

W północno-wschodniej Alasce, tam gdzie lodowato zimne wody Morza Beauforta opływają wybrzeże Arktyki, rozpościerają się płaskie, nadmorskie równiny pokryte bezdrzewną tundrą. Są to jedne z ostatnich, prawdziwie dzikich pustkowi Ameryki Północnej, które od tysięcy lat pozostają pod wyłącznym panowaniem przyrody. Charakterystycznym zjawiskiem, nieodłącznie związanym z arktyczną tundrą jest wieloletnia zmarzlina (wieczna marzłość), czyli znajdujący się pod powierzchniową warstwą gleby grunt, który zawsze, bez względu na porę roku, pozostaje całkowicie zamrożony.

### Wieczna zmarzlina

Obecność zmarzliny na obszarach arktycznej oraz subarktycznej strefy klimatycznej wynika z występujących tu w ciągu prawie całego roku niskich temperatur oraz małego nasłonecznienia w okresie lata, które pozwala na odpowiednie nagrzanie się (odtajanie) tylko cienkiej, powierzchniowej warstwy gleby, natomiast dostarcza zbyt mało energii, aby rozmrozić grunt znajdujący się poniżej. Wieczna marzłość może sięgać kilkaset metrów w głąb ziemi (najgłębiej sięga na Syberii – nawet do 1600 m), a w jej wnętrzu znajdują się często okazałe bryły lodu, czyli tzw. wieloletni lód gruntowy.

Wieloletnia zmarzlina zalega najpłycej na stokach górskich o północnym wystawieniu, nieco głębiej w dolinach oraz miejscach dobrze nasłonecznionych, natomiast nie występuje w najbliższym otoczeniu cieków wodnych. Choć gleby Dalekiej Północy rozmarzają teoretycznie do głębokości kilkudziesięciu centymetrów, to jednak w rzeczywistości do dyspozycji roślin pozostaje ok. 80-90% miąższości

warstwy czynnej. Dzieje się tak dlatego, że ziemia zaczyna powoli rozmarzać dopiero na początku czerwca, a już we wrześniu temperatury powietrza spadają poniżej 0 °C i przypowierzchniowa warstwa gleby ponownie zaczyna przymarzać. Co ciekawe, ta sama wieloletnia zmarzlina, która wydaje się być symbolem arktycznej martwoty, ma tak naprawdę zbawienny wpływ na prawidłowe funkcjonowanie ekosystemu arktycznej tundry, bowiem tylko dzięki jej obecności woda z wiosennych roztopów nie przesiąka w głąb profilu glebowego, lecz pozostaje przez całe lato oraz jesień w jej przypowierzchniowej warstwie.

Ponieważ na obszarze Arktyki ilość opadów atmosferycznych jest porównywalna z najsuchszymi pustyniami świata

## W krainie

(roczny opad wynosi poniżej 120 mm), wody jest tutaj jak na lekarstwo i tylko dzięki izolacji, jaką daje wieczna marzłość, arktyczna tundra pozostaje przez większą część roku w odpowiednim uwilgotnieniu, a tutejsze skromne zasoby wodne są w stanie utrzymać latem stosunkowo bogaty świat owadów, ptaków, a także ogromne stada dużych ssaków. Woda z roztopionego śniegu lub lodu gromadzi się na powierzchni tundry w postaci płytkich rozlewisk, wsiąkając częściowo w mięsistą matę mchów i porostów. W wyniku postępującego ocieplania się klimatu Ziemi wieloletnia zmarzlina obecnie już nie rozwija się, lecz ulega powolnemu zanikowi.

### Kliny mrozowe

Powtarzające się od tysięcy lat roczne letnie odmrażanie, a następnie zimowe zamrażanie gleb Arktyki doprowadziło z

Kwitnąca tundra arktyczna. (Fot. USFWS)



Gdy nadchodzi alaskańskie lato, gleby Arktyki rozmarzają, ale tylko do pewnej głębokości. Jest ona różna w zależności od szerokości geograficznej i waha się od 30 cm na Przylądku Barrow (najdalej na północ wysunięty fragment Alaski) do ok. 3-4 m na południu stanu. Odmarzająca pod wpływem letniego słońca powierzchniowa warstwa gleby to tzw. warstwa czynna, która niemal zawsze znajduje się w stanie przesylenia wodą i w związku z tym cierpi na brak właściwego napowietrzenia. Taka sytuacja bardzo niekorzystnie wpływa na szatę roślinną, a zwłaszcza na drzewa, których korzenie nie mogą rozwijać się pionowo w dół w głąb profilu glebowego, a jedynie na boki, dlatego też w tundrze arktycznej dominuje niska, płózka się roślinność, tzn. mchy, porosty, trawy oraz turzyce.



Krajobraz alaskańskiej Arktyki, w tle Góry Brookska. (Fot. Greg Weiler, USFWS)

czasem do uformowania się wielu ciekawych elementów przyrody nieożywionej. W miejscach istotnych niedoborów wody wierzchnia warstwa gleby ulega jesienią znacznemu wysuszeniu, tak więc gdy nadchodzi zima, a wraz z nią silne mrozy, zamarznięta gleba kurczy się oraz ulega spękaniu. Powstają wtedy długie, szerokie na ok. 1 cm szczeliny, sięgające kilka lub kilkanaście centymetrów w głąb ziemi. Wraz z nadejściem wiosny do szczelin tych splywa powoli woda z topniejącego śniegu, przy czym dosyć szybko zamarza po zetknięciu się (od spodu) z przemarzniętym gruntem.

W trakcie zamarzania woda zwiększa swą objętość automatycznie rozpychając nieco głębiej, a wypełnione lodem szczeliny mają wtedy w przekroju poprzecznym kształt klinów zwężających się ku dołowi. Gdy nadchodzi lato lód zgromadzony w powiększonych szczelinach topnieje, a spękania wypełniają się większą niż na



Poligony mrozowe w zbliżeniu, na dalszym planie widoczne jeziora wytopiskowe. (Fot. USFWS)

# wieloletniej zmarzliny

się z podmokłej tundry niczym ziemne kurhany. Pagórki te, zwane pingo (słowo pochodzi z języka rdzennych Alaskańczyków Inupiaq, inne określenie to pagórek torfowy, bugar) są zazwyczaj niewielkich

Soczewka wieloletniego lodu gruntowego w odsłoniętym przez erozję brzegu rzeki. (Fot. Al Smith, USNPS)



początku ilością wody. Wraz z początkiem kolejnej zimy woda w szczelinach ulega ponownemu zamarznięciu, tworząc jeszcze większe kliny lodu. Gdy taki proces powtarza się przez kilkaset lat, w miejscu początkowo niewielkich szczelin powstają potężne lodowe kliny (zwane klinami mrozowymi), które u nasady mogą mieć kilka metrów szerokości oraz sięgać do 10 m w głąb gruntu. Mierząc ich długość oraz szerokość obliczono, że największe kliny mrozowe znajdujące się na obszarze alaskańskiej Arktyki formowały się przez ok. 1000 lat.

## Poligony, jeziora wytopiskowe i pingo

Na skutek rozpychania ziemi przez kliny mrozowe, wzdłuż ich nasady tworzą się na powierzchni gleby niskie (do 45 cm wysokości) wały ziemne. Patrząc z lotu ptaka,

wały te łączą się ze sobą tworząc nieregularne wieloboki o kształcie zbliżonym do koła, a ich wnętrza wypełnia latem woda z roztopionego lodu. Wieloboki te, zwane poligonami (mrozowymi lub glebowymi), mogą mieć od 3 do 21 m średnicy, a ich skupisko przypomina z lotu ptaka plaster pszczelego miodu (jest to tzw. sieć poligonalna). Zdarza się, że na skutek silnego promieniowania słonecznego kliny mrozowe ulegają na powierzchni stopnieniu i jeżeli wały kilku sąsiadujących ze sobą poligonów znajdują się poniżej linii wody, następuje ich połączenie w jeden, duży zbiornik wodny, zwany jeziorem wytopiskowym.

Choć dominującym krajobrazem alaskańskiej Arktyki są płaskie, nadmorskie równiny, to jednak od czasu do czasu można natknąć się tutaj na sporej wielkości, kopulaste pagórki, wypiętrzające

rozmiarów (przeważnie 4-8 m wysokości oraz kilka lub kilkanaście metrów średnicy), ale mogą mieć nawet 70 m wysokości oraz 600 m średnicy. Pingo powstają najczęściej w miejscu głębokich jezior wytopiskowych, na tyle głębokich, że pokrywający je zimą gruby lód nie sięga dna, pozostawiając nad nim niewielką warstwę niezamarzniętej wody. Jej wieloletnia obecność powoduje, że w znajdującym się poniżej gruncie głębokość zalegania wiecznej marzłoci stopniowo obniża się, a pomiędzy nią a dnem jeziora powstaje soczewka silnie nawodnionej gleby.

Jeżeli w pewnym momencie jezioro ulegnie znacznemu spłyceciu, np. w wyniku wieloletniej sedimentacji osadów dennych albo na skutek nagłego przerwania wałów ziemnych i rozlania się wody po okolicy, dotychczasowe dno zbiornika wodnego zostaje odsłonięte i poddane wpływom czynników atmosferycznych (niskich temperatur powietrza) aż całkowicie zamarza. W ten sposób zgromadzona w gruncie (pod dotychczasowym dnem jeziora) duża ilość wody zostaje uwieczniona ze wszystkich stron w zamarzniętej, ziemnej skorupie. W konsekwencji proces ten prowadzi do powstania w gruncie dużej soczewki lodu, która z czasem zostaje wypchnięta ku powierzchni gleby tworząc, pokryty cienką warstwą torfu oraz roślinności, zbiornik pingo.

SEBASTIAN BIELAK