

SUWALSKI



A

UNIwersYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA

Obniżenie Szeszupy położone w południowej części doliny podlodowcowej Szeszupy, którą wody powodzi lodowcowych płynęły w kierunku bram Bachanowa i Szeszupki (A) oraz płaskie dno doliny podlodowcowej Szelmant Wielki, zasilającej wypływy powodzi lodowcowej w bramie Prudziszek (B)

O tym, jak odkryto dowody na istnienie katastrofalnych powodzi lodowcowych na Suwalszczyźnie związanych z ostatnim zlodowaceniem oraz o przyczynach tych zjawisk.

Piotr Weckwerth

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
 Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Badanie przeszłości geologicznej pozwala naukowcom na zrozumienie procesów, które w efekcie zmian klimatycznych będą w przyszłości kształtować rzeźbę powierzchni Ziemi. Ta główna

zasada aktualizmu geologicznego jest szczególnie istotna w kontekście dynamicznie przebiegających zmian klimatu, których konsekwencje często miały charakter katastrofalnych zmian krajobrazu. Odkrycie takich procesów ma przełomowe znaczenie zwłaszcza wówczas, gdy wpływały one na ponadregionalne zmiany środowiska przyrodniczego. Rodzi się zatem pytanie, czy współcześnie w dziedzinie nauk o Ziemi oraz powszechnie dostępnej i obszernej wiedzy dotyczącej rozpoznania morfologii i budowy geologicznej powierzchni kontynentów badacze mogą dokonać przełomowych odkryć. Jeśli tak, to które

KATAKLIZM



UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA



**dr hab.
Piotr Weckwerth**

Jest absolwentem Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, doktorem habilitowanym nauk o Ziemi w dziedzinie geografii (specjalność: geomorfologia). Od wielu lat związany zawodowo z Wydziałem Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej UMK w Toruniu, autor publikacji naukowych poświęconych przede wszystkim geomorfologii glacialnej i fluwialnej, sedymentologii osadów klastycznych, paleogeografii i geologii czwartorzędu.
pweck@umk.pl

z procesów kształtujących krajobrazy Ziemi miały przełomowe znaczenie dla ich rozwoju?

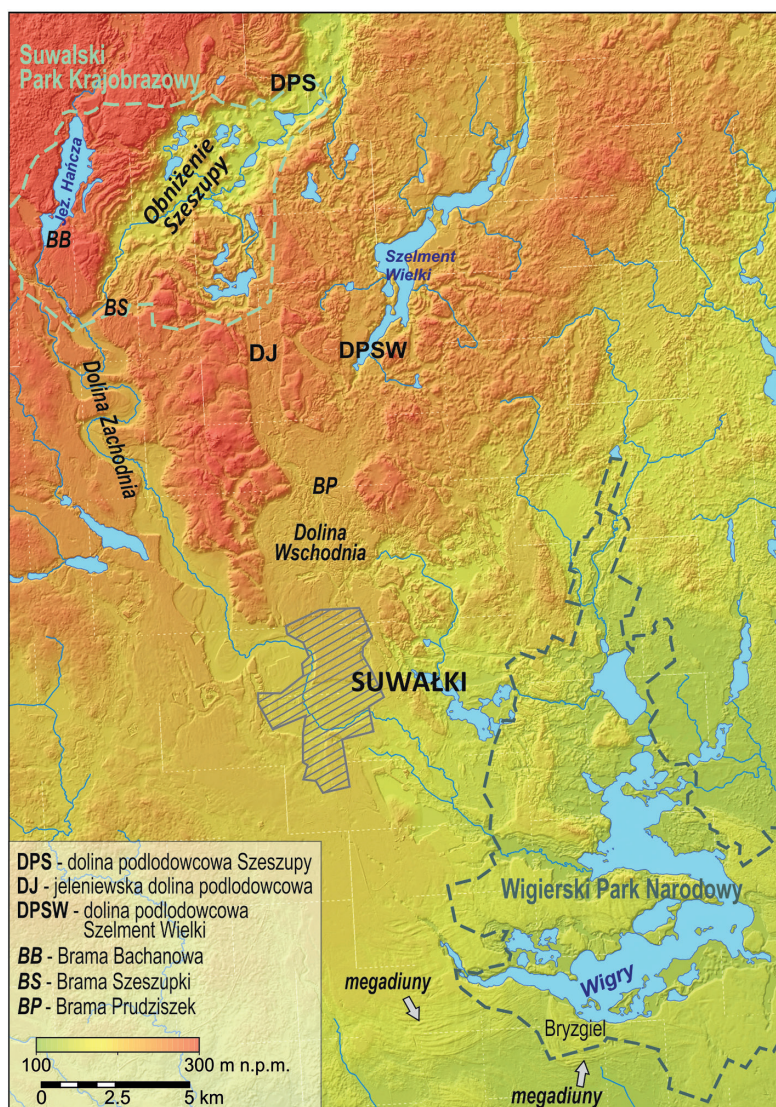
Nowa metodyka – nowe odkrycia

Przełomem w badaniach naukowych w dziedzinie nauk o Ziemi i środowisku, a zwłaszcza w badaniach nad genezą form powierzchni terenu, okazało się wykorzystanie danych Lidar (Light Detection and Ranging), pochodzących ze skaningu laserowego powierzchni terenu. Dane Lidar umożliwiają bowiem zobrazowanie powierzchni Ziemi w postaci modelu cyfrowego o dużej rozdzielczości i jego szczegółową, trójwymiarową analizę. Analiza ta stała się nowym kierunkiem w badaniach geomorfologicznych, ponieważ umożliwia detekcję niezauważalnych dotychczas w terenie i na mapie topograficznej cech form rzeźby terenu. W ten sposób dynamicznie rozwijająca się wieloaspektowa analiza numerycznego modelu terenu (NMT) jako nowoczesna metoda badań form rzeźby terenu pozwoliła na rozpoznanie wielu nieznanych dotąd świadectw minionych zjawisk o katastrofalnym

przebiegu i przełomowym znaczeniu dla interpretacji rozwoju współczesnego krajobrazu Ziemi. Stąd też wyrazem nastania nowej ery wielkich odkryć w tej dziedzinie dzięki zastosowaniu nowych metod w badaniach geomorfologicznych, geograficznych i geologicznych jest rozpoznanie nowych form rzeźby terenu. Wiele z nich powstało pod koniec ostatniej epoki lodowcowej w wyniku ocieplenia klimatu, kiedy następował szybki ubytek masy lodowców i gwałtowny zanik rozległych lądolodów.

Megapowodzie lodowcowe

Do procesów geologicznych, które gwałtownie i na dużą skalę potrafią dokonywać katastrofalnych zmian w krajobrazie Ziemi, należy działalność erozyjna i akumulacyjna rzek o skrajnie dużych przepływach. Zarówno współcześnie, jak i w czasie ostatniej epoki lodowcowej takimi przepływami cechują się powodzie lodowcowe, do których może dochodzić w wyniku spływu wielkich jezior, powstałych w wyniku gromadzenia się wody z topniejących lodowców. Najbardziej



Ukształtowanie powierzchni terenu oraz główne elementy systemu morfogenetycznego utworzonego przez suwalską megapowódź lodowcową

spektakularne i katastrofalne w skutkach powódzie lodowcowe mają miejsce współcześnie na Islandii, a rzeki zasilane wodami jezior podlodowcowych osiągały przepływy do blisko 1 mln m³/s. Dowody na znacznie większych rozmiarów powódzie lodowcowe zostały odkryte w USA, gdzie spływy wód roztopowych, zgromadzonych w dawnych jeziorach Missoula i Agassiz, wynosiły do kilkunastu milionów metrów sześciennych na sekundę. Dla porównania skali tych ekstremalnych procesów współczesny, średni przepływ Amazonki w strefie jej ujścia jest szacowany na 209 tys. m³/s. Duże ilości słodkich wód roztopowych, które dostawały się z lądolodów skandynawskiego i laurentyjskiego do Oceanu Atlantyckiego pod koniec ostatniego zlodowacenia, zakłócały cyrkulację prądów morskich i ograniczały transmisję ciepła z niskich do wysokich szerokości geograficznych, a tym samym miały istotny wpływ na globalne zmiany klimatu. Znalezienie dowodów na te megapowódzie lodowcowe było kluczowe dla zrozumienia genezy

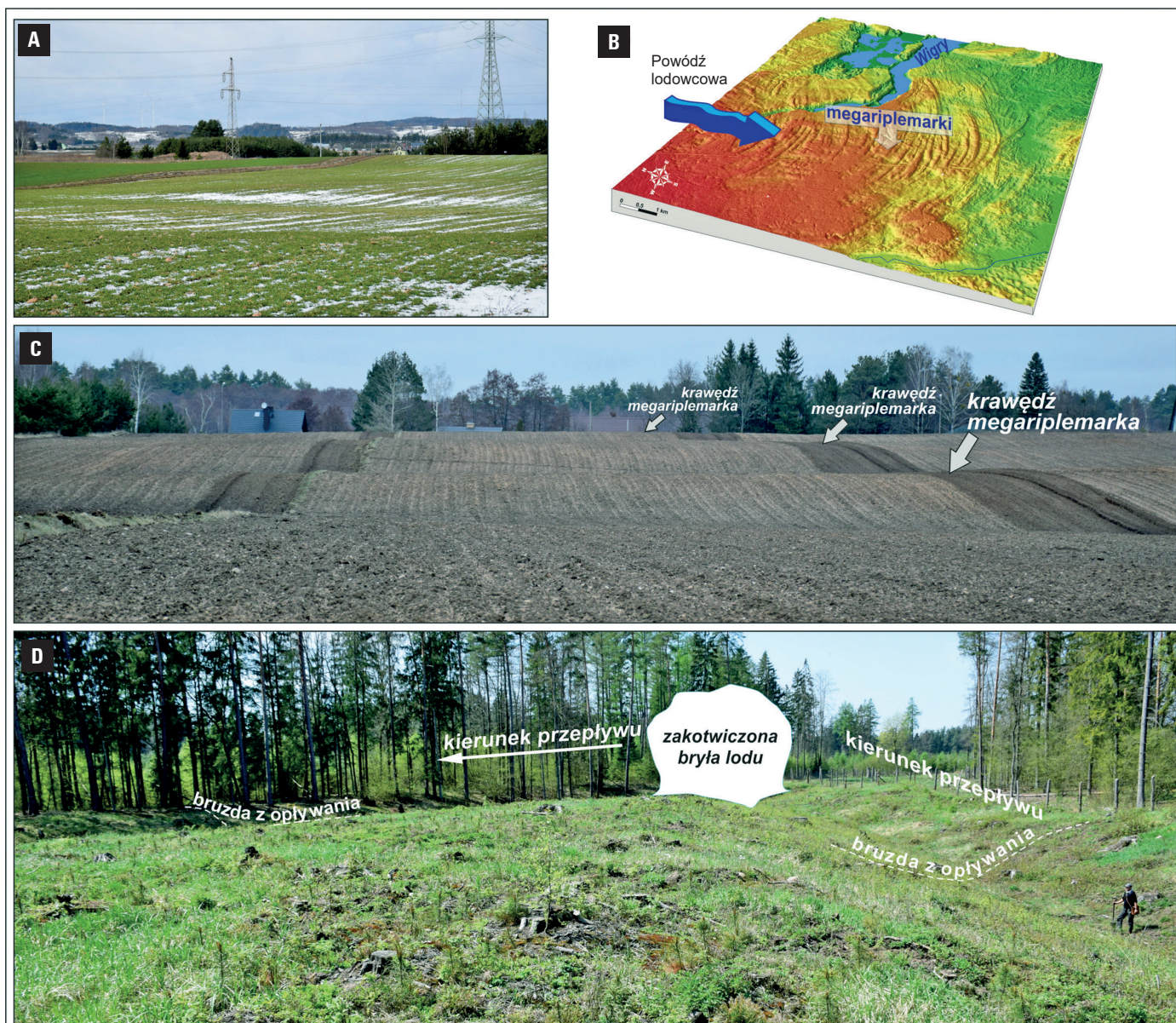
krajobrazu wielu regionów świata oraz fundamentalne dla wyjaśnienia zmian klimatycznych pod koniec ostatniego zlodowacenia.

Niemalże 100 lat po odkryciu największych znanych na Ziemi powodzi lodowcowych, do których doszło w czasie ostatniego zlodowacenia we wschodniej części stanu Waszyngton w Ameryce Północnej (w dorzeczu rzeki Kolumbia), podjęto prekursorskie badania na obszarze Pojezierza Suwalskiego. Celem badań było rozpoznanie enigmatycznych jak dotąd form rzeźby terenu (pod uwagę brano cechy morfologiczne, budowę geologiczną, wiek i genezę). Pierwsze rezultaty badań wskazywały na przełomowe odkrycie form rzeźby terenu powstałych w strefie przedpola ostatniego lądolodu skandynawskiego w wyniku spływu wielkich ilości wód z jeziora lodowcowego, mającego charakter powodzi lodowcowej. Formy te tworzą kompletny, spójny i uporządkowany przestrzennie system, powstały w wyniku drenażu jeziora podlodowcowego w czasie ostatniego zlodowacenia, nieznanego dotąd w Europie.

Dowody

Badania geomorfologiczne prowadzone na Pojezierzu Suwalskim pozwoliły na zidentyfikowanie form krajobrazu typowych dla powodzi lodowcowych. Są to dwa powiązane z sobą systemy przepływu powodzi lodowcowej. Pierwszym z nich jest system odwodnienia podlodowcowego, drenującego jezioro podlodowcowe, które istniało prawdopodobnie na terenie współczesnej Litwy. W skład tego systemu wchodziły dwie doliny podlodowcowe (dolina podlodowcowa Szeszupy, dolina jeziora Szelment Wielki). Świadectwem przepływów powodzi lodowcowej w tych dolinach są głębokie przegłębienia w ich dnie oraz megaskalowe formy glacialne. Te ostatnie mają charakter wielkich, krętych i równoległych względem siebie wałów, tworzących skupiska w zachodnim i północnym otoczeniu obniżenia Szeszupy. Ich długość sięga do 3 km, szerokość do 1,5 km, a rozdzielające je kanały mają głębokość do niemal 30 m. Na powierzchni tych wałów występują głazowiska, wśród których wyróżnia się Głazowisko Łopuchowskie będące efektem erozji podłoża lądolodu przez wody powodzi lodowcowej.

Przełomowe znaczenie dla rozpoznania dowodów powodzi lodowcowej na Suwalszczyźnie i zdefiniowania skali tego wydarzenia miały wyniki badań geomorfologicznych form rzeźby terenu w strefie proglacialnej, a więc na przedpolu dawnego lądolodu. W strefie tej znajdują się dwie główne doliny proglacialne (wschodnia i zachodnia), którymi wody powodzi lodowcowych podążały na południe, począwszy od bram lodowcowych, gdzie wypływały one spod lądolodu. Bramy Bachanowa i Szeszupki zasilają dolinę zachodnią, a brama Prudziszek dawała początek dolinie wschodniej. Obie doliny były głównymi arte-



Wybrane formy krajobrazu powstałe na przedpolu lądolodu w efekcie suwalskiej megapowodzi lodowcowej:

- A. płaskie dno doliny wschodniej na północ od Suwałk,
 B. pole megariplemarków utworzonych na dnie rzeki o głębokości około 20–24 m w wyniku akumulacji osadów niesionych przez powódź lodowcową na południe od Suwałk,
 C. pole megariplemarków znajdujące się w okolicy miejscowości Bryzgiel (na południe od jeziora Wigry),
 D. bruzdy powstałe w wyniku opływania bryły lodu transportowanej przez wody powodzi lodowcowej, która uległa zakotwiczeniu na dnie rzeki w końcowej fazie tej powodzi

riami, którymi wody roztopowe płynęły w kierunku Suwałk i tam tworzyły wspólny odpływ wód powodzi lodowcowej. Jego efektem było utworzenie rozległej i w większości płaskiej powierzchni z naniesionymi osadami piaszczysto-żwirowymi. Na południe od Suwałk ta powierzchnia jest urozmaicona przez wiele form tworzących współkształtne wały wygięte na kształt łuków. Są one także zbudowane z piasków i żwirów akumulowanych przez wody roztopowe. Profile poprzeczne tych wałów są asymetryczne, tzn. stoki występujące po stronie północnej mają dwukrotnie mniejsze nachylenie niż stoki położone po południo-

wej stronie linii grzbietowej. Formy te są interpretowane jako gigantyczne wały prądowe nazywane megariplemarkami lub megadiunami, powstałymi na dnie szerokiej i głębokiej rzeki, którą płynęły wody powodzi lodowcowych. Podobne pod względem morfologicznym, jednak wielokrotnie mniejsze formy, występują współcześnie na dnie wielu rzek, a ich wysokość nie przekracza z reguły kilkudziesięciu centymetrów. Gigantyczne megariplemarki, które znajdują się na południe od Suwałk, osiągają wysokość do 8,5 m (średnio 3,1 m) oraz szerokość do 420 m (średnio 163 m). Obliczenia dokonane na podstawie rozmiarów megadiun

suwalskich pozwoliły na oszacowanie głębokości powodzi lodowcowych w okolicy Suwałk na mniej więcej 21 m. Wielkość przepływu tych wód sięgała nawet 2 mln m³/s. Taka wielkość przepływu pozwala na jego zaklasyfikowanie do megapowodzi lodowcowych, ponieważ wynosi on powyżej 1 mln m³/s. W ten sposób suwalska megapowódź lodowcowa jest zaliczana do największych tego typu ekstremalnych zdarzeń odkrytych do tej pory na Ziemi.

Wyjątkowy system krajobrazowy związany z suwalską megapowodzią lodowcową tworzą również inne, typowe dla tego rodzaju zdarzeń formy rzeźby terenu. Unikatowym na skalę europejską i charakterystycznym elementem początkowego odcinka doliny wschodniej jest krajobraz typu „scabland” (krajobraz pagórków i obniżen powstały w wyniku rwącego przepływu wody), który był rozpoznany po raz pierwszy w przypadku powodzi lodowcowych w Ameryce Północnej (w stanie Waszyngton). Na północ od Suwałk, u wylotu bramy Prudziszek, ten typ krajobrazu jest zdominowany przez zespół wydłużonych lub owalnych obniżen bezodpływowych, powstałych w wyniku erozji podłoża przez systemy wirów rozwijających się podczas ekstremalnie szybkiego przepływu wód. Ponadto do form rzeźby terenu, które można uznać za właściwe dla megapowodzi lodowcowych w okolicy Suwałk, należą skupiska zagłęben bezodpływowych.

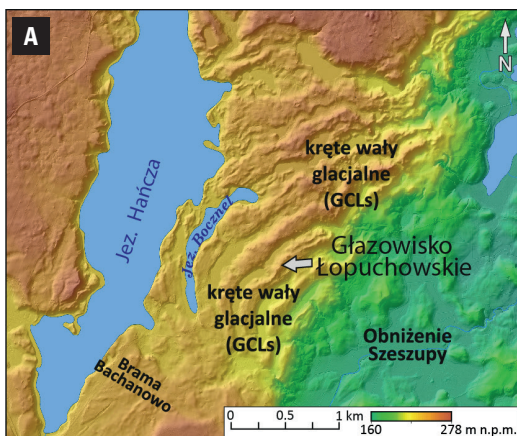
Tworzą one charakterystyczne, linijnie ukierunkowane zespoły, obejmujące maksymalnie kilkanaście okrągłych lub owalnych obniżen o średniej szerokości 29 m i długości 32 m. Rozmiary tych zagłęben odpowiadają średnicom brył lodowych niesionych przez wody lodowcowe w czasie powodzi do momentu utraty energii przepływu niezbędnej do ich transportu. Dochodziło do tego w końcowej fazie powodzi lodowcowej i skutkowało zakotwiczeniem brył lodowych na dnie rzeki.

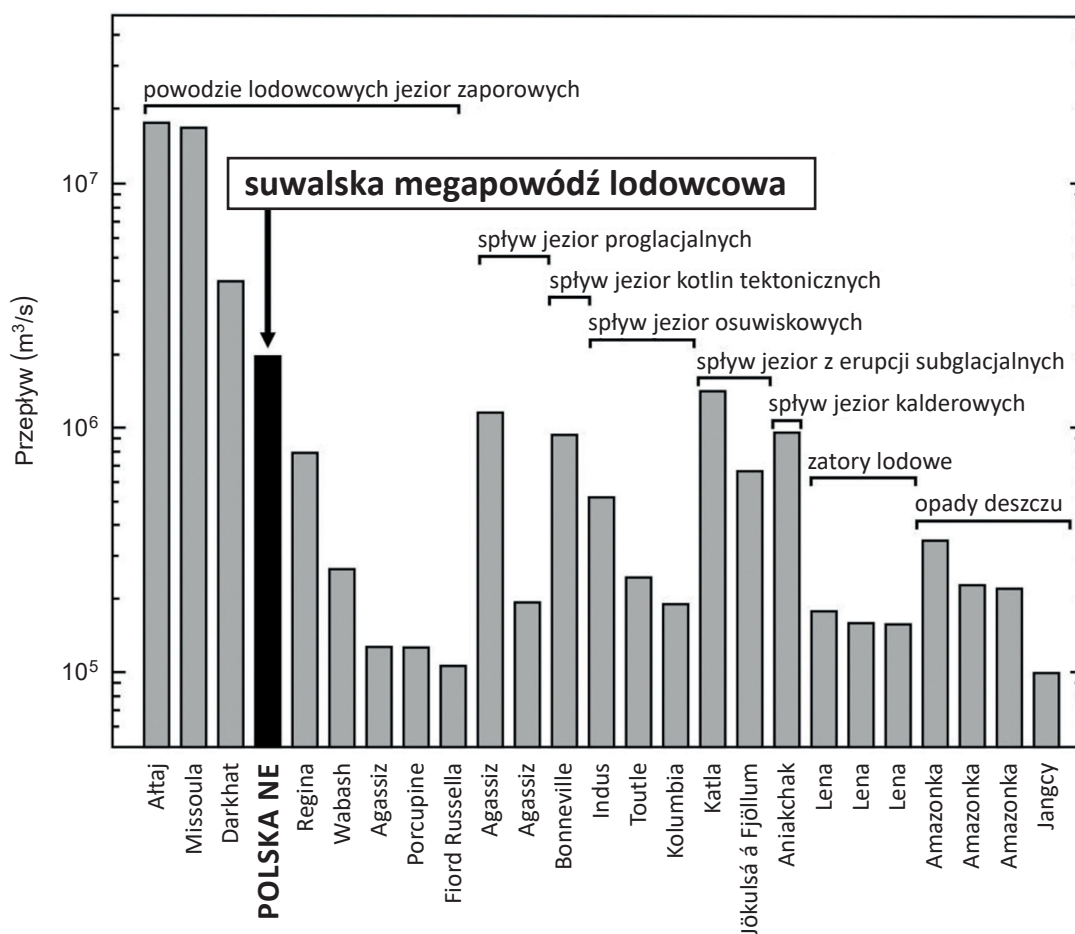
Sukcesywne zmniejszanie się głębokości płynących wód roztopowych było także przyczyną rozwoju kolejnych, istniejących współcześnie w krajobrazie dowodów megapowodzi lodowcowej w okolicy Suwałk. Należą do nich wydłużone, specyficzne obniżenia, które powstały symetrycznie po stronie zaprawdowej zakotwiczonych brył lodu lodowcowego. Obniżenia te mają charakter wąskich i długich bruzd w kształcie litery „V” otwartej w kierunku przepływu wód i noszą nazwę śladów opływania. Długość śladów opływania, które powstały w okolicy Suwałk, sięga do 760 m.

Znaczenie odkrycia

Formy powierzchni terenu, związane genetycznie z powodzią lodowcową, do których dochodziło w okolicy Suwałk pod koniec ostatniego zlodowacenia, tworzą złożony i unikatowy system krajobrazo-

- A. Lokalizacja zespołu krętych wałów glacialnych w zachodniej części doliny podlodowcowej Szeszupy.
- B. Zbocze rynny rozdzielającej kręte wały glacialne, powstałej w efekcie powodzi lodowcowej pod lądolodem w Łopuchowie.
- C. Kulminacja jednego z wałów glacialnych oraz położone w jej obrębie Głazowisko Łopuchowskie, będące efektem erozji podłoża lądolodu w czasie powodzi lodowcowej





Wielkość przepływu wód roztopowych megapowodzi suwalskiej na tle innych współczesnych i dawnych wielkich powodzi na świecie (według O'Connor i in., 2002)

wy. Jego wyjątkowość polega na istnieniu kompletnego, bo składającego się z dwóch integralnych części układu obejmującego podlodowcowy (subglacjalny) i przedlodowcowy (proglacjalny) zespół form wskaźnikowych dla przepływu wód roztopowych o charakterze katastrofalnej i megaskalowej powodzi lodowcowej. Jego odkrycie było możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych metod badań geomorfologicznych, w których niebagatelne znaczenie miały analizy wysokorozdzielczego numerycznego modelu terenu, opracowanego na bazie danych Lidar. Stanowią one współcześnie jedno z podstawowych narzędzi pozwalających na dokonywanie przełomowych odkryć w naukach o Ziemi i środowisku.

Poza odkryciem systemu form rzeźby terenu związanego z powodziami lodowcowymi w północno-wschodniej Polsce przełomowe znaczenie dla rozpoznania genezy krajobrazu polodowcowego Europy Środkowej okazały się mieć wyniki rekonstrukcji wielkości przepływu wód powodzi lodowcowej. Ze względu na to, że wynosił on mniej więcej 2 mln m³/s, można mówić o suwalskiej megapowodzi lodowcowej. Dzięki uzyskanym wynikom stało się możliwe określenie roli przepływów wód roztopowych o skrajnie wielkiej skali w rozwoju systemu dolinnego

w Europie. Odkrycie to umożliwia rozpoznanie stopnia udziału dużej dostawy słodkich wód roztopowych do północnego Atlantyku i jej roli w globalnych zmianach klimatu u schyłku ostatniego zlodowacenia. Uzyskane dotychczas wyniki badań geomorfologicznych umożliwiły skorelowanie w czasie i przestrzeni oraz określenie związku katastrofalnych powodzi lodowcowych Suwalszczyzny z głównymi etapami formowania rzeźby terenu na Nizinie Europejskiej i etapami recesji ostatniego lądolodu. Odpowiadając zatem na pytanie, który z procesów kształtujących współczesne krajobrazy Europy Środkowej miał przełomowe znaczenie dla ich rozwoju, można wskazać suwalską megapowódź lodowcową. Wywarła ona bowiem niebagatelny wpływ na rozwój podstawowych arterii systemu dolinnego Europy Środkowej przez dostawę do niego ogromnych ilości wód roztopowych pod koniec ostatniego zlodowacenia. ■

Prezentowane wyniki badań są związane z realizacją grantu pt. „Dowody geomorfologiczne i implikacje paleogeograficzne katastrofalnych powodzi i szarży lodowcowych południowego sektora lądolodu skandynawskiego w późnym wistulianie (MEASSIS)” (nr 2018/31/B/ST10/00976), finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Chcesz wiedzieć więcej?

Weckwerth P., Wysota W., Piotrowski J.A., Adamczyk A., Krawiec A., Dąbrowski M., *Late Weichselian glacier outburst floods in North-Eastern Poland: Landform evidence and palaeohydraulic significance*, „Earth-Science Reviews”, 2019.

Weckwerth P., Wysota W., *Megapowodzie lodowcowe*, „Głos Uczelni”, 11–12/2019.

Weckwerth P., Wysota W., Kalińska E. (red.), *Glacial megaflood landforms and sediments in North-Eastern Poland*, 2020.