

Zróźnicowanie procesów eolicznych w kształtowaniu wydm południowego Maroka

Maciej Dłużewski*

*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, ul. Krakowskie Przedmieście 30,
00-927 Warszawa*

Wprowadzenie

Wydmy zajmują ponad 60% powierzchni pól piaszczystych na świecie (Thomas 2000). Ich typ, kształt i stopień rozwoju zależą od wielu czynników: genezy obszarów źródłowych oraz dostępności piaszczystego materiału, siły i zmienności kierunku wiatru, wilgotności podłoża i powietrza, zwartości szaty roślinnej, rzeźby terenu, a ostatnio również od działalności człowieka.

Dostępność materiału w powiązaniu z reżimem wiatru jest tym czynnikiem, który przez wielu uznawany jest za decydujący w procesie rozwoju form wydmowych. Wasson i Hyde (1983), porównując objętość materiału i zróźnicowanie kierunku wiatru, wyznaczyli cztery podstawowe typy wydm: podłużne, poprzeczne, gwiaździste oraz barchany (ryc. 1). W zależności od średniej intensywności transportu materiału obszary wydmowe dzieli się na wysokoenergetyczne, w których w ciągu roku przemieszcza się o 1 m 25–40 m³ osadu, średnioenergetyczne – 15–25 m³ osadu i niskoenergetyczne – poniżej 15 m³ osadu (Fryberger 1979). Gdy dostawa materiału jest niewielka, tworzą się bardzo mobilne, pojedyncze barchany. Gdy nasycenie powietrza materiałem jest większe, tworzą się formy wydmowe bardziej złożone, a powierzchnia obszarów międzywydmowych znacznie się zmniejsza.

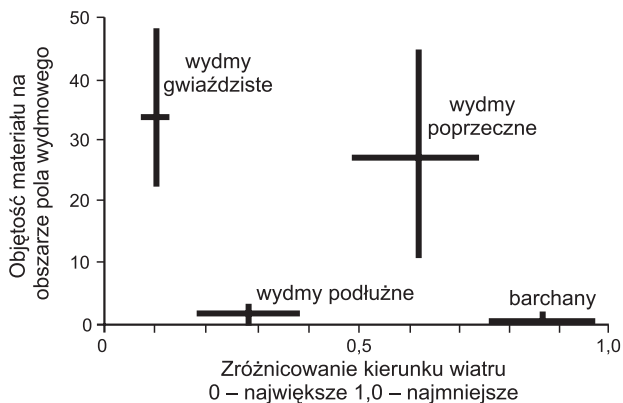
Ważnym czynnikiem wpływającym zarówno na intensywność deflacji, jak i akumulacji materiału transportowanego w procesie eolicznym jest także głębokość zwierciadła wód gruntowych (Fryberger i in. 1988). Płytko zalegające wody gruntowe, przy jednoczesnym silnym parowaniu występującym na ob-

szarze pustyń gorących, stymulują proces tworzenia się skorup solnych, które utrudniają deflację. Gdy poziom wód gruntowych podnosi się i woda pojawia się na powierzchni, następuje transport materiału do zagłębień, w których jest on akumulowany, a po wyschnięciu stanowi bardzo podatne na deflację lokalne źródło materiału. Wzrost wilgotności podłoża może jednak wpływać na zwiększenie kohezji utworów powierzchniowych, co ogranicza deflację i zwiększa intensywność akumulacji materiału eolicznego.

Znaczenie szaty roślinnej w rozwoju wydm, a w szczególności zmian jej gęstości, coraz częściej uznaje się za bardzo duże (Thomas, Tsoar 1990). Rozwój roślinności może negatywnie wpływać na intensywność deflacji, ograniczając dostępność materiału dla transportu eolicznego. Degradacja szaty roślinnej stymuluje rozwój procesów eolicznych. Dodatkowo występowanie roślinności, zależnie od rodzaju oraz stopnia zwartości, wymusza akumulację transportowanego przez wiatr materiału, co może wpływać zarówno na kształt wydm, jak i na szybkość ich przemieszczania. Nawet niedużych rozmiarów roślinność wpływa w istotny sposób na wielkość transportu materiału, ponieważ saltacja jest znacznie ograniczana z uwagi na duży spadek sprężystości podłoża. Dodatkowo zwiększa się jego szorstkość, co wpływa w istotny sposób na przepływ powietrza, a zwłaszcza na wzrost miąższości warstwy zerowej prędkości aerodynamicznej (Chepil, Woodruff 1963).

Rzeźba terenu modyfikuje w istotny sposób kierunek i prędkość przepływu powietrza, a w konsekwencji również transport materiału. Nawet kilkucentymetrowej wysokości mikroformy mogą stanowić przyczynę akumulacji materiału, doprowadzając do

* e-mail: dluzewski@uw.edu.pl



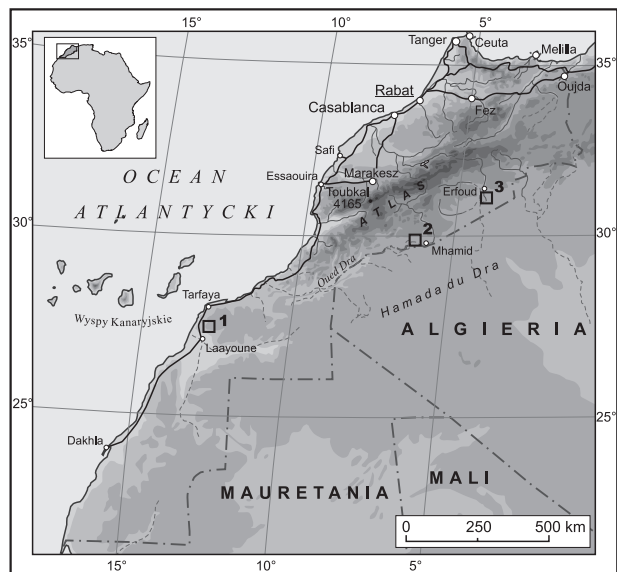
Ryc. 1. Zależność typu wydmy od objętości materiału i zróżnicowania kierunku wiatru (Wasson, Hyde 1983)

rozwoju wydmy. Jest to szczególnie istotne w przypadku transportu materiału na równinnym obszarze. Powstają wtedy najczęściej pojedyncze formy akumulacji eolicznej: ripplemarki lub barchany. Większa bariera orograficzna może wymusić powstawanie wstępujących lub zstępujących form wydmych – największa sprzyja tworzeniu się wydmy echa za barierą lub akumulacji materiału przed przeszkodą (Greeley, Iversen 1985).

Zarówno lokalny, jak i ponadregionalny wpływ działalności człowieka na środowisko przyrodnicze obszarów suchych, a w szczególności na rozwój wydmy, zwiększa się znacznie. Regulacja obiegu wody powoduje często negatywne skutki w postaci obniżenia się poziomu wód gruntowych, co wpływa na zmniejszenie wilgotności podłoża i degradację szaty roślinnej, stymulując deflację lub przeciwnie, podwyższenie poziomu wód gruntowych, które oddziałuje na wzrost wilgotności podłoża, rozwój szaty roślinnej, a często również powstawanie skorup solnych na powierzchni ogranicza deflację. Na obszarach zagrożonych człowiek tworzy też bariery, których zadaniem jest wymuszenie akumulacji materiału w konkretnym miejscu.

W trakcie transportu z obszarów źródłowych do miejsc akumulacji materiał podlega intensywnej abrazji mechanicznej oraz sortowaniu. Zmienia się jego wielkość, kształt i skład mechaniczny. Osady wydmy podlegające długotrwałemu procesowi eolizacji charakteryzują się dobrze wysortowanym, w przewadze kwarcowym, drobno- lub średniopiaszczystym materiałem (Mycielska-Dowgiałło 2001).

W południowym Maroku występują trzy obszary pól wydmych: Sahara Zachodnia, Coude du Dra położony w centralnej części południowego Maroka oraz Erg Chebbi położony w południowo-wschodnim kraju (ryc. 2). Na obszarach tych występują odmienne typy form wydmych. Sahara Zachodnia to teren zdominowany przez barchany (ang. *barchan dune*), które miejscami łączą się, tworząc formy barchanoidalne złożone poprzecznie lub podłużnie (ang. *compound barchanoid dune, linked barchans*).



Ryc. 2. Lokalizacja pól wydmych w południowym Maroku

1 – Sahara Zachodnia, 2 – Coude du Dra, 3 – Erg Chebbi

Na Coude du Dra występują głównie wydmy poprzeczne barchanoidalne (ang. *transverse barchanoid ridge*), a sporadycznie na obrzeżu pól wydmych także barchany. Erg Chebbi tworzy kilkanaście wydmy gwiazdzistych (ang. *star dune lub pyramid dune*) o wysokości względnej ponad 160 m, pomiędzy którymi występują wydmy poprzeczne, tworzone przez wiatr z dwóch przeciwstawnych kierunków, których kształt zmienia się w zależności od dominacji jednego z nich (ang. *reversing dune*).

Tak duże zróżnicowanie form wydmych na stosunkowo niewielkim obszarze wynika niewątpliwie ze zróżnicowania procesów eolicznych. Celem badań było określenie roli poszczególnych czynników wydmotwórczych w kształtowaniu się form na obszarze południowego Maroka.

Wyniki

Charakterystykę terenów wydmych południowego Maroka przedstawiono w tabeli 1.

Formy wydmych występujące na Saharze Zachodniej zbudowane są z materiału, którego źródłem są osady plażowe tworzące się na skutek abrazji dawnej terasy morskiej. Mała dostępność materiału wpływa na niską intensywność transportu, co w połączeniu z niewielką zmiennością kierunku wiatru sprzyja powstawaniu barchanów. Duży udział w osadach wydmych węglanów i klastów Fe-ilastych, składników mało odpornych na abrazję mechaniczną, wskazuje na krótki transport i niski stopień eolizacji tego materiału. Bardzo duża wilgotność powietrza wynikająca z sąsiedztwa oceanu sprzyja tworzeniu się rosy, która, szczególnie w okresie zimowym, mimo niewielkich opadów umożliwia rozwój

roślinności. Fakt ten nie pozostaje zapewne obojętny dla akumulacji materiału eolicznego i rozwoju wydm. Zwiększona w wyniku rozwoju roślinności szorstkość podłoża wpływa na wzrost miąższości warstwy zerowej prędkości aerodynamicznej, a w konsekwencji na ograniczenie transportu najmniejszych ziarn. Większa zwartość szaty roślinnej sprzyja także zmniejszeniu się szybkości przemieszczania barchanów, co wpływa na łączenie się form i przekształcanie ich w wydmy złożone.

Formy występujące na obszarze Coude du Dra zbudowane są głównie z materiału, którego źródłem są osady równiny aluwialnej rzeki Dra oraz stożków deluwialnych występujących u podnóża Jebel Bani. W wyniku budowy zbiornika retencyjnego oraz intensywnej gospodarki wodnej w górnej i środkowej części doliny Dra, w regionie Coude du Dra stwierdzono obniżanie się zwierciadła wód gruntowych. Spowodowało to intensywną degradację szaty roślinnej oraz spadek wilgotności osadów podłoża. Zmiany te wpłynęły na znaczne zwiększenie dostępności materiału dla deflacji. Epizodyczne, krótkotrwałe opady, najczęściej o charakterze nawalnym, sprzyjają okresowej dostawie do obszaru świeżego materiału, który dzięki niskiej wilgotności powietrza szybko wysycha, zwiększając jeszcze bardziej dostępność materiału. Wysoka wartość średniej intensywności transportu materiału pozwala na uznanie tego obszaru za wysokoenergetyczny, co sprzyja powstawaniu wydm poprzecznych, głównie barchanoidalnych, formu-

jących się zależnie od sezonowego kierunku wiatru. Wydmy zbudowane są w przewadze z ziarn kwarcu, charakteryzują się jednak znacznym udziałem klastów Fe-ilastych powstających w okresowo wypełniających się wodą obniżeniach terenu oraz węglanów. Duży udział składników mało odpornych na abrazję mechaniczną wskazuje na lokalne źródło materiału oraz dość niski stopień eolizacji osadów wydmowych. Z uwagi na niski obecnie poziom wód gruntowych zwartość szaty roślinnej jest zróźnicowana w czasie, prawie w całości zależna od wystąpienia opadów. Często ich kilkuletni brak praktycznie wyklucza znaczenie tego elementu w rozwoju pól wydmowych, choć po kilku nawalnych opadach jego wpływ może istotnie wzrosnąć.

Materiał budujący najwyższe formy wydmy występujące w Maroku – Erg Chebbi, składa się w przeważającej części z dość dużych ziarn kwarcu, co wskazuje, że podlegał on eolizacji przez długi czas. Znacznej akumulacji materiału sprzyjały płytko zalegające wody gruntowe, zwiększające wilgotność utworów powierzchniowych oraz stymulujące rozwój roślinności. Ten niewątpliwie wysokoenergetyczny obszar oraz występujące co najmniej trzy dominujące kierunki wiatru sprzyjały powstaniu wydm gwiaździstych. Obecnie, w związku z lokalną oraz regionalną działalnością człowieka dotyczącą regulacji obiegu wody, jej poziom na obszarze występowania wydm systematycznie się obniża. Proces ten powoduje przesuszenie dolnych warstw budujących wydmy, co

Tabela 1. Wybrane cechy wydm oraz obszarów wydmowych w południowym Maroku (na podstawie: Barczuk, Dłużewski 2003, Dłużewski 2003, Barczuk, Dłużewski, Dubis 2008, badania własne)

Pole wydmowe	Sahara Zachodnia			Coude du Dra			Erg Chebbi		
Dominujący typ wydm	barchany			poprzeczne barchanoidalne			gwiaździste		
Dominująca wysokość wydm	2–10 (m)			10–30 (m)			120–160 (m)		
Średnia wartość wskaźników uziarnienia (Folk, Ward 1957)	1,61	0,65	–0,08	2,31	0,52	0,29	1,46	0,51	–0,35
	M_z	σ_1	Sk_1						
Średni udział głównych składników mineralnych	węglany – 38 % kwarc – 29% klasty Fe-ilaste – 21% pozostałe – 12%			kwarc – 59% klasty Fe-ilaste – 32% węglany – 8% pozostałe – 1%			kwarc – 91% klasty Fe-ilaste – 7% pozostałe – 2%		
liczba dominujących kierunków wiatru	(1) NNE			(2) W, NE			(3) SW, NE, W		
średni roczny opad	10 mm			53 mm			30 mm		
średnia wilgotność powietrza	80%			40%			35%		
rzeźba	równinne podłoże (terasa morska)			równinne podłoże (równina aluwialna)			równinne podłoże (równina aluwialna)		
szata roślinna	pojedyncze krzewy (suchorosty)			lokalna roślinność trawiasta			brak		

wpływa na wzrost intensywności deflacji. Obniżenie zwierciadła wód gruntowych doprowadziło też do niemal całkowitej degradacji szaty roślinnej, która występuje obecnie tylko w nawadnianych oazach. Rozwiewanie wydm zmusiło mieszkańców do zbudowania barier w celu ochrony upraw oraz gospodarstw przed zasypywaniem.

Wnioski

Analiza czynników wpływających na zróżnicowanie procesów eolicznych w południowym Maroku rozpatrywanych w kontekście rozwoju pól wydmych potwierdziła decydujące znaczenie dostępności materiału oraz zmienności kierunku wiatru w tym procesie. Można jednak stwierdzić, że w przypadku analizowanych obszarów znaczenie pozostałych czynników jest również dość istotne. Zmiana poziomu wód gruntowych, związana najczęściej z działalnością człowieka, wpływa niewątpliwie na intensywność deflacji materiału z osadów podłoża lub form już istniejących, a w konsekwencji na tempo rozwoju pól wydmych. Zwiększony udział w osadach wydmych świeżego, lokalnego materiału, charakteryzującego się odmiennymi cechami teksturalnymi, może wpłynąć na zmianę szybkości przemieszczania się wydmy. Silna degradacja szaty roślinnej, występująca szczególnie intensywnie na obszarze Coude du Dra i Ergu Chebbi sprzyja niewątpliwie szybszemu rozwojowi wydmy. Człowiek, poprzez swoją działalność pośrednią – regulację obiegu wody oraz bezpośrednią – budowę barier wymuszających akumulację materiału, w znacznym stopniu wpływa na intensywność procesów eolicznych. Wydaje się, że z analizowanych czynników w zróżnicowaniu rozwoju wydmy południowego Maroka jedynie wpływ rzeźby można uznać za mało istotny. Na wszystkich obszarach wydmy tworzą się na równinnym, płaskim podłożu, zbudowanym z materiału akumulowanego w środowisku wodnym, a dość krótkotrwałe erozyjne procesy postsedymentacyjne nie były w stanie zmienić jego cech metrycznych.

Badania roli czynników wydmotwórczych w rozwoju pól wydmych są niewątpliwie bardzo potrzebne. Znaczne zwiększenie intensywności tego procesu na świecie wpływa bowiem w oczywisty sposób na jakość życia w regionach narażonych na akumulację materiału transportowanego w procesie eolicznym. Wyniki badań prowadzonych na konkretnych obszarach są niezwykle pomocne w ocenie znaczenia poszczególnych czynników w rozwoju wydmy, co ułatwia podejmowanie właściwych decyzji mających na celu ograniczenie zagrożeń.

Literatura

- Barczuk A., Dłużewski M. 2003. Skład mineralno-litologiczny jako podstawa do określenia źródła i wskaźnik stopnia eolizacji osadów wydmych. [W:] M. Dłużewski (red.), Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (południowe Maroko) i jej wpływ na warunki życia ludności autochtonicznej. Wyd. Akad. Dialog, Warszawa, s. 103–120.
- Barczuk A., Dłużewski M., Dubis L. 2008. Natural and anthropogenic factors of the development of Erg Chebbi. [W:] S. Skiba, K. Krzemień (red.), Contemporary evolution of the natural environment of the region between AntiAtlas and Sahara (Morocco), *Prace Geograficzne*, 118: 79–92.
- Chepil W.S., Woodruff N.P. 1963. The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy*, 15: 211–302.
- Dłużewski M. 2003. Rozprzestrzenianie się pól wydmych jako skutek pustynnienia. [W:] M. Dłużewski (red.), Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (południowe Maroko) i jej wpływ na warunki życia ludności autochtonicznej. Wyd. Akad. Dialog, Warszawa, s. 77–102.
- Folk R.L., Ward A.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3–26.
- Fryberger S.G. 1979. Dune forms and wind regime, Mauritania, West Africa: implications for past climate. *Palaeoecology of Africa*, 12, 79–96.
- Fryberger S.G., Schenk C.J., Krystinik L.F. 1988. Stokes surfaces and the effects of near surface groundwater – table on aeolian deposition. *Sedimentology*, 35: 21–41.
- Greeley R., Iversen T.D. 1985. Wind as a geological process on Earth, Mars, Venus and Titan. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mycielska-Dowgiałło E. 1995. Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. [W:] E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.), *Badania osadów czwartorzędowych*. WGiSR UW, PiG, PAN, Warszawa, s. 29–105.
- Thomas D.S.G. 2000. Sand seas and aeolian bedforms. [W:] D.S.G Thomas (red.), *Arid Zone Geomorphology. Process, Form and Change in Drylands*. Wiley, Chichester, s. 373–412.
- Thomas D.S.G., Tsoar H. 1990. The geomorphological role of vegetation in desert dune systems. [W:] J.B. Thornes (red.), *Vegetation and erosion*. Wiley, Chichester, s. 471–489.
- Wasson R.J., Hyde R. 1983. Factors determining desert dune type. *Nature*, 304: 337–339.