



Degradacja powierzchni ziemi – zakres terminologiczny, metody oceny i perspektywy badań

Land degradation – definitions, methods and research perspectives

Paweł Prokop 

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN
ul. Jana 22, 31-018 Kraków
pawel@zg.pan.krakow.pl

Zarys treści. W artykule zwrócono uwagę na rosnące zainteresowanie problemem degradacji powierzchni ziemi w związku z obecną i przewidywaną w przyszłości dużą presją na zasoby środowiska przyrodniczego. Dokonano przeglądu definicji degradacji i jej postrzegania z punktu widzenia różnych dyscyplin naukowych. Zaprezentowano przykładowe metody identyfikacji i oceny degradacji w różnych skalach czasowo-przestrzennych, wskazując ich zalety i ograniczenia. Ponadto przedstawiono perspektywy badań degradacji powierzchni ziemi, wykazując konieczność rozwoju prac nad identyfikacją czynników degradacji i ich wzajemnego oddziaływania w strefie umiarkowanej na poziomie regionu i kraju. W tym kontekście szczególnie interesująca wydaje się możliwość połączenia oceny degradacji ziemi z oceną świadczenia usług ekosystemowych.

Słowa kluczowe: środowisko przyrodnicze, degradacja, pustynnienie, wylesianie, zaludnienie.

Wstęp

Powszechnie stosowanym w literaturze anglojęzycznej terminem opisującym pogarszanie stanu zasobów naturalnych powierzchni ziemi jest *land degradation*. Przy czym słowo *land* (tłumaczone na język polski jako teren, ziemia, gleba lub grunt) definiowane jest jako jednostka przestrzenna, charakteryzowana poprzez określony typ gleby, rzeźby i roślinności połączonych w jeden system (Conacher, 2004). Zamiennie za słowo *degradation* (degradacja) używane są słowa uszkodzenie, zniszczenie, transformacja, a nawet pustynnienie.

Analiza bazy bibliograficznej *Scopus* wskazuje na podwojenie częstości użycia terminu *land degradation* w artykułach naukowych z 302 do 658 razy między 2010 a 2018 r. Najczęściej był on używany w publikacjach z zakresu nauk o środowisku, następnie rolniczych i biologicznych, dalej społecznych oraz nauk o Ziemi. Rosnące zainteresowanie degradacją powierzchni ziemi odzwierciedla przewidywany wzrost zaludnienia i związaną z tym rosnącą presję na zasoby środowiska przyrodniczego w skali globalnej, przy równocześnie trudnych do przewidzenia skutkach zdarzeń ekstremalnych wskutek zmian klimatu (IPCC, 2007; Foley i inni, 2011; von Braun i inni, 2013).

Prognozuje się, że liczba ludności na świecie osiągnie 8,6 miliarda w 2030 r. i wzrośnie do 9,8 miliarda w 2050 r. (UNDESA, 2017). Obecnie ponad połowa światowej populacji

(54%) mieszka w miastach. Liczba ludności miejskiej zwiększy się o 2,5 miliarda do 2050 r., z czego niemal 90% przypadnie na Azję i Afrykę (UNDESA, 2014). Globalny poziom produkcji rolnej w odniesieniu do 2005 r. musiałby wzrosnąć o 70–110%, aby zaspokoić popyt w 2050 r. (Tilman i inni, 2011; Alexandratos i Bruinsma, 2012). Proporcje te są znacznie wyższe niż tempo wzrostu liczby ludności, głównie z powodu rosnących wymagań i zmieniających się preferencji żywieniowych ludności o coraz wyższych dochodach (FAO, 2015).

Równocześnie szacuje się, że 70–80% powierzchni lądowej Ziemi (134 mln km²) jest nieodpowiednie dla rolnictwa ze względu na słabe gleby, strome stoki lub niekorzystny klimat (Ramankutty i inni, 2002; FAO, 2006). Około 12% powierzchni (1,6 mln km²) jest już zajęte pod uprawę (grunty orne, grunty pod trwałymi uprawami i grunty nawadniane) (FAO, 2011). Grunty orne są obecnie dominującym typem użytkowania ziemi w Azji Południowej i Południowo-Wschodniej, Europie Zachodniej i Środkowej oraz Ameryce Środkowej. Pozostała część lądu jest zajęta pod osadnictwo, porośnięta lasami i zbiorowiskami traw. Obszary trawiaste i lasy okołorównikowe środkowej Afryki i północnej części Ameryki Południowej mogą zostać wykorzystane do produkcji rolnej. Budzi to jednak wiele wątpliwości z punktu widzenia zagrożenia degradacją w skali globalnej. Wycinanie lasów tropikalnych może spowodować problemy z pochłanianiem CO₂ i utratą bioróżnorodności. Ponadto gleby tropikalne szybko tracą żyzność po zastąpieniu pokrywy leśnej uprawą i będą wymagały wysokich nakładów na utrzymanie składników odżywczych i materii organicznej (Lal i inni, 1997).

Już obecnie pogłębienie problemów z żyznością gleby powoduje ekspansja upraw monokulturowych i zwierząt hodowlanych, a 75% światowej żywności pochodzi z zaledwie 12 gatunków roślin i 5 gatunków zwierząt (FAO, 1999). Zarówno na obszarach tropikalnych, jak i w strefie umiarkowanej produkcja żywności zaczyna konkurować o dostęp do ziemi z uprawami używanymi do produkcji biopaliw (Cai i inni, 2011). Gwałtownie postępująca urbanizacja sprzyja zasklepieniu gleb, szczególnie w Europie Zachodniej, gdzie powierzchnia gruntów zabudowanych rośnie szybciej niż liczba ludności (Siebielec i inni, 2016). Wynika to ze stałego wzrostu liczby gospodarstw domowych i średniej powierzchni mieszkalnej na osobę od 1980 r.

Przedstawiony stan i prognozy zmian środowiska przyrodniczego wskazują na konieczność zapobiegania dalszej degradacji powierzchni ziemi, niezależnie od tego, czy są to systemy naturalne, czy zdominowane przez człowieka. Odbudowa zdegradowanych obszarów staje się szczególnie ważna już teraz, ponieważ popyt na dostępne tereny produkcyjne rośnie wraz ze wzrostem populacji ludzkiej i konsumpcji.

Celem artykułu jest przegląd definicji degradacji z punktu widzenia różnych dyscyplin naukowych, przegląd wypracowanych metod identyfikacji i ocen degradacji powierzchni ziemi oraz przedstawienie perspektyw badań.

Pojęcie degradacji powierzchni ziemi

Degradacja powierzchni ziemi jest złożonym pojęciem nieposiadającym jednej cechy identyfikacyjnej. Opisuje ono, w jaki sposób zasoby naturalne (gleba, woda, roślinność, skały, powietrze i rzeźba) wyczerpują się lub ich jakość ulega pogorszeniu (Eswaran i inni, 2001). W literaturze przedmiotu termin degradacja jest często używany jako termin ogólny, który obejmuje szeroki zbiór komponentów środowiska przyrodniczego (UNEP, 1992;

Johnson i inni, 1997; MEA, 2005; UNCCD, 2014; tab. 1). Czasami natomiast używa się go jedynie w odniesieniu do podzbioru komponentów, w zorientowanym na daną dyscyplinę naukową znaczeniu (Eswaran i inni, 2001; ELD-Initiative, 2013; Thompson i inni, 2013; FAO, 2015).

Wiele badań nad degradacją powierzchni ziemi koncentruje się wyłącznie na obszarach zagrożonych pustynnieniem (UNCCD, 1994, 2014). W takim przypadku definicja degradacji jest ograniczona terytorialnie do obszarów uznanych za suche, półsuche i okre-

Tabela 1. Wybrane definicje pokazujące sposób postrzegania degradacji przez przedstawicieli różnych dyscyplin naukowych

Selected definitions that show how degradation is perceived by representatives of various fields of science

Definicja	Dziedzina-dyscyplina naukowa
Degradację powierzchni ziemi można rozpatrywać w kategoriach utraty rzeczywistej lub potencjalnej wydajności lub użyteczności w wyniku czynników naturalnych lub antropogenicznych; to spadek jakości gleby lub zmniejszenie jej produktywności (Eswaran i inni, 2001).	Nauki o Ziemi i środowisku (gleboznawstwo), nauki rolnicze
Degradacja oznacza zmniejszenie zdolności ziemi do określonego sposobu użytkowania lub do zaspokojenia potrzeby społecznej (Blaikie i Brookfield, 1987).	Nauki społeczne, nauki o Ziemi i środowisku
Degradacja ziemi oznacza zmniejszenie potencjału zasobów przez jeden lub kombinację procesów działających na powierzchni ziemi. Procesy te obejmują erozję wodną, erozję wietrzną i wywołaną przez nie sedymentację, długoterminową redukcję ilości lub różnorodności naturalnej roślinności oraz zasolenie i sodyfikację (UNEP, 1992).	Nauki o Ziemi i środowisku, nauki biologiczne
Degradacja to zmniejszenie lub utrata biologicznej lub ekonomicznej produktywności zasobów ziemi (w obszarach suchych, półsuchych i okresowo suchych – przyp. Autora). Zwykle jest ona spowodowana działalnością człowieka, nasiloną przez naturalne procesy i często wzmocnioną oraz ściśle powiązana ze zmianami klimatu i utratą różnorodności biologicznej (UNCCD, 2014).	Nauki o Ziemi i środowisku, nauki biologiczne
Degradacja gleby to zmiana statusu kondycji gleby, powodująca zmniejszoną zdolność ekosystemu do dostarczania dóbr i usług dla jej beneficjentów. Zdegradowanymi są więc gleby o kondycji, która nie zapewnia typowych dóbr i usług danej gleby w jej ekosystemie (FAO, 2015).	Nauki o Ziemi i środowisku (gleboznawstwo)
Degradacja lasów jest szeroko definiowana jako zmniejszenie (w wyniku zmian antropogenicznych i środowiskowych) zdolności lasu do świadczenia usług ekosystemowych, takich jak składowanie dwutlenku węgla i dostarczanie produktów z drewna (Thompson i inni, 2013).	Nauki leśne, nauki biologiczne
Degradacja ziemi to zmniejszenie (w wyniku działalności antropogenicznej lub naturalnej ewolucji biofizycznej) wartości ekonomicznej usług ekosystemowych i towarów pochodzących z ziemi (ELD-Initiative, 2013).	Nauki społeczne (ekonomia środowiskowa), nauki biologiczne
Degradacja ekosystemu to trwałe zmniejszanie zdolności do świadczenia usług ekosystemowych. W przypadku usług zaopatrzeniowych jest to zmniejszenie świadczenia usług poprzez zmiany w obszarze, na którym świadczona jest usługa lub zmniejszenie produkcji na jednostkę powierzchni. W przypadku usług regulacyjnych i wspomagających jest to zmniejszenie korzyści uzyskanych z usług poprzez zmianę usługi lub presję człowieka, która przekracza granicę możliwości świadczenia usługi. W przypadku usług kulturowych jest to zmiana cech ekosystemu, która zmniejsza korzyści kulturowe ekosystemu (MEA, 2005).	Nauki biologiczne (ekologia), nauki o Ziemi i środowisku, nauki społeczne

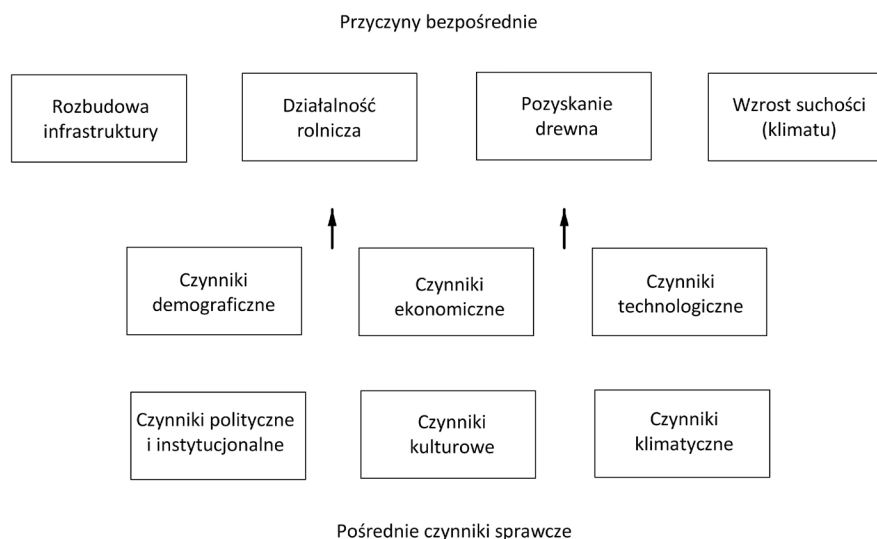
Opracowanie własne na podstawie: Blaikie i Brookfield (1987); ELD-Initiative (2013); Eswaran i inni (2001); FAO (2015); MEA (2005); Thompson i inni (2013); UNCCD (2014); UNEP (1992)

Author's own elaboration based on: Blaikie i Brookfield (1987); ELD-Initiative (2013); Eswaran i inni (2001); FAO (2015); MEA (2005); Thompson i inni (2013); UNCCD (2014); UNEP (1992).

sowo suche (MAE, 2005). Podstawą ich wyznaczenia jest wskaźnik suchości AI (Aridity Index), obliczany jako wieloletni stosunek opadów do potencjalnej ewapotranspiracji. W zasięgu tak zdefiniowanego wskaźnika ($0,05 < AI < 0,65$) znajduje się 41,3% powierzchni lądów (w tym znaczna część środkowej Polski), zamieszkałych przez 34,7% ludności świata. Pustynnienie nie oznacza więc warunków panujących na obszarach tradycyjnie opisywanych jako „pustynie”, ale wynika z naturalnej zmienności klimatu i działalności człowieka, prowadzących do warunków zbliżonych do panujących w obszarach z niedoborem wody. Za szczególnie wrażliwe na pustynnienie uważa się regiony o długiej tradycji użytkowania ziemi, m.in. wyżyn lessowych w Chinach wylesionych 5000 lat temu (Zhang, 2000), basenu Morza Śródziemnego wylesionego w czasach starożytnych Greków i Rzymian (Grove i Rackham, 2003), a także Mezopotamii na Bliskim Wschodzie i Sahelu w północnej Afryce (Montgomery, 2007; Gomiero, 2016).

P. Blaikie i H. Brookfield (1987) wskazują, że degradacja powierzchni ziemi powinna z definicji być problemem społecznym. Procesy „czysto” środowiskowe, takie jak ługowanie i erozja gleb, zachodzą z ingerencją człowieka lub bez niej, ale identyfikacja tych procesów jako degradacji oznacza zastosowanie kryteriów społecznych, które wiążą pojęcie ziemi z możliwością jej obecnego lub potencjalnego wykorzystania.

C.J. Barrow (1991) zaznacza, że precyzyjna definicja pojęcia degradacji nie jest możliwa, ze względu na istnienie wielu czynników za nią odpowiedzialnych. H.J. Geist i E.F. Lambin (2002, 2004), analizując przyczyny wylesiania obszarów tropikalnych, zidentyfikowali sześć pośrednich grup czynników sprawczych, które legły u podstaw bezpośrednich przyczyn wylesiania i degradacji (ryc. 1). Do najważniejszych czynników sprawczych, tworzących warunki do wystąpienia procesu degradacji, zaliczyli czynniki demograficzne (m.in. gęstość zaludnienia, migracje, przyrost naturalny), czynniki ekonomiczne (m.in. komercjalizację, urbanizację i uprzemysłowienie) oraz zaawansowanie technologiczne (m.in. in-



Ryc. 1. Siły sprawcze degradacji powierzchni ziemi – pustynnienia

Drivers of land degradation – desertification

Źródło: Geist i Lambin (2004); uproszczone / Source: Geist and Lambin (2004); simplified.

nowacyjność). Istotne były również czynniki polityczne, instytucjonalne, kulturowe oraz naturalne zagrożenia klimatyczne, współdziałające lub nie ze wspomnianymi wcześniej sprawczymi czynnikami antropogenicznymi. Do czterech bezpośrednich przyczyn degradacji zaliczono rozwój infrastruktury (m.in. związanej z nawadnianiem, budową dróg, osadnictwem), ekspansję rolnictwa (zarówno produkcji roślin, jak i hodowli zwierząt) oraz pozyskanie drewna i roślin leczniczych. Degradacji sprzyjały dodatkowo czynniki klimatyczne, takie jak zmniejszenie wysokości opadów, długotrwałe susze i pożary. Większość wymienionych pośrednich czynników sprawczych i przyczyn bezpośrednich odpowiada również za degradację powierzchni ziemi w skali globalnej (Turner i inni, 2016).

Przyczyny degradacji ziemi na badanym obszarze zazwyczaj są liczne i układają się w łańcuch przyczynowo-skutkowy. Tylko jeden czynnik – wylesienie – prawie zawsze prowadzi do zwiększonego spływu powierzchniowego, erozji wodnej, obniżenia zdolności retencyjnej gleby, spadku zawartości składników pokarmowych i zawartości materii organicznej oraz sedymentacji u podnóży stoków (Lal, 2001). W rezultacie pojawia się sprzężenie zwrotne – usunięcie roślinności przyspiesza erozję, a zdegradowana gleba o mniejszej produktywności uniemożliwia regenerację naturalnej roślinności, zmniejszając bioróżnorodność ekosystemu (Lal i inni, 1997). Dość często ten sam czynnik przyczynowy może prowadzić do różnych skutków z powodu jego zróżnicowanych interakcji z innymi przyczynami degradacji ziemi. Wzrastająca gęstość zaludnienia może skutkować intensyfikacją użytkowania prowadzącą do polepszenia lub degradacji gleby, w zależności od innych czynników współdziałających (Von Braun i inni, 2013).

Problem degradacji nie jest więc ograniczony terytorialnie do krajów rozwijających się, obszarów o wysokiej gęstości zaludnienia czy określonej strefy morfoklimatycznej. Istnieją natomiast środowiska z natury bardziej podatne na degradację, np. góry o stromych stokach otrzymujące bardzo wysokie opady, obszary aktywne sejsmicznie, tereny zagrożone długotrwałą suszą i poddane równocześnie intensywnej działalności człowieka czy strefy ekotonów.

Metodyczne problemy identyfikacji i oceny degradacji powierzchni ziemi

Zróżnicowany zakres pojęciowy degradacji skutkuje trudnościami w opracowaniu metodyki i dostarczeniu porównywalnych informacji. Wspólną cechą definicji degradacji jest zwrócenie uwagi na odchylenie komponentów środowiska przyrodniczego od normalnego lub pożądanego stanu. Nasuwają się więc pytania: w jaki sposób ustalić stan normalny lub pożądaný? Jak w rzeczywistości postrzegamy i decydujemy, co jest zdegradowane (lub zmienione), a co nie? Jaki jest warunek progowy, powyżej którego następuje degradacja?

W pojęciu „degradacja” tkwi nieuchronnie subiektywność w sposobie jej postrzegania (Hobbs, 2016). Dotyczy to zarówno eksperta oceniającego stopień degradacji, jak i użytkownika zasobów przyrody. Patrząc na świeżo wycięty las, entuzjasta przyrody może zobaczyć zubożały las, leśnik widzi produktywny las regenerujący się po pozyskaniu drzew, a rolnik zauważa kawałek dobrej ziemi nadający się pod uprawę. Problematyczne są także obszary o naturalnie niskiej produktywności, takie jak wrzosowiska lub naturalnie zasolone gleby, które można również postrzegać jako zdegradowane.

Degradacja z definicji dotyczy stopniowych, często subtelnych zmian, zachodzących w stosunkowo długim czasie (Brabant, 2010). Bardzo zdegradowane tereny są łatwe

do rozpoznania. Znacznie trudniej jest natomiast dostrzec i oszacować wartość obniżenia żyzności gleby wskutek erozji trwającej setki lub tysiące lat. Z reguły więc o wiele więcej uwagi w literaturze naukowej poświęca się środowiskowym i ekonomicznym skutkom zdarzeń ekstremalnych, z udziałem człowieka lub bez, niż powolnym procesom degradacji.

Kwestia degradacji staje się szczególnie złożona w kontekście krajobrazów kulturowych, będących często mozaiką obszarów o różnym stopniu i genezie zmian (Richling i Solon, 1993; Myga-Piątek, 2014; Hobbs, 2016). Krajobrazy kulturowe, ukształtowane przez uprawę, pasterstwo, ogień, selektywne sadzenie uprzywilejowanych gatunków roślin, wymagają kontynuacji określonych form zarządzania, bez których zmieniają się w inne typy ekosystemów.

Ze względu na czynnik czasu zawarty w definicjach przy ocenie degradacji powierzchni ziemi istotne jest rozpoznanie stanu środowiska przyrodniczego w przeszłości. „Naturalny krajobraz” bywa często wynikiem długiej i dziś już zapomnianej działalności człowieka, np. biomy makii w basenie Morza Śródziemnego nie dają prawdziwych oznak potencjału produkcyjnego, jakie posiadały te pierwotnie żyzne tereny (Montgomery, 2007). Taka sama działalność człowieka może z czasem różnie oddziaływać na środowisko przyrodnicze. Skutki rolnictwa żarowego przy małym zaludnieniu były równoważone przez zdolność ekosystemów leśnych do naturalnej regeneracji przez dziesiątki tysięcy lat (Whitmore, 1975). Gospodarka żarowa przy zaludnieniu powyżej ok. 10–20 os./km² powoduje obecnie trwałe wylesienie i degradację gleb na obszarach tropikalnych.

Odtworzenie stanu środowiska w przeszłości ograniczone jest możliwością wykorzystania istniejących przestrzennych danych pomiarowych. Zazwyczaj dane satelitarne obejmują ostatnie 40–50 lat, klimatologiczne pomiary sięgają 150–200 lat wstecz, a dane kartograficzne i ekonomiczne pozwalają odtworzyć historię zmian użytkowania ziemi i zaludnienia za ostatnie 300 lat. Chcąc zbadać przemiany środowiska w odległej przeszłości, niezbędne jest podejście interdyscyplinarne i sięgnięcie po metody z zakresu archeologii, paleogeografii, geologii i historii.

Do identyfikacji i oceny degradacji wykorzystuje się więc metody używane w wielu dyscyplinach naukowych (tab. 1). W naukach o Ziemi i środowisku, degradacja powierzchni ziemi często dzielona jest na fizyczną, chemiczną i biologiczną (Lal i inni, 1989; Brabant 2010; von Braun i inni, 2013). Typy te, przez niektórych badaczy określane jako procesy (np. Lal i inni, 1989), są ze sobą powiązane, chociaż rzadko badane w sposób kompleksowy, ze względu na bardzo szeroki zakres zmian komponentów środowiska przyrodniczego, jaki obejmują. Fizyczna degradacja ziemi odnosi się m.in. do erozji, utraty węgla organicznego w glebie, zmian w strukturze fizycznej gleby, takich jak kompakcja lub tworzenie się skorupy i nasiąkanie wodą. Degradacja chemiczna obejmuje wymywanie, zasolenie, zakwaszenie, brak równowagi składników odżywczych, obniżenie żyzności i zanieczyszczenie. Degradacja biologiczna oznacza m.in. wylesianie i utratę różnorodności biologicznej, degradację pastwisk oraz obniżenie populacji flory i fauny. Często, ale niesłusznie, wymienione trzy typy degradacji ogranicza się jedynie do pojęcia degradacji gleby, które jest jednak pojęciem węższym od degradacji powierzchni ziemi (FAO, 2015; Gomiero, 2016, tab. 1).

Wybór metody identyfikacji i oceny degradacji, obok celu opracowania, zależy od skali opracowania. W dużych skalach, na powierzchniach do ok. 100 km² (np. małej zlewni), najczęściej wykorzystuje się wiedzę ekspercką w połączeniu z badaniami terenowymi oraz analizą materiałów kartograficznych i teledetekcyjnych (Stocking i Murnaghan, 2000; Brabant, 2010). Proces oceny degradacji może przebiegać w trzech etapach. W pierwszym

etapie identyfikuje się rodzaje degradacji występujące na badanym terenie np. erozja wodna, wąwozowa, zanieczyszczenie, zasklepanie gleby wskutek procesów urbanizacyjnych. W drugim etapie określa się zasięg degradacji poprzez powiązanie rodzaju degradacji z typem gleby, rzeźby terenu i/lub sposobem użytkowania terenu. Na ostatnim etapie określa się stopień degradacji poprzez pomiar np. natężenia erozji, gęstości wąwozów, wielkości zanieczyszczenia, powierzchni zasklepionej gleby. Wartościom liczbowym przyporządkowuje się ocenę jakościową stopnia degradacji, np. brak, niski, średni, wysoki i bardzo wysoki. Jest to istotne, ponieważ w dwóch miejscach różniących się warunkami glebowymi, roślinnością itp., degradacja może przebiegać podobnie i w tym samym tempie, a w każdym z przypadków skutki mogą być różne (Barrow, 1991). Erozja 1 cm gleby rocznie na dobrze rozwiniętych glebach o miąższości 300 cm nie stanowi dużego problemu, natomiast usunięcie takiej samej warstwy na płytkich glebach o miąższości 50 cm jest już poważnym zagrożeniem (Brabant, 2010). Ocena jakościowa umożliwia późniejsze porównanie stopnia degradacji między odległymi obszarami oraz ułatwia podjęcie decyzji, czy w przypadku bardzo wysokiego stopnia degradacji odbudowa zasobów środowiska jest opłacalna. Przykłady różnych podejść do identyfikacji i oceny degradacji powierzchni ziemi w dużych skalach z uwzględnieniem zmian historycznych można znaleźć w publikacjach m.in. R. Dulias (2018), P. Migonia i A. Latochy (2018) oraz Z. Rączkowskiej i innych (2018).

W przypadku oceny degradacji powierzchni ziemi w średniej skali (region, państwo) często wykorzystywana jest analiza pustynnienia i użytkowania ziemi opracowana dla regionu basenu Morza Śródziemnego – MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*; Kosmas i inni, 1999). Uwzględnia ona wartości kilkunastu zmiennych fizycznych obejmujących cechy klimatu (wysokość opadu, wskaźnik suchości, ekspozycję stoków), gleb (skałę macierzystą, teksturę, miąższość, przepuszczalność, nachylenie stoku) i roślinności (zagrożenie pożarem, odporność na suszę, stopień pokrycia terenu, ochronę przed erozją) oraz antropogenicznych (użytkowanie ziemi z uwzględnieniem stosowanych form ochrony przyrody). Wymienione cechy są agregowane w cztery wskaźniki jakości: klimatu, gleby, roślinności i zarządzania badanym terenem. Średnia geometryczna z czterech wskaźników pozwala podzielić badany region na klasy o krytycznym, umiarkowanym i potencjalnym zagrożeniu degradacją. Metodę cechuje prostota i elastyczność umożliwiająca uwzględnienie dodatkowych zmiennych fizycznych, typowych dla badanego regionu. Zaletą jest też duża łatwość implementacji w GIS i przedstawienia przestrzennego zagrożenia degradacją. MEDALUS jest uważana obecnie za stabilną procedurę oceny degradacji, zweryfikowaną w wielu państwach Europy, w tym Europy Środkowej (Právělie i inni, 2017), w Afryce Północnej (Bakr i inni, 2012), na Bliskim Wschodzie (Sepehr i inni, 2007), a także w strefie subtropikalnej Chin (Han i inni, 2019).

Do oceny degradacji w skali globalnej zastosowano dotychczas cztery podejścia (Gibbs i Salmon, 2015, tab. 2). Wszystkie opracowania opierały się na danych pośrednich (*proxy*) w postaci wskaźników degradacji pochodzących z opracowań eksperckich w różnych skalach, obserwacji satelitarnych, modeli biofizycznych i inwentaryzacji opuszczonych pól uprawnych. Porównanie globalnych szacunków całkowitej powierzchni zdegradowanej obliczonej tymi metodami wykazało zróżnicowanie od mniej niż 10 mln km² do ponad 60 mln km², przy równie szerokich różnicach w ich rozmieszczeniu przestrzennym. Rozbieżności są wynikiem m.in. użycia różnych metod pomiarowych, przez co uzyskane dane stają się nieporównywalne, a znaczna ich część odnosi się raczej do ryzyka wystąpienia procesów degradacji niż aktualnego stanu badanego obszaru.

Autorzy porównania zwracają uwagę na duże ryzyko przeszacowania dostępności i potencjału produkcyjnego obszarów, które mogą być wykorzystane do produkcji rolniczej w przyszłości (tab. 2). Ma to istotne znaczenie w przypadku konieczności zaspokojenia potrzeb żywnościowych rosnącej populacji ludzkiej, a także przy szacowaniu nakładów koniecznych do rekultywacji zdegradowanych terenów.

Tabela 2. Zalety i ograniczenia głównych podejść stosowanych do kartowania i oceny degradacji powierzchni ziemi w skali globalnej

Advantages and limitations of major approaches used to map and quantify land degradation of the global scale

Metody oceny degradacji powierzchni ziemi	Zalety	Ograniczenia
Opinia ekspercka (Oldeman i inni, 1990; Dregne i Chou, 1992; Bot i inni, 2000)	<ul style="list-style-type: none"> uwzględnia degradację w przeszłości mierzy rzeczywistą i potencjalną degradację może uwzględnić degradację gleby i roślinności 	<ul style="list-style-type: none"> brak spójności w skali globalnej subiektywność oceny i jakościowe podejście rzeczywista i potencjalna degradacja nie zawsze są rozróżniane stan i proces degradacji często się łączą
Dane satelitarne Produktywność pierwotna netto (Bai i inni, 2008) Wskaźnik zagarnięcia produkcji pierwotnej i wyparcia biomasy roślinnej (Sutton i inni, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> spójna w skali globalnej ilościowa powtarzalna mierzy rzeczywiste, a nie potencjalne zmiany 	<ul style="list-style-type: none"> zaniedbuje degradację gleby uwzględnia tylko proces degradacji po 1980 r. może być zaburzona przez inne czynniki biofizyczne
Modele biofizyczne (Cai i inni, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> spójna w skali globalnej ilościowa 	<ul style="list-style-type: none"> ograniczona do obecnych upraw nie obejmuje degradacji roślinności mierzy potencjalną, a nie rzeczywistą degradację
Inwentaryzacja opuszczonych pól uprawnych (Field i inni, 2008; Campbell i inni, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> spójna w skali globalnej ilościowa uwzględnia zmiany od 1700 r. mierzy rzeczywiste, a nie potencjalne zmiany 	<ul style="list-style-type: none"> zaniedbuje degradację poza polami opuszczonymi obejmuje też tereny niezdegradowane

Źródło: Gibbs i Salmon (2015); zmienione / Source: Gibbs i Salmon (2015); modified.

Podsumowanie – perspektywy badań nad degradacją powierzchni ziemi

Oczywiste staje się, że przyzwolenie na degradację powierzchni ziemi jest kosztowne dla społeczeństwa, zwłaszcza w perspektywie długoterminowej. Dalsza szybka urbanizacja, sposób prowadzenia polityki bioenergetycznej, zakładanie plantacji monokulturowych oraz ekspansja rolnictwa, nieuchronnie wpłyną na stan środowiska przyrodniczego w różnych skalach przestrzennych.

Przedstawione definicje, metody badań i wyniki studiów nad degradacją wskazują, że nadal istnieją poważne braki w identyfikacji jej czynników oraz w badaniach ich wzajemnych oddziaływań (Turner i inni, 2016). Badania ukierunkowane na jeden podstawowy czynnik sprawczy degradacji nie są na ogół wystarczające. Przy kształtowaniu polityki zapobiegania lub łagodzenia degradacji należy raczej wziąć pod uwagę szereg czynników leżących u jej podstaw. Wymaga to najczęściej badań łączących co najmniej kilka dyscy-

plin naukowych. W przypadku Polski konieczne są dalsze studia nad obszarami szczególnie wrażliwymi na różne typy degradacji, takimi jak: góry ze stromymi stokami narażonymi na erozję i ruchy masowe, tereny wydobycia surowców mineralnych ze zdegradowanymi fizycznie i chemicznie glebami oraz deformacjami powierzchni terenu, wyżyny lessowe narażone na erozję wodną, niziny w środkowej części kraju z sezonowymi niedoborami wody czy rozrastającymi się przedmieściami dużych miast z postępującym zasklepieniem gleby.

Przez długi czas najbardziej znaczące wysiłki badaczy degradacji powierzchni ziemi koncentrowały się na ocenie fizycznych, chemicznych i biologicznych procesów wpływających na żyzność gleb, zwłaszcza w warunkach wylesiania i intensyfikacji upraw (Oldeman i inni, 1990; Lal, 2001). Ostatnie prace pokazują możliwość łączenia problematyki degradacji powierzchni ziemi z podejściem ekosystemowym, które obejmuje ocenę abiotycznych i biotycznych elementów środowiska przyrodniczego wraz ze skutkami oddziaływania człowieka (Turner i inni, 2016; Costanza i inni, 2017; Ellis i inni, 2019). Wykorzystywane mogą być przy tym różne metody oparte na wycenie ekonomicznej (Sutton i inni, 2016) lub ocenie w oparciu o ranking bez monetyzacji (Solon i inni, 2017).

Obecnie nie ma wyraźnego konsensusu co do zasięgu i stopnia zdegradowania powierzchni ziemi nie tylko globalnie, ale nawet w obrębie konkretnego kraju (Gibbs i Salmon, 2015). Często brakuje rutynowych ocen degradacji na poziomie kraju, które monitorują istniejące wcześniej lub zmieniające się warunki, nie ma również zgody co do sposobu przeprowadzania takich ocen. W skali globalnej wiele badań degradacji koncentruje się wyłącznie na obszarach zagrożonych pustynnieniem, więc ich wyniki są trudne do porównania z szerszymi badaniami obejmującymi strefy umiarkowaną i tropikalną. W kontekście przyszłych badań konieczna jest więc standaryzacja metod identyfikacji i oceny zasięgu degradacji ponad granicami politycznymi, kulturowymi i biofizycznymi.

W przeciwieństwie do skali globalnej, na poziomie lokalnym jest wiele eksperckich studiów nad degradacją, zazwyczaj jednak rozproszonych i wykonanych z użyciem różnych metod pomiarowych. Zebranie ich w ujednoczone bazy danych powinno ułatwić przejście do analiz na poziomie dużych regionów fizycznogeograficznych i państw.

Piśmiennictwo

- Alexandratos N., Bruinsma J., 2012, *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*, ESA Working paper, FAO, Rome, Italy, http://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/Global_persepectives/world_ag_2030_50_2012_rev.pdf (25.06.2019).
- Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E., 2008, *Proxy global assessment of land degradation*, *Soil Use and Management*, 24, s. 223–234.
- Bakr N., Weindorf D.C., Bahnassy M.H., El-Badawi M.M., 2012, *Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators*, *Ecological Indicators*, 15, s. 271–280.
- Barrow C.J., 1991, *Land Degradation: Development and breakdown of terrestrial environments*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Blaikie P., Brookfield H., 1987, *Land degradation and society*, Methuen, London.
- Bot A.J., Nachtergaele F.O., Young A., 2000, *Land resource potential and constraints at regional and country levels*, FAO, Land and Water Development Division, Rome, Italy.

- Brabant P., 2010, *A land degradation assessment and mapping method. A standard guideline proposal*, Les dossiers thématiques du CSFD, 8, CSFD, Agropolis International, Montpellier, France.
- Von Braun J., Gerber N., Mirzabaev A., Nkonya E., 2013, *The economics of land degradation*, ZEF Working Paper Series, Working Paper 109, University of Bonn, Germany.
- Cai X., Zhang X., Wang D., 2011, *Land availability for biofuel production*, *Environmental Science and Technology*, 45, s. 334–339.
- Campbell J.E., Lobell D.B., Field C.B., 2009, *Greater transportation energy and GHG offsets from bioelectricity than ethanol*, *Science*, 324, s. 1055–1057.
- Conacher A., 2004, *Land system*, [w:] A. Goudie (red.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Oxford.
- Costanza R., de Groot R., Braat L., Kubiszewski I., Fioramonti L., Sutton P., Farber S., Grasso M., 2017, *Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?*, *Ecosystem Services*, 28, s. 1–16.
- Dregne H.E., Chou N.T., 1992, *Global desertification dimensions and costs*, *Degradation & Restoration of Arid Lands*, s. 73–92.
- Dulias R., 2018, *Drift sand fields as a result of past and current deforestation in the Silesian-Cracow Upland, Poland*, *Land Degradation & Development*, 29, s. 1530–1539.
- ELD-Initiative, 2013, *The rewards of investing in sustainable land management*, [w:] *Interim report for the economics of land degradation initiative: A global strategy for sustainable land management*, http://www.eld-initiative.org/fileadmin/pdf/ELD_Interim_Report_Summary_2013_2_1.pdf (25.06.2019).
- Ellis E.C., Pascual U., Mertz O., 2019, *Ecosystem services and nature's contribution to people: Negotiating diverse values and trade-offs in land systems*, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, s. 86–94.
- Eswaran H., Lal R., Reich P.F., 2001, *Land degradation: An overview*, [w:] E.M. Bridges, I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr, S. Sompatpanit (red.), *Responses to land degradation*, Proceedings of the 2nd International Conference on Land Degradation and Desertification, KhonKaen, Thailand, Oxford Press, New Delhi, India.
- FAO, 1999, *Women: users, preservers and managers of agrobiodiversity*, FAO, Rome, Italy, www.fao.org/FOCUS/E/Women/Biodiv-e.htm (25.06.2019).
- FAO, 2006, *World agriculture: towards 2030/2050. Interim report*, FAO, Rome, Italy, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/esag/docs/Interim_report_AT2050web.pdf. (25.06.2019).
- FAO, 2011, *The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk*, FAO, Rome and Earthscan, London.
- FAO, 2015, *Soil degradation*, FAO, Rome, Italy, <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/> (25.06.2019).
- Field C.B., Campbell J.E., Lobell D.B., 2008, *Biomass energy: The scale of the potential resource*, *Trends in Ecology & Evolution*, 23, s. 65–72.
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockstrom J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D.P.M., 2011, *Solutions for a cultivated planet*, *Nature*, 478, s. 337–342.
- Geist H.J., Lambin E.F., 2002, *Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation*, *BioScience*, 52, s. 143–150.
- Geist H.J., Lambin E.F., 2004, *Dynamic causal patterns of desertification*, *Bioscience*, 54, s. 817–829.
- Gibbs H.K., Salmon J.M., 2015, *Mapping the world's degraded lands*, *Applied Geography*, 57, s. 12–21.

- Gomiero T., 2016, *Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge*, Sustainability, 8, 281.
- Grove A.T., Rackham O., 2003, *The nature of Mediterranean Europe: An ecological history*, Yale University Press, USA.
- Han W., Liu G., Su X., Wu X., Chen L., 2019, *Assessment of potential land degradation and recommendations for management in the south subtropical region, Southwest China*, Land Degradation & Development, 30, s. 979–990.
- Hobbs R.J., 2016, *Degraded or just different? Perceptions and value judgements in restoration decisions*, Restoration Ecology, 24, s. 153–158.
- IPCC, 2007, *IPCC fourth assessment report (AR4)*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK.
- Johnson D.L., Ambrose S.H., Bassett T.J., Bowen M.L., Crummey D.E., Isaacson J.S., Johnson D.L., Lamb P., Saul M., Winter-Nelson A.E., 1997, *Meanings of environmental terms*, Journal of Environmental Quality, 26, s. 581–589.
- Kosmas C., Kirkby M., Geeson N., 1999, *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*, European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development, EUR 18882, Bruxelles.
- Lal R., 2001, *Soil degradation by erosion*, Land Degradation & Development, 12, s. 519–539.
- Lal R., Blum W.E.H., Valentin C., Stewart B.A. (red.), 1997, *Methods for assessment of soil degradation*, CRC Press, New York.
- Lal R., Hall G.F., Miller F.P., 1989, *Soil degradation: I. Basic processes*, Land Degradation & Development, 1, s. 51–69.
- MEA, 2005, *Ecosystems and human well-being: synthesis*, Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington D.C.
- Migoń P., Latocha A., 2018, *Human impact and geomorphic change through time in the Sudetes, Central Europe*, Quaternary International, 470, s. 194–206.
- Montgomery D.R., 2007, *Dirt: The erosion of civilization*; University of California Press, Berkeley, CA, USA.
- Myga-Piątek U., 2014, *Historia, metody i źródła badań krajobrazu kulturowego*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 17, s. 71–77.
- Oldeman L.R., Hakkeling R.U., Sombroek W.G., 1990, *World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note*, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Právělie R., Patriche C., Bandoc G., 2017, *Quantification of land degradation sensitivity areas in Southern and Central Southeastern Europe. New results based on improving DISMED methodology with new climate data*, Catena, 158, s. 309–320.
- Ramankutty N., Foley J.A., Norman J., McSweeney K., 2002, *The global distribution of cultivable lands: Current patterns and sensitivity to possible climate change*, Global Ecology and Biogeography, 11, s. 377–392.
- Rączkowska Z., Bucala-Hrabia A., Prokop P., 2018, *Geomorphological and sedimentological indicators of land degradation (Meghalaya Plateau, NE India)*, Land Degradation & Development, 29, s. 2746–2759.
- Richling A., Solon J., 1993, *Ekologia krajobrazu*, PWN, Warszawa.
- Sepehr A., Hassanli A.M., Ekhtesasi M.R., Jamali J.B., 2007, *Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method*, Environmental Monitoring Assessment, 134, s. 243–254.

- Siebielec G., Prokop G., van Delden H., Verzandvoort S., Miturski T., Łopatka A., 2016, *Soil sealing*, [w:] J. Stolte, M. Tesfai, L. Oygarden, S. Kvaerno, J. Keizer, F. Verheijen, P. Panagos, C. Ballabio, R. Hessel (red.), *Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services: deliverable 2.1 RECARE project*, European Commission, DG Joint Research Centre, Luxembourg, s.79–91.
- Solon J., Roo-Zielińska E., Affek A., Kowalska A., Wolski J., Degórski M., Grabińska B., Kołaczowska E., Regulska E., Kruczkowska B., 2017, *Świadczenia ekosystemowe w krajobrazie młodogłacjalnym: ocena potencjału i wykorzystania*, IGiPZ PAN, Wydawnictwo Akademickie SEDNO, Warszawa.
- Stocking M.A., Murnaghan N., 2000, *Handbook for the field assessment of land degradation*, Earthscan Publication Ltd., London.
- Sutton P.C., Anderson S.J., Costanza R., Kubiszewski I., 2016, *The ecological economics of land degradation: Impacts on ecosystem service values*, *Ecological Economics*, 129, s. 182–192.
- Thompson I.D., Guariguata M.R., Okabe K., Bahamondez C., Nasi R., Heymell V., Sabogal C., 2013, *An operational framework for defining and monitoring forest degradation*, *Ecology and Society*, 18, 2.
- Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L., 2011, *Global food demand and the sustainable intensification of agriculture*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, s. 20260–20264.
- Turner K.G., Anderson S., Gonzales-Chang M., Costanza R., Courville S., Dalgaard T., Dominati E., Kubiszewski I., Ogilvy S., Porfirio L., Ratna N., Sandhu H., Sutton P.C., Svenning J.-C., Turner G.M., Varennes Y.-D., Voinov A., Wratten S., 2016, *A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration*, *Ecological Modelling*, 319, s. 190–207.
- UNCCD, 1994, *The United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*, https://treaties.un.org/doc/Treaties/1996/12/19961226%2001-46%20PM/Ch_XXVII_10p.pdf (25.06.2019).
- UNCCD, 2014, *Land degradation neutrality: Resilience at local, national and regional levels*, United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany, http://catalogue.unccd.int/858_V2_UNCCD_BRO_.pdf (25.06.2019).
- UNDESA, 2014, *World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights*, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, ST/ESA/SER.A/366, <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf> (25.06.2019).
- UNDESA, 2017, *World population prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables*, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Working Paper No. ESA/P/WP/248, https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf (25.06.2019).
- UNEP, 1992, *World atlas of desertification*, United Nations Environmental Program, Edward Arnold, London, United Kingdom.
- Whitmore T.C., 1975, *Tropical rain forests of the Far East*, Clarendon Press, Oxford.
- Zhang Y., 2000, *Deforestation and forest transition: Theory and evidence in China*, [w:] *World forests from deforestation to transition?* Springer, Dordrecht, s. 41–65.

Summary

The analysis of the *Scopus* bibliographic database indicates a doubling of the frequency of use of the term land degradation in scientific articles from 302 to 658 times between 2010 and 2018. Most often it was used in publications in the fields of environmental, agricultural, biological, social and earth sciences, respectively. The growing interest in land degradation reflects expected population growth and the consequent increasing pressure on the natural environment on a global scale, with it at the same time being difficult to predict the effects of extreme events due to climate change. The purpose of the article is to review the definition of land degradation from the point of view of various scientific disciplines, and to draw attention to the methods of identification and assessment of land degradation, as well as research perspectives.

The review of definitions indicates that land degradation is a complex concept lacking a single identifying feature. It describes how natural resources (soil, water, vegetation, rocks, air and topography) are depleted or experience a lowering in quality. Although a precise definition of the concept of degradation is not possible, due to the existence of many factors responsible for it, land degradation is by definition not merely an environmental problem, but also a social one.

The diverse range of land degradation concepts results in difficulties with the development of methodology and the supply of comparable information. The choice of identification method and degradation assessment, next to the purpose of the study, depends on the latter's spatial scale. At detailed scales, over areas of up to approx. 100 km² (e.g. a small catchment), expert knowledge is most often used in conjunction with field survey and the analysis of cartographic and remote-sensing data. In the assessment of land degradation on a medium scale (that of a region or country), a desertification and land-use analysis developed for the Mediterranean region – MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) is often used. It takes into account the values of several physical variables, including climate characteristics, soil features, vegetation and anthropogenic factors, including land use with the forms of environmental protection. MEDALUS is a stable degradation assessment procedure, verified in many European countries, including Central Europe, North Africa, the Middle East, as well as China's subtropical zone. Only four approaches have so far been used to assess degradation on a global scale. All studies were based on proxy data in the form of degradation indicators derived from expert studies at various scales, satellite observations, biophysical models and the inventorying of abandoned farmland.

The presented definitions, research methods and results of studies on degradation indicate that there are still serious deficiencies with the identification of degradation factors and the study of their interactions, especially at regional and national levels. The gathering together of many local expert studies into unified databases should facilitate transition to analysis at the level of large physico-geographical regions and countries. In this context, the possibility of an assessment of land degradation being combined with one relating to the provisioning of ecosystem services would seem particularly interesting.

