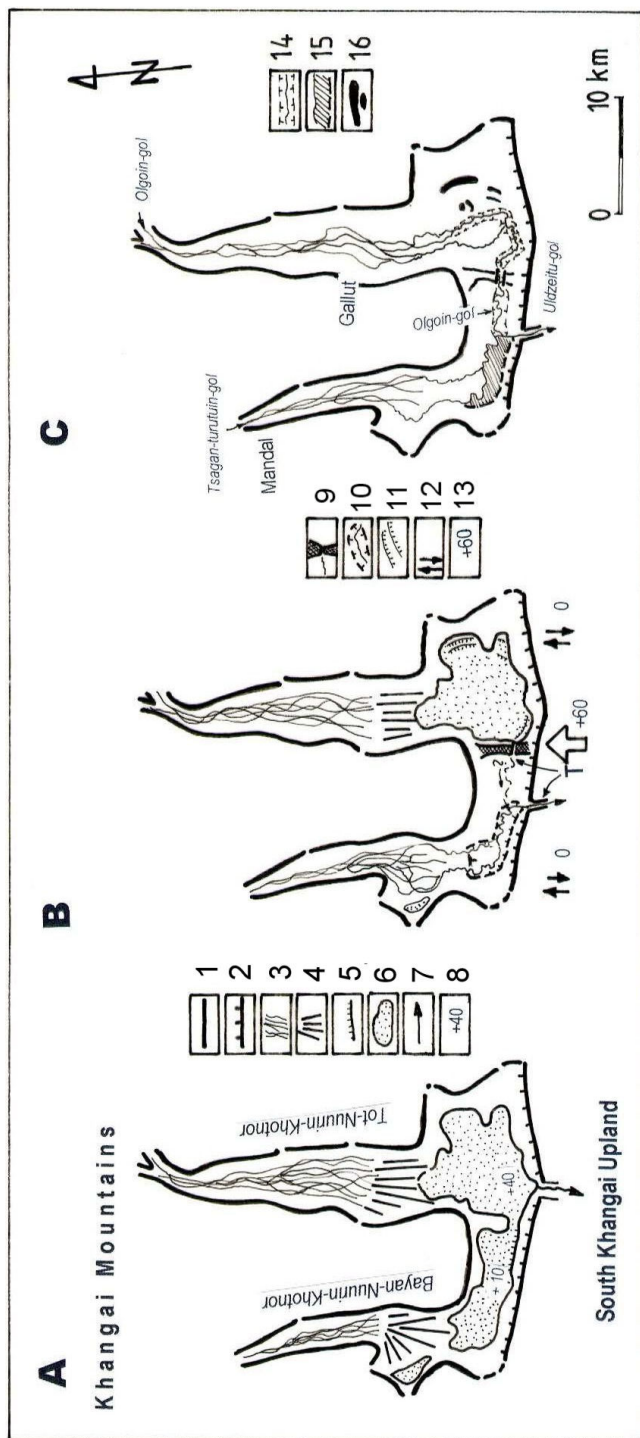
wych, między stokiem górskim a dnem doliny. Stwierdzono również nasilenie się w latach 1992-1996 zarówno powstawania tych form, jak i procesu ich degradacji, co wiązano ze wzrostem wilgotności klimatu.

Rozstrzygnięcie kwestii pochodzenia ping i niejednoznacznego kierunku ich rozwoju w czasie przyniosły dopiero badania przeprowadzone na trasie letniej ekspedycji w 2005 r., uzupełnione analizą zdjęć satelitarnych (Internet: Google Earth). W przypadku trzech skupisk ping, a więc w kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor z rzeką Tsagan-Turutuin (ryc. 1, pkt 1), w dolinie rzeki Chulut (ryc. 1, pkt 2) i w dolinie Hujirt-gol (ryc. 1, pkt 3; ryc. 2, odpowiednio pkt 1, 2 i 3), wspólną cechą ich występowania jest to, że zostały ukształtowane w odcinkach dolin rzecznych, które czasowo funkcjonowały jako zbiorniki jeziorne. W przypadku, gdyby nie musiał być spełniony ten warunek, większość dolin rzecznych Mongolii byłaby miejscem rozwoju ping.

Przyczyną zmian przejścia systemów rzecznych w jeziorne było zamknięcie (przegrodzenie) dolin rzecznych w wyniku ruchów tektonicznych lub szczelinowego wylewu lawy, tworzącej pokrywy bazaltowe. Przykładem wpływu ruchów tektonicznych na zmiany procesu fluwialnego na limniczny jest kotlina Bayan-Nuurin-Khotnor wraz z sąsiednią kotliną Tot-Nuurin-Khotnor (ryc. 3) i dolina rzeki Hujirt, natomiast wylew lawy nastąpił w dolinie rzeki Chulut (ryc. 4).

Południowy stok gór Changaj, w skład którego wchodzi kotlina Bayan-Nuurin-Khotnor, jak wskazują K. Klimek i K. Rotnicki (1977), podlegał aktywnym ruchom tektonicznym także w plejstocenie, co niewątpliwie może sugerować, że mają one swe przedłużenie do czasów obecnych. Jak wynika z badań K. Klimka (1980), popartych szkicem struktur geologicznych bloku changajskiego autorstwa L.P. Sonnenscheina z 1973 r., w wyniku zróżnicowanych przestrzennie ruchów tektonicznych powstało zapadlisko Bayankhongor. V.I. Vasiliev i in. (1987, s. 53) wskazują charakter uskokowy południowych skłonów gór Changaj od wysokości 3500-3200 m n.p.m. do 2300-2100 m n.p.m., często rozciętych głębokimi szczelinami. Dotychczas funkcjonujące systemy rzek Tsagan-Turutuin i Olgoin utraciły możliwość swobodnego odprowadzenia wód na południe dzięki przeszkodzie, jaką stanowiła Wyżyna Południowochangajska (ryc. 3A). U podnóża Wyżyny powstało jezioro, wspólne dla obu rzek, z odpływem w kierunku południowym, w linii doliny Tot-Nuurin-Khotnor. Głębszy akwen, znajdujący się u dotychczasowego ujścia rzeki Olgoin, wypełnił się utworami mułkowo-ilastymi o miąższości około 40 m, płytszy zaś jej dopływu Tsagan-Turutuin około 10-metrową warstwą osadów (ryc. 3A, sygnatura 8). O miąższości tych osadów świadczą m.in. odsłaniające je maksymalne głębokości współczesnych wcięć erozyjnych tych rzek.

W wyniku kolejnych ruchów tektonicznych nastąpiło wydzwignięcie skrzydła południowo-wschodniego Wyżyny Południowochangajskiej o około 60 m wraz z wypiętrzeniem bloku między obydwoma dolinami (ryc. 3B, sygnatura 9). Różnokierunkowe i o różnej intensywności ruchy tektoniczne przyczyniły się także do pęknięcia skorupy w linii rygła (bloku) oddzielającego obydwie baseny oraz na obszarze Wyżyny w linii przedłużenia doliny rzeki Tsagan-Turutuin (prawdopodobnie odpływ istniał tam już wcześniej, przed utworzeniem zapadliska kotliny). W tym momencie nastąpiły zmiany w odpływie wód rzek. Został całkowicie zablokowany odpływ wód w kierunku południowym przez Wyżynę z kotliny Tot-Nuurin-Khotnor



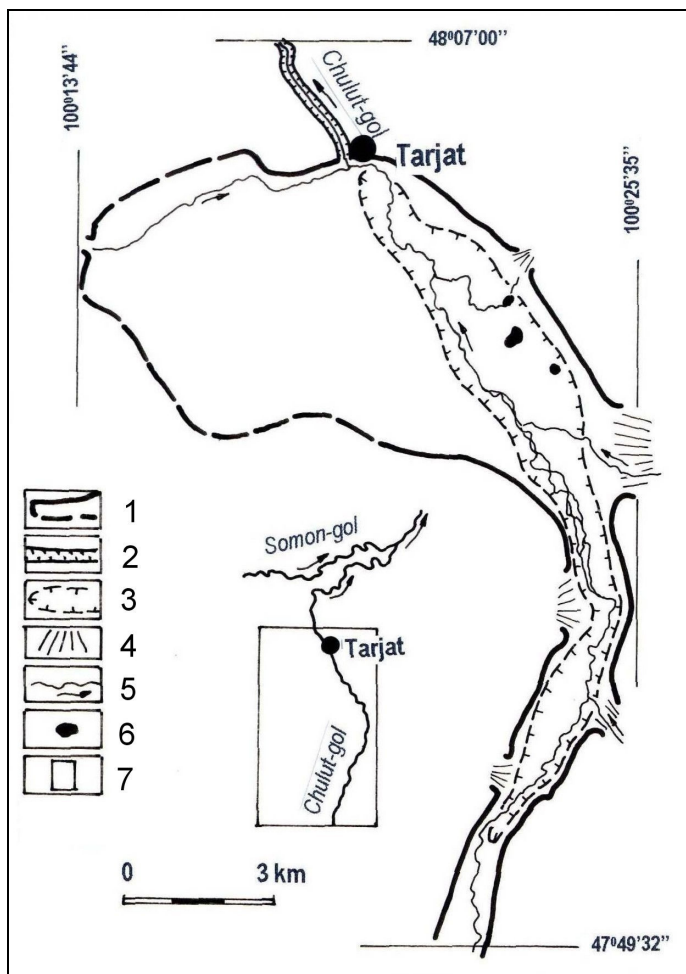
Ryc. 3. Szkic rozwoju procesów rzeczno-jeziornych kotliny Bayan-Nuurin-Khotnor i Tot-Nuurin-Khotnor na tle ruchów tektonicznych Wyżyny Południowochangajskiej: 1 – zarys kotlin, 2 – krawędź Wyżyny Południowochangajskiej, 3 – rzeka rozłokowa, 4 – stożek rzeki, 5 – krawędź terasy, 6 – osady jeziorne, 7 – kierunek odpływu wód z jeziora, 8 – miąższość osadów jeziornych w metrach, 9 – próg tektoniczny, 10 – strefa erozji rzecznej (wcinania), 11 – terasy, 12 – kierunki ruchów tektonicznych, 13 – wysokość ruchów tektonicznych w metrach, 14 – dolina rzeki Olgoin, 15 – strefa występowania form pingo, 16 – jeziora

Fig. 3. The sketch of fluvial and limnological processes development in the Bayan-Nuurin-Khotnor and Tot-Nuurin-Khotnor Basins on the background of tectonic movement: 1 – the sketch of basins, 2 – the edge of South Khangai Upland, 3 – braided river, 4 – alluvial fan, 5 – the edge of terrace, 6 – limnological deposits, 7 – main outflow, 8 – thickness of limnological deposits, 9 – structural threshold, 10 – erosion zone (incision of river), 11 – terraces, 12 – tectonic movement, 13 – the altitude of tectonic movement in meters, 14 – Olgoin river valley, 15 – the zone of pingo forms occurrence, 16 – lakes

i otwarty odziedziczonym korytem z kotliny Bayan-Nuurin-Khotnor rzeką Bajdrag ku jezioru Boon-Cagan (ryc. 2). Powolne, niejednostajne wcinanie się Olgoin-gol w krystaliczne osady bloku, z wyraźnym wykorzystaniem pęknięcia szczelinowego (świadczy o tym niewykorzystanie drogi odpływu przez dotychczasowe połączenie obydwu jezior, położone w fazie A [ryc. 3] niżej powierzchni bloku, a obecnie pokryte stożkami) wyzwoliło proces erozji wgłębnej rzeki w osady jeziorne. Proces ten przebiegał w sposób skokowy, co było związane z różną odpornością skał bloku na erozję, a co ujawniło się w rozwoju wyżej położonych wałów brzegowych we wschodniej i zachodniej strefie brzegowej jeziora kotliny Tot-Nuurin-Khotnor (ryc. 3B, sygnatura 11) oraz niższych 4 teras, tworzących dolinę rzeki Olgoin, wciętą na głębokość około 40 m (ryc. 3C; Rotnicki, Babiński 1977, Babiński 1982). Są to terasy o charakterze erozyjnym, stąd brak tu utworów facji korytowej.

Tymczasem rzeka Tsagan-Turutuin z momentem powstania ujścia wód odziedziczoną doliną przez Wyżynę Południowochangajską i wraz z jej pogłębianiem się, permanentnie, ale i zarazem skokowo – co uwidoczniło się w postaci teras – wciniała się w osady jeziorne, ograniczając się jednak do strefy przykrawędziowej Wyżyny (ryc. 3B). Proces ten wykształcił dno doliny z licznymi korytami (starorzeczami) o charakterze meandrującym, wypełnionymi utworami facji korytowej (piasek i żwir) i oddzielonymi od siebie ostańcami zbudowanymi z utworów jeziornych. Wypełnienie koryt utworami piaszczysto-żwirowymi było możliwe dzięki intensywnemu transportowi rumowiska wleczonego przez rzekę z gór Changaj, a także osiągnięciu osadów facji korytowej podścielających dno dawnego jeziora. W ostatnim przypadku było to możliwe po wcięciu się w pokrywę osadów jeziornych nie grubszą niż 6 m. W ten sposób nastąpiło horyzontalne zróżnicowanie facjalne utworów południowego fragmentu kotliny Bayan-Nuurin-Khotnor, odpowiedniego do tworzenia form pingo. Takiego warunku nie spełnia jednak sąsiednia kotlina Tot-Nuurin-Khotnor, bowiem rzeka Olgoin nie transportuje rumowiska wleczonego (śladowo), a głównie zawieszinę pochodzącą z wyerodowanych osadów jeziornych. Spełnia ten warunek jedynie w strefie kontaktowej rzeki (stożek) z osadami dawnego jeziora na południe od miejscowości Gallut (ryc. 3C) i dlatego tam znajdują się pojedyncze, słabo wykształcone formy pingo. Można więc przyjąć, że warunkiem rozwoju dużego skupiska ping w kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor jest zróżnicowanie facjalne (fluwialno-limniczne) obszaru ich występowania i miąższości osadów jeziornych – budujących strop ping, najbardziej dogodnie w granicach 2-6 m.

Drugi rozpatrywany obszar występowania ping (ryc. 1, pkt 2 i ryc. 2, pkt 2) zajmuje dno doliny rzeki Chulut, powyżej jej dopływu Somon-gol (ryc. 4). W erze kenozoicznej nastąpiły szczelinowe wylewy bazaltów w dolinie rzeki Chulut i jej dopływie Somon oraz w sąsiednim Orchonie i jego dopływie Hujirt (Vasiliev i in. 1987, s. 52), dzięki którym został utrudniony odpływ wód rzecznych ku Selendze. Spiętrzenie wód doprowadziło do utworzenia jezior, z których głębokie jezioro Terhin-Cagan (ryc. 2), dodatkowo przedzielone w linii doliny czwartorzędowym wylewem lawy z wulkanu Horgo, istnieje do dziś. Tymczasem w płytkim jeziorze, utworzonym w odcinku rzeki Chulut, następowała akumulacja utworów mułkowo-ilastych, z jednoczesnym wcinaniem się rzeki w bazalty. Aktualnie Chulut tworzy od miejscowości Tarjat głęboki wąwóz (ryc. 4, sygnatura 2), który ze względu na



Ryc. 4. Szkic rozwoju procesów rzeczno-jeziornych w dolinie rzeki Tarjat: 1 – zarys doliny, 2 – wąwóz wcięty w bazalty, 3 – strefa erozji rzecznej w osadach jeziornych, 4 – stożki napływowe, 5 – rzeki, 6 – jeziora, 7 – badany obszar

Fig. 4. The sketch of fluvial and limnological processes development in the Tarjat river valley: 1 – the sketch of valley, 2 – canyon incised in volcanic basalt, 3 – the zone of river incision in limnological deposits, 4 – alluvial fans, 5 – rivers, 6 – lakes, 7 – investigated area

walory krajoznawcze został wydzielony jako park narodowy. Dalsze wcinanie się rzeki w utwory jeziorne doprowadziło do zróżnicowania osadów dna doliny Chulut na fluwialne i limniczne, podobnie jak w opisywanej wyżej kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor. W ten sam sposób przebiegał proces sedymentacyjno-erozyjny z udziałem osadów jeziornych w dolnym odcinku rzeki Hujirt – prawobrzeżnym dopływie rzeki Orchon (ryc. 1 pkt 3 i ryc. 2, pkt 3), przy czym mamy tu dodatkowo do czynienia z ruchem wypiętrzającym obszaru przegradzającego dna doliny.

W odniesieniu do czwartego skupiska ping w Kotlinie Darhackiej (ryc. 1, pkt 4), opisanego przez D. Tumurbaatara (2001), autor nie posiada informacji co do ich genezy (brak literatury), jak również sam nie prowadził badań na tym terenie. Jak jednak wskazuje wstępna interpretacja zdjęć satelitarnych (Internet: Google Earth), poparta analizą map z *Atlas Oзера Hubsugul* (1989), warunki fizjograficzne Kotliny sugerują duże podobieństwo do wyżej opisanych obszarów występowania ping. Dno Kotliny pokrywają w znacznym stopniu utwory jeziorne porozcinane korytami rzecznyymi, z licznymi jeziorami ałasowymi – największe z nich to Doob-nuur. Wpływ z Kotliny Darhackiej głównej rzeki Shishigt następuje także wąwozem wciętym w utworach bazaltowych z licznymi uskokami tektonicznymi. Duża miąższość osadów jeziornych i małe spadki terenu (dno kotliny) mogą jednak wskazywać na typ zamknięty ping lub, jak w przypadku kotliny Tot-Nuurin-Khotnor, na ich marginalny charakter.

Jak wynika z opisów trzech obszarów występowania ping, znajdujących się w centralnej Mongolii, podstawowym warunkiem ich powstania, poza ujemną średnią roczną temperaturą powietrza, jest zróżnicowana litologia dna doliny rzecznej z udziałem utworów jeziornych, których miąższość nie przekracza grubości pokrywy jądra lodowego (do 6 m). Potwierdza to także, opisana przez J.R. Mackaya (2005), geneza ping na półwyspie Tuktoyaktuk w Kanadzie, z których przeważająca część powstała na obszarach zdrenowanych jezior o piaszczystych dnach. Można więc przyjąć, że powstawaniu ping sprzyja sekwencja pionowa utworów facji korytowej strefy dennej, na której zalegają niewielkiej miąższości utwory limniczne (płytkie jezioro lub strefa wpływu rzeki do jeziora), zróżnicowana poziomo przez procesy fluwialne (wcięcie rzeki meandrującej lub roztokowej w osady jeziorne). Taki układ litologii z udziałem wód rzecznych, dających spadek hydrauliczny, pozwala na obieg wody w strefie ping, typowy dla systemu otwartego, wschodniogrenlandzkiego (Mackay 1979). Na taki obieg wody wskazują szczelinowe wypływy zimnych (0,5-1,5⁰C) wód podziemnych pod ciśnieniem hydrostatycznym spod zmarzliny w miejscach głębokich wcięć rzeki Tsagan-Turutuin (Babiński 1998b). Ich wieloletnie funkcjonowanie świadczy o stałej (a nie z ograniczonymi możliwościami zasilania wód np. z taliku) dostawie wód gruntowych spod wieloletniej zmarzliny (Babiński 1998b).

Podczas wieloletnich badań form zmarzlinowych pingo w Mongolii, obejmujących centralną i zachodnią część tego kraju, pojedyncze formy stwierdzono jedynie w czterech miejscach od skrajnie południowego położenia (45°17'47"N) w dolinie rzeki Tujn, uchodzącej do jeziora Orog, do strefy lasostepu dorzecza Selengi (49° N) (ryc. 1, pkt 5-8). Pinga te położone są bądź bezpośrednio w dolinie rzecznej (rzeka Hara, prawy dopływ Orchon – pkt 6; rzeka Dzulegin, lewy dopływ rzeki Selengi powyżej ujścia Egijn-gol – pkt 7), bądź w obniżeniu dolinnym, którego dno wypełnione jest wodą i ma połączenie z doliną rzeczna (w pobliżu jeziora Holbollin w dolinie Tujn-gol – pkt 5 i w dolinie prawego dopływu rzeki Delger Moron jako lewy dopływ Selengi – pkt 8, ryc. 1). Sądząc po budowie geologicznej i położeniu topograficznym tych form, również one należą do systemu otwartego. Na uwagę zasługuje fakt, że w przypadku formy zmarzlinowej nr 8 (ryc. 1), ze względu na organiczną (torf) budowę stropu pagóra, należy ją zaliczyć do typu palsa (Babiński 1998b).

Analizując genezę ping w Mongolii, trzeba stwierdzić, że w przeciwieństwie do tych form, analizowanych przez J.R. Mackaya (2005) w Kanadzie, których znaczna większość należy do systemu zamkniętego, ich rozwój wiąże się ściśle z systemem otwartym. Dlatego rozmiary tych form w Mongolii nie są tak imponujące, jak ich odpowiedniki w Kanadzie, mają również mniej symetryczne kształty, a więc są bardziej wydłużone. Wśród tej mnogości form, trudno policzalnych ze względu na mniej wyraziste kształty, nie należy jednak wykluczać ping systemu zamkniętego. Do nich można zaliczyć np. 1,5-metrowej wysokości pingo utworzone w centralnej części jeziora łaśowego w dolinie rzeki Chulut (ryc. 1, pkt 2), stwierdzone podczas ekspedycji w 2005 r. Są to jednak przypadki sporadyczne i do tego genetycznie niejednoznaczne z punktu widzenia kłażenia wód podziemnych.

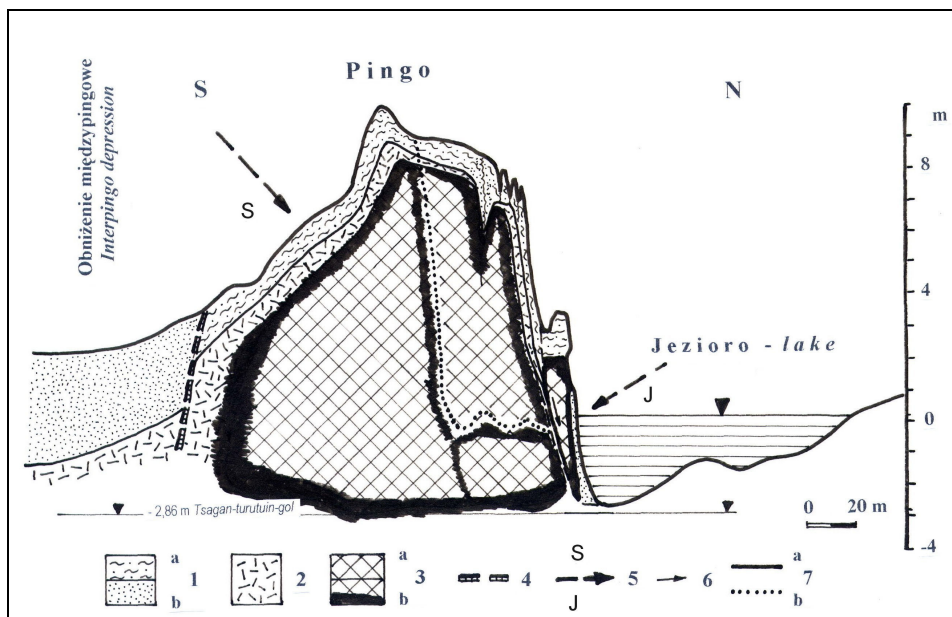
Rozwój i degradacja ping

Pinga systemu otwartego w Mongolii, ze względu na marginalny charakter występowania wieloletniej zmarzliny i strefę klimatu od półpustynnego do lasostepu, osiągają niewielkie wysokości względne, rzadko przekraczające 10 m, przeważnie w granicach 2-6 m. Mają kształt wydłużony, nieregularny, nawiązujący do przebiegu koryt rzecznych, a właściwie do stref międzykorytowych. Ich powstanie wiąże się ściśle ze zwiększoną wilgotnością gruntu. W przypadku małych form – bugrów nadmierna ilość wód wywołuje zjawisko termokrasu, które je niszczy, natomiast dla ping woda jest budulcem ich jąder lodowych, choć jest także czynnikiem ich letniej degradacji. Powstają w sezonie zimowym z wód podziemnych, znajdujących się w strefie saturacji utworów rzecznych (piasek i żwir), a napływających pod ciśnieniem z górnej części zlewni, najczęściej z otaczających gór i wyżyn. Szybko przemarzający grunt piaszczysto-żwirowy, otaczający ze wszystkich stron fragmenty osadów jeziornych wolno zamarzających, powoduje, że pod pokrywą utworów ilasto-mułkowych gromadzi się pod ciśnieniem woda, która następnie znajduje ujście ku górze, gdzie natychmiast zamarza. Tworzące się jądro lodowe, o miąższości do 12 m (najczęściej 1-5 m), wypiętrza pagór pingo, efektem czego jest biegnąca w jego centralnej części szczelina – jako wskaźnik procesu powstawania ping. Inaczej powstanie ping w Kotlinie Darhackiej interpretuje D. Tumurbaatar (Tumurbaatar i in. 2005), który uważa, że powstają one w zimie, ale w wilgotnej strefie saturacji łu i mułku. Jest to jednak wątpliwe, zważywszy na fakt małej zasobności wód w tych utworach, poza cienkimi warstwami lodu. Autor ten także stwierdził występowanie w tej kotlinie sezonowych ping o wysokości 1-2 m i do 1 m szerokości, które ulegają letniej degradacji. Tej wielkości formy zaobserwowano także w kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor, jednak uznano je za formy inicjalne ping (Babiński 1998b), rzadko podlegające degradacji i to w strefie zjawiska termokrasu (przy korycie rzeki Tsagan-Turutuin).

Badane od sezonu letniego 1974 r. pingo w kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor (ryc. 1, pkt 1 i ryc. 2, pkt 1) reprezentuje formę o wydłużonym kształcie systemu otwartego, choć pierwsza informacja o jej genezie wskazywała na pingo systemu zamkniętego (Rotnicki, Babiński 1977). W momencie rozpoczęcia badań długość pagóra

wynosiła około 150 m, szerokość około 160 m i wysokość względna 10 m. Jak wynika z ryciny 5, pingo to przed rozpoczęciem procesu degradacji miało długość co najmniej 240 m. W linii przedłużenia formy znajduje się jezioro, które ze względu na brak typowego wału brzegowego, wskazującego na pochodzenie po-pingo, nie może być uznane w całości za dalszy ciąg zdegradowanej formy. Należy dodać, że jezioro to ma długość prawie 270 m, głębokość maksymalną 2,85 m (Babiński, Grześ 1975) i jest prawdopodobnie starorzeczem Tsagan-Turutuin-gol. Szacunkowa miąższość jądra lodowego tej największej w kotlinie formy wynosiła maksymalnie około 11 m (ryc. 5, sygnatura 3).

Jak wynika z badań Z. Babińskiego (1982, 1998b), degradacja pingo może być inicjowana przez zjawisko termokrasu z udziałem wód jeziornych bądź rzecznych, na skutek insolacji oraz działalności wiatru (ryc. 5). Zarówno proces powstawania, jak i degradacji form typu pingo jest ściśle związany z temperaturą i wilgotnością powietrza. W okresach cieplejszych i bardziej suchych (np. rok 1974) rozwój tych



Ryc. 5. Morfologia i budowa geologiczna pingo w profilu podłużnym S-N w Kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor: 1 – budowa geologiczna: a) mułki i il (utwory jeziorne), b) utwory piaszczyste (rieczne), 2 – zmarzlina, 3 – jądro lodowe: a) stałe, b) ulegające degradacji, 4 – strefa graniczna formy, 5 – kierunki degradacji: S – insolacja, J – termokras jeziorny, 6 – osuwisko termokrasowe, 7 – zarys formy w: a) 1974, b) 2005 r.

Fig. 5. Morphology and geological structure of pingo in longitudinal profile S-N in the Bayan-Nuurin-Khotnor Basin: 1 – geological structure: a/ silt and clay (limnological deposits), b) sand (fluvial deposits), 2 – permafrost, 3 – ice core: a) permanent, b) degrading, 4 – zone limited form, 5 – main directions of pingo degradation, S – insolation, J – thermokarst caused by lake, 6 – thermokarst earth slide, 7 – shape of form in: a/ 1974 and b/ 2005

form oraz ich degradacja przebiegały w sposób mniej dynamiczny, wręcz zaznaczała się ich stagnacja. Jedynie uaktywnił się proces degradacji powodowany insolacją termiczną (zbocza ping o ekspozycji południowej). W okresach wilgotnych natomiast wzmożone zasilanie wodami opadowymi (rzecznymi) zdynamizowało zarówno proces tworzenia się, jak i degradację ping. W pierwszym przypadku dotyczy to dostawy wód do budowy jądra lodowego, w drugim zaś uaktywnia się zjawisko termokrasu. Taki kierunek rozwoju i niszczenia form pingo potwierdziły badania przeprowadzone podczas ekspedycji w latach 2002 i 2005, a szczegółowo opisane w pracach autora z lat 1982, 1994, 1998b i 2001.

Wnioski

1. Rozwój form typu pingo w Mongolii dotyczy głównie strefy występowania zmarzliny o charakterze nieciągłym i wyspowym, i to w części centralnej tego kraju.
2. Badane pinga w Mongolii są systemu otwartego, typu wschodniogrenlandzkiego lub systemu hydraulicznego i powstają w wyniku krążenia wód podzmarzlinowych między stokiem górskim a dnem doliny (kotliny).
3. Ze względu na marginalny charakter występowania wieloletniej zmarzliny i strefę klimatu od półpustynnego do lasostepu pinga osiągają niewielkie wysokości względne, rzadko przekraczające 10 m, przeważnie w granicach 2-6 m.
4. W przypadku trzech (znanych i badanych) skupisk ping, a więc w kotlinie Bayan-Nuurin-Khotnor z rzeką Tsagan-Turutuin, w dolinie rzeki Chulut i w dolinie Hujirt-gol, wspólną cechą ich występowania jest to, że zostały ukształtowane w odcinkach dolin rzecznych, które czasowo funkcjonowały jako zbiorniki jeziorne.
5. Przyczynami zmian przejścia systemów rzecznych w jeziorne było zamknięcie (przegrodzenie) dolin rzecznych w wyniku ruchów tektonicznych lub szczelinowego wylewu lawy, tworzącej pokrywy bazaltowe, a następnie ich „odblokowanie” i powrót do systemów rzecznych.
6. Przejście do systemu fluwialnego spowodowało zróżnicowanie budowy geologicznej doliny (kotliny), umożliwiające proces tworzenia ping.
7. Degradacja ping może być inicjowana przez zjawisko termokrasu z udziałem wód jeziornych bądź rzecznych, dzięki insolacji oraz działalności wiatru.
8. Wieloletnie badania wykazały ścisły związek powstawania i degradacji ping z wahaniami temperatury i wilgotności powietrza.

Literatura

- Atlas Oзера Hubsugul*, 1989, *Glavnoe Upravlenie Geodezji i Kartografii pri Sovete Ministrov SSSR*, Moskwa
- Babiński Z., 1982, *Pingo Degradation in the Bayan-Nuurin-Khotnor Basin, Khangai Mountains, Mongolia*, *Boreas*, 11, s. 291-298
- Babiński Z., 1994, *Rozwój i degradacja form zmarzlinowych typu pingo w Kotlinie Bajan Nuurin-Khotnor, Góry Changaj (Mongolia)*, *Przeł. Geogr.*, LXVI, 1-2, s. 133-150

- Babiński Z., 1995, *Wyprawy fizycznogeograficzne do Mongolii*, Głos Uczelni (UMK Toruń), Wyd. spec., IV(XX), s. 17-18
- Babiński Z., 1997, *II Toruńska Ekspedycja Fizycznogeograficzna „Mongolia 96”*, Przegł. Geogr., 69, 1-2, s. 198-200
- Babiński Z., 1998a, *The Second Toruń Geographical Expedition „Mongolia 96”*. W: *Mongolia 96 – Niektóre zagadnienia badawcze ekspedycji – Raport*, red. Z. Babiński, Zesz. IGiPZ PAN, 52, s. 8-11
- Babiński Z., 1998b, *Charakterystyka wieloletniej zmarzliny i jej form powierzchniowych na trasie ekspedycji Mongolia 96*. W: *„Mongolia 96” – Niektóre zagadnienia badawcze ekspedycji – Raport*, red. Z. Babiński, Zesz. IGiPZ PAN, 52, s. 51-57
- Babiński Z., 2001, *Characteristics of permafrost and its seasonal degradation in zone of island permafrost occurrence in Mongolia*. W: *Fifth Internat. Sci. Conf. on Nature Conditions, History and Culture of Western Mongolia and of Contiguous Regions*, Hovd, Tomsk, 20-24.09.2001, s. 26-27
- Babiński Z., Grześ M., 1975, *Forms of permafrost degradation in the Bayan-Nuurin-Khotnor Valley*, Bull. de l'Acad. Polon. de Sci., Ser. des Sci. de la Terre, 23, s. 177-183
- Glazik R., 1994, *Hydrologiczna rola sezonowego przemarzania i odmarzania gruntu na obszarze Mongolii*, Przegł. Geogr., T. LXVI, z. 1-2, s. 103-118
- Gravis G.F., 1974, *Geografičeskoe rasprostranenie i moščnost mnogoletnemerzlych gornych porod*. W: *Geokriologičeskie uslovija Mongolskoj Narodnoj Respubliki*, Trudy Sovmestnyh Sovet.-Mongol. Nauč.-Issled. Geol. Eksped., 10, Moskwa
- Gravis G.F., 2001, *Permafrost distribution and some indicators of its past changes in Mongolia*, W: *International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Extended abstracts*, 2-7 September, Ulaanbaatar, Mongolia, s. 27-28
- Harris S.A., 2001, *Long-term climate and permafrost monitoring In the Canadian Cordillera*. W: *International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Extended abstracts*, 2-7 September, Ulaanbaatar, Mongolia, s. 29-30
- Jahn A., 1970, *Zagadnienia strefy peryglacjalnej*, Warszawa
- Klimek K., 1980, *Major physico-geographical features of the southern slope of the Khangai Mountains*. W: *Vertical zonality in the Southern Khangai Mountains (Mongolia)*, red. K. Klimek, L. Starkel, Geographical Studies, nr 136, cz. I, s. 9-13
- Klimek K., Rotnicki K., 1977, *The Paleography of the Tot-Nuurin-Khotnor Basin in the Southern Piedmont Area of the Khangai Mts.*, Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Sc. Terre, 25, s. 119-123
- Mackay J.R., 1963, *The Mackenzie Delta Area, N.W.T., Memoir 8*, Geographical Branch, Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa
- Mackay J.R., 1979, *Pingos of the Tuktoyaktuk Penninsula Area, Northwest Territories*, Geographie Physique et Quaternaire, 33, s. 3-61
- Mackay J.R., 2005, *Pingo growth and collapse, Tuktoyaktuk Penninsula area, Western Arctic Coast, Canada: A long-term field study*, Geographie Physique et Quaternaire, 1998, vol. 52; manuscript, internet: www.erudit.org/revue/gpq/1998
- Nowaczyk B., 1984, *Cryogenic forms and structures in discontinuous permafrost of Central Mongolia*, Quaternary Studies in Poland, 5, s. 117-135
- Rotnicki K., Babiński Z., 1977, *Cryogenic Relief in the Bayan-Nuurin-Khotnor Basin*, Bull. de l'Acad. Polon. des Sci., Serie des Sci. de la Terre, 25, 3-4, s. 141-148
- Sharkhuu N., 2000, *Regularity of Permafrost Distribution in Mongolia*, *Transactions of Institute of Geoecology*, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 7
- Sharkhuu N., 2001, *Geocryological monitoring in Mongolia*. W: *International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Extended abstracts*, 2-7 September, Ulaanbaatar, Mongolia, s. 59-62

- Tumurbaatar D., 2001, *Permafrost in the Darkhad Depression of Khubsugul*. W: *International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Extended abstracts*, 2-7 September, Ulaanbaatar, Mongolia, s. 79-81
- Tumurbaatar D., Battogtokh D., Solongo D., 2005, *Permafrost of Mongolia, Mongolian Geoscientist Geology and Geoecology of Mongolia, April-2005*, Mongolian Academy of Sciences, s. 62-67
- Vasiliev V.I., Sheshenia N.L., Tshekhovskij A.L., 1987, *Formirovanie ingenerno-geologičeskich uslovij Centralnoj Mongolii*, Moskwa
- Washburn A.L., 1980, *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*, London
- Zabołotnik S.I., 2001, *The development of frozen ground in Mongolia*. W: *International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Extended abstracts*, 2-7 September, Ulaanbaatar, Mongolia, s. 94-95
- Ziemcov A.A., 1960, *Glubokazalegajuščie tolšči mnogoletnemerzlych gornych porod v Zapadnoj Sibiri*, Izvestia AN SSSR, Ser. Geografija
- Ziętara T., Pękala K., 1980, *Procesy mrozowe w dnach dolin dorzecza Sugnugurin-gol*. W: *Prace Geograficzne VIII*, red. T. Ziętara, Kraków, s. 83-94

Summary

On the basis of permafrost characteristics and occurrence in Central and West Mongolia the process of pingo origin and degradation are presented and discussed. These processes on the basis of the three multitude occurrence forms areas in Central Mongolia are analyzed, and their degradation on the examples of the Bayan-Nuurin-Khotnor Basin only (Khangai Mts). The analyses relate to 30 years (summer period) investigations and observations in Mongolia.