

KRONIKA KLIMATU ZAPISANA W SŁOJACH DRZEW

Badania słoju drzew są z powodzeniem prowadzone od XVIII w. Obecnie dostarczają informacji dotyczących zmian klimatycznych, szczególnie zmian wilgotności i temperatury, jakie miały miejsce w ostatnim tysiącleciu.

Magdalena Opała-Owczarek

Instytut Nauk o Ziemi
Wydział Nauk Przyrodniczych
Uniwersytet Śląski w Katowicach, Sosnowiec

Wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne, pomiary dwutlenku węgla i modele komputerowe pomagają nam zrozumieć, jak zmieniają się klimat i saldo wymiany węgla w lasach na świecie. Ale metodologia pozyskiwania tych zaawansowanych technologicznie danych sięga zaledwie ok. 30 lat, ograniczając nasz obraz długoterminowych zmian. Najstarsze tradycyjne pomiary elementów meteorologicznych wykonywane były przez obserwatorów



tyczną i sposób datowania dendrochronologicznego wyróżnia spośród innych metod paleoklimatycznych rozdzielczość roczna, co sprawia, że jest ona bardzo dokładna.

Dendrochronologia

Metoda dendrochronologiczna polega na wyznaczeniu roku kalendarzowego dla każdego słoja (przyrostu rocznego) na badanej próbce drewna. Wykonuje się ją poprzez identyfikację odpowiadających sobie fragmentów wzoru przyrostowego. W celu przedłużenia chronologii w czasie można stosować procedurę datowania pomostowego (*cross-dating*) i łączyć sekwencje przyrostowe przypadające na kolejne odcinki w czasie. Chronologie te są konstruowane z gatunków drzew długowiecznych, a także, zwłaszcza w Europie, z drewna historycznego i archeologicznego, pochodzącego z zabytków architektury i wykopalisk archeologicznych oraz subfosylnych pni (czyli takich, które tylko częściowo uległy procesowi przemiany w skamielinę). Metoda dendroklimatyczna zakłada, że w przyroście rocznym drzewa, poza czynnikami siedliskowymi czy zaburzeniami geomorfologicznymi, zapisany jest przede wszystkim sygnał klimatyczny. Wykorzystując zależność między szerokością przyrostu (aktywnością kambium danego gatunku) a współczesnymi danymi meteorologicznymi oraz zasadę aktualizmu geologicznego (założenie stacjonarności zjawiska) możemy zrekonstruować dawny klimat na podstawie wielowiekowych chronologii przyrostów rocznych drzew. Poza najczęściej stosowanym wskaźnikiem, jakim jest szerokość rocznych przyrostów, coraz częściej wykorzystuje się zaawansowane metody analityczne pozwalające na określenie dodatkowych parametrów, takich jak: gęstość drewna, zawartość pierwiastków śladowych, stosunki izotopów stabilnych, a także szczególne cechy anatomiczne drewna, będące wskaźnikami wyjątkowych warunków klimatycznych panujących w okresie tworzenia się przyrostu drewna.

Koncepcja, iż drzewa wytwarzają coroczne przyrosty, leżąca u podstaw współczesnej dendrochronologii, została przedstawiona już w 322 r. p.n.e. przez Theophrastusa. Pierwszą wzmiankę dotyczącą związku słoików z warunkami pogodowymi odnaleziono w notatkach Leonarda da Vinci z lat 1482–1498. Począwszy od XVIII w., Karol Linneusz oraz inni badacze europejscy opisywali wykorzystanie przyrostów rocznych do określenia wieku drzewa. Współczesna dendrochronologia opiera się na podstawach metodycznych opracowanych przez amerykańskiego astronoma A.E. Douglassa, który założył w 1937 r. pierwsze laboratorium dendrochronologiczne na świecie (Uniwersytet Arizoński w Tucson). To właśnie w Stanach Zjednoczonych zestawiono liczące ponad 8 tys. słoików rocznych chronologie sosny długowiecznej z Gór Białych w Kalifornii. Dla półkuli południowej najstarsze

od połowy XVII w., jednak tylko na pojedynczych stacjach w Europie, na pozostałych kontynentach maksymalny zasięg czasowy serii meteorologicznych to ostatnie 100–150 lat. Natomiast gęstsza sieć automatycznych stacji meteorologicznych na świecie działająca w ramach sieci WMO (the World Meteorological Organization) zbiera dane od zaledwie kilku ostatnich dekad. Główna więc przeszkoda w badaniach długookresowej zmienności warunków klimatycznych to brak odpowiednio długich serii pomiarów instrumentalnych. Ponieważ nie możemy cofnąć się w czasie, aby dowiedzieć się o warunkach klimatycznych z przeszłości, paleoklimatolodzy opierają się na naturalnych źródłach danych, takich jak słoje drzew, rdzenie lodowe i osady dennie jezior i oceanów. Te źródła, zwane danymi „proxy” (wskaźniki pośrednie), poszerzają naszą wiedzę na temat pogody i klimatu z setek do milionów lat. Metodę dendroklima-



dr hab. Magdalena Opała-Owczarek

Jest klimatologiem i paleogeografem, zajmuje się badaniami wykorzystującymi przyrosty roczne drzew i krzewów w rekonstrukcji zmian środowiska przyrodniczego, przede wszystkim warunków klimatycznych. Na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach prowadzi wykłady m.in. na temat zmian klimatu oraz metod jego monitoringu i rekonstrukcji.

magdalena.opala@us.edu.pl

zapisy zapewniają przyrosty roczne kauri z Nowej Zelandii (4500 lat) oraz cyprysa patagońskiego z Chile i Argentyny (3600 lat). W badaniach prowadzonych na przełomie XX i XXI w. dane pochodzące z analizy słoików drzew zyskały szczególne znaczenie w rekonstrukcjach warunków klimatycznych w bogatej w lasy strefie umiarkowanej. W Europie najdłuższe rekonstrukcje warunków termicznych wykonano dla obszaru alpejskiego (755 r. – 2004 r.) oraz okolic jeziora Torneträsk w północnej Szwecji (500 r. – 2004 r.).

Klimat

Pomimo że metoda ta jest z sukcesem wykorzystywana od wielu lat w badaniu zmian środowiska przyrodniczego w przeszłości, ciągle odkrywa przed naukowcami nowe pola badawcze i kolejne wątki metodyczne. Obecnie za kluczowe obszary do badań dendroklimatycznych uważa się obszary wysokogórskie Azji Środkowej (Trzeci Biegun, *Third Pole region*) oraz Arktykę, czyli te tereny, które są szczególnie dotknięte przez współczesne zmiany klimatu, a tempo ocieplenia zachodzi tam najszybciej (w ostatnich kilku dziesięcioleciach było ono dwukrotnie szybsze od globalnej średniej).

Wyniki badań dendroklimatologicznych prowadzonych na obszarze Azji Środkowej zapewniają wielowiekowy kontekst zmian i zmienności warunków klimatycznych dzięki rosnącym na tych obszarach starym okazom drzew, głównie jałowców oraz świerków, których wiek sięga do 1500 lat. Wielowiekowe rekonstrukcje zmian termicznych dowodzą, że współczesne

ocieplenie w tej części świata przekroczyło naturalne wahania temperatury z okresu ostatnich tysięcy lat. Jednak długookresowe trendy opadów atmosferycznych są trudniejsze do oceny, gdyż cechują się dużą heterogenicznością przestrzenną. W ostatnich latach unikatowe badania dendroklimatyczne były prowadzone przez zespół z Uniwersytetu Śląskiego (w ramach projektu NCN) na obszarze Pamiro-Ałaju w Tadżykistanie, który pozostawał dotąd „białą plamą” na mapie rekonstrukcji zmian klimatycznych wysokiej rozdzielczości. Region ten stanowi kluczowe ogniwo w pracach nad rekonstrukcją zmienności warunków klimatycznych Azji, łącząc obszar Tybetu ze strefą wielkich pustyń Azji Środkowej. Dotychczasowe wielowiekowe rekonstrukcje klimatu Azji Środkowej wykorzystujące metodę dendroklimatyczną koncentrowały się przede wszystkim na Wyżynie Tybetańskiej oraz systemach górskich Karakorum i Tien-Shan. Wyjątkowość prowadzonych badań polegała również na tym, że dostarczyły nowych informacji na temat charakteru zmian warunków klimatycznych w okresie ostatniego millennium: podczas okresu ocieplenia średniowiecznego (Medieval Warm Period), małej epoki lodowej (Little Ice Age), a także okresu przejściowego pomiędzy nimi (MWP/LIA transition). Okresy te były do tej pory stosunkowo dobrze poznane głównie dla obszaru europejskiego i Ameryki Północnej. Na podstawie korelacji szerokości przyrostów rocznych jałowców z warunkami opadowymi zrekonstruowano serię opadów atmosferycznych od 650 r. n.e. dla regionu pamińskiego. Dzięki temu możliwe było wyznaczenie czasu trwania poszczególnych okresów su-

1200-letni okaz jałowca w zachodniej części gór Pamiro-Ałajskich (Tadżykistan). Rdzenie z pni drzew tego gatunku, pobierane z wysokości 2800–3200 m n.p.m., zostały użyte do rekonstrukcji warunków opadowych w okresie ostatniego tysiąclecia





Tundra mszysta w okolicach Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie na Spitsbergenie. Widoczna dominacja mchów, wśród których rosną pojedyncze okazy wierzby polarnej wykorzystywane w badaniach dendrochronologicznych

chych i wilgotnych, które do tej pory nie były opisane w tej części Azji. Uzyskane wyniki potwierdziły wpływ zwilgotnień klimatu i susz na rozwój lub upadek społeczeństw (miast) w Azji Środkowej (m.in. królestwo Sogdiany) rozwijających się wzdłuż Jedwabnego Szlaku. Rekonstrukcja dawnej dynamiki zmian klimatu pozwoliła na bardziej wiarygodną interpretację przemian środowiskowo-społecznych zachodzących w słabo rozpoznanych pod względem paleośrodowiskowym obszarach wysokogórskich Azji Środkowej i ich przedpolach. Zagadnieniem wpływu zachodzących zmian klimatycznych na przemiany społeczno-polityczne zajmował się ostatnio międzynarodowy zespół autorów, który wyniki swoich badań (opierających się m.in. na metodzie dendrochronologicznej) przedstawił w obszernej monografii *Socio-Environmental Dynamics along the Historical Silk Road*.

Arktyczny las

W ostatnich latach obserwuje się także wzrost zainteresowania badaniami dendroklimatycznymi w obszarach polarnych i subpolarnych. Pomimo braku drzew w Arktyce występuje drzewiasta roślinność krzewinkowa. Te niewielkie, płozące rośliny tundry, takie jak wierzba polarna, wierzba żyłkowana czy brzoza karłowata, wytwarzają przyrosty roczne, które mogą być wykorzystywane w analizach dendrochronologicznych. Tego typu badania zostały rozpoczęte m.in. w południowo-zachodnim Spitsbergenie w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w 2007 r. przez zespół geografów z Uniwersytetu Wrocławskiego. Obecnie jest to modelowy obszar dla arktycznych ba-

dań dendroklimatycznych, przede wszystkim z uwagi na infrastrukturę stacji oraz dostępność do szczegółowych instrumentalnych danych klimatycznych. Skala czasowa wydaje się mniejsza w porównaniu z informacjami zapisanymi w słojach drzew, gdyż maksymalny wiek krzewinek tundrowych to ok. 120 lat, ale musimy pamiętać, że na obszarach polarnych pomiary stacjonarne były prowadzone niesystematycznie i tylko w wybranych punktach. Wykorzystanie przyrostów rocznych krzewinek umożliwia rekonstrukcję wybranych elementów klimatycznych, sięgającą poza okres dostępnych pomiarów instrumentalnych. Jest to szczególnie ważne, biorąc pod uwagę dramatyczne i bardzo szybkie zmiany klimatyczne obserwowane w obszarach podbiegunowych. Badania interdyscyplinarnego zespołu naukowców z czołowych polskich uniwersytetów wykazały, że krzewinki są doskonałym wskaźnikiem współczesnych zmian klimatycznych, przede wszystkim w kontekście funkcjonowania ekosystemu lądowego tundry, co daje możliwość przewidywania trendów tych zmian w przyszłości. O ile jeszcze na początku XXI w. krzewinki wyraźnie reagowały na wzrost temperatury i wytwarzały szerokie przyrosty roczne, to od kilku lat mamy do czynienia z tzw. stresem suszowym, zaznaczającym się coraz węższymi słojami. Przestał więc oddziaływać pozytywny wpływ temperatury, a tundra z procesu zazielenienia (greening) przechodzi w stadium brązowienia (browning). To obecne wysuszenie Arktyki doskonale jest widoczne także np. na Syberii czy w Arktyce Kanadyjskiej, gdzie obserwowane są coraz częstsze pożary.

ZDJĘCIA PIOTR OWCZAREK

Chcesz wiedzieć więcej?

Opala-Owczarek M., Niedźwiedź T., *Last 1100 yr of precipitation variability in western central Asia as revealed by tree-ring data from the Pamir-Alay*, „Quaternary Research” 2019, 91 (1), 81–95.

Opala-Owczarek M., Pirożnikow E., Owczarek P., Szymański W., Luks B., Kępski D., Szymanowski M., Wojtuń B., Migala K., *The influence of abiotic factors on the growth of two vascular plant species (Saxifraga oppositifolia and Salix polaris) in the High Arctic*, „Catena” 2018, 163, 219–232.

Owczarek P., Opala-Owczarek M., Rahmonov O., Razzakov A., Jary Z., Niedźwiedź T., *Relationships between loess and the Silk Road reflected by environmental change and its implications for human societies in the area of ancient Panjkent, Central Asia*, „Quaternary Research” 2018, 89 (3), 691–701.

Speer J., *Fundamentals of tree-ring research*, University of Arizona Press, Tucson 2010.

Socio-Environmental Dynamics along the Historical Silk Road, red. Yang L., Bork H.-R., Fang X., Mischke S., Springer-Nature Press, Heidelberg 2019.