

# Szczepan W. Ślaga

---

## Pojęcie i wartość poznawcza modelowania biologicznego

---

*Studia Philosophiae Christianae* 4/1, 97-117

---

1968

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

SZCZEPAN W. ŚLAGA

## POJĘCIE I WARTOŚĆ POZNAWCZA MODELOWANIA BIOLOGICZNEGO

1. Wprowadzenie, 2. Podstawy teoretyczne modelowania, 3. Organizm — system żywy jako oryginał modelu, 4. Charakter modeli biologicznych, 5. Warunki naukowej użyteczności modelowania w biologii.

### 1. Wprowadzenie

Cybernetyka, określona przez N. Wienera jako „teoria o sterowaniu i łączności w maszynach i organizmach żywych”,<sup>1</sup> zajmuje się informacjami warunkującymi sterowanie (samoczynne korygowanie) jednych części układu przez inne, przy czym procesy sterowania są podobne, a nawet identyczne w różnych układach, energetycznych, fizycznych, chemicznych, biologicznych. Stąd z założenia we wszystkich działach cybernetyki (jak: teoria maszyn analogowych i cyfrowych, teoria samoregulujących się układów, teoria łączności i informacji itd.) znaleźć można wiele podobieństw i analogii między procesami sterowania i regulacji w maszynach i w żywych organizmach.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Wiener N., *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*, New York-Paris 1948, 27, 33—35.

<sup>2</sup> Według J. Lemaire'a cechy cybernetyki to: a. złożoność; nie zajmuje się ona mechanizmami prostymi; złożoność polega tak na wielkiej liczbie elementów składowych rozpatrywanych zespołów jak i na nieograniczonej różnorodności bodźców zewnętrznych; b. niejednorodność elementów, z których zbudowane są zespoły badane; c. dynamiczność, tzn.

Zagadnieniami podobieństw w sposób szczególnie zajmuje się dział cybernetyki, zwany modelowaniem.

Modelowanie jako jedna z metod analizy naukowej — a do tego aspektu ograniczają się niniejsze uwagi — jest od strony metodologicznej rezultatem i wskaźnikiem procesu integracji nauki współczesnej, a w biologii wiąże się z przenikaniem doń metod nauk pokrewnych, w szczególności zaś logiczno — matematycznych. Wskazuje także na wzrost roli eksperymentu w badaniach naukowych.

Zamierzeniem autora jest przedstawienie zasadniczych pojęć wchodzących w zakres modelowania biologicznego, zwłaszcza typu cybernetycznego i wyodrębnienie głównych jego rodzajów, oraz charakterystyka modelowania od strony poznawczej jako jednej z metod stosowanych w biologii współczesnej. Nie porusza się przy tym innych działów cybernetyki, ani też innych aspektów samego modelowania. Stąd autor artykułu, po scharakteryzowaniu modelowania złożonych systemów żywych, podejmuje próbę wskazania wartości poznawczej modelowania w biologii poprzez robocze sformułowanie kilku poza — formalnych postulatów naukowej użyteczności omawianej metody. Postulaty te mają, zdaniem piszącego, ustrzec przed przypisywaniem modelom tych funkcji, jakie są im z natury obce, oraz określić właściwe ich miejsce pomiędzy eksperymentem i opisem faktów z jednej, a hipotezą czy teorią z drugiej strony.

## 2. Podstawy teoretyczne modelowania

Ogólnie model oznacza układ przedmiotów, zdarzeń lub procesów  $U_1$  rozpatrywany zamiast bardziej złożonego i niezbadanego układu  $U_2$ , a dostatecznie podobny, czyli izoformiczny, pod

---

przebieg zjawisk w czasie, gdyż zachowanie zespołów cybernetycznych jest funkcją czasu... (Cybernetyka — nowy typ myślenia, *Znak* 112 (1960) 1147). Ta charakterystyka wskazuje wyraźnie na możliwość szerokiego stosowania cybernetyki w biologii.

określonymi względami do  $U_2$ . W naukach empirycznych mówi się o modelach teoretycznych, eksperymentalnych czy dydaktycznych, w zależności od celu, jakiemu model ma służyć i od zakresu, w jakim jest stosowany. Modelem teoretycznym nazywa się często model nominalny, zbudowany jako hipotetyczna konstrukcja myślowa, będąca uproszczonym obrazem badanego fragmentu rzeczywistości, opartym na eliminacji myślowej jego cech czy relacji nieistotnych dla danego celu czy na danym etapie badań (za W. Enc. Powsz.). Zakres dokonywanych eliminacji myślowych i uproszczeń wyrażają tzw. warunki początkowe modelu, mające charakter idealizacji stanu faktycznego i wartość heurystyczną<sup>3</sup>; przy ich założeniu przedstawia się strukturę badanego fragmentu rzeczywistości i analizuje prawidłowości w nich zachodzące. Eksperymentalnymi nazywa się modele realne badanego układu stwarzane w celu przeprowadzenia eksperymentów, których wyniki odnosi się z dostatecznym przybliżeniem do badanego układu rzeczywistego.

Tak więc jako model przyjmuje się pewien stosunkowo prosty układ uznany za dostatecznie podobny (izoformiczny, analogiczny) pod danym względem do układu będącego właściwym przedmiotem badania. Istotną rzeczą przy tworzeniu modeli i posługiwaniu się nimi jest ustalenie izomorfizmu i analogii między układem modelowym a oryginałem badanym. Ustalenie zaś takich analogii umożliwiających opis dwóch układów przy pomocy jednej funkcji (matematycznej, logicznej) dokonuje się na drodze idealizacji, abstrakcji, metody stopniowych przybliżeń itp.

W cybernetyce modelowanie oznacza fizyczne (realne, materialne) lub myślowe (teoretyczne, symboliczne) imitowanie realnie istniejącego systemu w celu utworzenia specjalnych analogii (modeli) odtwarzających zasady organizacji i funkcjonowania tego systemu<sup>4</sup>. Dowolny układ materialny jako

---

<sup>3</sup> Sztuff W. A., Gnoseologiczeskije funkciji modeli, *Wopr. filoz.* 1961, nr 12, 55—56; Pringle J. W., Models of muscle, w: *Models and analogues in biology*, Cambridge 1960 (Symp. Soc. Exptl Biol. XIV), 41—43, cyt. dalej jako MAB.

<sup>4</sup> Frołow I. T., Oczerki metodologii biologičeskogo issledowanija,

oryginał odtwarzany jest jedynie formalnie przez izomorficzny z nim model, który wcale nie musi być, nawet w przypadku modelu fizycznego, oglądową kopią układu naturalnego będącego dlań oryginałem. O ile można mówić o oglądowym charakterze modelu technicznego, np. neuronu jako schematu elektrycznego imitującego impulsy pobudzające i efekty hamujące (model do celów dydaktycznych), o tyle już model logiczny sieci neuronów, której elementami są tzw. neurony formalne, nie tylko jest daleki od pełnego odzwierciedlenia realnych funkcji neuronów i ich współdziałania, ale jego oglądowość okazuje się umowna i w zasadzie minimalna. W innych jeszcze w ogóle nie występuje. Zagadnienie oglądowości można tu ustawiać nie ogólnie, a tylko w planie współmierności do oryginału i tylko w tym konkretnym odniesieniu<sup>5</sup>. Modelowanie, nie będąc prostym konstruowaniem i użytkowaniem twórców homomorficznych, choćby zminimalizowanych, zastępujących oryginał, nie pociąga za sobą z konieczności charakteru oglądowego.

Myślowe lub rzeczywiste imitowanie oryginału można nazwać modelowaniem tylko wtedy, gdy służy ono celom badawczym. Uczony, chcąc poznać np. jakieś reakcje zwierzęcia, może je badać nie tylko na bezpośrednim obiekcie, może też w tym celu skonstruować „sztuczne zwierzę”, to znaczy stworzyć z elementów elektromechanicznych automat z procesami samoorganizującymi się, wykazujący pewne reakcje analogiczne do reakcji zwierzęcia naturalnego. Równocześnie z tym może iść w parze drugi sposób badania, nie wymagający konstruowania technicznego modelu, w którym wszystkie stany reagującego układu oryginalnego ujmuje się przy pomocy operacji logiczno-matematycznych, przeprowadzanych najczęściej przez liczące maszyny

---

Moskwa 1965, 153; por. jego art. Gnoseologiczeskije problemy modelirowanija biologičeskich sistem, *Wopr. filoz.* 1961, nr 2, 40; George F. H., *Models in cybernetics*, w: MAB, 169, 172—173.

<sup>5</sup> Frołow I. T., *Oczerki metodologii biologičeskogo issledowanija*, 155.

elektronowe na podstawie programu zarejestrowanego na sposób kodu <sup>6</sup>.

To naprowadza na prosty podział modeli układów, procesów czy zdarzeń na dwie grupy: fizyczne (materialne) i symboliczne (idealne, myślowe). Różnice istniejące między tymi typami modeli nie wykluczają tego, że są one rodzajami tej samej metody badawczej. Modele fizyczne dzieli się na: 1. elektryczne (analogowe, cyfrowe), 2. mechaniczne, 3. elektroniczne, 4. elektrochemiczne, 5. pneumatyczne itd.<sup>7</sup>. Modele symboliczne (teoretyczne) dzieli się na logiczne i matematyczne. Model logiczny odwzorowuje zachowanie się i procesy sterowania układu fizycznego przez zespół zależności logicznych wyrażonych funkcjami zdaniowymi <sup>8</sup>.

W modelu matematycznym odwzorowuje się procesy zachodzące w układach przez zbiór relacji matematycznych między wielkościami. Pod względem matematycznym układ jako oryginał i model są identyczne czyli wyrażone są równaniami izomorficznymi mimo odmienności ich natury fizycznej.

W odróżnieniu od symbolicznych, modele fizyczne bardziej zbliżają się do kopii oglądowej układu naturalnego <sup>9</sup>. Najczęściej stosuje się modele elektryczne, w których wielkością podstawową jest napięcie elektryczne. Każdy właściwie układ elektryczny może być uznany za model układu mechanicznego.

---

<sup>6</sup> Ibid., 154; por. Apostel L., Towards the formal study of models in the nonformal sciences, *Synthèse*, XII (1960), n 2—3, 162.

<sup>7</sup> Inny podział podaje Brown R. H., Mechanical models in biology, w: MAB, 69 n, por. też Straass G., Das Modell in der Biologie, *Urania* 1961/7.

<sup>8</sup> Nowik I. B., Gnoseologiczeskaja charakteristika kiberneticeskich modeli, *Wopr. fitos.*, 1963, nr 8, 92—94; por. Wartak J., Panasewicz J., Modelowanie jako metoda badania w biologii, *Nauka Polska XIII* (1965), nr 3, 39.

<sup>9</sup> Sztoff W. A., art. cyt., 56, podkreśla zbyt silnie, w porównaniu z innymi teoretykami cybernetyki — oglądowość modeli fizycznych, które są wyrażane przy pomocy obrazów, rysunków, schematów itp. Sztoffowi, jak się wydaje, chodziło tu o modele dydaktyczne.

### 3. Organizm — system żywy jako oryginał modelu

Wchodząc w ramy biocybernetyki modelowanie systemów (układów) żywych, a więc imitowanie pewnych procesów i czynności organizmu z pominięciem innych, przy dzisiejszym stanie wiedzy biologicznej okazuje się niemal koniecznością ze względu na to, że świat istot żywych jest szczególnie skomplikowany i przy badaniu musi dokonywać się pewnych uproszczeń i abstrakcji<sup>10</sup>. Podobieństwo procesów w układach biologicznych i układach technicznych pozwalające traktować te ostatnie jako modele czynności organizmu, nie oznacza wcale zrównania ich pod względem jakościowym<sup>11</sup>. Przy obserwacji zachowania się i reakcji organizmów na bodźce fizyczne i przy porównywaniu tych reakcji z pracą maszyn widać między nimi ogromne różnice w fizycznej naturze procesów. Toteż w biocybernetyce i bionice mówi się nie o adekwatności, a jedynie o izoformizmie, podobieństwie o charakterze ogólnym, dotyczącym przesyłania informacji w obrębie zorganizowanego systemu. I właśnie dlatego, że modele odtwarzają jedynie częściowy przebieg procesu sterowania i regulacji, lub też tylko pewne funkcje systemu, możliwe jest poznawanie i badanie pewnych zjawisk witalnych wyizolowanych z tak skomplikowanej i zróżnicowanej całości. I vice versa, możliwość konstrukcji modeli istot żywych stała się realna dopiero po wykazaniu, że istoty te rzeczywiście należą do kategorii zorganizowanych systemów otwartych, dynamicznych, odznaczających się funkcjonalną współzależnością składników, stałą wymianą materii i energii z otoczeniem, mogących w pewnych warunkach uzyskać stan nietrwałej równowagi dynamicznej, przy którym właściwości systemów pozostają

---

<sup>10</sup> Rosenblueth A., Wiener N., The role of models in sciences, *Philosophy of Sciences*, 12 (1945), n 4, 317—320; por. Beament J. W., Physical models in biology, w: MAB, s. 84, 95 n.; Frołow I. T., art. cyt., s. 41.

<sup>11</sup> Poletajew J. A., Zagadnienia cybernetyki, Warszawa 1961, tłum. K. Kurman, 152—154; Wiener N., Cybernetyka i społeczeństwo, Warszawa 1960, tłum. O. Wojtasiewicz, 15, 32—34.

stałe z jednoczesnym kontynuowaniem procesów wymiany<sup>12</sup>. Entropia systemu otwartego w stanie takiej równowagi pozostaje stała i w języku cybernetycznym oznacza uzyskiwanie informacji dla samoorganizacji systemu żywego. Usuwanie nadmiaru energii wysokoentropijnej uzupełniane jest przez energię nieskoentropijną, lecz o dużej ilości informacji<sup>13</sup>. Dzięki przemianie materii i energii, asymilacji i dysymilacji systemy te w swej morfologicznej całości wykazują względną niezmiennosc, a zarazem rozwój onto- i filogenetyczny. Każdy organizm żywy, nawet najprostsza komórka, stanowiąc pewną całość, zawiera w sobie pewne elementy składowe, różniące się pod względem strukturalnym i funkcjonalnym. Obserwuje się skomplikowane oddziaływanie wzajemne między środowiskiem zewnętrznym a tymi częściami składowymi, oraz między poszczególnymi elementami. W wyniku tego oddziaływania pewne wielkości, mające zasadnicze znaczenie dla życia organizmu, podtrzymywane są ściśle na stałym poziomie mimo zmian zachodzących w środowisku zewnętrznym.

Stąd specyficzność przejawów życia mających charakter prawidłowy i powtarzalny przypomina prawidłowości reakcji maszyn i dlatego nazywa się je często automatyzmami. Widać to szczególnie w reakcjach organicznych poza-świadomych, podtrzymujących stałość środowiska wewnętrznego a pośrednio podporządkowanych układowi nerwowemu. Te reakcje realizowane są łącznie z procesami energetycznymi przyswajania i wykorzystywania substancji i energii przez poszczególne narządy i układy w organizmie. Funkcje tego typu muszą podlegać ścisłej koordynacji i integracji w czasie i przestrzeni, a to znów wymaga łączności i wymiany informacji o realnych stanach, dokonywane

---

<sup>12</sup> Por. Bertalanffy L. von, *Der Organismus als physikalisches System betrachtet*, *Naturwissenschaften* 28 (1940) 521—531; tegoż autora *Problems of life*, New York 1960, 125—128, 135 n.; Beament J. W., art. cyt. 87, 97.

<sup>13</sup> Wartak J., *Metody cybernetyczne w biologii i medycynie*, Warszawa 1966, 45; Kacser H., *Kinetic models of development and heredity*, w: MAB, a. 16, 19; Klaus G., *Kybernetik in philosophischer Sicht*, Berlin 1961, 118 n.



m. i. na drodze hormonalnej i nerwowej<sup>14</sup>. W ten sposób zawartość w organizmie wody, tlenu, soli, cukru, działanie mięśni, odruchy, rozwój, tropizmy, ciśnienie krwi, temperatura ciała, utrzymywane są na stałym poziomie za pomocą mechanizmów automatycznych, wykorzystujących przekazywanie informacji za pośrednictwem podrażnień chemicznych i pobudzeń nerwowych, oraz wykorzystujących zasadę regulacji zamkniętej. W tych wszystkich procesach dostrzega się charakterystyczne cechy sterowania przy pomocy sygnałów, gdy procesy energetyczne organizmu wywoływane są przez bardzo słabe impulsy początkowe, nerwową czy chemiczną, inicjujące rozwinięcie się procesu o energii wielokrotnie przewyższającej energię sygnału sterującego.

Stwierdzenie izomorfizmu w zachowaniu się organizmów żywych i w pracy maszyn pozwala badać nie tylko proste reakcje, ale i długie łańcuchy różnych reakcji organizmu tworzące złożone układy regulacyjne. Istnienie w organizmach organizacji systemów ze sprzężeniem zwrotnym oraz procesu sterowania i regulacji, analogicznych jak w maszynach, wykorzystuje się do budowy różnego typu modeli naśladowujących pewne struktury czy funkcje organizmu. Przy takim założeniu można badać i analizować systemy biologiczne z taką samą ścisłością matematyczną, jak układy techniczne.

#### 4. Charakter modeli biologicznych

Modelowanie cybernetyczne typu tak fizycznego jak i symbolicznego wraz z zastosowaniem matematycznej aparatury teorii informacji i zasad ogólnej teorii systemów, znajduje obecnie coraz szersze zastosowanie w badaniu struktury i prawidłowości funkcjonowania całościowych, dynamicznych systemów żywych. Dotyczy to tak poziomu molekularnego, jak i komórkowego, poziomu tkanek, narządów, całych organizmów i ich zespołów

---

<sup>14</sup> Klaus G., op. cit., 135—137, 160.

biocenotycznych, a nawet biosfery jako całości i często określane bywa jako modelowanie systemowe, w odróżnieniu od modelowania w układach materialnych martwych<sup>15</sup>. Stosowane w biologii, poza innymi, modelowanie systemowe podkreśla specyficzny punkt widzenia w rozpatrywaniu istot żywych i ich składników, także elementów sub-celularnych (genów, chromosomów) jako pewnych zorganizowanych całości. Pewne próby takiego ujęcia zjawisk życia przedstawił już L. v. Bertalanffy w 1940 r. dając w formie symbolicznej obraz zmian systemu biologicznego<sup>16</sup>. Tu bowiem, podobnie jak przy układach technicznych, ważny jest opis matematyczny nie tylko specyficznej odrębności funkcjonowania systemu żywego, ale również ujęcie mechanizmów doprowadzających do całościowego efektu końcowego. Model odtwarza zwykle niektóre tylko funkcje systemu żywego i dlatego system ten może być modelowany za pomocą różnych układów fizycznych, a nawet jedna i ta sama funkcja może być modelowana w różny sposób<sup>17</sup>. Dzieje się tak dlatego, że całościowy system żywy modelowany jest w ten sposób, że jego natura w tej określonej relacji odgrywa zupełnie nieistotną rolę. Chodzi w pierwszym rzędzie o podstawowe zasady jego funkcjonowania, o prawa transmisji i przekształceń informacji niezależnie od natury przekaźników. Zadanie biologa, chcącego zastosować metody teorii łączności do analizy problemów biologicznych, polega na tym, by znaleźć analogię systemu łączności we właściwościach morfologicznych i fizjologicznych systemu żywego. Taką analogię skonstatowano wyraźnie np. w odruchach wyższych czynności nerwowych zwierząt i człowieka / a mniej

---

<sup>15</sup> Frołow I. T., *Oczerki metodologii biologiczneskiego issledowanija*, 163, i jego art. *Gnoseologiczeskije problemy modelirowanija biologiczneskich sistem*, 47; Amosow N., *Modelirowanije informacii i programm w słoznych sistemach*, *Wopr. filos.* 1963, nr 12, 26—27.

<sup>16</sup> Bertalanffy L. von, art. cyt., por. jego *Theoretical models in biology and psychology*, *Journal of Personality* 1951.

<sup>17</sup> Wartak J., *Metody cybernetyczne w biologii i medycynie*, 160; Ashby W. R., *Wstęp do cybernetyki*, tłum. z ang., Warszawa 1961, 157—158.

widocznie występuje ona w każdym organizmie. Wystarczy wspomnieć np. o działaniu samoregulacyjnym systemu wieloenzymowego, o homeostatycznym mechanizmie oddychania, mechanizmie regulacji hormonalnej, mechanizmie przekazywania informacji genetycznej itp. Analogie te wyraża wspomniane sprzężenie zwrotne, a więc ciągła wymiana informacji między układem zarządzającym a organem wykonawczym, wymiana realizująca się w formie procesu cyklicznego. Idea sprzężenia zwrotnego w biologii posiada charakter powszechny w odniesieniu nie tylko do systemu nerwowego, ale także do procesów wewnątrzkomórkowych i współzależności biochemicznych poszczególnych struktur.

Zastosowanie teorii informacji do badań nad systemami biologicznymi i dokonującymi się w nich procesami daje więc możliwość tworzenia różnorodnych modeli (symbolicznych, fizycznych, matematycznych, mechanicznych, elektrycznych itp.), w których odtwarza się funkcjonalny charakter badanych zjawisk. Najbardziej pod tym względem zaawansowane są modele fizjologiczne i psychologiczne imitujące poszczególne czynności systemu nerwowego; modele odruchu bezwarunkowego i warunkowego (mechaniczny szczur uczący się, perceptrony), modele kanałów łączności aferentnej i eferentnej, model sterowania mięśniami (np. blokowy układ sterowania mięśni antagonistycznych), model sztucznej nerki<sup>18</sup>. Niemniej szeroko rozbudowano teorię modeli prakseologicznych i ekonomicznych (modelowanie produkcji materialnej, konsumpcji, transportu, planowania i sprawozdawczości, postępu technicznego itp.).

Mniej natomiast dokonano w dziedzinie zastosowania teorii informacji do badania problemów biologicznych na poziomie gatunku i populacji, oraz w analizie systemów żywych na poziomie komórkowym i molekularnym. Tego typu badania mają

---

<sup>18</sup> Taylor W. K., *Computers and the nervous system*, w: MAB, 152—168; Parin W., *Kibernetika w biologii i medycynie*, *Wopr. filoz.* 1961, nr 10, 92—104; Choynowski M., *Założenia cybernetyki a zagadnienia biologii*, Warszawa 1957, 26—28.

wielkie znaczenie dla rozwoju biologii molekularnej, genetyki biochemicznej, genetyki populacyjnej i teorii ewolucji. Odnośnie tej ostatniej podejmowano, nawet jeszcze przed powstaniem cybernetyki<sup>19</sup>, próby stworzenia teoretycznych i eksperymentalnych modeli walki o byt w przyrodzie. Chodzi tu o świadome uproszczenie złożonego procesu poprzez eliminację czynników komplikujących jego zachodzenie w naturze oraz ograniczenie liczby składających się nań elementów. Teoretycznym modelem walki o byt są wszelkie próby analizowania jej przebiegu na drodze np. matematycznej, po uprzednim sprecyzowaniu warunków uwzględnianych. Badania tego typu<sup>20</sup> dotyczyły między innymi układów pasożyt — żywicieli, fluktuacji liczebnej populacji ryb, konkurencji dwóch gatunków np. drożdży, zmienności środowiska uzależnionej od gęstości populacji, konkurencji form o odmiennych niszach ekologicznych itp. Konstrukcja uproszczonych modeli tak teoretycznych (Volterra, Lotka) jak i eksperymentalnych (Crombie, Emerson, Gause, Mail, Salt, Stanley, Park) pozwala stwierdzić wiele prawidłowości skomplikowanej rzeczywistości na prostym stosunkowo modelu; w odniesieniu do ewolucji przez modelowanie wykryto m. i.: zależność wyniku walki o byt od współczynnika wzrostu populacji i wartości określających stopień i łatwość wykorzystywania przez nią środowiska; okoliczności, w jakich walka o byt nie prowadzi do wyćpienia populacji, lecz przejawia się we fluktuacjach liczebności; stany równowagi biologicznej i określające je czynniki; zależność intensywności konkurencji od stopnia podobieństwa nisz ekologicznych konkurentów; fakt, że losy konkurencji tak pod względem ilościowym jak i jakościowym mogą być dla tych

---

<sup>19</sup> Straass G., *Modell und Erkenntnis. Zur erkenntnistheoretischen Bedeutung der Modellmethode in der Biologie*, Jena 1963, 15—22.

<sup>20</sup> Pätou K., *Das Wrightsche Modell der Evolution*, *Naturwissenschaften*, H. 27 (1934) 39; Szmalhausen I. I., *Ewolucja w swete kibernetiki*, *Problemy kibernetiki*, Moskwa 1965, wyp. 13, 195—199; Straass G., *Modell und Erkenntnis*, 49.

samych partnerów różne zależnie od czynników konkurencji i okoliczności jej przebiegu <sup>21</sup>.

Także inne problemy należące do dziedziny ewolucjonizmu rozpatruje się z punktu widzenia teorii informacji i sterowania, przedstawiając, choć w niezbyt jeszcze szerokim zakresie, fizyczne i symboliczne modele procesu ewolucyjnego. Jest to bowiem proces samoregulujący się, w którym w roli regulatora występuje cała biocenoza, zawierająca rozpatrywany gatunek czy populację. Sprzężenie między biocenozą i rozwijającą się populacją realizuje się dwojako: w prostej linii przekazywania sygnałów od biocenozy do populacji, oraz od populacji do biocenozy. Bezpośrednia informacja dziedziczna przenosi się przez zygoty od osobników rodzicielskich na potomstwo i pod wpływem czynników środowiskowych, przekształca się w procesie indywidualnego rozwoju osobnika należącego do tej populacji. Odwrotna informacja przechodzi za pośrednictwem osobników danej populacji i wyraża się w specyficznych formach ich działalności życiowej wpływającej na całość biocenozy, która przetwarza te informacje w procesie doboru naturalnego i przekazuje genotypowi zmienionego osobnika. Przebieg pośredni informacji dokonuje się na poziomie organizacji osobnika jako całości, a przebieg informacji dziedzicznej — na poziomie organizacji wewnątrzkomórkowej i molekularnej <sup>22</sup>. Relacje zachodzące między układami na tych dwóch poziomach przebiegu procesu ewolucji oraz mechanizmy regulacyjne rozwoju filogenetycznego rozpatruje się już z punktu widzenia cybernetyki tworząc różnego typu modele.

Powyższe uwidacznia znany skądinąd fakt istnienia powiązań między teorią ewolucji a genetyką. Otóż na poziomie molekularnym mówi się dopiero właściwie o narodzinach modelowania

---

<sup>21</sup> Szmalhausen I. I., *Osnovy ewolucjonnoho procesa w swete kibernetiki*, Problemy kibernetiki, Moskwa 1960, wyp. 4, 125—127; Huan E., *Biologie et cybernétique*, *Cahiers Laënc* 1954, n. 2, 24—26.

<sup>22</sup> Frołow I. T., *Oczerki metodologii biologiczeskogo issledowanija*, 172—174; Szmalhausen I. I., *Osnovy ewolucjonnoho procesa w swete kibernetiki*, 126—129.

struktur i mechanizmów fizykochemicznych dotyczących współdziałania białek i kwasów nukleinowych.

W szczególności okazało się, że DNA jest nosicielem kodu informacji genetycznej, odpowiedzialnym za syntezę cząsteczkową białka i samoreprodukcję systemu żywego. RNA bierze udział jako konieczne ogniwo w syntezie białek. Przeważająca ilość RNA mieści się w mitochondriach i jąderku i tu dokonuje się synteza, a następnie przejście do cytoplazmy. Szczególna rola przypisywana jest niskocząsteczkowemu RNA jądrowemu, który po otrzymaniu informacji genetycznej od DNA przechodzi do plazmy z uzyskaną zdolnością wychwytywania odpowiednich aminokwasów (model Kornberga)<sup>23</sup>, które przekazywane są makromolekularnemu RNA mieszczącemu się w chromosomach i tam dokonuje się ich polimeryzacja w łańcuch peptydowy z odpowiednią sekwencją zasad azotowych. W komórce występuje co najmniej trzy rodzaje RNA. Pierwszy z nich, zwany posłańcem lub przekazicielem — mRNA — odbiera informację genetyczną od DNA odbijając się na nim jak na matrycy i przekazując tę informację specjalnym utworom cytoplazmy, rybosomom. Rybosomy są miejscem syntezy wszystkich czynnych w cytoplazmie białek, których struktura jest określona przez odpowiedni odcinek DNA. Rybosomy RNA oznacza się skrótem rRNA. Dzięki mRNA i rRNA zapis genetyczny jest przetłumaczony z kodu genetycznego na gotowy język aminokwasów. Rybosom stanowi matrycę, na której aminokwasy łączone są w odpowiedniej kolejności w gotową cząsteczkę białka. W proces ten włącza się jeszcze trzeci rodzaj RNA, przenosiciel cząsteczek aminokwasów — sRNA. Każdy aminokwas ma własną odmianę sRNA. Właściwie w syntezie białka bierze udział nie jeden rybosom, lecz ich połączenie (nawet do ok. 50 rybosomów) zwane ergo- lub polisomami. Warto wspomnieć, że ostatnio przedstawiono fizykochemiczny model sekwencji zasad sRNA syreny<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> Kornberg A., *Biosynthesis of nucleic acids*, w: *Biophysical sciences — a study program*, New York 1960, 200—209.

<sup>24</sup> Cantoni G., H. Ishikura, H. Richards i K. Tanaka, *Synthesis and*

Biosynteza białka, rola DNA i RNA w tym procesie, oraz sposoby łączenia się tych elementów w nukleotydy znajdują się dziś w centrum zainteresowań badaczy ze względu na ich rolę jako elementów molekularnych i kontrolujących wszystkie procesy energetyczno-dynamiczne systemu żywego. W tym zakresie oryginalną z punktu cybernetycznego pracę przedstawił J. Wartak na temat mechanizmu regulacji metabolizmu komórki bakteryjnej<sup>25</sup>. Osiąganie przez bakterię stałości środowiska wewnętrznego w procesach metabolicznych katalizowanych przez systemy wieloenzymowe wyjaśnia Wartak działaniem wielu ujemnych sprzężeń zwrotnych wyrażonych w modelu samoregulacji aktywności enzymatycznej (model zwrotnie hamowanego enzymu, model hamowania aktywności enzymu przez produkt końcowy) oraz w modelu regulacji syntezy enzymów bakteryjnych (mechanizm indukcji enzymatycznej, model sterowania represją enzymatyczną przez geny regulatorowe itp.). Poza tym np. Mac-Nichol skonstruował model systemu łańcuchowych reakcji bimolekularnych za pomocą analogowej maszyny liczącej (komputera), a Chance — model przenoszenia elektronów w systemach biologicznych (cytochromy)<sup>26</sup>.

Rezultaty modelowania cybernetycznego struktur i procesów molekularno-genetycznych są zatem wielce obiecujące, a stosowanie w biologii teorii informacji i konstrukcja modeli przyczynia się do głębszego poznania budowy i mechanizmów fizykochemicznych aktywności świata komórkowego i podkomórkowego.

### 5. Warunki naukowej użyteczności modelowania w biologii

Pozostaje do przedstawienia ocena wartości poznawczej i naukowej użyteczności różnych typów modeli w biologii, a w szcze-

---

structure of macromolecules, *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 28 (1963), tłum. ros., Moskwa 1966, 106—127.

<sup>25</sup> Wartak J., Mechanizmy regulacji metabolizmu bakterii, *Postępy mikrob.* 3 (1964), nr 3, 371—380.

<sup>26</sup> MacNichol E. F., An analog computer to simulate systems of coupled bimolecular reactions, tłum. ros., w: *Elektronika i kibernetika w biologii i medycynie*, Moskwa 1963, 11—23; Chance B., Electron transfer in biological systems, tamże, 24—70.

gólności problemu interpretacji modeli cybernetycznych oraz stosunku modelu do teorii.

Modele tak teoretyczno-symboliczne jak i realne (fizyczne) wprowadza się do biologii ze względu na ich przydatność przy budowaniu teorii naukowej, a więc ze względu na walory poznawcze, inwencyjne, heurystyczne. Zakłada się, że model, jako stosunkowo prosty i izomorficzny w stosunku do oryginału układ, w pewien sposób ułatwi poznanie układu naturalnego, systemu żywego. Z pomocą modelu można abstrahować od nieistotnych właściwości danego systemu, a wydzielić określone właściwości i badać je niejako w czystej postaci, co usprawnia w znacznej mierze badanie naukowe przez rozłożenie skomplikowanego zjawiska niedostępnego dla bezpośredniej analizy; ułatwia także praktyczne wykorzystywanie procesów sterowania i regulacji zachodzących w systemach biologicznych.

Przy badaniu procesów biologicznych w modelu można zmieniać różne wartości parametrów i w tym sensie modelowanie, nawet symboliczne, krzyżuje się niejako z eksperymentem. Procedura tego typu umożliwia weryfikację różnych hipotez stawianych w celu wyjaśnienia danego procesu lub też konstrukcję nowych koncepcji molekularnych, fizjologicznych, psychologicznych, ewolucyjnych itp. Zatem modele biologiczne pozwalają nie tylko lepiej zrozumieć różne przejawy działalności życiowej organizmu, ale także konstruować mechanizmy (maszyny) wykonujące funkcje np. przystosowania do otoczenia, uczenia się itp., a więc imitujące zachowanie się organizmu.

Wynika stąd, że opracowanie teoretyczno-symbolicznych i realnych modeli różnorodnych procesów biologicznych stanowi już odrębną metodę badania<sup>27</sup>, ułatwiającą ilościowe ujęcie struktury i funkcji skomplikowanych systemów organicznych łącznie z zachowaniem się człowieka i zwierząt i w ten sposób przyczynia się do uzupełnienia naszej wiedzy o zjawiskach życiowych.

Powstaje pytanie, czy te niewątpliwe rezultaty modelowania

---

<sup>27</sup> Straass G., *Modell und Erkenntnis*, 89—98; por. Frołow I. T., *Oczerki metodologii biologicznego issledowanija*, 175, 180.



cybernetycznego systemów żywych mają wartość absolutną i upoważniają do stosowania w biologii bez zastrzeżeń omawianej metody badawczej. Niestety, nie. W odpowiedzi negatywnej na to pytanie podane zostaną próbne sformułowania kilku twierdzeń w postaci postulatów (poza-formalnych), mogących — zdaniem piszącego — zapewnić właściwą ocenę wartości poznawczej oraz właściwy sposób stosowania modeli jako środka w badaniu zjawisk życiowych. Twierdzenia te zawierają się w następujących punktach:

*P. 1. Modelowanie w biologii nie ogranicza się do roli opisu i demonstracji, lecz spełnia także funkcję wyjaśniającą, jak każda inna metoda biologiczna*<sup>28</sup>.

W odróżnieniu jednak od innych metod wyjaśnianie modelowe nie posiada charakteru bezpośredniego, tzn. odnosi się do układu lub przedmiotu modelowanego, a nie do samego modelu, który jedynie na zupełnie innej płaszczyźnie mógłby stanowić przedmiot wyjaśnienia. Jest to zatem wyjaśnienie warunkowe, kwasi-eksplikacja; taki zaś jego charakter wynika z faktu umownej adekwatności modelu względem oryginału. Mimo te zastrzeżenia metoda modelowania biologicznego ze swym charakterem kwasi-wyjaśniającym odgrywa dużą rolę heurystycznopoznawczą dla

---

<sup>28</sup> Meyer H., w art. On the heuristic value of scientific models, *Philosophy of science* 18 (1951) nr 2, 116 n. uważa, że modele, zwłaszcza logiczno-matematyczne, poprzez równania, nie dają obrazu tego, jak w rzeczywistości przyroda działa, niezależnie od naszego badania; a podobnie Hutten E. H., The role of models in physics, *The Brit. J. for the Philos. of Science* 4 (1954), n 16, 289 utrzymuje zbyt skrajnie, że funkcja modelu sprowadza się do roli metafory. Por. też Black M., *Models and metaphors*, New York 1962. Przeciw takiemu ujęciu występuje Nowik I. B., art. cyt., 101 twierdząc, że same zależności funkcjonalne są obiektywnym wyrażeniem istoty przedmiotu, nawet gdy nie znamy mechanizmu czy przyczyn tych związków, jakie istnieją niezależnie od podmiotu i mogą być ujmowane w modelu.

późniejszego, już w ramach teorii, formułowania poglądów adekwatnych i homologicznych na badany przedmiot lub proces<sup>29</sup>.

*P. 2. Modelowaniu biologicznemu nie należy przypisywać charakteru uniwersalnej metody badawczej<sup>30</sup>.*

Za wprowadzeniem tego postulatu przemawiają między innymi dwie racje: a) systemy żywe funkcjonują poprzez otrzymywanie informacji nie tylko ze środowiska abiotycznego, ale także od innych systemów żywych; a między jednymi a drugimi istnieją sprzężenia i współzależności; b) żywe systemy biologiczne jako skutek długotrwałej ewolucji posiadają informację o historycznym rozwoju gatunków, do których każdy z nich należy; a modele cząstkowe pewnych właściwości historycznych organizmu, o których wspomniano, nie umożliwią całościowego ujęcia skomplikowanych procesów ewolucyjnych. Z tych i innych racji wynikają ograniczenia w modelowaniu i konieczność stosowania pomocniczych metod, zwłaszcza historyczno-porównawczych.

---

<sup>29</sup> Glinski B. A., Griaznow B., Dynin B. S., Nikitin E. P., Modelirowanie kak metod nauczno go issledowanija (Gnoseologiczeskij analiz), Moskwa 1965, 173 n. Według tych autorów proces wyjaśniania modelowego związany z ogólną strukturą samego modelowania, przebiega poprzez następujące etapy: 1. wyznaczenie obiektu do wyjaśniania, 2. wybór modelu, 3. wyjaśnianie imitatora w terminach praw czy teorii jego własnej dziedziny przedmiotowej, 4. przewidywania modelowe (pewnych relacji i determinacji); 5. wyjaśnienie obiektu (dedukcyjnie, z analogii), 6. przekształcenie wyjaśniania modelowego we właściwą teorię oryginału (s. 184—187). Por. też Jung F., Die erkenntnistheoretische Bedeutung von Modellen in Biologie und Medizin, w: *Arzt und Philosophie*, Berlin 1961; Stachowiak H., Über kausale, konditionale und strukturelle Erklärungsmodelle, *Philosophia naturalis*, 4 (1957) 4.

<sup>30</sup> Frołow I. T., art. cyt., 49; Nowik I. B., Modelirowanije słożnych sistem, Moskwa 1965, 186 n., 204; tegoż Gnoseologiczeskaja charakteristika kibernetических modelei, 101—102.

*P. 3. W metodzie modelowania niedozwolone jest mechaniczne przenoszenie zasad obowiązujących w jednym układzie — modelu, na drugi układ — oryginał, ani tym bardziej przenoszenie zasad jednego rodzaju modelu na inny.*

Na przykład zasad obowiązujących w modelu fizycznym nie można przenieść na model logiczny lub matematyczny, pozbawiony całkowicie charakteru oglądowego. To bowiem prowadzi najczęściej do niejednoznaczności wyników. To, co dotyczy np. tylko modelu elektrycznego, nie może rozciągać się na modele symboliczne. Podobnie pewne właściwości przyrody nieożywionej, poddawane modelowaniu, nie stanowią prostych składników żywego ustroju, ale są zeń włączone organicznie, stąd model biologiczny musi uwzględnić specyfikę takiego „wcielenia” elementów martwych do organizmów<sup>31</sup>. W tym wypadku bowiem modele dotyczą różnych poziomów organizacji materii.

*P. 4. Model biologiczny, w związku z P. 1 i 2, nie utożsamia się z teorią, a jego użyteczność naukowa opiera się na tym, że jest jedynie środkiem do sformułowania teorii<sup>32</sup>, lub co najwyżej szczególnego typu hipotezą (tzw. modelową).*

W przeciwieństwie do teorii, w której jednostkowe prawa, zasady i hipotezy wyrażają pewne uproszczenie stanu faktycznego, model cybernetyczny reprezentuje znacznie dalej posunięte uproszczenie. Różnicę więc między teorią a modelem odzwierciedla m. i. stopień uproszczenia i relatywna odpowiedniość modelu względem imitowanego przedmiotu. Według Sztoffa jedna z gnozeologicznych funkcji modelu polega na tym, że jest on ogniwem pośrednim między teorią i ogólnie myśleniem teoretyczno-abstrakcyjnym, a realnymi zjawiskami (o czym niżej) i w tym

---

<sup>31</sup> Frołow I. T., *Oczerki metodologii biologicznego isslegowania*, 179.

<sup>32</sup> Zinowiew A., Rewzin J., *Logiczeskaja model kak sredstwo naucznoego issledowania*, *Wopr. fitos.*, 1960, nr 1, 83; Frołow I. T., art. cyt., 41, Straass G., *Modell und Erkenntnis*, s. 98—101, 117—118.

aspekcie trudno wyznaczyć wyraźną granicę między modelem, zwłaszcza idealnym, a teorią<sup>33</sup>.

*P. 5. Otrzymana przez modelowanie wiedza jest czymś względnym wobec badanego przedmiotu i musi być powtórnie zweryfikowana drogą interpretacji, choćby myślowej, warunkującej prawidłową ekstrapolację poznania z modelu na obiekt żywy.*

Interpretacja taka wymaga najczęściej przeprowadzenia odpowiednich eksperymentów bezpośrednio na oryginale modelu, lub porównania z powstałą na gruncie doświadczenia teorią<sup>34</sup>. W interpretacji teoretycznej bierze się pod ocenę bądź samą relację model — oryginał, nie bezpośrednio, lecz zaznaczoną szeregiem stopni, etapów i ogniów (od modelu do oryginału), bądź dokonuje się korektury wyników uzyskanych przez model jakiegoś rodzaju w zastosowaniu do innego przedmiotu.

Zatem rola poznawcza modelowania w biologii wyraża się w jego charakterze heurystyczno-inwencyjnym i jako sposób badania, musi być uzupełniane przez inne metody biologiczne. To uzupełnienie wskaże, na ile model odzwierciedla struktury i związki funkcjonalne między zjawiskami w systemie lub w jego stosunku do środowiska i wówczas model spełnia rolę interpretacji dla teorii, czyli pozwala niejako przerzucić pomost pomiędzy teorią a zjawiskami realnymi<sup>35</sup>. Ten pomost jest zresztą relacją

---

<sup>33</sup> Sztoff W. A., art. cyt., 62; por. Dänzer H., Die Rolle des Modells und des bildhaftes Denken in der naturwissenschaftlichen Forschung, *Physikalische Blätter*, 16 (1960), H. 16, 307—309.

<sup>34</sup> Nowik I. B., Modelirowanie złożonych sistem, 42, 217 n., Istnieje także eksperymentowanie modelowe (cz. na modelach) nieco różne od innych eksperymentów. Występują w nim szczególne operacje: 1. przejście od obiektu oryginalnego do modelu — budowanie modelu — cz. modelowanie w ścisłym sensie, 2. eksperymentalne badanie utworzonego modelu, 3. przejście od modelu do naturalnego obiektu, zasadzające się na przeniesieniu danych uzyskanych na modelu, na ten obiekt (Sztoff W. A., *Obsobiennostiach modelnogo eksperimenta*, *Woprosy filoz.*, 1963, nr 9, 43.

<sup>35</sup> Sztoff W. A., *Gnoseologiczeskije funkciji modeli*, 62.

dwukierunkową: a) model występuje jako część składowa powstającej z faktów i eksperymentu nowej teorii lub hipotezy; może tu służyć jako interpretacja badanych faktów; b) w kierunku odwrotnym, od teorii ku zjawiskom, model spełnia rolę interpretacji teorii przez wskazanie na istnienie obiektów opisywanych przez teorię aksjomatyczną lub przez ukazanie sensu fizycznego teorii.

Powyższe rozważania wokół modelowania jako stosowanej w biologii metody prowadzą do ogólnego wniosku, iż wyjaśnianie modelowe ma miejsce wtedy, gdy danego przedmiotu lub zjawiska nie można wyjaśnić z braku praw czy teorii właściwych tej dziedzinie przedmiotów lub zjawisk. I w tym — jak się wyraża Glinski i współautorzy<sup>36</sup> — tkwi siła i słabość wyjaśniania modelowego. Siła — dlatego, iż pozwala wyjaśnić obiekt jeszcze przed uformowaniem teorii o nim; a słabość — że wyjaśnianie takie nosi na sobie charakter roboczy, próbny, przewidujący.

#### LA VALEUR SCIENTIFIQUE DES MODÈLES EN BIOLOGIE

Le présent article est consacré à l'analyse méthodologique du modelage cybernétique en biologie. Dans la première partie on a défini la notion du modelage comme imitation physique ou théorique du système qui existe réellement en vue de l'établissement des analogies spéciales (modèles) recreant les principes la caractere et de fonctionnement dudit système. Ce qui présente le caractère essentiel du modèle c'est son isomorficité par rapport à l'original.

Après avoir caractérisé le système biologique vivant comme original du modèle on a récemment présenté les résultats dans le domaine d'application des modèles cybernétiques à l'examen des structures et fonctions dans le niveau moléculaire, cellulaire, dans le niveau de l'organisme et de la biocénose. On a présenté particulièrement quelques modèles de l'évolution, par exemple, la lutte pour la conservation de la vie, de la concurrence, de la fluctuation dans les populations, des états d'équilibre biologique etc. Aussi bien dans les examens génétiques on introduit de plus en plus la méthode du modelage.

---

<sup>36</sup> Op. cit., 191.

Dans la seconde partie l'auteur a essayé d'apprécier la valeur de connaissance et d'utilité scientifique de la méthode du modelage en biologie, aussi qu'il a examiné le problème d'interprétation de modèle. Les résultats de cette partie ont été formés dans les postulats suivants:

1. Le modelage en biologie n'est pas bornée à un seul rôle descriptif et démonstratif, mais il présente aussi une fonction explicative comme toute autre méthode biologique; le caractère quasi — explicatif de modelage joue un rôle heuristique-scientifique bien important.

2. Toutefois le modelage biologique ne peut pas porter le caractère de la méthode scientifique universelle; il doit être employé au même titre avec d'autres méthodes;

3. L'application mécanique des principes employés dans un type des modèles sur d'autres — nous amène à des différents résultats;

4. Le modèle biologique n'est identique à la théorie, mais il forme un moyen à l'établissement de la théorie; il joue un rôle d'une chaîne intermédiaire entre les phénomènes et la conception théorique, abstraite;

5. La connaissance acquise par le modelage doit-être interprétée d'une façon adéquate pour recevoir de nouvelles données sur l'objet vivant, examiné. Le modèle peut être jouer un rôle d'interprétation pour la théorie de ce phénomène vital.