

Artur Michałowski

# MATERIALNE USŁUGI ŚRODOWISKA W ŚWIETLE ZAŁOŻEŃ EKONOMII ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

---

Artur Michałowski, dr – Wyższa Szkoła Administracji Publicznej w Białymstoku

adres korespondencyjny:

17-200 Hajnówka, ul. M. Reja 3/20

e-mail: arturmichalowski@wp.pl

## MATERIAL ECOSYSTEM SERVICES IN THE APPROACH OF THE ASSUMPTIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT ECONOMICS

**SUMMARY:** Preservation of ecosystem services is a necessary condition for the implementation of sustainable development. In the paper the author attempts to analyze ecosystem services related to the environmental processes for treatment of the matter that constitutes, in addition to energy and information, the basic natural resource environment. The issue of preserving the material ecosystem services is an area of emerging sustainable development economics. Ecosystem services are still very variously defined, and the methodology of their analysis is mixed. According to the author of ecosystem services, as a category of sustainable development economics can be defined as follows: they are all ecological processes are carried out by the forces of geophysical and living organisms, which process matter, energy and information, as well as transforming the space so as to contribute to the decrease in the intensity entropy flux in makrosystemie environment-economy-society. In the area of material ecosystem services should be divided into the following types: processing of material in the cover soil, the production of organic matter, decomposition of organic matter and anthropogenic pollution. Inclusion of material ecosystem services in the sustainable development economics requires the development of methodologies for their measurement and economic valuation methods, which should make use of the achievements of formal and natural sciences.

**KEY WORDS:** sustainable development, sustainable development economics, ecosystem services, ecological processes, anthropogenic impact

---

## Wstęp

Zachowanie usług środowiska (świadczeń ekosystemów; *ecosystem services*) jest niezbędnym warunkiem wdrożenia zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego. Środowisko przyrodnicze tworzy i dostarcza zasoby naturalne, a także przeprowadza procesy ekologiczne, które stanowią podstawy jego usług. Problematyka zasobów naturalnych została już szeroko omówiona i przeanalizowana w teorii ekonomii. Kategoria usług środowiska jest zaś stosunkowo nowym obszarem badań ekonomicznych. Usługi środowiska nadal są bardzo różnorodnie definiowane, a metodologia ich analiz jest zróżnicowana. Jednakże podkreślić należy, że są one przedmiotem badań ekonomicznych, które wymagają uwzględnienia dorobku nauk przyrodniczych, w największym stopniu teorii ekologii. Pogłębione i bardziej precyzyjne badania usług środowiska wymuszają twórcze wprowadzanie pojęć i praw ekologicznych do teorii ekonomii. Ich systematyzacja i ocena powinna wynikać z jednoznacznie uzgodnionych w naukowej dyskusji kryteriów ekologiczno-ekonomicznych.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę analizy usług środowiska związanych z ekologicznymi procesami przetwarzania materii, która stanowi, obok energii i informacji, podstawowy zasób naturalny środowiska przyrodniczego. Problematyka zachowania materialnych usług środowiska jest obszarem tworzącej się ekonomii zrównoważonego rozwoju. Realizacja jej założeń stanowi niezbędny warunek osiągnięcia odpowiedniej jakości materialnych usług środowiska.

## 1. Rozwój ekonomii zrównoważonego rozwoju

Pojęcie zrównoważonego rozwoju pojawiło się w latach siedemdziesiątych XX wieku i odnosiło się do problemów ekologicznych, które w tym okresie silnie się ujawniły. Od obrad Światowej Komisji do spraw Środowiska i Rozwoju w 1987 roku, poprzez „Szczyt Ziemi” w 1992 roku w Rio de Janeiro do konferencji w 2002 roku w Johannesburgu zaznacza się stałe rozszerzanie zakresu problematyki związanej z polityką zrównoważonego rozwoju. Najpopularniejszą definicją zrównoważonego rozwoju sformułowała Komisja Brundtland w 1987 roku. Zgodnie z nią zrównoważony rozwój jest sposobem zaspokajania potrzeb współczesnego pokolenia, który nie ogranicza możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń. Interpretację ekonomiczną zrównoważonego rozwoju powinno się postrzegać w kategoriach ekonomii normatywnej, czyli w postaci wzorca rozwojowego. W normatywnym ujęciu można wymienić następujące wymiary zrównoważonego rozwoju:

- wymiar ekologiczny – korzyści netto z rozwoju gospodarczego są maksymalizowane przy jednoczesnym zachowywaniu użyteczności i jakości środowiska przyrodniczego w nieograniczonej perspektywie czasowej;
- wymiar ekonomiczny – nie zmniejszają się elementy składowe celów ekonomicznych i nie pogarsza się funkcjonowanie czynników rozwoju;

- wymiar społeczny – względnie równe rozłożenie dobrobytu społecznego;
- wymiar psychologiczny – wzrostowi dochodów towarzyszy wzrost pozostałych elementów współtworzących dobrobyt jednostki;
- wymiar demograficzny – procesy demograficzne charakteryzują się dostosowaniem do procesów ekologicznych i pojemności środowiska, a także nie powodują zaburzeń w funkcjonowaniu społeczeństwa i gospodarki; tworzone są warunki instytucjonalne służące skutecznemu zarządzaniu skutkami wysokiego i niskiego przyrostu demograficznego;
- wymiar przestrzenny – rozwój oparty jest na gospodarce przestrzennej uwzględniającej między innymi wymogi ochrony środowiska i dziedzictwa kulturowego, a także zasady zrównoważonego rozwoju regionalnego;
- wymiar intertemporalny – zaspokajanie potrzeb obecnego pokolenia nie jest związane z ograniczeniem możliwości zaspokajania podobnych potrzeb przyszłych pokoleń.

Istnieje wiele kontrowersyjnych problemów zrównoważonego rozwoju. Szczególne zastrzeżenia mogą odnosić się do kwestii socjalnych i demograficznych. Na przykład, postulat równomiernego rozłożenia dobrobytu może być błędnie postrzegany jako zamiar wdrożenia socjalistycznych kryteriów podziału dóbr. Oznacza on dążenie do zapewnienia dostępu do dóbr społecznie pożądanych, czyli takich, które powinny być konsumowane przez ludzi bez względu na poziom ich dobrobytu. Zaliczyć do nich należy ochronę zdrowia, oświatę, żywność i mieszkanie. Zrównoważony rozwój wiąże się więc z ograniczaniem ubóstwa. Jeszcze bardziej kontrowersyjna jest problematyka demograficznego zrównoważenia rozwoju, ponieważ nie wiadomo jak należy traktować sytuacje demograficzne poszczególnych krajów. Sterowanie procesami demograficznymi z niernaruszeniem zasad moralnych i demokracji jest bardzo trudne. Istnieje ponadto wiele innych wyzwań i dylematów polityki zrównoważonego rozwoju. Dyskusja wokół jego idei będzie jeszcze trwała długo. W rzeczywistości mamy do czynienia z sytuacją równoczesnego kształtowania się teorii i praktyki zrównoważonego rozwoju, które wzajemnie przenikają się.<sup>1</sup>

Istotę zrównoważonego rozwoju można sprowadzić do koncepcji długookresowej trwałości gospodarowania. Rzeczywistość dostarcza przesłanek, aby gospodarowanie rozważać w makrosystemie społeczeństwo-gospodarka-środowisko. Ekonomia neoklasyczna nie rozwiązała dotychczas dwóch niezwykle ważnych problemów. Pierwszym z nich jest niszczenie ekosystemów, które doprowadzi do globalnej katastrofy ekologicznej. Drugim – gospodarowanie kapitałem wiedzy, który stanowi znacznie większe źródło bogactwa, niż kapitał finansowy. Wymienione problemy są obecnie podstawowymi obszarami zainteresowania tworzącej się ekonomii zrównoważone-

<sup>1</sup> D. Kielczewski, *Zrównoważony rozwój – istota, interpretacje, związki ze społeczeństwem wiedzy*, w: *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Materiały do studiowania*, red. B. Poskrobko, Wyd. WSE, Białystok 2010, s. 10-29; Porównaj: T. Borys, *Koncepcja zrównoważonego rozwoju w naukach ekonomicznych*, w: *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Zarys problemów badawczych i dydaktycznych*, red. B. Poskrobko, Wyd. WSE, Białystok 2010, s. 44-60.

go rozwoju. Koncentruje się ona na rozpoznaniu relacji między gospodarką a środowiskiem, gospodarką a społeczeństwem wiedzy, a także między społeczeństwem a środowiskiem. W ekonomii zrównoważonego rozwoju dokonuje się istotne przewartościowanie środowiska przyrodniczego jako źródła bogactwa narodów i analizuje wiedzę jako czwarte źródło bogactwa. Bada ona implementacyjne aspekty i zwraca szczególną uwagę na kształtowanie się i warunki realizacji polityki zrównoważonego rozwoju, w tym na instrumenty sterowania i narzędzia pomiaru.

W kształtowaniu się ekonomii zrównoważonego rozwoju znaczącą rolę odgrywają poglądy ekonomistów ewolucyjnych. Podejście ewolucyjne pojawiło się w XIX wieku. Zostało spopularyzowane przez H. Spencera, jeszcze przed stworzeniem teorii Ch.R. Darwina. Z czasem F.A. Hayek wprowadził pojęcie ewolucyjnego systemu reguł postępowania, a A. Marshall dostrzegł znaczenie systemów i procesów biologicznych w analizach ekonomicznych. Do ewolucyjnego podejścia przyczynił się również T. Veblen, który wyraźnie opowiedział się za potrzebą ewolucyjnej perspektywy procesów gospodarczych oraz próbował zaprojektować ewolucyjną teorię rozwoju społeczno-gospodarczego. Jego myśl rozwinął J.A. Schumpeter, który uważał, że zmiany gospodarcze są procesem historycznym, w którym rozwój jest określony przez jego ścieżkę w przeszłości i przez stan aktualny. Ewolucyjne postrzeganie gospodarowania zostało rozwinięte przez A.A. Alchiana, E.T. Penrose'a oraz R.R. Nelsona i S.G. Wintera. Może ono, wraz z prawie całym dorobkiem ekonomii środowiska i zasobów naturalnych, zostać przyswojone przez ekonomię zrównoważonego rozwoju.

Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych zaczęła kształtować się już od lat dwudziestych XX wieku, jednak jej zwarte koncepcje pojawiły się dopiero w latach osiemdziesiątych. Wyodrębnia się w niej cztery podstawowe problemy badawcze:

- ekonomiczna teoria wykorzystania zasobów naturalnych – przedmiotem jej badań są warunki społeczno-ekologiczno-gospodarczej optymalności i efektywności eksploatacji i wykorzystania zasobów naturalnych;
- ekonomiczna teoria zanieczyszczenia i ochrony środowiska – przedmiotem jej badań są ogólnospołeczne koszty dochodzenia do określonej jakości środowiska przyrodniczego oraz uzasadnione koszty zanieczyszczenia i nakłady na rzecz ochrony środowiska;
- ekonomiczna teoria zachowania przyrody – przedmiotem jej badań jest optymalizacja wykorzystania zasobów i walorów środowiska przyrodniczego oraz analiza kosztów i korzyści ochrony i umiarkowanego użytkowania różnorodności biologicznej;
- modelowanie systemów ekologiczno-ekonomicznych w ujęciu statycznym i dynamicznym.

Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych wskazała sposoby rozwiązania ważnych problemów ekologiczno-ekonomicznych, które mogą być zaadaptowane przez ekonomię zrównoważonego rozwoju. Jednakże krytyka niedoskonałości niektórych rozwiązań proponowanych przez ekonomię śro-

dowiska doprowadziła do rozwinięcia się ekonomii ekologicznej, której rozważania wynikają z filozofii ekologicznej. Przedmiotem krytyki były między innymi możliwości substytucji kapitału środowiskowego innymi formami kapitału, ignorowanie pośrednich skutków zanieczyszczenia środowiska, ahistoryczność ujmowania problemów środowiskowych, absolutyzacja suwerenności konsumentów i indywidualnej własności, niedoskonałości metod i ograniczoność informacji wykorzystywanych przy interpretacji kosztów zewnętrznych. Ekonomia ekologiczna znajduje się nadal na etapie postulatów i niewielu rozwiązań praktycznych, jednak niektóre z nich powinny być wprowadzone do ekonomii zrównoważonego rozwoju.<sup>2</sup>

Szereg możliwości rozwoju ekonomii zrównoważonego rozwoju wynika z tez niemieckich ekonomistów zrównoważonego rozwoju.<sup>3</sup> Zgodnie z nimi ekonomia zrównoważonego rozwoju wywodzi się z podstaw ekonomii ekologicznej oraz niektórych ustaleń ekonomii tradycyjnej i ekonomii środowiska, a także z nauki o gospodarce narodowej i nauki o zrównoważonym rozwoju. Wywodzi się ona ponadto z nauki o gospodarce narodowej i nauki o zrównoważonym rozwoju, głównie z ekonomii ekologicznej i nowej ekonomii środowiska. Jest definiowana jako ekonomiczna teoria zrównoważonego rozwoju z uwzględnieniem interdyscyplinarnych podstaw. W centrum zainteresowania ekonomii zrównoważonego rozwoju znajdują się rozważania dotyczące sposobów uzyskania wystarczająco wysokich standardów ekonomicznych, społeczno-kulturowych i ekologicznych, które mieściłyby się w granicach naturalnej pojemności środowiska przyrodniczego, a także rozważania związane z realizacją zasad wewnątrzpokoleniowej i międzypokoleniowej sprawiedliwości. Uznaje się w niej, że współczesny porządek gospodarczy nie jest w stanie zapewnić perspektywy rozwoju i opowiada się za silnym zrównoważeniem, które charakteryzuje się następującymi cechami:

- ograniczona substytucja;
- absolutne granice przyrody;
- zachowanie na zawsze.

W ograniczonej substytucji większość zasobów przyrodniczych uznaje się za podstawę życia, której zastąpienie sztucznym kapitałem nie jest możliwe. W ciejsze tej zwraca się jednak uwagę, że może być dopuszczalna ograniczona substytucja kapitału przyrodniczego, ale jednocześnie postuluje się sformułowanie granic krytycznych dla zasobów przyrodniczych.

Występowanie absolutnych granic przyrody odnosi się do uznawania, że istnieją bezwzględne granice „wytrzymałości” środowiska przyrodniczego. W związku z tym postuluje się sformułowanie ekologicznych wytycznych dla rozwoju gospodarczego, a tym samym odrzuca się model trzech filarów, zakładając rów-

<sup>2</sup> B. Poskrobko, *Filary ekonomii zrównoważonego rozwoju*, w: *Ekonomia zrównoważonego rozwoju...* op. cit., s. 132-160; Por. S. Czaja, B. Fiedor, *Ekonomia środowiska i ekologiczna jako filary ekonomii zrównoważonego rozwoju*, w: *ibidem*, s. 30-52.

<sup>3</sup> H. Rogall, *Kluczowe tezy ekonomii zrównoważonej*, w: *ibidem*, s. 78-102; H. Rogall, *Ekonomia zrównoważonego rozwoju – potrzeba reformy tradycyjnej ekonomii*, w: *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Zarys...* op. cit., s. 11-43.

ną wartość wymiarów docelowych. W jego miejsce rekomenduje się model trójkąta celów zrównoważonego rozwoju mieszczący się w granicach wytrzymałości środowiska przyrodniczego.

W zachowaniu na zawsze proponuje się zachowanie kapitału przyrody przez kolejne pokolenia na poziomie stałym lub wzrastającym. Łagodna wersja silnego zrównoważenia zakłada możliwość substytucji w obrębie kapitału przyrody, na przykład istnieje możliwość akceptacji zabudowania przestrzeni środowiska przyrodniczego przy równoczesnym wyznaczeniu nowego obszaru chronionego. Odnosi się ona do zastępowalności zasobów przyrodniczych, które mogą być zastępowalne, a więc możliwa jest ich równowartościowa substytucja.

Zgodnie z powyższym podejściem do ekonomii zrównoważonego rozwoju, nie wolno przekształcać środowiska przyrodniczego w sposób realizujący wyłącznie cele maksymalnego wzrostu gospodarczego. Gospodarka powinna być dopasowywana do granic wytrzymałości środowiska, co oznacza konieczność jej radykalnej przemiany.

## 2. Istota usług środowiska

W literaturze przedmiotu wskazuje się, że już w starożytności pojawiły się rozważania związane z negatywnymi skutkami degradacji środowiska przyrodniczego przez człowieka. Na przykład Platon w IV wieku p.n.e. próbował charakteryzować łańcuch negatywnych zmian przyrodniczych i ich konsekwencje gospodarcze, które wynikają z wylesień. Rozwój badań korzyści i strat wynikających ze stanu i funkcjonowania ekosystemów wyróżnia się transdyscyplinarnym charakterem ekologiczno-ekonomicznym i dwoma odmiennymi nurtami. Pierwszy z nich występował w naukach przyrodniczych, natomiast drugi – w naukach ekonomicznych.<sup>4</sup>

Pojęcie usług środowiska pojawiło się w 1981 roku.<sup>5</sup> W 1997 roku ukazała się przełomowa publikacja, w której przedstawiono próbę pieniężnego wartościowania usług środowiska w skali globalnej.<sup>6</sup> Autorzy opracowania wyróżnili 17 funkcji ekosystemów, a następnie przypisali im materialne i niematerialne usługi środowiska, które poddali pieniężnej wycenie. Globalna wartość pieniężna została oszacowana na 33 bln USD. W latach 2001-2004 problematyka usług środowiska została podjęta przy realizacji globalnego projektu Milenijna Ocena Ekosystemów (*Millenium Ecosystem Assessment*). Celem tego przedsięwzięcia była ocena zmian dobrobytu człowieka, które wynikają z degradacji ekosystemów. W projekcie skoncentrowano się na zmianach w ostatnim półwieczu.

<sup>4</sup> A. Mizgajski, *Świadczenia ekosystemów jako rozwijające się pole badawcze i aplikacyjne*, „Ekonomia i Środowisko” 2010 nr 1(37), s. 10-19.

<sup>5</sup> P.R. Ehrlich, A.H. Ehrlich, *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*, „Random House”, New York 1981.

<sup>6</sup> R. Costanza et al., *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, „Nature” 1997 No. 387, p. 253-260.

Wyróżniono 37 podkategorii usług środowiska, które przyporządkowano następującym kategoriom:

- podstawowe, które warunkują życie na Ziemi, na przykład fotosynteza, produkcja pierwotna, obieg pierwiastków;
- zaopatrujące w pożywienie, wodę, drewno, biopaliwa i inne produkty naturalne;
- regulacyjne, które są związane między innymi z asymilacją zanieczyszczeń, kształtowaniem klimatu i wpływem na erozję;
- kulturowe, w tym rekreacyjne, estetyczne i religijne.

Istotnym przedsięwzięciem w skali globalnej jest także projekt TEEB (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*), który jest realizowany z inicjatywy Niemiec. Inspiracją był Raport Sterna, przedstawiający wycenę ekonomicznych kosztów zmian klimatycznych. Projekt TEEB odnosi się zaś do problemów ekonomicznego znaczenia degradacji ekosystemów i różnorodności biologicznej, która jest spowodowana antropopresją dotychczasową i mogącą wystąpić w przyszłości.

Międzynarodowe zainteresowanie badaniami usług środowiska można również ocenić na podstawie tematyki referowanej podczas dużych międzynarodowych spotkań. Były to między innymi: Światowa Konferencja ECOSUMMIT 2007 w Pekinie, Kongres INTECOL 2009 w Brisbane i Europejska Konferencja Ekologii Krajobrazu IALE 2009 w Salzburgu. Tematyka usług środowiska miała istotne miejsce w programach wymienionych spotkań. Odnosiła się do niej znacząca liczba prezentacji i sesji tematycznych związanych z usługami środowiska. Mimo zainteresowania ich problematyką, badania są w początkowej fazie rozwoju. Główne problemy wynikają z nieukształtowanej teorii i trudności w kwantyfikacji usług środowiska, a także problemów w przypisaniu im wartości ekologicznej i ekonomicznej.<sup>7</sup>

W krajowych badaniach A. Mizgajskiego i M. Stępniewskiej usługi środowiska są analizowane poprzez pryzmat metabolizmu ekosystemów.<sup>8</sup> W takim ujęciu obejmują one całość korzyści osiąganych przez człowieka z ich metabolizmu. Z kolei A. Graczyk odnosi się do usług środowiska z punktu widzenia podmiotów gospodarczych dokonujących różnorodnych wyborów dla realizacji określonego celu gospodarczego, traktując je jako dobra ekonomiczne.<sup>9</sup> Podejście oparte na szczegółowej liście usług środowiska proponuje E. Kośmicki. Na podstawie analizy międzynarodowej literatury i raportów w zestawieniu wyodrębnia następujące grupy usług środowiska:

<sup>7</sup> A. Mizgajski, *Świadczenia ekosystemów...*, op. cit.

<sup>8</sup> A. Mizgajski, M. Stępniewska, *Koncepcja świadczeń ekosystemów a wdrażanie zrównoważonego rozwoju*, w: *Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju*, red. D. Kietczewski, B. Dobrzańska, Wyd. WSE, Białystok 2009, s. 12-23; Porównaj: L. Ryszkowski, *Adaptacja działalności ekonomicznej do procesu metabolizmu ekosystemów podstawą zrównoważonego rozwoju*, w: *Zrównoważony rozwój w teorii ekonomii i w praktyce*, red. A. Graczyk, Wyd. Akademii Ekonomicznej, Wrocław 2007, s. 186.

<sup>9</sup> A. Graczyk, *Świadczenia ekosystemów jako dobra ekonomiczne*, „*Ekonomia i Środowisko*” 2010 nr 1(37), s. 64-76.

- usługi surowcowe, produkcyjne i transformacyjne:
  - produkcja tlenu, produkcja wody,
  - produkcja żywności,
  - pula genowa jako rezerwa elastyczności,
  - produkcja zasobów medycznych,
  - produkcja surowców dla odzieży i dóbr gospodarstw domowych,
  - produkcja surowców dla budownictwa i przemysłu,
  - produkcja substancji biochemicznych,
  - przygotowanie paliw i energii, produkcja pasz i nawozów;
- usługi regulacyjne i utylizacyjne:
  - ochrona przed szkodliwymi oddziaływaniami kosmicznymi,
  - regulowanie lokalnych i globalnych bilansów energetycznych,
  - regulowanie chemicznej struktury atmosfery,
  - regulowanie klimatu lokalnego i globalnego,
  - regulowanie przepływu wód i ochrony przed powodzią,
  - oczyszczanie wód, retencja wód i zaopatrzenie wód podziemnych,
  - tworzenie próchnicy i utrzymywanie żyzności gleby,
  - pochłanianie energii słonecznej,
  - gromadzenie i recyklicacja substancji organicznych,
  - gromadzenie i recyklicacja składników pokarmowych,
  - gromadzenie i recyklicacja odpadów antropogenicznych,
  - regulacja biologicznych mechanizmów kontrolnych,
  - utrzymanie przestrzeni życia dla rozmnażania, socjalizacji i mobilności,
  - utrzymanie różnorodności biologicznej,
  - stabilizacja ekosystemów;
- usługi przygotowania dla antropogenicznego wykorzystania:
  - zamieszkiwanie,
  - kultywacja (uprawa roli, hodowla zwierząt, akwakultura),
  - wykorzystanie energii (na przykład energia wodna),
  - wypoczynek i turystyka;
- usługi informacyjne:
  - estetyka przyrody,
  - wzorce do działania bodźców i wynagradzania,
  - nadawanie sensu i wzorce socjalizacji,
  - rezerwa puli genowej (na przykład dla rolnictwa i medycyny),
  - informacje historyczne,
  - informacje naukowe,
  - wzory dla procesów uczenia się.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> E. Kośmicki, *Zrównoważony rozwój w warunkach globalnych zagrożeń i integracji europejskiej*, w: *Zrównoważony rozwój – doświadczenia polskie i europejskie*, red. S. Czaja, Wyd. I-BiS, Wrocław 2005, s. 227-248.



Zdaniem B. Poskrobki, usługi środowiska są postrzegane z dwóch punktów widzenia: biologiczno-ekologicznego i społeczno-gospodarczego.<sup>11</sup> Podejście biologiczno-ekologiczne uznaje za usługi wszystkie procesy przyrodnicze, dzięki którym habitat człowieka realizuje wysoką jakość przyrodniczych podstaw rozwoju społeczeństwa. Zgodnie z podejściem społeczno-gospodarczym usługą środowiska jest każdy proces, który ma istotne znaczenie w gospodarowaniu, na przykład samooczyszczanie się powietrza, rozkład odpadów, zapylenie roślin uprawnych. Istotnym problemem jest konieczność rozgraniczenia pojęcia zasobów naturalnych i usług środowiska. Pierwsze z nich ukształtowało się historycznie w naukach ekonomicznych. Nie ma więc uzasadnionego powodu do jego redefinicji. Usługi środowiska stanowią nowe pojęcie, które wymaga też określenia warunków implementacji. Muszą one ponadto zostać uwzględnione w rachunku ekonomicznym. Wycena i ocena gospodarowania usługami środowiska oraz jej włączenie do rachunku ekonomicznego w istotny sposób zmieni postrzeganie efektywności działalności gospodarczej.<sup>12</sup> Podstawą do wyceny i oceny usług środowiska powinno być zdefiniowanie pojęcia usług środowiska oraz wdrożenie prostego i powszechnie akceptowanego systemu ich pomiaru. Wstępnym rozwiązaniem może być uzupełnienie i przeprojektowanie aktualnych wskaźników pomiaru efektów działalności gospodarczej. W chwili obecnej do usług środowiska nie należy włączać elementów, które już są wprowadzone do rachunku ekonomicznego w postaci zasobów naturalnych. Należy natomiast doskonalić metody ich wyceny i oceny z punktu widzenia funkcjonowania ekosystemów i jakości usług środowiska.

Koncepcja usług środowiska powinna również uwzględniać płaszczyznę teoretycznych rozważań związanych z występowaniem zjawisk termodynamicznych, a w szczególności teorii entropii.<sup>13</sup> Stosowanie termodynamicznej interpretacji procesów społeczno-gospodarczych rozpoczęło się od przeniesienia pojęcia „entropii” i drugiej zasady termodynamiki do teorii ekonomii.<sup>14</sup> Entropijność systemów społeczno-gospodarczych można identyfikować poprzez analizę wielu konkretnych przypadków. Odnoszą się one do kilku aspektów entropijności. Są to:

- kreacja dezorganizacji i nieuporządkowania w systemach lub ich otoczeniu;
- niezbędność „transfuzji” niskiej entropii podtrzymującej funkcjonowanie systemów;

<sup>11</sup> B. Poskrobko, *Usługi środowiska jako kategoria ekonomii zrównoważonego rozwoju*, „Ekonomia i Środowisko” 2010 nr 1(37), s. 20-30.

<sup>12</sup> Porównaj: A. Michałowski, *Działalność gospodarcza a procesy przyrodnicze*, Wyd. WSAP, Białystok 2009.

<sup>13</sup> Porównaj: A. Michałowski, *Ocena działań na rzecz zachowania świadczeń ekosystemów na etapie programowania rozwoju jednostek organizacyjnych*, „Ekonomia i Środowisko” 2010 nr 1(37), s. 98-113; H.T. Odum, E.P. Odum, *The energetic basis for valuation of ecosystem services, „Ecosystems”* 2000 No. 3, p. 21-23.

<sup>14</sup> N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge 1971.

- generowanie wysokiej entropii w postaci zanieczyszczeń i odpadów;
- sposób tworzenia nowych struktur i zasad funkcjonowania systemów.<sup>15</sup>

Entropijność systemów społeczno-gospodarczych jest rodzajem zdolności do kreowania rosnącego nieuporządkowania. Celem zachowania istnienia systemy muszą pobierać materię, energię i informację z otoczenia, czyli zasoby niskiej entropii. Brak zasobów niskiej entropii oznaczałby stan równowagi termodynamicznej. Ich wykorzystanie polega na zamianie na elementy użyteczne, których etapem końcowym jest nisko użyteczna forma odpadu i zanieczyszczeń, a także ciepło. Entropijność systemów społeczno-gospodarczych wyraża się również w wymiarze materialno-energetycznym procesów produkcji i konsumpcji. Entropia jest bowiem cechą związaną z fizycznością świata i realizuje jej podstawową właściwość w postaci tendencji do przechodzenia do stanów najbardziej prawdopodobnych. Realne procesy gospodarowania zawsze mają jednoczesny wymiar materialny i pieniężny. Entropijność systemów wyraża się ponadto ich samoorganizacją, która świadczy o zdolnościach do ograniczania wewnętrznego poziomu entropii. W systemach społeczno-gospodarczych zdolność taką ma charakter naukowy i technologiczny. W systemach przyrodniczych odnosi się ona do procesów ekologicznych, które mają właściwości zmniejszania tempa entropii ekosystemów i systemów społeczno-gospodarczych, a więc generowania negentropii w makrosystemie środowisko-gospodarka-społeczeństwo.

Uwzględniając wyniki prezentowanych raportów i badań oraz przedstawione rozważania teoretyczne i metodologiczne usługi środowiska, jako kategorię ekonomii zrównoważonego rozwoju, można zdefiniować w sposób następujący: są to wszystkie procesy ekologiczne przeprowadzane przez siły geofizyczne i organizmy żywe, które przetwarzają materię, energię i informację, a także przekształcają przestrzeń w sposób przyczyniający się do zmniejszania się intensywności strumienia entropii w makrosystemie środowisko-gospodarka-społeczeństwo. Proponowane podejście umożliwia próbę rozdzielenia efektów produkcyjnych procesów środowiska przyrodniczego na tworzenie się zasobów naturalnych i świadczenie usług środowiska. Dotychczas w teorii ekonomii problem takiego rozdzielenia jest nierozwiązany.

Na podstawie przedstawionej definicji usług środowiska można wyodrębnić ich następujące grupy podstawowe:

- materialne usługi środowiska;
- energetyczne usługi środowiska;
- informacyjne usługi środowiska;
- przestrzenne usługi środowiska.<sup>16</sup>

W poszczególnych grupach podstawowych można wyróżnić różnorodne rodzaje usług środowiska. Ich realizacja jest uwarunkowana stabilnością ekosystemów i oddziaływaniami antropogenicznymi. W dalszej części opracowania autor skoncentruje się na materialnych usługach środowiska, które odpowiada-

<sup>15</sup> S. Czaja, *Teoriopoznawcze i metodologiczne konsekwencje wprowadzenia prawa entropii do teorii ekonomii*, Wyd. Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1997.

<sup>16</sup> Porównaj: A. Michałowski, *Ocena działań...*, op. cit.

ją ekologicznym procesom przetwarzania materii – istotnym w procesach gospodarowania i zrównoważonego rozwoju.

### 3. Charakterystyka materialnych usług środowiska

#### 3.1. Ekologiczne procesy materialnych usług środowiska

W obszarze problematyki materialnych usług środowiska należy wyodrębnić następujące ich rodzaje:

- przetwarzanie materii w pokrywie glebowej;
- produkcja materii organicznej;
- rozkład materii organicznej i zanieczyszczeń antropogenicznych.

Pierwszy rodzaj usług związany jest z procesami, które zachodzą w pokrywie glebowej. Właściwości gleb zależą od regionalnych i lokalnych układów abiotycznych i biotycznych elementów ekosystemów, które nazywa się środowiskiem glebotwórczym. Przemiany zachodzące pod jego wpływem w powierzchniowej warstwie litosfery określa się jako procesy glebotwórcze. Nie należy ich utożsamiać z odbywającymi się równocześnie procesami wietrzenia, które polegają na przemianach skał i minerałów pod wpływem kontaktu z atmosferą i hydrosferą oraz ich przekształceniu w produkty trwalsze od materiałów wyjściowych. Oddzielenia wymagają również procesy diagenety gleb, które zachodzą dopiero w glebach kopalnych po przykryciu ich osadami młodszymi i odizolowaniu od wpływu aktywnego środowiska glebotwórczego. Zasadniczą częścią każdej gleby są składniki mineralne i organiczne. Gleba jest układem trójfazowym, ponieważ tworzy ją faza stała (mineralna i organiczna), faza ciekła (roztwór glebowy) i faza gazowa (powietrze glebowe). Wszystkie fazy oddziałują wzajemnie na siebie i dążą do osiągnięcia stanu równowagi. Nie może ona jednak dłużej zaistnieć ze względu na zmiany warunków siedliskowych, dopływ materii organicznej i działalność organizmów żywych. Materia organiczna występuje w glebie w postaci:

- żywych organizmów zwierzęcych i podziemnych części roślin;
- świeżo obumarłych organizmów lub ich części, które nie są jeszcze objęte procesami rozkładu;
- związków nieswoistych, które obejmują grupę różnorodnych związków organicznych identycznych z występującymi w żywych organizmach lub produktach ich metabolizmu; zalicza się do nich białka, aminokwasy, węglowodany, ligninę, tłuszcze, woski, proste alkohole i kwasy alifatyczne; grupa ta stanowi około 10-15% ogólnej ilości glebowej materii organicznej;
- szczątków organizmów w początkowych stadiach przetworzenia, które wykazują jeszcze dostrzegalne ślady pierwotnych struktur tkankowych i komórkowych;
- humusu glebowego, czyli bezpostaciowych, ciemno zabarwionych produktów daleko posuniętego przetworzenia w glebie szczątków organicznych ro-

ślin, zwierząt i mikroorganizmów, a także ich połączenia z mineralnymi komponentami gleby.<sup>17</sup>

Dostająca się do gleby ekosystemów materia organiczna, na przykład w postaci nadziemnego opadu roślin z warstwy drzew i krzewów lub szczątków z warstwy runa i podziemnych części roślin, podlega ekologicznym procesom mineralizacji i humifikacji. Mineralizacja oznacza rozkład materii organicznej do prostych związków mineralnych, takich jak: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> i innych. Humifikacja jest procesem przekształceń szczątków organicznych w glebie, którego produktem jest humus glebowy. Oba procesy zachodzą zawsze równocześnie, a produkty mineralizacji są włączane do procesu humifikacji i odwrotnie. Skutki obu procesów są jednak dla ekosystemów i procesów gospodarowania odmienne. Mineralizacja prowadzi do zaniku materii organicznej w glebie i jest równocześnie głównym procesem uwalniania składników pokarmowych dla roślin, a także ważnym ogniwem w obiegu materii i przepływie energii. W procesie humifikacji materia organiczna jest akumulowana w glebie w postaci specyficznych glebowych związków organicznych (humusu glebowego), które oddziałują na właściwości fizyczne, chemiczne i fizykochemiczne gleb, na przykład gęstość, struktura, odczyn, właściwości sorpcyjne. Zmiany właściwości posiadają skutki gospodarcze w zakresie żyzności, produktywności i urodzajności gleby.<sup>18</sup>

Drugim rodzajem materialnych usług środowiska jest produkcja materii organicznej w postaci różnorodnej biomasy, która jest świadomie lub nieświadomie wykorzystywana w wielu procesach gospodarowania.<sup>19</sup> Realizują ją przede wszystkim rośliny naczyniowe na lądach i jednokomórkowe glony w wodach. Biomasa stanowi całkowita ilość wyprodukowanej materii w stanie świeżym wraz z zawartą w niej wodą lub sucha masa materii organicznej, która wynosi około 20% świeżej masy. W latach siedemdziesiątych XX wieku sporządzono mapę produktywności wszystkich lądów i oceanów (mapa 1). Powstała ona w wyniku połączenia pomiarów terenowych z przybliżonymi oszacowaniami. Wykorzystano modele komputerowe, które uwzględniały statystyczne zależności między danymi terenowymi o produktywności i o czynnikach środowiskowych, głównie klimatycznych. Z chwilą zastosowania satelitów uzyskano wiarygodne potwierdzenie stworzonego wówczas przestrzennego obrazu produkcji pierwotnej w biosferze. Jednocześnie uzyskano znacznie większą dokładność oszacowa-

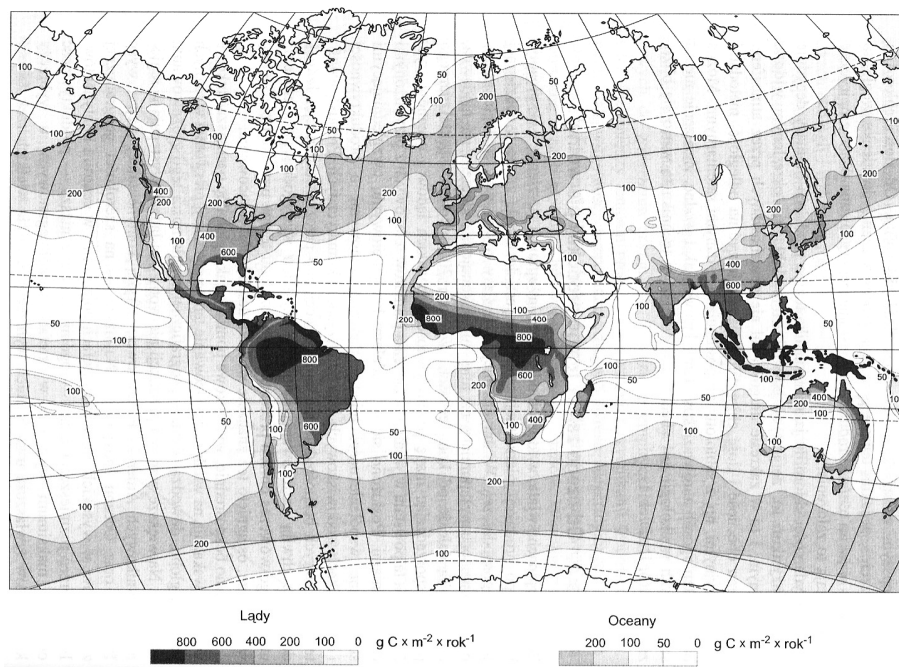
<sup>17</sup> R. Bednarek i in., *Badania ekologiczno-gleboznawcze*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2004.

<sup>18</sup> W literaturze przedmiotu rozróżnia się żyzność naturalną i sztuczną (modyfikowaną przez działania człowieka). Produkcyjność gleby odnosi się do zdolności gleby do wytwarzania biomasy. Urodzajność jest zaś pojęciem *stricte* utylitarnym. Jej miarą jest urodzaj (plon), czyli część organicznej masy roślinnej, która ma bezpośrednie znaczenie użytkowe. Koncepcja usług środowiska obejmuje naturalną żyzność, produktywność i urodzajność gleby.

<sup>19</sup> Produkcję biomasy stanowi różnica między masą materii organicznej wyprodukowaną podczas fotosyntezy a ilością, która została zużyta przez rośliny. Różnicę tę określa się jako produkcję pierwotną netto. Część zużytej biomasy jest spalana w procesie oddychania, więc w bilansie nazywa się ją respiracją. Z produkcji netto i respiracji wylicza się produkcję pierwotną brutto. W procesie produkcji rośliny pobierają dwutlenek węgla i wydają tlen, a w procesie respiracji – odwrotnie.

nia. Opracowana mapa wyraźnie wskazuje na wielkie zróżnicowanie tempa produkcji pierwotnej w różnych regionach Ziemi i geograficzne regularności tego zróżnicowania. Największa produktywność na lądach występuje w regionach równikowych Ameryki Południowej, Afryki, kontynentalnej Azji oraz wysp Pacyfiku i Oceanu Indyjskiego. Najniższa produktywność występuje zaś na szerokościach geograficznych zwrotników, w wysokich górach, w strefach polarnych i centrum kontynentów. Inny wzorzec posiada produktywność oceanów. Jest ona niższa, a jej maksimum występuje w strefach wokółbiegunowych, u wybrzeży kontynentów i ujścia rzek. W obszarach równikowych produkcja oceanów jest bardzo niska. Takie rozmieszczenie produktywności biomasy wynika z cech fizjologicznych roślin, a przede wszystkim ich planu budowy, oraz z warunków środowiska abiotycznego, na przykład dostępności zasobów chemicznych i ukształtowania klimatu. Tempo wszystkich reakcji chemicznych, w tym procesów biochemicznych, wzrasta wykładniczo wraz z temperaturą. Życie jest jednak możliwe w wąskim przedziale – od temperatury krzepnięcia płynów ustrojowych do temperatury denaturacji białek. Tylko nieliczne *Archaea* radzą sobie w temperaturze około 100 °C.

Mapa 1  
Produktywność lądów i mórz (według H. Lietha i R.H. Whittakera, 1975)



Źródło: J. Weiner, *Życie i ewolucja biosfery*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 114.

Trzecim rodzajem materialnych usług środowiska jest rozkład materii organicznej i zanieczyszczeń antropogenicznych. Jest on przejawem procesu oddychania pojedynczego organizmu żywego w ekosystemie. Rozkład polega na przetwarzaniu wielkocząsteczkowych, naturalnych związków organicznych i zanieczyszczeń w proste związki nieorganiczne. Proces ten przebiega stopniowo poprzez wiele stadiów pośrednich i nie zawsze jest zakończony. Całkowity rozkład polega jednak na utlenianiu związków z wykorzystaniem tlenu. Rozkład może odbywać się bez udziału żywych organizmów. Częściowa mineralizacja martwych szczątków zachodzi powoli pod wpływem tlenu atmosferycznego, promieniowania słonecznego oraz wody. Szybki i efektywny rozkład abiotyczny ma miejsce w przypadku pożarów lasów i stepów. Jest on zjawiskiem naturalnym i dość powszechnym dla niektórych zbiorowisk szaty roślinnej, na przykład borealnych lasów Ameryki Północnej czy australijskiego buszu. Z danych paleontologicznych wynika, że w historii Ziemi kilkakrotnie w taki sposób dochodziło do radykalnej mineralizacji ogromnej masy organicznej (biomasy). Wielkie pożary całych kontynentów przyczyniały się ponadto do zmian składu atmosfery i globalnych warunków klimatycznych, co skutkowało intensywnym zmniejszaniem się różnorodności gatunkowej. Rozkład dokonywany przez organizmy żywe odnosi się do roślin, bakterii, wszystkich zwierząt, a także grzybów na wszystkich poziomach pokarmowych (troficznych). Roślin mineralizują z powrotem praktycznie połowę syntetyzowanych przez siebie związków organicznych. Odbywa się to przy udziale tlenu i wydalaniu dwutlenku węgla. Konsumentci i destruenci do formy mineralnej doprowadzają większość pobranej z otoczenia materii. Znaczna część pobranej materii opuszcza organizmy konsumentów (roślinozerców i mięsozerców) w postaci dwutlenku węgla, wody i jednego z produktów przemian białkowych (amoniaku, kwasu moczowego, mocznika lub rzadziej innych prostych związków azotowych).

Nieprzetworzone związki opuszczają organizm wraz z kałem. Są one podatne na dalszy, szybki rozkład. Główną grupą organizmów odpowiedzialnych za rozkład w ekosystemach są destruenci. Organizmy te dokonują ostatecznej mineralizacji największej części materii organicznej wyprodukowanej w biosferze Ziemi. Ich grupa obejmuje liczne gatunki należące do bezkręgowców, bakterii i grzybów. W wodach śródlądowych i oceanach rozkład rozpoczyna się w planktonie. W przypowierzchniowych warstwach wód oceanicznych (0-300 m) średnia masa żywych bakterii w jednostce objętości wody jest wyższa od masy zooplanktonu. W głębszych warstwach ilość bakterii jest mniejsza, ale proces rozkładu występuje na każdej głębokości. Na przykład w Morzu Czarnym w warstwie eufotycznej ilość bakterii wynosi 0,1-0,5 g x m<sup>-3</sup>, a więc tylko 2-3 razy mniej niż cały plankton. W wodach głębinowych jest już ich zaledwie 0,005-0,015 g x m<sup>-3</sup>. Na dnie oceanów i głębokich jezior słodkowodnych w warunkach beztlenowych trwają powolne procesy przemian chemicznych, podczas których powstają związki niewystępujące w organizmach żywych. W warunkach lądowych, przy wystarczającym utlenieniu i wilgotności, naturalna materia organiczna i zanieczyszczenia ulegają rozkładowi z aktywnym udziałem mikroorganizmów. Tempo rozkładu zależy od rodzaju materiału i od warunków środowiskowych, przede wszyst-

kim od wilgotności i temperatury. Tempo przyrodniczych procesów rozkładu również zmienia się wykładniczo wraz ze zmianami temperatury. Procesy rozkładu są znacznie mniej poznane niż procesy produkcji. Ich tempo można przedstawić z wykorzystaniem modelu wykładniczego:

$$X = X_0 e^{-kt}, \quad (1)$$

gdzie:

- X – ilość pozostałego materiału,
- $X_0$  – ilość początkowa,
- k – stała tempa rozkładu,
- t – czas.

W czasie mierzonym w latach po pierwszym roku rozkładu frakcja nie rozłożonego materiału będzie wyrażać się wzorem:

$$X/X_0 = e^{-k}, \quad (2)$$

a stąd:  $k = \ln(X_0/X)$ .

Rozkład ma charakter wykładniczy. Nie można więc stwierdzić w jakim okresie zniknie cała materia. Wylicza się natomiast kiedy zostanie rozłożone 95% materiału (wskaźnik  $t_{95}$ ). Inne podejście wynika z założenia, że ilość materii organicznej w ekosystemie pozostaje w pewnej dynamicznej równowadze. Każdego roku powinna ulegać rozkładowi ilość materii równa opadającej. Podejście to zakłada, że rozkładowi ulega stała frakcja materiału:

$$\text{Opad} = k \text{ (masa materii)}, \quad (3)$$

czyli

$$\text{Opad}/(\text{masa materii}) = k. \quad (4)$$

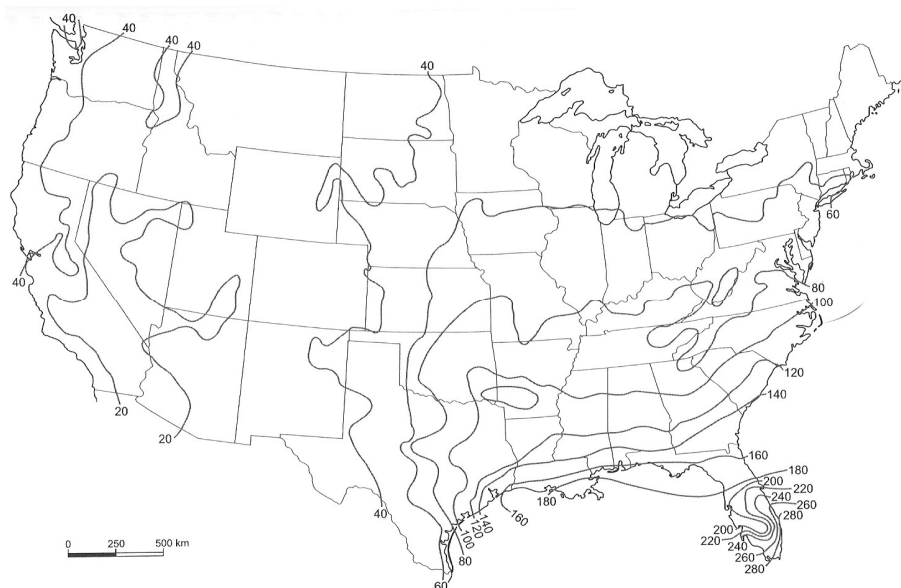
Przy zbilansowanym tempie produkcji i rozkładu współczynniki k z powyższych równań są równoważne. Odwrotność współczynnika k ( $1/k$ ) odnosi się do przeciętnego czasu pozostawiania materii organicznej w ekosystemie. Przy szybkim tempie rozkładu oraz braku akumulacji węgla organicznego (na przykład ekosystemy lasów deszczowych) warunki sprzyjają rozkładowi większej ilości materiału niż jest dostarczany – k jest większe od 1. Odwrotnie (na przykład torfowiska lub tajga) jest w sytuacji, gdy tempo rozkładu jest znacznie wolniejsze niż produkcji. Współczynnik k może wtedy przyjąć bardzo małą wartość, na przykład 0,03. W ekosystemach trawiastych k wynosi się pomiędzy 0,2 i 0,6.<sup>20</sup> Przykładem oceny tempa rozkładu na większych obszarach może być szacunek przygotowany dla terytorium Stanów Zjednoczonych (mapa 2).

W szacunku oparto się na wskaźniku rzeczywistej ewapotranspiracji, który integruje uwarunkowania wilgotnościowe i temperaturowe. Tempo rozkładu istotnie koreluje z tym wskaźnikiem, szczególnie w początkowych fazach rozkładu.

<sup>20</sup> J. Weiner, *Życie i ewolucja biosfery*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2005.

## Mapa 2

Szacunek tempa rozkładu świeżej ściółki w ciągu pierwszego roku na obszarze Stanów Zjednoczonych (według V. Meentemeyera, 1978)



Źródło: J. Weiner, *Życie i ewolucja...*, op. cit., s. 137.

### 3.2. Antropogeniczne zmiany materialnych usług środowiska

Antropogeniczne oddziaływania na środowisko przyrodnicze i jego usługi powinny być rozumiane jako seria zaburzeń, które uzupełniają naturalne zmiany środowiska lub zajmują ich miejsce. Zaburzenia antropogeniczne są podobne do naturalnych, jednakże różnią się od nich częstością i skalą. Istota zmian antropogenicznych polega na ograniczaniu lub zastępowaniu elementów i procesów naturalnych przez elementy i procesy antropogeniczne. Zmniejszeniu ulega również liczba kolejnych poziomów w procesach przepływu materii, energii i informacji, a także efektywność stabilizującej i kontrolującej sieci ujemnych sprzężeń zwrotnych. Wyróżnia się cztery podstawowe warianty interakcji między systemami społeczno-gospodarczymi a systemami środowiska przyrodniczego:

- przepływ materii, energii i informacji między systemem społeczno-gospodarczym a systemem środowiska przyrodniczego jest zbliżony do zera;
- przepływ materii, energii i informacji z systemu społeczno-gospodarczego do systemu środowiska przyrodniczego przewyższa przepływ w kierunku odwrotnym;



- przepływ materii, energii i informacji z systemu społeczno-gospodarczego do systemu środowiska przyrodniczego jest mniejszy niż przepływ w kierunku odwrotnym;
- przepływ materii, energii i informacji między systemem społeczno-gospodarczym a systemem środowiska przyrodniczego jest mniej więcej równy, a system środowiska pozostaje w stanie stacjonarnym.<sup>21</sup>

Z punktu widzenia środowiska przyrodniczego i procesów materialnych usług środowiska oddziaływania antropogeniczne mogą mieć charakter wzbogacający, kompensujący i destrukcyjny. Oddziaływania wzbogacające są związane z podnoszeniem organizacji wewnętrznej ekosystemów, która decyduje o różnorodności procesów przyrodniczych, będących podstawą usług środowiska. Oddziaływania kompensujące polegają na zrównoważeniu użytkowanych elementów środowiska poprzez wprowadzanie do ekosystemów elementów i struktur naturalnych dla danego obszaru. W obrębie oddziaływań destrukcyjnych można wyodrębnić cztery powiązane aspekty reakcji środowiska przyrodniczego:

- degradacja – jest ona przesunięciem ekosystemu na niższy poziom termodynamiczno-informacyjny; nie muszą jej towarzyszyć zmiany organizacji ekosystemu lub powiązań między jego elementami, ale zmniejsza się efektywność większości procesów przyrodniczych, które są podstawą materialnych usług środowiska;
- degeneracja – jest ona rozpadem zależności wewnętrznych między elementami ekosystemu, co prowadzi do zaniku mechanizmów stabilizujących; w początkowych etapach degeneracji nie występują zmiany relacji między elementami, natomiast jednocześnie lub przemiennie występuje wiele wika-ryzujących szlaków przepływu materii;
- dysfunkcja – jest ona zmianą sposobu przepływu materii bez wyraźnej zmiany organizacji ekosystemu;
- dekompozycja – jest ona zmianą organizacji wewnętrznej ekosystemu; jest najczęściej wynikiem degeneracji i dysfunkcji ekosystemu.

Syntetycznym wyrazem przedstawionych zmian, zachodzących pod wpływem oddziaływań antropogenicznych, są przestrzenne zmiany produktywności, które wynikają z rozkładu stref i zbiorowisk roślinnych. W skali globalnej zmiany rozkładu biomów i stref roślinnych oszacowano z wykorzystaniem czterech modeli cyrkulacji – OSU, GFDL, GISS, UKMO.<sup>22</sup> Zgodnie z prognozami ogólne kierunki zmian są podobne dla wszystkich modeli, oprócz zasięgu wilgotnych lasów. Prognozy różnią się jednak wielkością zmian. Wynika z nich, że znacznie zmniejszy się obszar tundry oraz gorących i chłodnych pustyń, a zwiększy się obszar zajęty przez lasy i łąki. Granica zasięgu lasów przesunie się na północ i znajdzie się wyżej niż obecnie. Woodward i inni opracowali model prognozujący globalną produktywność i rozkład zbiorowisk roślinnych na podstawie wielu czynników, które kontrolują proces produktywności: temperatura, wilgotność

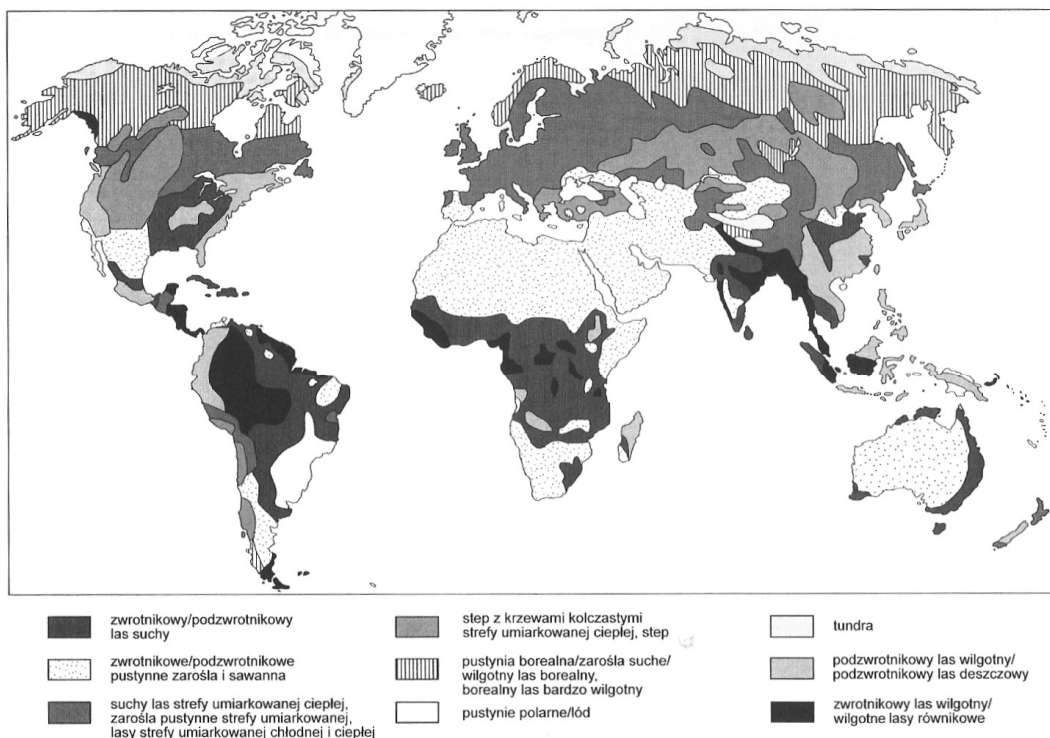
<sup>21</sup> A. Richling, J. Solon, *Ekologia krajobrazu*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2002.

<sup>22</sup> *As Climate Changes; International Impacts and Implications*, ed. K.M. Strzepek, J.B. Smith, Cambridge University Press, Cambridge 1995.

gleby, bilans azotu, węgla i wody.<sup>23</sup> Model skutecznie prognozuje rozkład roślinności i produktywności (mapa 3). Pozwala mieć nadzieję na dość dobre zachowanie materialnych usług środowiska w warunkach wyższego stężenia dwutlenku węgla.

### Mapa 3

Strefy roślinne świata prognozowane przez model cyrkulacji globalnej UKMO (według T.M. Smitha i in., 1995)



Źródło: A. Mannion, *Zmiany środowiska Ziemi*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2001, s. 218.

W skali regionalnej i lokalnej również podejmowano próby symulacji przyszłych rozkładów roślinności. Na przykład J.M. Lenihan i R.P. Neilson wykorzystali model CCVM do określenia rozkładu stref roślinnych na obszarze Kanady w warunkach podwojonego stężenia dwutlenku węgla.<sup>24</sup> Ich model zawiera parametry, które mają decydujące znaczenie we wzroście i reprodukcji roślin, między innymi na liczbę stopniodni, absolutną temperaturę minimalną, grubość

<sup>23</sup> F. I. Woodward, T.M. Smith, W.R. Emanuel, *Global land primary productivity and phytogeography model*, „Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology” 1995 No. 75, p. 259-282.

<sup>24</sup> J.M. Lenihan, R.P. Neilson, *A rule-based formation model for Canada*, „Journal of Biogeography” 1993 No. 12, p. 2265-2279.

pokrywy śnieżnej, ewapotranspirację aktualną i deficyt wilgotności gleby. Podobnie jak i inne modele zmian roślinności w wysokich szerokościach geograficznych, również badania J.M. Lenihana i R.P. Neilsona przewidują, że zasięg formacji borealnych i umiarkowanych przesunie się ku północy, a formacje arktyczne i tundry subarktycznej zostaną ograniczone. Zmiany rozkładu poszczególnych gatunków wpłyną ponadto na typy lasów. Pojawiają się nowe kategorie, które nie posiadają analogii wśród typów współczesnych.

## Podsumowanie

Przedstawiona problematyka materialnych usług środowiska jest niezwykle istotna w tworzącej się ekonomii zrównoważonego rozwoju. Zachowanie ich odpowiedniej jakości jest warunkiem możliwości wdrożenia zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego. Uwzględnienie materialnych usług środowiska w planowaniu i programowaniu zrównoważonego rozwoju wymaga opracowania metodologii ich pomiaru oraz sposobów ekonomicznego wartościowania, które powinny wykorzystywać dorobek nauk formalnych i przyrodniczych. Jedynie bowiem poprzez transdyscyplinarne podejście ekonomiczno-ekologiczne możliwa jest pełniejsza ocena i wycena usług środowiska w skali globalnej, regionalnej i lokalnej, w tym w odniesieniu do pojedynczego gospodarstwa domowego. Wycena usług środowiska powinna umożliwiać włączenie zmian ich wartości do pomiaru efektów działalności gospodarczej – mierzonej wskaźnikiem produktu krajowego brutto (PKB) lub innym, rozszerzającym zakres informacji, na przykład: ISEW, EPI, HPI. Z punktu widzenia problematyki usług środowiska rozwiązaniem docelowym powinno być zaprojektowanie i wdrożenie wskaźnika zrównoważonego rozwoju, który zastąpiłby aktualnie wykorzystywany wskaźnik produkt krajowy brutto.