

## Najnowsze pomiary erozji w Maroku

Abdellah Laouina

Wydział Filologii i Nauk Humanistycznych, Uniwersytet Mohammeda V, Rabat  
laouina@menara.ma,

Miloud Chaker

Wydział Filologii i Nauk Humanistycznych, Uniwersytet Mohameda V, Rabat,  
mchaker@caramail.com

Rachida Nafaa

Wydział Filologii i Nauk Humanistycznych, Mohammédia,  
r.naffa@univh2m.ac.ma

Antonio Ferreira

Uniwersytet Aveiro, Portugalia,

Simone Van Dijck

Instytut Alterra, Wageningen, Holandia

W śródziemnomorskich regionach Maroka, które charakteryzują się nieregularnymi opadami i intensywnymi burzami, środowisko przyrodnicze jest szczególnie zagrożone antropopresją (Chaker 1995). Proces degradacji krajobrazu jest w coraz większym stopniu związany z rozwojem społeczno-gospodarczym i zarządzaniem surowcami naturalnymi. Duże znaczenie ma nadmierny wypas, wycinanie lasów i powiększanie użytków rolnych, często na niewłaściwych glebach. Zjawiska te prowadzą do erozji gleb na wielką skalę oraz do zamulania sztucznych zbiorników wodnych. Koncentracja zaludnienia oraz wypas na stokach powoduje zanik pokrywy roślinnej, szybką degradację gleby, rozwój bruzd erozyjnych i wąwozów.

Wspomniane procesy stanowią zagrożenie dla zrównoważonego rozwoju, a ich szybkie tempo zmusza do podjęcia niezwłocznej interwencji w celu zapobieżenia negatywnym przemianom środowiska.

Degradacja krajobrazu, związana ze zmianami w rolnictwie, zagraża procesom zasilania wód gruntowych. Obserwuje się narastanie zagrożenia na obszarach wykorzystywanych jako grunty orne, lasy i pastwiska. Zmiany w rolnictwie to także starzenie się społeczeństwa wiejskiego, coraz bardziej złożona struktura własności ziemi (liczba regulacji prawnych, dominacja małych gospodarstw, rozdrobnienie wskutek dziedziczenia, wzrost liczby ludzi mających prawo do wspólnej ziemi), urbanizacja obszarów o dużej wartości rolniczej wokół miast. Równolegle, tradycyjne rolnictwo małoobszarowe ulega marginalizacji na korzyść nowoczesnego, wielkoobszarowego. To ostatnie jest w głównej mierze odpowiedzialne za nieefektywne wykorzystywanie wody, zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych oraz za zasolenie obszarów nawadnianych.

Degradacja krajobrazu przejawia się niszczeniem szaty roślinnej wskutek wylesienia, ubytkiem poziomu humusowego gleb w wyniku erozji eolicznej i wodnej, oskorupieniem, powstawaniem orsztynu oraz nadmiernym wypasem prowadzącym do zaniku roślinności i zwiększenia kompaktacji gleby. Proces wylesiania i równoczesnego rozszerzania się powierzchni gruntów ornych zachodzi od początku XX w. Zasięgi lasów utrzymują się w zasadzie bez zmian od lat 1920–1930, jednakże stale wycina się drzewa wewnątrz obszarów leśnych. Na pastwiskach zachodzi nieprzerwanie degradacja szaty roślinnej wskutek nadmiernego wypasu.

Na gruntach ornych miąższość gleby się zmniejsza, dochodzi do oskorupienia i kompaktacji. Dzieje się to na skutek skrócenia okresu i zmniejszenia obszarów ugorowania, mechanizacji oraz orki wzdłuż stoku.

Wszystkie wspomniane procesy prowadzą do zmniejszenia infiltracji wody opadowej, która tym samym nie zasila wilgoci glebowej i nie przenika do przypowierzchniowych wód gruntowych. Równocześnie zwiększony odpływ powierzchniowy powoduje zamulanie i zanieczyszczenie sztucznych zbiorników wodnych, które odgrywają ważną rolę przy zaopatrzeniu w wodę w okresach suchych. Problemy te nie występują jedynie w regionie na południowy-wschód od Rabatu, ale dotyczą także innych górskich i półsuchych obszarów Maroka takich jak góry Prerifu.

Od 1990 r. grupa geomorfologów działających z ramienia UNESCO „Chair on Environment management and sustainable development” przeprowadziła badania erozji w różnych regionach Maroka. Wiele z tych prac prowadzono we współpracy z różnymi instytucjami naukowymi w ramach wspólnych projektów, częściowo finansowanych przez UE.

## 1. Pomiary w lesie Mamora i we wschodnim Maroku (1990–1995)

Prace terenowe przeprowadzone zostały przez grupę geomorfologów w ciągu pięciu lat (1990–1995), przy wsparciu ze strony Zarządu Lasów. Ich celem była ocena wpływu transformacji w gospodarce na środowisko naturalne.

Oprzyrządzowano dwa pola badawcze, w obrębie których dokonywano obserwacji w wielu miejscach. W dwóch przypadkach skupiono się na głównych zagadnieniach degradacji krajobrazu: kartowano zmniejszającą się powierzchnię pokrytą przez szatę roślinną, oceniano efekty spływu powierzchniowego, kartowano rozwój wąwozów, szacowano wielkość erozji eolicznej oraz oceniano obniżenie poziomu wód gruntowych (Chaker 1995). Każde miejsce, w którym dokonywano obserwacji składało się z poletek o jednakowym nachyleniu, o powierzchni 100 m<sup>2</sup>. Jedynymi elementami wyróżniającymi poszczególne poletka były: gleba i użytkowanie ziemi. Na poletkach tych mierzono sumę opadu i jego intensywność, wielkość odpływu, masę materiału transportowanego w zawieszynie oraz ubytek gleby. Zawiesina mierzona była w próbkach wody pobranej u podstawy stoków po każdym opadzie deszczu. Próbki suszono, a następnie ważono materiał wyniesiony z poletka.

Porównanie wyników otrzymanych z podobnych poletek znajdujących się pod wpływem różnych warunków klimatycznych i mających różną pokrywę glebową prowadzi do następujących wniosków:

- W półsuchym środowisku regionu Bou Khouali-Tanecherfi (wschodnie Maroko), naturalna szata roślinna jak i zboża mają podobne znaczenie – pełnią niewielką rolę ochraniającą. Jedynie w przypadku względnie gęstego zbiorowiska (mattoral) (ponad 30% powierzchni) wysoki odpływ<sup>1</sup> zdarza się rzadko.
- Na glebie piaszczystej, przy południowej granicy Mamory, wysoki odpływ jest bardzo istotny prawie we wszystkich sytuacjach, a gleba jest dobrze chroniona tylko przez naturalny las dębów korkowych. Uprawa pszenicy chroni glebę przy opadzie o średnim natężeniu, ale nie w przypadku długotrwałych i intensywnych opadów.

W warunkach subwilgotnych całoroczna uprawa ziemi stanowi dobrą ochronę gleby. Na glebach piaszczystych i suchych pierwsze deszcze – z wyjątkiem wyjątkowo nawalnych – lepiej infiltrują, gdy ziemia jest zaorana. Szybki wzrost gęstego zboża zapobiega funkcjonowaniu odpływu w zimie i na wiosnę. W przypadku obszarów pagórkowatych, nawet gdy stoki mają umiarkowane nachylenie, pozostawienie ziemi bez uprawy lub przeznaczenie jej pod uprawę pozostawiającą duży procent niezajętej ziemi (np. kukurydza), jest bardzo niekorzystne i w związku z tym zalecane jest jedynie na obszarach równinnych.

## 2. Symulatory opadów atmosferycznych w Tatoft i Benslimane (1996–1999)

Spływ powierzchniowy i tempo erozji określone zostały przy zastosowaniu symulatorów opadu (CERDA i in. 1997) w ramach projektu MEDCHANGE (INCO-MED), przy współpracy z Aveiro University.

<sup>1</sup> Deszcz erozyjny definiowany jest jako opad, który spowodował odpływ ponad 0,1 mm (odpływ 10 litrów z poletka 100 m<sup>2</sup>); wysoki odpływ przekracza 1 mm (100 litrów z poletka 100 m<sup>2</sup> lub 10m<sup>3</sup> z hektara).

Symulator składa się z urządzenia natryskującego umieszczonego 2 m nad ziemią, dzięki któremu można uzyskać opad o jednakowym natężeniu 50,5 mm na godzinę na powierzchnię 1 m<sup>2</sup>. Umieszcza się ostrożnie w gruncie niewielki okrąg o powierzchni 0,24 m<sup>2</sup>. W jego środku wciska się na 6 cm w głąb sondę TDR Theta. Pomiary odpływu i wilgotności gleby wykonywane były co minutę. W ciągu pierwszych 15 minut od rozpoczęcia odpływu pobierano 3 próbki spływającej po powierzchni zawiesiny, następnie kolejną, czwartą próbkę w środku trwania eksperymentu i ostatnią, piątą pod koniec. Opad symulowano przez 1 godzinę.

Próbkę gleby pobierano po każdej symulacji opadu i każdorazowo wykonywano 20 pomiarów odporności gleby na przepuszczalność i na ściśliwość. Próbki przesiewano przez sito 2 mm, udział drobnych frakcji określano przy użyciu urządzenia „Coulter LS Particle Size Analyzer”. Udział substancji organicznej określano metodą strat prażenia w temperaturze 550 °C w czasie 120 minut.

Wszystkie badane obszary leżą w zasięgu naturalnego występowania dębu *Quercus suber* (roczna suma opadów od 500 do 900 mm, wyraźnie zaznaczająca się letnia pora sucha).

Powstawanie spływu powierzchniowego.

Lasy dębowe z *Quercus suber* stanowią mało zmienny rodzaj użytkowania ziemi i odpływ powierzchniowy stanowi zaledwie do 10% opadu atmosferycznego. Wypas prowadzony wśród drzew przyczynia się do znacznie większego odpływu. Całkowite wycięcie drzew zwiększa odpływ dwukrotnie bardziej niż wypas prowadzony w lesie. Odpływ z ugorów stanowi maksymalnie 53,5% opadu. Często orana ziemia podczas ugorowania użytkowana jest jako pastwisko dla owiec, kóz i krów. Powoduje to bardzo silną kompaktację gleby i szybki odpływ powierzchniowy. Ten sam proces zachodzi na ziemi użytkowanej jako matorral, na której, pomimo braku orki, intensywny wypas powoduje zwiększenie odpływu. Sadzenie nowych lasów (sosnowych i eukaliptusowych) zwiększa odpływ z powodu utrudnionego poboru wilgoci przez glebę lub z powodu niewielkiego podszytu i braku dobrze wykształconej ściółki.

### **Wielkość materiału mineralnego i organicznego ulegającego erozji**

Mimo, że wielkość odpływu powierzchniowego ma istotny udział w sumie materiału erodowanego, relacja ta nie jest liniowa. Erozja z obszarów leśnych (*Quercus suber*) jest najmniejsza i wynosi średnio poniżej 1 g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. Pomimo dużego odpływu powierzchniowego obszary względnie niezmiennego matorralu charakteryzują się niewielką erozją (zwykle poniżej 10 g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>), co dowodzi istotnego wpływu roślinności na wewnętrzną spójność gleby i przytrzymywanie osadu mineralnego. Na tych względnie nie zaburzonych glebach, udział wyniesionej substancji organicznej stanowi zwykle ponad 10% całkowitej masy wyerodowanego materiału. W niektórych przypadkach udział ten stanowi 30%. Wskazuje to na uruchamianie poziomu próchnicznego podczas szczególnie intensywnych opadów.

### **3. Badania reakcji hydrologicznej i transportu dennego w regionie Rabatu (2000–2003).**

Badania eksperymentalne w regionie Sehoul prowadzone były w ramach projektu CLIMED (INCO-MED ICA3-2000-30005) przy współpracy z Aveiro University. W rejonie Matlak niedaleko Rabatu przyrządzono niewielką zlewnię (70 ha), mającą pokrywą glebową o niewielkiej pojemności infiltracyjnej – wilgotne gleby brunatne (cambisole), często orane, wykorzystywane pod uprawy lub jako pastwiska.

Badano zmienność czasową i przestrzenną procesów infiltracji wód opadowych oraz zachowanie się systemu wód gruntowych. Wpływ degradacji krajobrazu na infiltrację analizowany był przez badanie procesów hydrologicznych zachodzących w zlewni wskutek każdorazowego opadu deszczu. Erozja związana z opadem deszczu była modelowana przy zastosowaniu modelu hydrologicznego LISEM.

Zaprojektowanie eksperymentu wraz z symulacją opadów miało na celu określenie odpływu powierzchniowego i masy akumulowanego pod każdym stokiem materiału. W tym celu zbudowano specjalne zapory z czujnikami poziomu wody, które pełniły także rolę łapaczy.

Odpływ powierzchniowy modelowano korzystając z empirycznego modelu Limburg Soil Erosion Model, zaprojektowanego specjalnie dla małych zlewni rolniczych. Model ten, oparty na GIS, po wprowadzeniu przestrzennie zróżnicowanych parametrów i określeniu warunków początkowych, daje zróżnicowane przestrzennie wartości odpływu powierzchniowego w dowolnym czasie prowadzenia symulacji.

Otrzymuje się także takie wyniki jak całkowita suma opadów, całkowita objętość odpływu i wartość przepływu w profilu zamykającym zlewnię.

LISEM wykorzystuje mapy właściwości fizycznych gleb, mapy powierzchni gleb oraz mapy przedstawiające różne parametry upraw. Mapy te otrzymano przypisując wartości poszczególnych parametrów polom podstawowym wyznaczonym na podstawie analizy użytków rolnych i jakości gleb.

Warunki początkowe do modelu LISEM obejmują szorstkość powierzchni gleb i inicjalną wilgotność gleb. Szorstkość wprowadzoną do modelu w celu jego kalibracji otrzymano na drodze pomiarów terenowych.

Otrzymane wartości odpływu powierzchniowego zależą od kilku czynników:

1) niskiej pojemności infiltracyjnej gleb pylasto-ilastych będącej wynikiem zmniejszenia przestrzeni porowej i kompaktacji przez wypas bydła; wpływ ten znajduje odzwierciedlenie w niskich wartościach przewodności hydraulicznego ośrodka nasyconego ( $<1$  mm/h);

2) ograniczonej retencji wilgoci glebowej wskutek ograniczonej miąższości gleb (40 cm na erodowanych stokach o ekspozycji południowo-wschodniej) lub wskutek istnienia nieprzepuszczalnego poziomu (poziom wytrącania węglanu wapnia lub poziom Bt);

3) skąpej szaty roślinnej na ugorach i pastwiskach mającej odzwierciedlenie w niskich wartościach wskaźnika powierzchni liścia.

Wyniki pokazują, że w badanej zlewni duży i szybki odpływ powstaje jako reakcja na intensywny opad (szybka odpowiedź hortonowska na intensywny opad przy braku wody podczas długich okresów suchych).

Badanie procesów związanych z transportem osadów i odpływem w skali poszczególnych stoków prowadzone jest w celu identyfikacji wpływu różnego użytkowania gruntu na procesy hydrologiczne i erozję.

Wyniki modelowania LISEM pokazują, że odpływ powierzchniowy, ale niekoniecznie erozja gleby, powstaje głównie na dawnych pastwiskach i na ugorach. Te ostatnie są mniej podatne na powstawanie odpływu jeżeli pozostawi się na nich roślinność na okres zimowy i wiosenny, a resztki upraw pozostaną na polu na okres jesieni (ogranicza to ich wykorzystanie jako pastwiska). Najbardziej sprzyjają powstawaniu odpływu dawne pastwiska, na których gleba uległa degradacji wskutek uprzedniej nadmiernej orki. Na drugim miejscu plasują się pola niedawno zaorane, gdyż struktura ich gleby została zniszczona, doszło do oskorupienia i powstania żłobków erozyjnych. Pomimo mniejszych wartości odpływu powierzchniowego pola te doświadczają jednak większej erozji w porównaniu z dawnymi pastwiskami, szczególnie podczas jesiennych opadów burzowych (Laouina i in. 2000). Tłumaczy się to koncentracją odpływu w brzdach pomiędzy skibami i powstawaniem brzd erozyjnych, szczególnie w przypadku orki wzdłuż stoku. Odpływ powierzchniowy z pastwisk jest mniej skoncentrowany, zatem może czasem zasilać wody gruntowe w procesie powtórnej infiltracji zachodzącej w dolnych partiach stoków i przyczynić się do lepszego wzrostu upraw. W niektórych przypadkach odpływ ten zawierający niewiele osadu może zasilić wody zgromadzone w sztucznych zbiornikach retencyjnych stanowiących główne źródło wody do irygacji i dla miast. Symulacja odpływu powierzchniowego potwierdza, że na polach ornych odpływ jest mniejszy niż na pastwiskach, nawet gdy orka prowadzona jest wzdłuż linii spadku. Symulacja nie wskazuje jednakże na rodzaj zachodzącego odpływu powierzchniowego ani na związaną z nim erozję gleby.

Zmiana kierunku orki na zgodny z przebiegiem poziomicy zmniejsza całkowity i maksymalny przepływ zmierzony w profilu zamykającym zlewnię, ale tylko w przypadku, gdy odpływ nie skoncentruje się w brzdach pomiędzy skibami i gdy wartości szorstkości hydraulicznej i retencji powierzchniowej są niskie. Warunki te są spełnione, gdy powierzchnia gleby zostanie po zaoraniu wyrównana.

Mniejszy odpływ rejestrowano na polach zaoranych i obsianych zbożem wczesną jesienią i na polach niedawno pozostawionych jako ugory, nie zaoranych jesienią i z pozostawionymi resztkami upraw. W perspektywie zamiany pastwisk na grunty orne, utrata wody opadowej w procesie odpływu powierzchniowego oraz erozja mogą zostać zahamowane przez wczesną orkę równoległą do poziomicy, a następnie wyrównanie powierzchni gruntu. Zaleca się także lokalizację upraw poniżej stoków przeznaczonych na pastwiska w celu wykorzystania odpływu z pastwisk. Ugory nie powinny być orane i należy na nich pozostawiać resztki upraw

## Wybrana literatura

- Coelho C.O.A., Ferreira A.J.D., Regaya K., Laouina A., Hamza A., Boulet A.K., Keizer J.J., 2002, *The role of land-use changes in reservoir siltation in the Magrheb region and its implications for rural planning*. HYDROMED: Séminaire International des petits barrages dans le monde méditerranéen. Tunis, 28–30 May 2001.
- Coelho C.O.A., Laouina A., Ferreira A., Naciri R., Chaker M., Nafaa R., Carvalho T.M.M., Boulet A.K., Pereira, J.B.P., 2000, *Forest and grazing impacts on hydrological and erosional processes in Southern Portugal and Northern and Central Morocco*. Man and soil at the third millennium, Geofoma Ediciones.
- Conacher A., Sala M. (Eds.), 1998, *Land degradation in Mediterranean environments of the world*, Wiley, 491 p.
- Chaker M., 1995, *La dégradation actuelle du couvert végétal dans le massif de Boukhouali, processus et impact sur l'équilibre du milieu*. Publ. de l'Association des Géographes Africains, Rabat, 87–102.
- Laouina A., Chaker M., Nafaa R., 2003, *Suivi et mesure de l'érosion hydrique des terres au Maroc, 15 ans de recherche et d'expérimentation*. Rev. Géogr. Maroc, 21, 79–98.
- Laouina A., Coelho C., Ritsema C., Chaker M., Nafaa R., Fenjiro I., Antari M., Ferreira A., Van Dijk S., 2004, *Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc)*. Sécheresse, 15, 1, 66–77.
- Laouina A., M.Chaker, R. Naciri, Nafaa R., 1992, *L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional*. Bull. Assoc. des Géogr. Fr., 1993, 5, 384–398.
- Laouina A., Nafaa R., Chaker M., Naciri R., Coelho C., Ferreira A., Carvalho T., Boulet A.K., 2000, *La problématique de la gestion de l'eau et du développement des communautés locales rurales au Maroc*. Mosella 2000 – tome XXV, 3–4.
- Nafaa R., Laouina A., Wafteh A., 1997, *Occupations des sols et dégradation des terres dans la Mamora*. Méditerranée, 1.2., 45–53.