

**Karolina Sobczak¹, Katarzyna Bieja¹, Maciej Dłużewski¹,
Piotr Gierszewski², Anna Michno³**

¹Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Zakład Geomorfologii
karolina.sobczak1@gmail.com

²Polska Akademia Nauk
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Zakład Zasobów Środowiska i Geozagrożeń

³Uniwersytet Jagielloński
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi
Zakład Geomorfologii

**WPLYW MORFODYNAMIKI KORYT RZECZNYCH
NA DZIAŁALNOŚĆ CZŁOWIEKA W ATLASIE WYSOKIM
(NA PRZYKŁADZIE DOLINY GÓRNEGO DADES – MAROKO)**

**Impact of river channels morphodynamic on human activity in the
High Atlas Mountains. Case Study of Upper Dades Valley, Morocco**

Abstract: The paper describes the results of research in the Upper Dades Valley in the High Atlas Mountains in Morocco. The purpose of the research was to identify the impact of river channels changes, fluvial accumulation and erosion on human activity. Fieldwork and maps were used to characterize the structure of the Dades river channel and the intensity of present-day fluvial processes. Research data show that the Upper Dades Valley is shaped primarily by short but frequent and intense hydrometeorological events. The structure of the Dades river channel indicates a complex functionality. Tributary episodic *riviers* and gorges sections supply most of the weathering material. Narrow sections of Dades channel serve for material as transfer zones, while deposition occurs across broader areas. Research has shown that extreme fluvial processes occurring in semi-arid mountains result in fast river channels changes and accelerated deposition of weathering material across valley floors, which usually leads to limits on the development of agriculture in such areas.

Słowa kluczowe: procesy fluwialne, morfodynamika koryt rzecznych, góry wysokie, strefa półsucha, dolina górnego Dades, Atlas Wysoki, Maroko

Key words: fluvial processes, river channel morphodynamic, high mountains, semi-arid zone, Upper Dades Valley, High Atlas Mountains, Morocco

WSTĘP

Doliny rzeczne kształtowane są poprzez erozyjno-akumulacyjną działalność wód płynących przy zróżnicowanym udziale procesów stokowych. Pełnią one ważną funkcję tranzytową, a ich dna stanowią w obszarach górskich lokalną bazę akumulacyjną dla części materii wynoszonej z dolin bocznych oraz ze stoków.

Doliny w obszarach górskich są bardzo atrakcyjne z punktu widzenia potrzeb człowieka. Dostęp do wody, urodzajne gleby a także rzeźba dolin (obecność płaskich powierzchni terasowych) sprzyja ich gospodarczemu wykorzystaniu, głównie rolnictwu, osadnictwu i komunikacji. Lokalizacja działalności człowieka w obszarach górskich, głównie w dnach dolin, związana jest z dużym nachyleniem stoków, które często uważa się za czynnik decydujący o wzmożonej intensywności ruchów masowych.

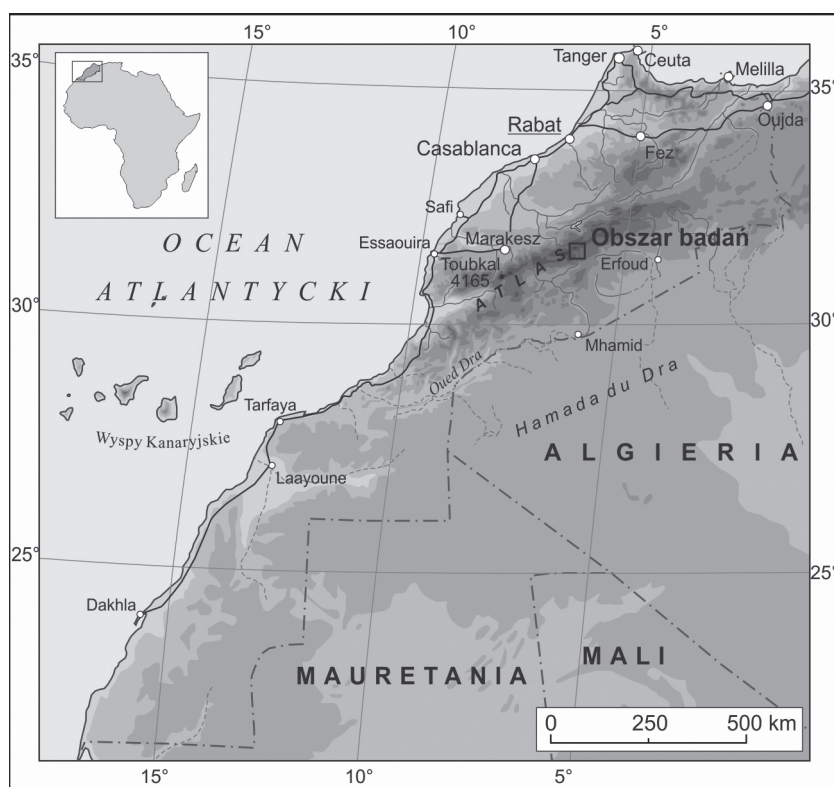
W ostatnich kilkudziesięciu latach w obszarach suchych i półsuchych południowej części Atlasu Wysokiego notuje się silną antropopresję sprzyjającą zwiększeniu dynamiki procesów rzeźbotwórczych, w szczególności procesów stokowych oraz fluwialnych. Wzrost dynamiki procesów stokowych związany jest z degradacją szaty roślinnej, której intensywność jest odwrotnie proporcjonalna do odległości od siedzib ludzkich. Pozyskiwane jest drewno na opał oraz roślinność na paszę. Ostatnio zanotowano także znaczny wzrost pozyskiwania roślin do celów leczniczych. Chęć pozyskania pod uprawy dodatkowych terenów w dolinach powoduje konieczność zwięzania koryt rzecznych. Budowane obwałowania ograniczają intensywność erozji bocznej, zwiększając jednak, w czasie wezbrań, intensywność erozji dennej grubofrakcyjnego materiału korytowego.

Celem badań prowadzonych w latach 2009-2011 w dolinie górnego Dades w Atlasie Wysokim było określenie wpływu funkcjonowania koryt rzecznych na działalność człowieka.

Badania prowadzono w ramach projektu MNiSzW nr N N306 115435 pt.: „Wpływ działalności człowieka na degradację środowiska przyrodniczego dolin rzecznych w klimacie suchym i półsuchym – na przykładzie dolin rzecznych Dades-Draa (południowe Maroko)”.

OBSZAR BADAŃ

Jako obszar badań wybrano górny odcinek doliny Dades położony w południowym Maroku w granicach centralnej części Atlasu Wysokiego (ryc. 1). Źródła rzeki znajdują się na wysokości 2900 m n.p.m. na stokach masywu Ich n'O-usri. Koniec badanego odcinka doliny, o długości 131 km, znajduje się na wysokości 1526 m n.p.m. w miejscowości Boumalne.

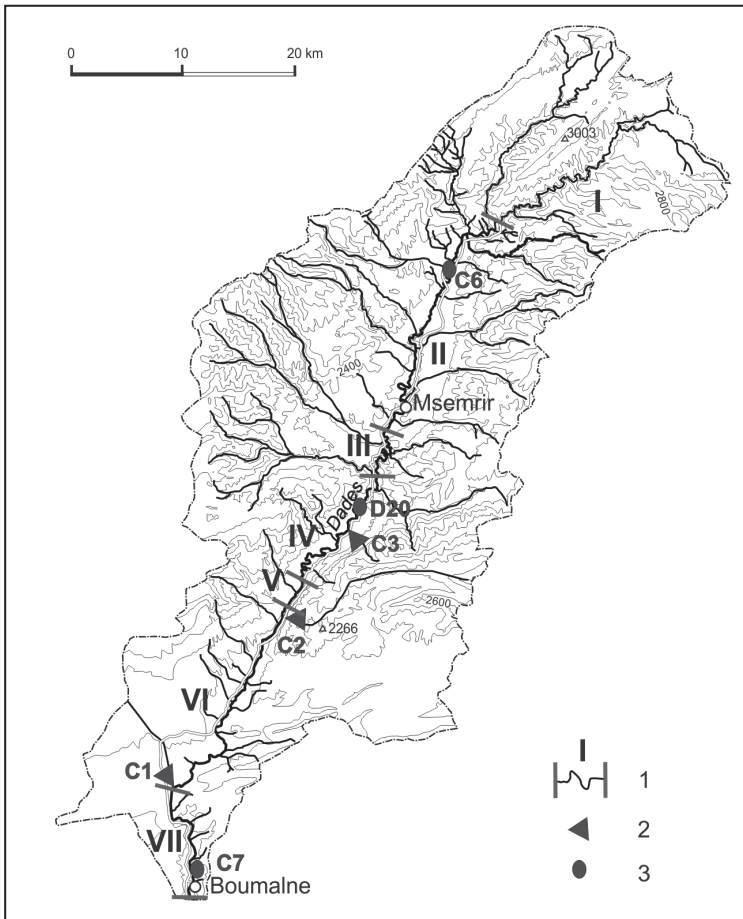


Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań.

Fig. 1. Location of study area.

Dades jest rzeką typu roztokowego o stałym odpływie. Górna część zlewni ma powierzchnię 1525 km². Wykazuje ona silne rozczłonkowanie (ryc. 2). Na badanym obszarze rzekę zasilają kilkadziesiąt dopływów, lecz funkcjonują one wyłącznie epizodycznie. Górna i środkowa część badanego fragmentu zlewni zbudowana jest z gruboławicowych skał osadowych, głównie górnourajskich wapieni, margli oraz piaskowców. Dolną część budują natomiast silnie sfałdowane paleogeńskie warstwy zlepieńców oraz wczesnoplejstocenne osady kamienisto-piaszczysto-gliniaste (Beauchamp i in. 1999, Piqué 2001).

Opady deszczu i śniegu w Atlasie Wysokim są zasadniczym źródłem zasilania w wodę nie tylko terenów wysokogórskich, ale również obszarów na ich przedpolu. Maksymalne roczne sumy opadów osiągają tutaj około 900 mm (Schultz i in. 2008). Na przedpolu Atlasu Wysokiego w Kotlinie Ouarzazate roczne sumy opadów nie przekraczają 300 mm (Schulz, de Jong 2004). Należy jednak podkreślić, że około 40% wody zgromadzonej w pokrywie śnieżnej (ekwiwalent wodny) stanowiącej podstawowe źródło alimentacji rzeki w obszarze górskim traczone jest w wyniku sublimacji (Schulz, de Jong 2004, Schultz i in. 2008).



Ryc. 2. Obszar badań doliny górnego Dades: 1 – numeracja i granice odcinków morfodynamicznych, 2 – analizowane stożki napływowe, 3 – analizowane formy akumulacji korytovej.

Fig. 2. Study area in the Upper Dades Valley: 1 – numbering and boundaries of morphological sections, 2 – investigated alluvial fans, 3 – investigated river channel accumulation landforms.

Charakterystyczną cechą odpływu rzeczno-górnego Dades jest jego bardzo duża zmienność wieloletnia. Jest to związane z szybką infiltracją wód opadowych i roztopowych niesprzyjającą formowaniu się odpływu powierzchniowego i podpowierzchniowego. Bilans wodny sporządzony dla górnej części dorzecza Dades wskazuje, że 49% sumy opadów stanowią straty na ewapotranspirację, odpływ obejmuje 28% sumy opadów, z czego na odpływ powierzchniowy przypada zaledwie 3%. Pozostała część opadu używana jest na wypełnienie różnych form retencji w zlewni (de Jong i in. 2005). Największym odpływem jednostkowym charakteryzują się cząstkowe zlewnie wysokogórskie

(Atlas Wysoki) w NE części dorzecza. W zlewni górnego, źródłiskowego biegu doliny Dades wynosi on około 3,5-4,5 l/s/km² (Fink, Knippertz 2003). Średni wieloletni przepływ wody w górnym biegu Dades w profilu hydrometrycznym Ait Moutad (powyżej Boumalne) zamykającym zlewnię o powierzchni 1525 km² wynosi 33,3 m³/s, co daje wartość odpływu jednostkowego wynoszącą 21,8 dm³/s/km² (DRH-Agadir 2003, za de Jong i in. 2008). Okresy o największych odpływach pojawiają się dwa razy w roku: jesienią (wrzesień-grudzień) oraz wiosną (marzec-maj). Najniższe odpływy występują natomiast latem (czerwiec-sierpień) oraz w zimie (styczeń-luty) (Youbi 1990). Okresy te korespondują więc z okresami o najwyższych sumach opadów oraz czasem topnienia pokrywy śnieżnej w Atlasie Wysokim. W porze suchej przepływ w górnym Dades gwarantowany jest przez głębokie wody podziemne typu krasowego związane z kompleksem zdeformowanych tektonicznie dolomitów i wapieni liasowych o zróżnicowanej przewodności hydraulicznej.

METODY BADAWCZE

Przeprowadzone badania miały na celu poznanie dynamiki koryta Dades, a także ocenę ciągłości oraz funkcjonalnej spójności systemu korytowego, szczególnie w kontekście warunków dostawy i transportu osadów. Głównym źródłem informacji było kartowanie terenowe, uzupełnione analizą map topograficznych w skali 1:50 000 i obrazów satelitarnych. W profilu podłużnym koryta Dades wydzielono odcinki morfodynamiczne, które różnią się wykształceniem i funkcjonowaniem. Granice odcinków wyznaczono wstępnie na podstawie przebiegu koryta w planie. Zostały one zweryfikowane w terenie na podstawie analizy typu koryta oraz wykształcenia form korytowych. Przeprowadzone pomiary dotyczyły form i osadów korytowych. Ostatnią grupę danych stanowiły parametry morfometryczne zlewni danego odcinka zebrane na podstawie map topograficznych. Informacje ilościowe dla danego odcinka koryta posłużyły następnie do wyliczenia użytecznych przy analizie koryta wskaźników liczbowych takich jak krętość i spadek. Charakterystyka struktury koryta, a przede wszystkim funkcji poszczególnych odcinków morfodynamicznych wymagała przeprowadzenia badań nie tylko w obrębie samego koryta, ale również w dopływach. Badaniami objęto więc także trzy stożki aluwialne zlokalizowane w odcinkach ujściowych dolin bocznych (ryc. 2), na których przeprowadzono szczegółowe kartowanie geomorfologiczne przy użyciu GPS RTK. Uzyskane wyniki pozwoliły na stworzenie trójwymiarowych modeli tych form.

W celu poznania współczesnej dynamiki procesów fluwialnych a także znaczenia koryt bocznych dla wielkości dostawy materiału do doliny głównej i bezpośrednio do koryta Dades wykonano analizę kształtu ziaren materiału aluwial-

nego (Zingg 1935). Badania prowadzono w trzech frakcjach (5-10, 10-15, 15-20 cm). Analizie poddano po 50 otoczków dla każdej frakcji, w każdym wyznaczonym wcześniej odcinku reperowym (ryc. 2). W czasie pomiarów analizowano również skład petrograficzny otoczków. Pomiarów wykonano w obrębie stanowisk w dolinie głównej (Dades) oraz w tych samych przedziałach frakcji na stanowiskach zlokalizowanych na stożkach napływowych dolin bocznych (ryc. 2).

WYNIKI

Wykształcenie koryt rzecznych, ich struktura i dynamika zależą od cech środowiska przyrodniczego zlewni, w szczególności od zróżnicowania litologii i rzeźby, warunków klimatycznych, gęstości szaty roślinnej a także od stopnia antropopresji. W oparciu o badania terenowe i analizy kameralne koryto górnego Dades podzielono na siedem odcinków morfodynamicznych.

W źródłowym odcinku (nr I) o długości 37 km (ryc. 2) Dades jest rzeką okresową zasilaną wodami roztopowymi oraz opadowymi. Dno doliny charakteryzuje niewielka szerokość (10-50 m). Koryto ma dużą średnią wartość spadku (19,6‰) i układ meandrujący (współczynnik krętości koryta – $Wk = 1,84$). Koryto kształtowane jest głównie przez procesy erozyjne (dominuje erozja wgłębna i boczna). Materiał dostarczany ze stromych stoków przez spłukiwanie i erozję liniową jest szybko odprowadzany w czasie częstych w tym odcinku wezbrań w dół doliny. Z tego względu większe i trwałe formy akumulacyjne występują tam jedynie sporadycznie.

W niżej położonym odcinku (nr II) o długości 35 km dolina Dades przechodzi w rozległą kotlinę śródgórską (do 1030 m szerokości). Koryto w tym odcinku jest również meandrujące ($Wk = 1,61$), a jego średni spadek wynosi 6,4‰. Jest ono wycięte w różnowiekowych pokrywach aluwialnych, dominują w nim procesy erozji bocznej oraz redepozycji osadów. Występują tu powszechnie łachy przybrzeżne i centralne zbudowane głównie z materiału grubofrakcyjnego. Materiał transportowany podczas wezbrań akumulowany jest także na rozległych terasach zalewowych i nadzalewowych.

Struktura i funkcjonowanie koryta Dades najbardziej zróżnicowane są poniżej II odcinka. Wyróżnić tu można dwa krótkie odcinki stanowiące przełomy strukturalne (odcinek III o długości 6,4 km i odcinek V o tej samej długości) oraz dłuższy (23 km) IV odcinek łącznikowy (ryc. 2), w którym wzrost szerokości dna doliny uwarunkowany jest mniejszą odpornością skał podłoża. W odcinkach przełomowych o rozwoju koryta decyduje typ podłoża i procesy stokowe. Dolina w tych odcinkach wycięta jest w litej skale, jest wąska i głęboka, a minimalna szerokość dna doliny wynosi ok. 5 m. Spadek koryta w obu odcinkach przełomowych jest znaczny i wynosi około 7,9‰. Odcinek III charaktery-

zuje się znacznie większą krętością ($Wk = 2,91$) niż odcinek V ($Wk = 1,11$). W odcinkach przełomowych koryto Dades wykazuje wyraźną tendencję do erozji wgłębnej, choć w odcinku III niewątpliwie duże znaczenie w jego rozwoju ma również erozja boczna. Formy akumulacyjne występują w postaci łańcuch meandrowych i śródkorytowych wyłącznie w odcinku III. Duże znaczenie w odcinkach przełomowych ma również dostawa materiału do koryta bezpośrednio ze stoków przez sploty gruzowe lub obrywy. Produkty wietrzenia skał są w tych odcinkach włączane do systemu fluwialnego i zazwyczaj akumulowane poniżej odcinka przełomowego, gdzie stopniowo zwiększa się szerokość dna doliny i maleje spadek koryta.

Morfodynamika i struktura koryta w odcinku IV, znajdującym się pomiędzy odcinkami przełomowymi związana jest z litologią i tektoniką tego obszaru, przede wszystkim z silnym podnoszeniem się jego końcowej części. Skutkiem ruchów wznoszących jest dość duża krętość średnia koryta ($Wk = 1,75$) zwiększająca się w jego końcowej części i najmniejszy w górnym Dades spadek (1,09‰). Mimo ograniczonej dostawy materiału z dolin bocznych związanej z małą liczbą i długością dopływów, badania wykazały tu jednak silną agradację skutkującą podnoszeniem się dna koryta. Powoduje to częste występowanie wody z koryta na powierzchni tarasu zalewowego jak również tarasu nadzalewowego, co prowadzi do akumulacji materiału grubookruchowego na obszarach wykorzystywanych rolniczo.

Poniżej odcinków przełomowych – w odcinku VI o długości 17 km dolina Dades wyraźnie rozszerza się, jej dno osiąga szerokość do 450 m, a spadek koryta wynosi 5,4‰. W dnie doliny występuje kilka poziomów terasowych, a przebieg koryta jest kręty ($Wk = 1,46$). Mniejszy spadek koryta w stosunku do odcinka przełomowego występującego powyżej oraz liczne dopływy o znacznej długości, okresowo dostarczające dużą ilość materiału, powodują, że w odcinku tym wyraźnie przeważa agradacja. W korycie Dades stwierdzono występowanie licznych łańcuch przybrzeżnych i centralnych zbudowanych z materiału grubofrakcyjnego. Koryto ma charakterystyczny dla zwirodennych roztek system „pools and riffles” (Leopold i in. 1964). Przemiały odpowiadają łańcuchom rumowiskowym a plosa lokalnym przegłębieniom w obrębie dna koryta. Strefy nagromadzenia grubego rumowiska związane są z akumulacją materiału podczas kulminacji największych wezbrań. W odcinku tym występują największe w analizowanym obszarze stożki napływowe powstające u wylotu długich dolin bocznych. Doliny te odwadniają zlewnie cząstkowe o powierzchniach dochodzących nawet do kilkudziesięciu km^2 (ryc. 3, fot. 1). Analizowane stożki napływowe to formy o plejstocenijskich założeniach, które współcześnie są lokalnie one rozcinane lub nadbudowywane. Ich powierzchnia jest modelowana głównie podczas gwałtownych wezbrań. Kształt stożków, w szczególności ich szerokość, nachylenie, stopień rozczłonkowania uzależniony jest od zlewni dopływu – jej powierzchni,

długości, rozczłonkowania oraz spadku dna doliny. Stożki napływowe są dobrze wykształcone, mają wyraźne granice, a ich powierzchnia rozcięta jest suchymi kanałami rozprowadzającymi wodę w czasie wezbrań. W przypadku braku ograniczeń morfometrycznych skutkiem wystąpienia gwałtownych wezbrań jest wzrost zasięgu stożków od strony czołowej. Duża dostawa materiału z dolin bocznych wpływa na szybką agradację form akumulacyjnych w korycie Dades położonych bezpośrednio poniżej ujścia dolin bocznych. Lokalnie prowadzi to do powstawania progów rumowiskowych. Duże stożki napływowe wkraczające bezpośrednio do koryta Dades wymuszają ponadto zmianę przebiegu nurtu (fot. 1), co wpływa na intensyfikację erozji bocznej przeciwległego brzegu koryta. W czasie wysokich stanów wody zwiększa to znacznie ilość materiału transportowanego w korycie Dades.

Najniżej położony odcinek koryta Dades – odcinek VII o długości 9 km i spadku wynoszącym 6,3‰ kończy się w miejscowości Boumalne. Szerokość dna doliny w tym odcinku wynosi około 350-400 m. Koryto Dades wycięte jest głównie w aluwiach, a jego krętość jest stosunkowo nieduża ($Wk = 1,38$). W dnie doliny występuje rozległy poziom terasy nadzalewowej, która wykorzystywana jest pod uprawę. W obrębie tego poziomu terasowego nie stwierdzono śladów współczesnej akumulacji materiału korytowego. Należy przypuszczać, że obecnie przy dość dużym spadku koryto w tym odcinku ulega pogłębianiu.

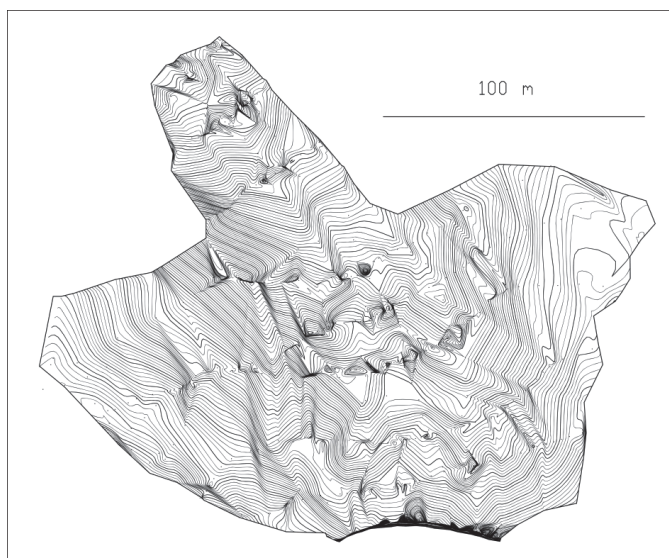
W analizowanych odcinkach o szerszym dnie doliny akumulacja transportowanego przez wody Dades materiału zachodzi nie tylko w obrębie koryta, lecz również, podczas dużych wezbrań, na wyższych poziomach terasowych. Obszar zajęty przez współczesne formy akumulacji fluwialnej zajmuje kilkanaście procent powierzchni dna doliny (12% w odcinku wyższym i 13% w odcinku niższym). Formy akumulacyjne w obrębie koryta osiągają znaczne rozmiary (min. kilkadziesiąt metrów długości), a ich liczba wyraźnie zwiększa się poniżej połączeń koryta Dades z dolinami bocznymi.

Wyniki pomiarów materiału tworzącego akumulacyjne formy korytowe (ryc. 2) wykazały, że buduje je materiał frakcji kamienistej o zróżnicowanym kształcie (ryc. 4). Stwierdzono bardzo mały udział materiału o kształcie kuli i walca w najmniejszej badanej frakcji (5-10 cm). Wskazuje to na sukcesywne wynoszenie tego typu materiału na przedpole Atlasu Wysokiego – materiał o takim kształcie najłatwiej podlega bowiem transportowi. Dominującym kształtem materiału we frakcji 5-10 cm budującego formy akumulacyjne w korycie w całym badanym odcinku jest dysk. Jest to typ materiału najtrudniej uruchamiany przez procesy fluwialne. W przypadku Dades jest on prawdopodobnie uruchamiany tylko w czasie największych wezbrań. W materiale grubszym (10-15 cm) (ryc. 4) stwierdzono znaczne zróżnicowanie osadu pod względem kształtu w całym badanym odcinku koryta. Zaznacza się istotnie większy niż w materiale drobniejszym udział materiału o kształcie kuli i walca, porów-



Fot. 1. Stożek aluwialny na wysokości miejscowości Ait El Arbri wymusza zwiększenie intensywność erozji bocznej (fot. K. Sobczak)

Photo 1. Alluvial fan near the Ait El Arbri village cause higher intensity of lateral erosion made by Dades river (photo by K. Sobczak).



Ryc. 3. Przykładowy trójwymiarowy model stożka (C2, ryc. 2) na wysokości miejscowości Ait El Arbri. Powierzchnia stożka wynosi 26 668 m².

Fig. 3. Sample of 3D model of alluvial fan (C2, Fig. 2) accumulated near the Ait El Arbri village. The total surface area of the alluvial fan is 26,668 m².

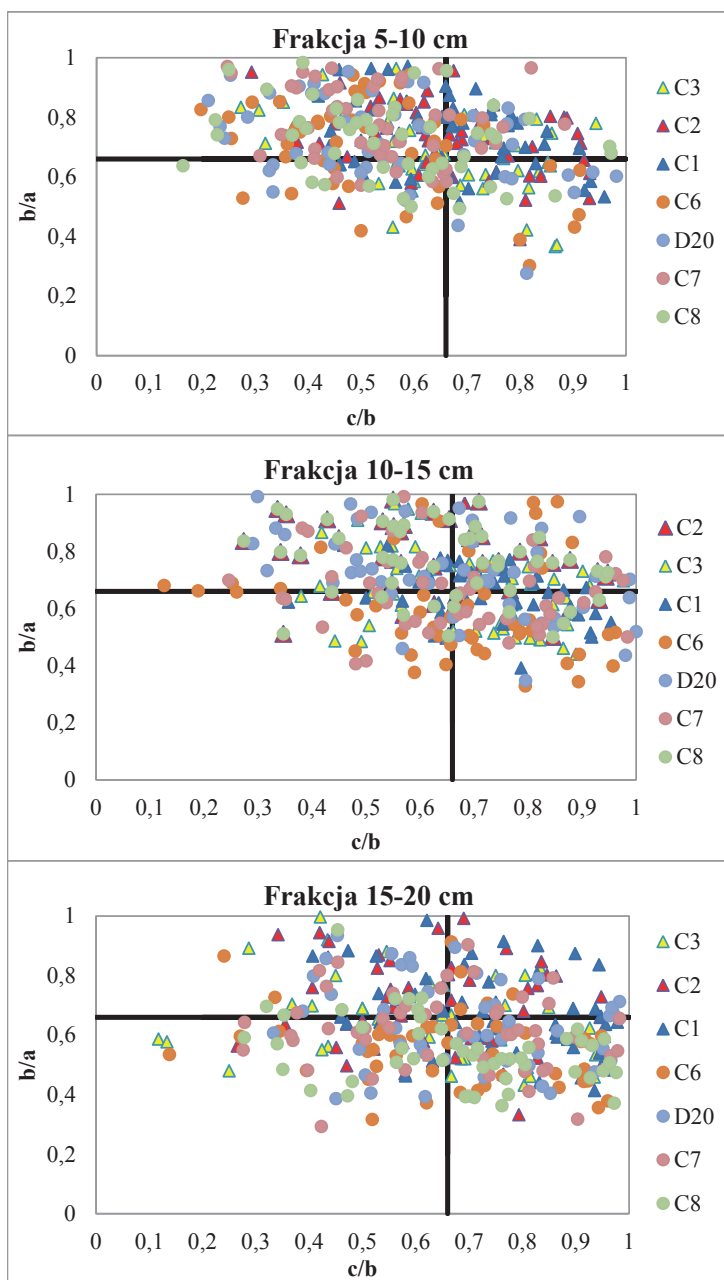
nywalny z udziałem materiału o kształcie dysku i klingi. Wskazuje to na bardzo niewielkie sortowanie tego materiału, a więc na jego sporadyczny transport. Duże zróżnicowanie kształtu materiału wskazuje na znaczną dostawę materia-

łu tej wielkości z koryt bocznych do koryta głównego. Pośród największych badanych otoczków (15-20 cm) wyraźnie zaznacza się dominacja osadów o kształcie walca i klingi na całej długości badanego koryta. Udział otoczków o kształcie kuli i dysku jest o połowę mniejszy. Tak zróżnicowany kształt wskazuje na dużą dostawę do koryta „świeżego materiału”. W korycie Dades stwierdzono znaczne zróżnicowanie obróbki materiału, co potwierdza obecność „świeżego materiału”, a więc dostawę z dolin bocznych i ze stoków a także wskazuje na jego krótki, epizodyczny transport. Potwierdza to również brak zwiększania się stopnia wysortowania materiału wzdłuż profilu podłużnego koryta.

Wyniki badań materiału akumulowanego w stożkach napływowych utworzonych u ujścia dolin bocznych do doliny Dades wskazują, że w największym stopniu do koryta głównego dostarczany jest materiał o kształcie kuli oraz dysku, a w przypadku większych otoczków – dysku i walca (ryc. 4). Tak duże zróżnicowanie kształtu materiału w korytach bocznych wskazuje na jego krótką drogę i epizodyczność transportu. Ułożenie dłuższej osi otoczków poprzecznie do kierunku odpływu potwierdza, że ich transport zachodził w środowisku o dużej dynamice. Ułożenie to jest charakterystyczne dla materiału podlegającego gwałtownej depozycji.

Porównanie kształtu materiału w stożkach i w dolinie głównej wskazuje także na znaczną dostawę materiału z koryt bocznych. Przemawia za tym duże podobieństwo kształtu materiału budującego stożki oraz formy akumulacyjne znajdujące się w korycie rzeki Dades poniżej tych stożków (ryc. 4). Jedynie udział materiału o kształcie kuli jest znacznie większy w osadach stożków niż w osadach koryta głównego. Jest to związane z jego właściwościami transportowymi, dzięki którym, jak już wspomniano, w rzekach o stałym przepływie i częstszych wezbraniach jest on szybciej wynoszony na przedpole gór.

Uzyskane wyniki wskazują, że koryto górne Dades modelowane jest głównie podczas krótkotrwałych, lecz dość częstych i intensywnych zdarzeń hydrometeorologicznych. Powodują one zmianę położenia i rozmiarów form akumulacyjnych w korycie oraz intensyfikują dostawę „świeżego materiału” ze stoków w odcinkach przełomowych (odpadanie, spływy gruzowe) oraz z dolin bocznych w strefach rozszerzeń (stożki napływowe). Powstałe podczas zdarzeń ekstremalnych formy akumulacyjne, zbudowane z grubookruchowych zwierzelin, są tylko nieznacznie modelowane podczas wezbrań o mniejszej amplitudzie. W okresach tych, przy ograniczonej bocznej dostawie nowego materiału, formy akumulacyjne w korycie Dades oraz stożki napływowe ulegają rozmywaniu, następuje przesortowanie i redepozycja materiału. Osady grubofrakcyjne pozostają i budują trwałe formy akumulacyjne, aż do kolejnego dużego zdarzenia hydrometeorologicznego. Jednocześnie lokalnie wymuszają one akumulację w korycie podczas mniejszych wezbrań. W ten sposób w odcinkach aluwialnych kształtuje się tendencja do agradacji dna koryta. Akumulacja ma-



Ryc. 4. Kształt otoczków (w poszczególnych przedziałach frakcyjnych) budujących wybrane stożki napływowe (trójkąty) oraz formy akumulacji korytowej (koła) określony na podstawie wskaźników osiowych zaproponowanych przez Zingg'a (1935).

Fig. 4. Shapes of pebbles (several fractions) forming selected alluvial fans (triangles) and river channel accumulation landforms (circles) determined on the basis of axis analysis based on Zingg (1935) formulae.

teriału w korycie głównym wpływa na podnoszenie się jego dna i zmniejszenie przekroju poprzecznego koryta. Skutkiem takich procesów jest zalewanie dna doliny głównej, w tym również teras nadzalewowych, które zazwyczaj użytkowane są rolniczo. Na terasach akumulowany jest materiał grubookruchowy (fot. 2). Zdarza się, że terasy o niewielkiej powierzchni w całości objęte są akumulacją wezbraniową. Obecność roślinności w obrębie teras skutkuje zwiększeniem oporów przepływu, co przekłada się na spadek jego prędkości, a w konsekwencji na depozycję znacznej części transportowanego materiału. W trakcie badań zaobserwowano, że w czasie jednego dużego wezbrania trwającego kilka dni może dojść do akumulacji na kielkującym zbożu warstwy materiału o miąższości nawet ponad jednego metra.

Wykształcenie struktury koryta Dades wskazuje na jego złożoność funkcjonalną. Według modelu S.A. Schumma (1977) system fluwialny można podzielić na trzy strefy (subsystemy): strefę produkcji materii, strefę transferu (strefa tranzytowa) oraz strefę depozycji. W przypadku koryta Dades model ten jest bardziej skomplikowany. Strefę produkcji materiału stanowią głównie zlewnie dolin bocznych oraz stoki w odcinkach przełomowych, strefę transferu osadów – odcinki erozyjne w przełomach, natomiast strefę depozycji – odcinki rozszerzeń występujące pomiędzy przełomami. Istotne znaczenia dla kształtowania morfodynamiki koryta Dades ma więc jego układ w stosunku do pasm górskich (odcinki przełomowe – procesy erozji wgłębnej i transportu, strefy rozszerzeń – procesy akumulacji i redepozycji materiału), a także rola dolin bocznych w dostawie materiału do koryta głównego.



Fot. 2. Grubookruchowy materiał akumulowany na powierzchni wykorzystywanego rolniczo tarasu nadzalewowego (fot. K. Sobczak).

Photo 2. Accumulation of coarse-grained material on the floodplain cultivated area (photo by K. Sobczak).

WNIOSKI

Wśród głównych czynników decydujących o rolniczej działalności człowieka w dolinach rzecznych, powszechnie wymienia się jakość gleb oraz jakość i ilość wody. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że w obszarach dolin rzecznych gór wysokich w klimacie półsuchym bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na rozwój rolnictwa jest morfodynamika koryt rzecznych, w szczególności akumulacja materiału gruboklastycznego na obszarach użytkowanych rolniczo. Duża energia rzeźby wynikająca z dużej deniwelacji w obrębie analizowanych zlewni cząstkowych, a także degradacja szaty roślinnej sprzyjają dostarczaniu materiału ze zboczy do den dolin bocznych. Jest on następnie transportowany w trakcie epizodycznych, lecz intensywnych wezbrań z dolin bocznych do koryta głównego.

Morfodynamika koryta Dades oraz jego największych dopływów zależy również od bezpośredniej działalności człowieka, tj. od regulacji koryta oraz budowy zbiorników retencyjnych, które z jednej strony mają chronić obszary rolne przed zalewaniem, a z drugiej – magazynować wodę, która będzie użytkowana w okresie suszy. W dolinach górskich obszarów półsuchych istnieje silna presja zwiększania powierzchni, które można byłoby zagospodarować rolniczo. Jeśli działania te polegają głównie na zwężaniu koryta, to podczas wezbrań dochodzi do znaczącego zwiększenia prędkości przepływu rzeki, a w konsekwencji jej siły erozyjnej.

Duża dostawa materiału z koryt bocznych do koryta głównego oraz zwiększona lokalnie erozja w dnie koryta sprzyjają dużej agradacji materiału, zwłaszcza w rozszerzeniach doliny, gdzie natężenie przepływu jest mniejsze. Podnoszenie się poziomu dna koryta skutkuje zwiększeniem zasięgu i częstotliwości powodzi, a w konsekwencji również znaczną akumulacją materiału transportowanego przez rzekę na terasach zalewowych a nawet nadzalewowych, wykorzystywanych jako pola uprawne. Nie pozostaje to bez wpływu także na wykształcenie gleb. W wyniku agradacji materiału wzrasta udział grubookruchowych części szkieletowych w profilach glebowych, przez co jakość gleb znacznie się obniża. W efekcie w dolinie górnej Dades, w wyniku akumulacji materiału transportowanego przez rzekę, niszczonych jest nawet do 20% powierzchni pól uprawnych.

Uzyskane rezultaty badań morfodynamiki koryt rzecznych w obszarach górskich strefy półsuchej jednoznacznie wskazują, że procesy fluwialne o charakterze ekstremalnym, skutkujące wzmożoną agradacją materiału na obszarach rolniczych, należy uznać za główny czynnik wpływający na ograniczenia rozwoju rolnictwa w tego typu obszarach. Duża miąższość materiału akumulowanego w czasie jednego ekstremalnego zdarzenia praktycznie uniemożliwia jego usunięcie z pól. Zależnie od sezonu, w którym zdarzenie to wystąpi, może ono uniemożliwić zasiew, a często nawet zbiór plonów. Gdy pola nie mogą być

systematycznie oczyszczane z akumulowanego materiału, możliwość ich odzyskania w celach uprawnych jest znikoma.

Literatura

- Beauchamp W., Allmendinger R.W., Baranzagi M., Demnati A., El Adji M., Dahmani M., 1999, Inversion tectonics and the evolution of the High Atlas Mountains, Morocco, based on a geological-geophysical transect. *Tectonics* 18, 2, 163-185.
- Fink A.H., Knippertz P., 2003, An extreme precipitation event in southern Morocco in spring 2002 and some hydrological implications, *Weather* 58, 377-387.
- de Jong C., Machauer R., Leavesely G., Cappy S., Poete P., Schulz O., 2005, Integrated hydrological modelling concepts for a peripheral mountainous semi-arid basin in southern Morocco, EC JRC Workshop proceedings "Geomatics for Land and Water Management: Achievements and Challenges in the Euromed Context", R. Escadafal, M.L. Paracchini (red.), 219-227.
- de Jong C., Cappy S., Finckh M., Funk D., 2008, A transdisciplinary analysis of water problems in the mountainous karst areas of Morocco, *Engineering Geology* 99, 228-238.
- Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P., 1964, *Fluvial processes in Geomorphology*, San Francisco.
- Pique A., 2001, *Geology of Northwest Africa*, Gebr. Borntraeger, Berlin, 1-310.
- Schumm S.A., 1977, *The fluvial system*, John Wiley & Sons, New York.
- Schulz O., Busche H., Benbouziane A., 2008, Decadal Precipitation Variances and Reservoir Inflow in the Semi-Arid Upper Drâa Basin (South-Eastern-Morocco), [w:] F. Zereini, H. Hötzl, (red.) *Climatic changes and water resources in the Middle East and in North Africa*. Springer, Berlin, Heidelberg, 165-178.
- Schulz O., de Jong C., 2004, Snowmelt and sublimation: field experiments and modeling in the High Atlas Mountains of Morocco, *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 6, 1076-1089.
- Youbi L., 1990, *Hydrologie du Bassin du Dades*. Ministère de l'Agriculture et de la Reforme Agraire – Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate.
- Zingg T., 1935, Beitrag zur Schottenanalyse. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 15, 39-140.