

REFLEKSJE WOKÓŁ BIOSFERY
REFLECTIONS CONCERNING THE BIOSPHERE

MIROSŁAW TWARDOWSKI¹, STANISŁAW ZIĘBA²

¹ INSTYTUT NAUK ROLNICZYCH, OCHRONY I KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA, ZAKŁAD INŻYNIERII PRODUKCJI
ROLNO-SPOŻYWCZEJ, UNIWERSYTET RZESZOWSKI, UL. ZELWEROWICZA 4, BUDYNEK D9, 35-601 RZESZÓW

² WYDZIAŁ NAUK SPOŁECZNYCH, AKADEMIA NAUK SPOŁECZNYCH I MEDYCZNYCH W LUBLINIE
- AKADEMIA NAUK STOSOWANYCH, UL. ZAMOJSKA 47, 20-102 LUBLIN

Streszczenie

Przyroda to świat roślin i zwierząt z terenem, na którym się znajdują, biosfera zaś to warstwa globu ziemskiego i otaczającej go atmosfery zamieszкана przez organizmy żywe. Biosfera jest przestrzenią obejmującą całą hydrosferę oraz część litosfery i część atmosfery, gdzie występują organizmy żywe. Podlega ona procesowi rozwoju, w którym wynurzają się coraz to nowe zjawiska i gatunki kształtujące życie. Biosfera jest globalnym ekosystemem, w którym poprzez procesy fizyczne i udział organizmów żywych następuje krążenie elementów, np. pierwiastków. Zasadniczą cechą biosfery jest złożoność. Biosfera na poziomie organizacji odróżnia się i hierarchizuje, wyróżniają ją emergentne nowe właściwości. Biosfera jest organizatorem życia. Każdy gatunek w biosferze pełni swoje funkcje, ale funkcję organizatora nie może wypełnić poszczególny gatunek, może to zrobić duży system. Ważną cechą biosfery jest różnorodność biologiczna: różnicowanie gatunków, różnorodność form życia. Przy najmniej kilka kluczowych elementów musiało pojawić się, aby mogła kształtować się biosfera. Motor jej ewolucji upatrujemy w przechowywaniu informacji i jej powielaniu.

Słowa kluczowe: biosfera, biokompleks, informacja, przyroda, system, życie.

Abstract

Nature includes the world of plants and animals and the terrain on which they are located, while the biosphere is the layer of the earth's crust and the surrounding atmosphere inhabited by living organisms. The biosphere is a space that includes the entire hydrosphere, part of the lithosphere and part of the atmosphere where living organisms are found. It is subject to a process of development in which new phenomena and life-shaping species emerge. Therefore, the biosphere is a global ecosystem in which substances, such as the elements, by circulating through physical processes, participate in the work of living organisms. The essential feature of the biosphere is its complexity. The biosphere at the organizational level is differentiated and hierarchized, also distinguished by emergent new properties. The biosphere organizes life. Every species in the biosphere performs its functions, but the function of an organizer cannot be fulfilled by any single species, it can only be done by a large system. An important feature of the biosphere is biodiversity, meaning the diversity of species and the variety of life forms. At least a few key elements had to appear for the biosphere to take shape. The engine of its evolution runs thanks to the storage of information and its duplication.

Keywords: biosphere, biocomplex, information, nature, system, life.

Ziemię określa się jako niebieską planetę, czasem dodaje się też jej przymiotnik „zielona”. Połączenie tych dwu kolorów obrazuje osobliwe właściwości Ziemi, jej wyjątkowość – to planeta życia (z 510 mln km² powierzchni Ziemi 361 mln km², czyli 71%, zajmują morza i oceany, a więc na lądy przypada 149 mln km²; 40% lądów stanowią chłodne pustynie i tundra obszarów polarnych, włącznie z wielkimi lodolodami, oraz gorące pustynie i stepy strefy podzwrotnikowej). Przyroda to świat roślin i zwierząt z terenem, na którym się znajdują, biosfera zaś to warstwa globu ziemskiego i otaczającej go atmosfery zamieszкана przez organizmy żywe. Widać więc, że ich wspólnym elementem jest „sfera życia”. Przyroda naprowadza nas na stwierdzenie, że Ziemia to system dynamiczny, który jest wynikiem skomplikowanej ewolucji. Fenomen tej ewolucji stanowi niezwykle złożony proces, którego nie można wyjaśnić za pomocą jednego czynnika. Proces ewolucji jest procesem rozrastania się, w którym wynurzają się coraz to nowe zjawiska i istoty kształtujące biosferę – życie. Z kolei biosfera jest przestrzenią obejmującą całą hydrosferę oraz część litosfery i część atmosfery, gdzie występują organizmy żywe (Hand, 2022: s. 42). Istnienie biosfery uświadamia nam, że to wszystko jest połączone ze wszystkim w system wzajemnych zależności i sterowane przez tę samą wewnętrzną prawidłowość, tę samą zasadę porządkującą – informację – która manifestuje się w nieskończonej liczbie form. Znaczący przekaz informacji jest jednym z podstawowych warunków przetrwania istot żywych, szczególnie organizmów. Sygnały komunikacyjne służą do oznakowania terenu i pozycji stadnych, identyfikacji płciowej i stopnia gotowości do prokreacji. Bez tej sieci biosfera (przyroda) byłaby chaotyczna i nieuporządkowana. Rozwój teorii informacji stał się narzędziem dla ekologii do zrozumienia mechanizmów biosfery, szczególnie procesu komunikacji. Siecią są wszystkie czynniki, procesy i interakcje uczestniczące w kontroli materii, energii i informacji (Lévêque, 2001: s. 97-104).

Zrozumienie biosfery jest rezultatem konfrontacji między rzeczywistością i teorią. Chcemy ukazać w tej materii styk rzeczywistości i metodologii, styk między faktami zaobserwowanymi i koncepcjami. Każda generalizacja wiąże się z idealizacją, z uogólnieniami, uproszczeniami. Wiedza o biosferze jest tworzona przez liczne nauki biologiczne poprzez zastosowanie strategii interdyscyplinarnej – od wykorzystania danych o kosmosie, poprzez dane o Ziemi, aż do analizy sfery życia.

Termin „biosfera” wprowadził do nauki przypadkowo, prawie 150 lat temu, austriacki geolog Eduard Suess (1831-1914). Spostrzegł on, że Ziemia to zespół nakładających się na siebie, a czasami wzajemnie przenikających się sfer, które obejmują: atmosferę (sferę powietrza), hydrosferę (sferę wody) i litosferę (stałe górne warstwy Ziemi, w tym skorupę, i zewnętrzne warstwy płaszczka). Suess badał powstanie Alp, obca mu była organizacja sfery życia. Dopiero u Władimira Wiernadskiego (1863-1945) pojęcie „biosfera” ma odniesienie do sfery życia, która kształtuje historię planety tak samo silnie jak inne sfery nieożywione. Wiernadski użył terminu „biosfera” w 1926 roku w wykładzie zatytułowanym Biosfera. Autor ten uważał, że idea biosfery wywodzi się z prac przyrodnika francuskiego Jeana-Baptiste’a Lamarcka, który przyjął, że przyroda (natura) dzieli się na dwa królestwa: byty żywe i przedmioty nieożywione. Z jednej strony natura jest całością przedmiotów fizycznych, ich relacji, praw, które nimi rządzą, z drugiej stro-

ny natura jest aktywna, ma moc przemian. Transformizm Lamarcka zasadza się na tezie: natura wytwarza byty żywe zarządzane przez te same prawa fizyczne, lecz nie dzieje się to nagle, lecz w czasie, zaczynając od bytów prostych, które dają podstawę uformowania się bardziej złożonych (czas jest istotnym elementem rozwoju natury). Natura – w ujęciu Lamarcka – zna tylko prawa i okoliczności, w których są one aplikowane. Transformizm Lamarcka opiera się na dwóch eksplikacjach: fizyki i historii (Lamarck, 1983: s. 128).

Pojęcie „biosfery” uzyskało znaczną rangę w XX wieku w ramach rozwoju ekologii teoretycznej i praktycznej. Ekologia przyczyniła się do rozpoznania treści i zakresu tego pojęcia. Biosfera rozumiana jest jako suma wszystkich organizmów żywych, ich biomasa i przestrzeń, jaką zajmują, jako system ekologiczny specyficznie rozumiany jako superorganizm z atmosferą, cyrkulującymi wodami i procesami zachodzącymi w skorupie ziemskiej. W pewnym sensie organizmy żywe są „wytworem” tak rozumianej biosfery. Biosfera – biologia – to powierzchniowa część skorupy ziemskiej oraz najniższa warstwa atmosfery (troposfera) zamieszkała przez organizmy żywe (owady). Biosfera jest globalnym ekosystemem, w którym poprzez procesy fizyczne i udział organizmów żywych następuje krążenie pierwiastków w zamkniętych obiegach. Biosfera to sfera życia (cienka złożona żywa tkanka), jak również pozostałości tej tkanki, która sięga od głębin oceanów do niższych warstw atmosfery; biosfera to część kuli ziemskiej, w której istnieje życie; biosfera to superorganizm (o wysokim stopniu integracji wewnętrznej). Interesujące ujęcie biosfery podają James Lovelock i Lynn Margulis. Wskazują, że biosfera to system z wieloma mechanizmami sprzężenia zwrotnego o pewnym rodzaju stabilności (Lovelock, 1995; Andel, 1997; Biosfera, 1973; Dzik, 1992; Falińska, 1996).

Badacze, szczególnie ekolodzy, przez swe koncepcje biosfery zmiierają do racjonalnego wyjaśnienia organizacji przyrody, które byłoby możliwe na podstawie pewnych obserwowanych faktów (procesów). Posługiwanie się różnymi określeniami biosfery zależy nie tylko od danych obserwowanych w przyrodzie, ale także od sposobu myślenia. Nie jest to konstrukcja czysto abstrakcyjna, konstrukcja ta pozwala spojrzeć na przyrodę z pewnego aspektu. Od wyboru terminologii, od zakresu i treści terminów zależy identyfikacja pola badawczego. Podkreśla się na przykład mechanizmy zależności życia od przepływu energii i materii oraz informacji przez system przyrody. Konsekwencją tego typu ujęcia jest kompleksowość – biosfera to globalny system. Przy tak rozumianej biosferze zmiieramy do wyjaśnienia organizacji gatunków w ogólnym porządku przyrody. Chodzi o ukazanie interakcji, warunków istnienia i trwałości ekosystemów, reguł działania informacji, reguł zarządzania materią i energią, racji zajmowania przez nie danej przestrzeni w danym czasie. Michael Denton pisze: „woda dostarcza niezbędnych pierwiastków wszystkim stworzeniom; wyjątkowe przystosowanie wody do życia na Ziemi [...] służy szerokiej gamie różnorodnych celów życiowych. Wśród nich wymienić można formowanie się samej Ziemi, powstawanie oceanów i łagodzenie klimatu, umożliwienie cyklu hydrologicznego, ruchu płyt tektonicznych, tworzenia kontynentów i fotosyntezy. Wyjątkowe właściwości wody są potrzebne do powstania gleby [...] do zwijania białek i wytwarzania błon komórkowych. Woda umożliwia zjawiska i procesy zachodzące

w olbrzymiej skali przestrzennej i czasowej – od tysięcy kilometrów i milionów lat po nanometry i milisekundy” (Denton, 2023: s. 12-13).

Według wielu autorów kategoria „biosfera” odzwierciedla aspekt organizacji przyrody jako właściwość niezależną od elementów konstytutywnych tego systemu. W tej organizacji należy wyróżnić m.in. sieć relacji między gatunkami, której rezultatem jest całość posiadająca jakości, jakich nie posiadają elementy. Poszczególne elementy – organizmy (populacje, ekosystemy) – mogą być klasyfikowane, identyfikowane. Również składniki ich środowiska – fizyczne i chemiczne – mogą być analizowane. Interakcje między cyklami materii i strumieniami energii pod kontrolą sieci informacyjnych konstytuują autoorganizację biosfery, która nie jest kolekcją zgromadzonych przypadkowo niezależnych od siebie gatunków połączonych tylko wspólną przestrzenią, ale gatunki (ekosystemy) wchodzi w interakcje między sobą bez względu na przynależność do grupy taksonomicznej (Dunn, 2023: s. 11).

Na powierzchni Ziemi zaistniało środowisko o pośredniej algorytmicznej zawartości informacyjnej, które dopuszcza efektywną złożoność, między innymi dlatego mogły tu powstać i ewoluować żywe organizmy. Nie wystarczy zliczenie gatunków w przyrodzie, kwestia wzajemnych oddziaływań między nimi i ich środowiskiem decyduje o ich istnieniu i ewoluowaniu. Informacja zmagazynowana w biosferze pochodząca z jej całej historii, z wielu epok geologicznych, decyduje o organizacji życia na Ziemi. Projekt życia był obecny we właściwościach materii od chwili jej powstania (Atlan, 2006; Parrochia, 1994; Zięba, 2020; Zięba, 2022).

Od wyboru terminologii, od zakresu i treści terminów zależy identyfikacja pola badawczego. Przy rozwiązywaniu problemów biosfery zdani jesteśmy na logikę redukcjonistyczną lub holistyczną. Ekologia ze swą logiką holistyczną może doprowadzić do poznania przyczyny środowisk naturalnych. Trzeba bowiem uwzględnić całość funkcjonalną. Biosferę określamy często słowem „sfera”. Ta „sfera” ma wymiar względny, to trudna do sprecyzowania ziemski otoczek, w której można znaleźć pewne formy życia utajonego. Obecnie życie może występować w zamkniętych pojemnikach czy też kosmicznych kombinezonach daleko poza naturalną biosferę. Czy te sztuczne środowiska można traktować jako „małeńkie” przestrzenie biosfery? Dla naszych analiz określenie „sfera życia” ma drugorzędne znaczenie, na pierwszy plan wysuwa się charakter wspólnotowy życia. Czy mamy prawo traktować biosferę jako kompleks realny? Chodzi o całość, która funkcjonuje i może ewoluować w ramach systemu kompleksowego. Czy biosfera to rzeczywistość, czy tylko kategoria poznawcza?

Żaden ekosystem nie może być uchwycony w całości. Należy pamiętać, że wszystkie zjawiska relatywne świata życia wpisują się w historię, która się nie powtarza. Ewolucja, tzn. transformacja systemów biologicznych, nasycza wszystkie zjawiska, które obserwujemy na naszej skali czasu, często zbyt krótkiego, aby poznać charakter i kierunek zmian. W rzeczywistości każdy fragment biosfery, jaki możemy obserwować dzisiaj, jest produktem lokalnej historii szczególnej i jest definiowany jako jedyny, niezwykły.

We współczesnej metodologii podkreśla się, że zasadniczą cechą biosfery jest złożoność. Odróżniamy złożoność na poziomie fizycznym od złożoności biologicznej.

W ramach tej ostatniej organizmy żywe nie tylko wykazują ogromną złożoność integracyjną, lecz także są niezwykle złożone pod względem samej liczby swoich unikatowych elementów składowych. Wszystkie podukłady są silnie zintegrowane, każda zmiana w jednym podukładzie musi być zgodna z funkcjonowaniem wszystkich pozostałych podukładów. Układy biologiczne podlegają ewolucji przypadkowych mutacji, stąd trudno pojąć, jak nieukierunkowana ewolucja poprzez ciąg niezależnych zmian mogła powodować radykalne przeprojektowanie układu biotycznego. Złożoność nie polega na samej liczbie komponentów, lecz na tym, że te komponenty wchodzą między sobą w szczególne relacje złożenia, tych komponentów nie da się łatwo wyizolować i zastąpić innymi. Takie spojrzenie na złożoność rzutuje na ujęcie biosfery.

Już w XIX wieku Georges Cuvier pisał: „Wszystkie narządy jednego i tego samego zwierzęcia tworzą wspólny system, którego wszystkie części trzymają się razem, działają i reagują na siebie nawzajem. I nie może być takiej modyfikacji w żadnym z nich, która nie spowodowałaby analogicznej modyfikacji w nich wszystkich”. Takie ujęcie nie straciło aktualności. Liczne dane o układach biologicznych wskazują na integrację funkcjonalną układu, podukłady składowe nie są odizolowane ani niezależne od pozostałych. W związku z tym każda poważna zmiana w jakimkolwiek podukładzie będzie wymagała całego szeregu jednoczesnych zmian kompensacyjnych o bardzo specyficznym charakterze we wszystkich lub w wielu współdziałających komponentach, tak aby zachować integrację funkcjonalną, od której zależy żywotność systemu. Stuart Kauffman (2021: s. 53-54) stwierdza, że wraz ze wzrostem liczby komponentów w złożonym układzie wzrastają ograniczenia uniemożliwiające wprowadzenie zmian. Wielu biologów przyznaje, że bogactwo wzajemnych powiązań układów żywych w znacznym stopniu ogranicza kierunek zmian ewolucyjnych.

Czy mamy prawo stwierdzić, że biosfera nie jest sumą ekosystemów, lecz stanowi swoistą całość? Tym samym stawiamy kwestię realności biosfery jako całości odróżnionej od realności sumatywnej. Całość najczęściej jest ukonstytuowana z części, które jej przynależą. Przyjmujemy, że relacje jednoczą całości i części. Zależność gatunków (ekosystemów) służy do wyprowadzenia pełnego modelu rzeczywistości i ujawnienia ogólnych prawidłowości, do przedstawienia wspólnych tendencji niejednokrotnie odległych zjawisk, które są niedostrzegalne w analizie jednostkowej.

Czym się charakteryzuje biosfera jako całość? Badacze twierdzą, że całość posiada właściwości różne od prostego dodawania jej części. Suponują konstrukcję konceptualną mniej prostą niż pozycja redukcjonistyczna. Przyjmują oni, że biosfera na poziomie organizacji odróżnia się i hierarchizuje, że wyróżniają ją emergentne nowe właściwości. Nowości wyłaniają się z interakcji, interrelacji, integracji i organizacji właściwości i są nieprzewidywalne.

Organizmy, populacje, ekosystemy nie są zarządzane przez przypadek, lecz przeciwnie, kształtują wspólnotę, której struktura i funkcje mogą być rozumiane jako całość zwana biosferą (konceptję wspólnoty biologicznej stworzył Daniel Simberloff, została ona uznana za pierwszy paradygmat ekologii). Według Friedricha S. Bodenheimera prawie wszystkie prace z ekologii podkreślają wartość wspólnoty – biosfery. Z ujęciem tym

wiąże się np. odejście od przypadku w organizowaniu biosfery. Istnienie pierwotnych systemów i tych wtórnych pozwala nam zrozumieć życie pozaindywidualne, w którym na pierwszy plan wybija się koegzystencja (współistnienie gatunków w danej wspólnocie) i koewolucja między gatunkami. Można się zastanawiać, w jakim stopniu koegzystencja między gatunkami w biosferze jest rezultatem przypadku, determinizmu, a w jakim decydują warunki siedliskowe, interakcje wewnątrzpopulacyjne i międzypopulacyjne. Być może życie miało do wyboru różne możliwości rozwiązań, m.in. poprzez wspólnoty, np. w celu oddalenia się od równowagi termodynamicznej, aby nagromadzić duże ilości energii. Wybór ten dokonał się między możliwościami a ograniczeniami. Wybór wspólnotowego charakteru życia, zgromadzenie tak licznych gatunków na kuli ziemskiej mogło być uwarunkowane różnymi przeciwnościami.

Z punktu widzenia biosfery ujmuje się przyrodę jako wspólnoty biotyczne i uwarunkowania abiotyczne (sfera kuli ziemskiej). Pomiędzy tymi wymiarami: biotycznymi i abiotycznymi stawiamy kwestie związane z interrelacjami i interakcjami, które istnieją, np. między ekosystemami i ich hydrosferą czy skorupą ziemską. Przez termin „biosfera” wskazujemy na schemat organizacyjny (badacze mówią, że ta organizacja jest zarządzana prawami natury).

Autorzy, posługując się tym pojęciem, chcą wyrazić, że rośliny i zwierzęta z terenem, na którym się znajdują, tworzą wspólnoty. Na podstawie obserwacji odkrywają różne cechy tych wspólnot. Liczne sprzężenia pomiędzy składnikami biotycznymi i abiotycznymi tej wspólnoty wskazują na szereg poziomów uzależnienia od siebie. Ziemia wraz z całą przyrodą funkcjonuje jako system zorganizowany. Życie ma wymiar wspólnotowy. John Muir stwierdził: „kiedy pociągasz – co do jednej rzeczy w naturze, spostrzegasz, że ona jest zaczepiona w pozostałym świecie. Byty żywe są wszystkie połączone jedne z drugimi przez różne typy związków. Związki te mogą być silne, znajdują się między jednakowymi przedmiotami (elementami) i słabe między różnymi”.

Refleksja nad różnymi gatunkami flory i fauny na danej przestrzeni naprowadza nas na wymiar wspólnotowy życia. Flora i fauna wyznaczają ramy ogólne wspólnoty. Geneza danej wspólnoty odzwierciedla dwie jej cechy: historyczność i aktualność oraz przestrzeń. Wspólnoty gatunków są definiowane przez warunki środowiskowe, które rządzą danymi miejscami. Kompozycja specyficzna wspólnoty zależy od przypadku. W badaniach nad sukcesją kwestią dyskutowaną jest, w jakiej mierze wspólnoty następują pod wpływem interakcji. Koncepcja klasyczna wychodzi z zasady, że wszystkie gatunki są równie ważne i że wypełniają one funkcje szczególne (Vitousek, Hooper, 1993: s. 3-14).

Obfitość gatunków we wspólnotach występuje wtedy, kiedy gatunki dobrze adaptują się do warunków środowiska i są połączone silnymi współzależnościami. Każde indywiduum usunięte ze wspólnoty przez perturbacje pozostawia miejsce puste, które może być zajęte przez indywidua tego samego lub innego gatunku. Gdy perturbacje są zbyt częste i zbyt destrukcyjne, liczba gatunków zmniejsza się.

Biosfera jest systemem. Podejście systemowe do kompleksu biosfery ukazuje współdziałanie między czynnikami biotycznymi i abiotycznymi. Podkreślamy jej wymiar cało-

ściowy. Właściwości elementów i ich interakcji doprowadzają do właściwości globalnych specyficznych, nieredukowalnych do sumy właściwości elementów.

Jean Gayon stawia pytanie o granice biosfery. Chodzi o doprowadzenie tej analizy na podstawie koncepcji systemowej funkcji, którą wypełnia w zachowaniu systemu i w emergencji zdolności, które odnoszą się do funkcji biosfery (do jakich granic rozciąga się atrybut funkcjonalności). Inni autorzy piszą, że atrybut funkcjonalny dotyczy w rzeczywistości nie części systemów żywych, lecz zachowań lub procesów, jakie one zapewniają. Ta reprezentacja otwiera się na koncepcję dynamiczną funkcji, gdzie ta nie jest atrybutem organu, lecz operacji skutku i określa możliwość funkcjonowania systemu. Philippe Huneman wyróżnił trzy użyteczności epistemologiczne pojęcia funkcji w biologii: do wiedzy nadanej, opisu i wyjaśnienia funkcjonalnego. Ta sama funkcja może przez liczne nieokreślone struktury determinować częściowo naturę i funkcje części biosfery.

Obserwacja przyrody wskazuje na wzrost kompleksowości na poziomie organizmu, ekosystemu i biosfery. Kompleksowość jest gwarantem przeżycia, ale ma swe granice, poza którymi system staje się niestabilny. Według prawa rozmaitości Ashby'ego organizm powinien dysponować różnymi możliwościami znoszenia różnych typów agresji środowiska. Ricard V. Solé (2000) pokazał, że interakcje między gatunkami w ekosystemie byłyby bardziej niezawodne, gdyby liczba gatunków była wyższa. Według Roberta M. Maya ekosystem staje się niestabilny, kiedy proporcje interakcji między gatunkami przekroczą 10% matematycznych możliwości. Problemem jest więc zarządzanie interakcjami między elementami systemu w sposób zapewniający kompleksowość konieczną do jego przeżycia.

Terminy „ekokompleks” i „ekokompleksowość” są propozycją Patricka Blandina i Maxime'a Lamotte'a (1985). Kompleksowość organizmów każe nam zastanowić się nad zasadami, które pozwalają wyjaśnić wzrastanie kompleksowości w czasie ewolucji gatunków. Dlaczego w ciągu ewolucji pojawiły się coraz bardziej złożone układy? Przyjmujemy, że każda istotność składająca się z elementów jest bardziej kompleksowa niż elementy, które ona zawiera.

Georges Chapouthier proponuje określenie kompleksowości wzrostu bytów żywych w kursie ewolucji gatunków wywołanej przez dwie zasady: zasadę zestawienia i zasadę integracji, które wskazują na dzieło powtórzeń co do elementów różnych poziomów kompleksowości (komórki, tkanki, organy), powodujące układ struktur takich, że elementy poziomu niższego zachowują autonomię całości w integracji poziomu wyższego. Autor oznacza ten sposób konstrukcji przez termin „mozaika”.

Analiza systemowa polega na określeniu granic systemu, zidentyfikowanie ważnych elementów i typów oddziaływań, które łączą je w zorganizowaną całość. Znamy lepiej mniej skomplikowane systemy, jak populacje, ekosystemy. Na podstawie znanych podsystemów wnioskujemy o dużym systemie – biosferze – stosując analogie. Ujęcie systemowe kładzie nacisk na sprzężenie zwrotne między podsystemami stanowiącymi element biosfery. Dzięki temu podejściu możemy lepiej uchwycić prawidłowości między gatunkami w przyrodzie, ująć „tkankę łączną” przyrody. Twierdzenie, że biosfera jest

systemem składającym się z podsystemów, nie jest łatwe do przyjęcia, gdyż biosfera ma inne właściwości niż poszczególne jej podsystemy. Trudności występują przy określeniu czynnika integrującego. Czynniki integracji zarówno w ekosystemach, jak i w populacjach jest niepodzielny, nie posiada też wymiarów, ponieważ istnieje on i działa niezależnie od układów ekologicznych, a jednocześnie determinuje zachodzące w nich zjawiska, powoduje to, że każdy układ ekologiczny jest zawsze tą samą całością.

Arthur G. Tansley zaproponował koncepcję ekosystemu jako reakcję na ujęcie wspólnot roślin jako „superorganizmów”. Chciał on tym podkreślić istnienie całości – bytów żywych i środowiska nieorganicznego. Systemy w ten sposób formowane są z punktu widzenia ekologii jednostkami podstawowymi przyrody na powierzchni Ziemi. Organizmy biologiczne są bardzo ważną częścią tych systemów, lecz bez uwzględnienia czynników nieorganicznych nie można mówić o systemie. Te ekosystemy, jak możemy je nazwać, oferują bardzo dużą różnorodność typów i skali.

Czy istnienie biosfery jest koniecznym warunkiem istnienia życia? Wielu badaczy uważa, że życie by nie przetrwało, gdyby nie było organizacji biosfery. Biosfera zabezpiecza życie poszczególnych osobników, np. krążenie informacji, przepływ energii, materii, rozwój poszczególnych cykli, sieci komunikacji między organizmami i otoczeniem, proces transformacji, równowagi, stabilności, wzrostu. Biosfera jest organizatorem życia. Każdy gatunek w biosferze pełni swoje funkcje, ale funkcję organizatora nie może wypełnić poszczególny gatunek, może to zrobić duży system.

Przez co najmniej trzy czwarte historii naszej planety życie ograniczało się do mikroskopijnych komórek ukrytych głęboko pod jej powierzchnią i tylko od czasu do czasu ujawniało się w formie stromatolitów. Zaistnienie eukariontów uważa się za najważniejszą innowację w historii życia. Mikroorganizmy potrzebowały setek milionów lat, by skolonizować ląd. Zmiany te zachodziły w geologicznych skalach czasowych umożliwiających stopniową ewolucję życia. Ziemskie ekosystemy są niezwykle elastyczne, lecz potrzebują pokoleń, by się zmieniać – ewoluować.

Ustosunkujmy się jeszcze do stabilności biosfery, nie jest to cecha tak oczywista jak w wypadku innych cech już wymienionych. Biosfera jest systemem otwartym, wymieniającym materię i energię oraz informację między składowymi. Również analiza biosfery w aspekcie zasad termodynamiki wykazuje różnorodne reakcje na wpływy zewnętrzne i wewnętrzne. O stabilności biosfery możemy mówić więc w sensie ograniczonym. Stabilność to dążenie do trwania poprzez utrzymanie stałych stosunków ilościowych. Dotyczy to raczej podsystemów budujących biosferę. Dla ekologów stabilność jest uwarunkowana kompleksem.

Ważną cechą biosfery jest różnorodność biologiczna: zróżnicowanie gatunków, różnorodność form życia, genów występujących w tych gatunkach. Dlaczego istnieje tak wiele roślin i zwierząt? Od samego początku życie na Ziemi ujawniło się w wielu gatunkach. Bioróżnorodność, czyli różnorodność i odmiennosć organizmów żywych budujących biosferę, zapewnia ich istnienie i rozwój. Miarą bioróżnorodności jest liczba organizmów żywych zasiedlających Ziemię oraz stopień zróżnicowania. Czy ta różnorodność jest realizacją informacji zawartej w biokompleksie?

Biosfera nie jest konstrukcją typu organizmu, jej cechą jest pluralizm elementów, których interakcje nie są zdeterminowane tak jak w organizmie. Jednak pewne interakcje między składnikami są „quasi-zdeterminowane”, kiedy są zależne w istnieniu m.in. od zasobów wody, pokarmu, energii. W literaturze rozwija się ilościową koncepcję biosfery. W ramach ilościowego ujęcia biosfera jest kompleksem ukonstytuowanym z realnych części, bez odniesienia do sposobu, w jaki one są zorganizowane. Tymczasem w strategii badawczej przyrody istnieje zapotrzebowanie na ujęcie zmiennych znaczeniowych i stosunku między nimi. Jest to użyteczne do zrozumienia wydarzeń w przyrodzie, a wiele zmiennych i relacji znaczących w systemach kompleksowych ma wymiar jakościowy.

Realność biosfery ukazuje się nam na dwóch płaszczyznach: historycznej i aktualnej. Historia odsyła nas do początków zaistnienia Ziemi. Biosfera stanowi „element” Ziemi, a ta kosmosu. Relacja Ziemia–kosmos charakteryzuje się punktem zwrotnym, rodzajem przemian, które stworzyły osobliwy układ organizacyjny o właściwościach „emergentnych”. Nowe twory o nowych właściwościach wykształcają się z już istniejących obiektów w wyniku reorganizacji (innowacja to wykształcenie się czegoś nowego). Ruchy planet, ich oddziaływania grawitacyjne mają niezwykle doniosłe skutki w kształtowaniu np. klimatu (Knoll, 2022: s. 17-18).

W obrębie naszego Układu Słonecznego, a według obecnego stanu wiedzy w obrębie całego wszechświata, Ziemia wyróżnia się jako planeta biologiczna. Ziemia nie jest bierną platformą, na której rozwijają się aktywne populacje, jest ona dynamiczna, w niej znajdują one oparcie, a środowiska nieustannie zmieniają się w różnej skali. Kiedy zmiany środowiskowe wywołują głębokie zaburzenia w biosferze, mogą załamywać się losy gatunków, a nawet struktury ekologiczne. Genetyka populacyjna leży u źródła powstania gatunków, ale o ich przetrwaniu często decyduje środowiskowa dynamika Ziemi. Dlaczego życie zrodziło się i rozkwitło w tym skromnym zakątku Drogi Mlecznej i jakim cudem udało mu się przekształcić tę planetę? (Knoll, 2022: s. 11).

Z Ziemią jest powiązany świat biotyczny. Odżywianie dokonuje się w relacji do produktów, które powstają z dwutlenku węgla obecnego w atmosferze i w oceanach oraz z wody i substancji odżywczych pobieranych z gleby lub morza. Jednocześnie zawarty w atmosferze dwutlenek węgla chroni nas przed zamarznięciem. Powstanie życia jest nierozzerwalnie związane z zachowaniem węgla w złożonych kombinacjach, jakie tworzy z innymi pierwiastkami.

Raymond Siever pisze „Ziemia jako całość pozostaje zadziwiająco stała. W szczególności w ostatnich latach stało się jasne, że główne części globu – jądro, płaszcz, skorupę, oceany i atmosferę – można z korzyścią postrzegać jako złożony, oddziałujący na siebie system, w którym istnieje cykliczny przepływ materiału z jednego zbiornika do drugiego. Mechanistyczny model Ziemi jako rozległy system recyklingu ma swój odpowiednik w fizjologicznym modelu dynamicznej równowagi zwanej homeostazą” (Siever, 1983: s. 46). James Lovelock przedstawia koncepcję Ziemi jako żywego organizmu posiadającego zdolność do utrzymania naszej planety w zdrowiu poprzez kontrolowanie środowiska chemicznego i fizycznego. „Wielkość Ziemi jest w sam raz – nie za mała, bo wówczas jej grawitacja nie byłaby zdolna zatrzymać atmosferę, i nie za duża, ponieważ wówczas

atmosferę wypełniałoby wiele gazów, w tym szkodliwych dla życia [...] Wnętrze Ziemi to odznaczający się doskonałą równowagą pracy silnik cieplny napędzany radioaktywnością [...] Gdyby działał zbyt wolno [...] kontynenty mogłyby nie wyewoluować do obecnej postaci, gdyby działał szybciej i z większą mocą, pyły wulkaniczne zakryłyby Słońce, atmosfera byłaby gęsta, a powierzchnia Ziemi byłaby wstrząsana ruchami tektonicznymi i wybuchami wulkanów” (Press, Siever, 1974: s. 4).

Czy możemy traktować ewolucję Ziemi jako przygotowanie do zaistnienia biosfery? Często ujmuje się Ziemię jako geologiczny system przygotowany na pojawienie się sfery życia. Obieg materiałów między atmosferą, powierzchnią i płaszczem miał głęboki wpływ na rozwój chemiczny górnych warstw Ziemi. Powstały dzięki temu nowe rodzaje skał i minerałów. Do czasu, gdy życie zaczęło się rozwijać na lądzie, procesy chemiczne w płaszczu wytworzyły aż tysiąc pięćset różnych typów minerałów. Tektonika płyt warunkuje na Ziemi wyjątkową dynamikę chemiczną i geologiczną, wpłynęła też na temperaturę panującą na Ziemi. W pierwszej atmosferze na Ziemi nie było wolnego tlenu, ale była para wodna, metan, dwutlenek węgla. Atmosfera była jednym z ważniejszych warunków powstania życia. Istotną rolę odegrały dwie cechy naszej planety: ekscentryczność orbity i ruch precesyjny osi ziemskiej (Christian, 2018: s. 139).

Zaistnienie życia dokonało się w wyniku interakcji pierwszych jego form z otoczeniem, natomiast próba wytłumaczenia, w jaki sposób wynikła z tego ewolucja informacji w DNA, RNA i białka, jest wciąż na etapie badań. Wiemy tyle, że w jakiś sposób na prymitywnej Ziemi zaistniały formy przemieniające materię i ewoluujące komórki, torując drogę do przeobrażenia planety. Trzy i pół miliarda lat temu Ziemia była już planetą biologiczną. Ziemia była w swej młodości planetą wodną, energia konieczna do prebiotycznych reakcji chemicznych była dostępna – powierzchnia Ziemi była poddana promieniowaniu ultrafioletowemu, a dodatkowego promieniowania energetycznego dostarczał rozpad izotopów radioaktywnych. W ówczesnej atmosferze dwutlenek węgla występował w dużym stężeniu, zapewniając młodej Ziemi dostateczną ilość ciepła, by utrzymywać na jej powierzchni wodę w stanie ciekłym.

Kolonizacja Ziemi przez organizmy wielokomórkowe rozpoczęła się po zakończeniu wymierania. Badacze określają ten okres jako powstanie nowej biosfery. Rozprzestrzenienie się roślin, grzybów i zwierząt na lądzie zmieniło powierzchnię Ziemi. Nastąpił nowy system klimatyczny o wyższym poziomie tlenu i niższym poziomie dwutlenku węgla.

Druga fala kolonizacji Ziemi przez organizmy wielokomórkowe była w okresie dewonu, który rozpoczął się około trzysta siedemdziesiąt milionów lat temu. Pierwsze rośliny z drewnianymi szkieletami przeciwstawiły się siłom grawitacji, potem łądy porosły pierwsze lasy. W procesie fotosyntezy związały one ogromne ilości węgla, tak że gdy Ziemia stała się zielona, poziom dwutlenku węgla spadł do dziesiątej części wcześniejszego poziomu. Lasy karbońskie były w stanie podwoić tempo fotosyntezy, co doprowadziło do podwojenia całkowitego budżetu energetycznego biosfery, umożliwiając powstanie wielu innych organizmów. Lasy i lądowe organizmy wielokomórkowe przekształciły obraz powierzchni Ziemi, czyniąc z kontynentów tereny zielone i resetując termostaty biosfery.

Pojawienie się człowieka na Ziemi przyniosło nowe formy złożoności stworzone przez ten gatunek, który nauczył się w nowy sposób czerpać z zasobów informacji, by wykorzystać coraz większe przepływy energii. Życie człowieka we wspólnocie spowodowało przekształcenie biosfery najpierw powoli, następnie szybciej (Dartnell, 2020).

Na realność biosfery winniśmy spojrzeć poprzez historię życia na Ziemi, charakteryzującą się wznoszeniami i upadkami prawie wszystkich grup biologicznych. Te wielkie wstrząsy w historii życia były wywoływane przez zanik lub odchylenia wielu grup i pojawienie się lub ekspansję innych grup. Jedne gatunki zastępowane były przez inne nagle bądź gradualnie. Jeśli nowy gatunek prezentował lepszą równowagę, poprzedni często był eliminowany. To wszystko miało wpływ na kształt biosfery w danym okresie. Zasada stabilności–zmienności jest sercem biosfery. Ktoś określił, że życie balansuje między stabilnością systemu i zmiennością. Jest to równowaga dynamiczna w środowisku zmiennym. Na przykład zanik masy w permie miał wpływ destrukcyjny na Ziemię. Oddzielenie kontynentów w ciągu ostatnich 200 milionów lat było przyczyną izolacji wielkiej liczby populacji. Wiele z tych populacji izolowanych geograficznie rozeszło się, aby utworzyć nowe gatunki, co spowodowało rozszerzenie różnorodności życia.

Powstanie życia to szereg etapów chemicznych, biochemicznych, z których każdy wzbogaca ten proces w nowe funkcje umożliwiające osiągnięcie kolejnych stopni złożoności. W tym procesie kluczową rolę odgrywa węgiel. Powstały związek musi przechowywać, kopiować i interpretować informacje. Życie potrzebuje bardzo zróżnicowanych rodzajów molekuł – łańcuchów, pierścieni, rozgałęzień. W organizmie podstawowym budulcem są związki organiczne. Każda reakcja chemiczna dodawała swoją cegiełkę i zwiększała złożoność tego, co ostatecznie stało się ziemską biosferą. Związki chemiczne, od których zależy życie, jakie znamy, składają się z kilku podstawowych pierwiastków: węgla, wodoru, tlenu, fosforu i siarki. Życie sięga też niekiedy po inne pierwiastki (Hazen, 2022: s. 8).

Pierwsze żywe organizmy różnicowały się, wkraczając na nowe terytoria ewolucyjne. Owe organizmy należały do prokariotów. Prokarioty będą dominować w biosferze przez ponad siedem ósmych jej historii, aż do około sześciu milionów lat temu. Dodajmy, że nadal dominują w biosferze. Z biegiem czasu prokarioty ewoluowały tak, aby zdobyć wiele środowisk ziemskich oceanów. Około 3,5 miliarda lat temu nowa ewolucyjna innowacja, mianowicie fotosynteza, pozwoliła niektórym organizmom wykorzystać strumień energii docierającej ze Słońca. Odtąd, choć życie nadal będzie przetwarzało tę samą materię, z której dotąd korzystało, żywe komórki będą miały energię, aby przeorganizować zarówno siebie, jak i swoje otoczenie na niespotykaną skalę. Rozszerzyły swój zasięg, a ilość życia na Ziemi wzrosła kilkakrotnie.

Skamieniałości to ważne źródło wiedzy o organizacji biosfery, dowód na obecność organizmów, których już nie ma. Głębsza analiza dostarcza informacji na temat taksonomii, czyli wzajemnych zależności różnych grup zwierząt. Skamieniałości pozwalają docenić pradawną różnorodność świata roślin i zwierząt oraz prześledzić zmiany zachodzące w ich środowisku. Analiza znalezisk zapewnia także dane na temat zmian klimatu i składu atmosfery. Zyskujemy dzięki niej lepszą wiedzę na temat funkcjonowania i za-

wartości populacji w ekosystemach. Z tych informacji wylania się ogólny obraz prawidłowości ewolucyjnych w skali globu w różnych epokach czasu geologicznego. Skamieliny Antarktyki pokazują kontrasty między różnymi formami życia, które żyły, i kilkoma organizmami, które tu żyją aktualnie. Jest to jedna z konsekwencji dryfu kontynentów.

Ze zbiorów cząsteczek powstają podstawowe budulce życia – aminokwasy, lipidy, cukry i zasady. Łączą się one w funkcjonalne struktury – makrocząsteczki pełniące rolę błon i portali przechowujących i kopiujących informację oraz umożliwiających rozwój i wzrost. Tak powstały zbiór cząsteczek opanowuje zdolność tworzenia kopii samego siebie. Jest to projekt powstania życia jako ciąg emergentnych kroków. Proces powstawania cząsteczek dokonuje się dzięki informacji, której nośnikiem jest DNA i RNA. Wielu badaczy uznaje RNA za wszechstronną cząsteczkę, która jako jedyna wykazuje pewne cechy życia. Może ona katalizować reakcje chemiczne, przyspieszając kluczowe funkcje biologiczne, może również przenosić informacje. Hipoteza „świata RNA” jest dla wielu naukowców punktem odniesienia do koncepcji pochodzenia życia.

Rośliny, zwierzęta i atmosfera trwają w złożonej samoregulującej się wzajemnej zależności, która utrzymuje w równowadze utleniacze i reduktory. Biokompleks, czyli biosfera, w hierarchicznej strukturze jest systemem, przez który przepływa strumień energii i materii. Ziemia „przygotowała” się do zaistnienia życia. Przynajmniej kilka kluczowych elementów musiało pojawić się, aby mogła kształtować się biosfera. Motor jej ewolucji upatrujemy w przechowywaniu informacji i jej powielaniu. Żeby wszystkie te procesy mogły zachodzić, konieczny jest jakiś rodzaj „planu architektonicznego”, który można by powielić. Takim architektem czy też matrycą projektu jest cząsteczka informacji (Hand, 2022: s. 189 n.).

BIBLIOGRAFIA

1. Andel H.T. van (1997), Nowe spojrzenie na starą planetę. Zmienne oblicze Ziemi, tłum. W. Studencki, PWN, Warszawa.
2. Atlan H. (2006), L'organisation biologique et la théorie de l'information, Seuil, Paris.
3. Biosfera (1973), przeł. B. Molski, PWN, Warszawa.
4. Blandin P., Lamotte M. (1985), Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire, Masson, Paris.
5. Christian D. (2018), Opowieść o początku. Wielka historia wszystkiego, przeł. A. Wojciechowski, Zysk i S-ka, Poznań.
6. Dartnell L. (2020), Początki. Opowieść o tym, jak ziemia nas stworzyła, tłum. J. Dzierzgowski, Zysk i S-ka, Poznań.
7. Denton M. (2023), Fenomen wody. Doskonałe przystosowanie wody do istnienia człowieka i życia na ziemi, tłum. Z. Kościuk, En Arche, Warszawa.
8. Dunn R. (2023), Historia naturalna przyszłości, tłum. K. Skonieczny, Copernicus Center Press, Kraków.
9. Dzik J. (1992), Dzieje życia na Ziemi. Wprowadzenie do paleobiologii, PWN, Warszawa.
10. Falińska K. (1996), Ekologia roślin, PWN, Warszawa.
11. Hand K.P. (2022), Pozaziemskie oceany. Poszukiwanie życia w głębinach kosmosu, tłum. Z. Lamża, Copernicus Center Press, Kraków.
12. Hazen R.M. (2022), Symfonia C. Węgiel i ewolucja prawie wszystkiego, tłum. R. Śmietana, Copernicus Center Press, Kraków.

13. Kauffman S.A. (2021), Świat poza fizyką. Powstanie i ewolucja życia, tłum. T. Lanczewski, Copernicus Center Press, Kraków.
14. Knoll A.H. (2022), Ziemia. Cztery miliardy lat historii w ośmiu rozdziałach, tłum. D. Rossowski, Copernicus Center Press, Kraków.
15. Lamarck J.-B. (1983), Philosophie zoologique, Culture et civilisation, Bruxelles.
16. Lévêque Ch. (2001), Écologie. De l'écosystème à la biosphère, Dunod, Paris.
17. Lovelock J. (1995), The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth, Oxford University Press, Oxford.
18. Parrochia D. (1994), Cosmologie de l'information. Pour une nouvelle modélisation de l'universinformatique, Hermès, Paris.
19. Press F., Siever R. (1974), Earth, Freeman, San Francisco.
20. Siever R. (1983), The Dynamic Earth, „Scientific American” vol. 249, nr 3, s. 46-55.
21. Solé R.V., Goodwin B.C. (2000), Signs of Life. How Complexity Pervades Biology, Basic Books, New York.
22. Vitousek P.M., Hooper D.U. (1993), Biological Diversity and Terrestrial Ecosystem Biogeochemistry, w: E.-D. Schulze, H.A. Mooney (eds.), Biodiversity and Ecosystem Function, Springer, Berlin, s. 3-14.
23. Zięba S. (2020), Informacyjny wymiar wszechświata, życia i człowieka, PWN, Warszawa.
24. Zięba S. (2022), Przyroda procesem ewolucji i informacji, Wyższa Szkoła Nauk Społecznych z siedzibą w Lublinie, Lublin.