



ISSN 2299-0356

Filozoficzne Aspekty Genezy — 2019/2020, t. 16/17
Philosophical Aspects of Origin

s. 19-45



<https://doi.org/10.53763/fag.2019-2020.16-17.3>

Marian Wnuk

Hipotezy biogenezy krzemowej a zagadnienie elementarnej jednostki życia. Część I: Sedlaka hipoteza „silicydów” i Cairns-Smitha hipoteza „mineralnych genów”

1. Uwagi wstępne

Problem genezy i rozwoju wczesnych form życia jest nadal otwarty. W odpowiedzi na pytanie: jak życie w ogóle mogło powstać, stworzono wiele hipotez i teorii proponujących rozmaite scenariusze przebiegu zdarzeń. Niektóre próby rekonstrukcji procesów powstawania pierwszych organizmów są potwierdzone doświadczalnie i uzyskują znaczące ugruntowanie teoretyczne. Niemniej jednak rozważania nad naturą i genezą życia prowadziły czasami do „spekulacji” lub „niedozwolonych ekstrapolacji”, w których uznawano za możliwe istnienie form życia alternatywnych do form znanych na współczesnej Ziemi. Propozycje alternatywnych lub egzotycznych form życia ¹ opisywane są bądź „alternatywną” fizyką życia bądź „alternatywną” chemią życia. Ta druga rozważa głównie życie oparte na:

— odmiennych procesach biochemicznych w rozpuszczalnikach innych niż woda; np. nadtlenek wodoru, amoniak, dwutlenek węgla, metanol, węglowodory (np. metan, etan), kwas siarkowy, hydrazynę, siarkowodór, cyjanowodór, azot, silany i tak dalej. ²

PROF. DR HAB. MARIAN WNUK — Katolicki Uniwersytet Lubelski, e-mail: marian.wnuk@kul.pl.

¹ Por. David DARLING, „Alternative Forms of Life”, w: **Encyclopedia of Science**, 2016, http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/alternative_forms_of_life.html [11.10.2020].

² Por. np. Dirk SCHULTZE-MAKUCH and Louis N. IRVIN, **Life in the Universe: Expectations and Con-**

— chemicznych podstawach innych niż węgiel i jego związki; jako alternatywne pierwiastki rozpatrywano np. krzem, bor, azot, fosfor, siarkę.³

Niektórzy badacze uważają, że w nieznannej części współczesnej biosfery ziemskiej (tak zwana ciemna biosfera) mogą istnieć jakieś formy życia z odmienną architekturą molekularną i biochemią.⁴ Formy takowe mogłyby istnieć w ekstremalnych środowiskach: głęboko pod powierzchnią naszej planety⁵ bądź w środowiskach pozaziemskich,⁶ zarówno w czasach obecnych, jak i w odległej przeszłości. Jednakże branie pod uwagę możliwości istnienia i odmienności tych form alternatywnych może być usprawiedliwione również złożonością problemu samej definicji życia. Jakie bowiem atrybuty organizmów występujących w obecnej biosferze ziemskiej są uniwersalne, to jest wspólne i konieczne dla wszystkich istot żywych we Wszechświecie? Jeśli organizmy te przystosowały się do nadzwyczaj różnych środowisk życia, to mogłyby również zmienić podstawową budowę własnych biomolekuł lub podstawowe procesy życiowe. Chemiczna jednorodność organizmów, wykorzystujących rozmaite strategie metaboliczne, nie musi koniecznie świadczyć o uniwersalnej chemii życia.

Celem niniejszego artykułu, będącego kontynuacją moich wcześniejszych prac⁷

strains, Springer Verlag, Berlin — Heidelberg 2008, s. 109-132; Robert SHAPIRO and Dirk SCHULTZE-MAKUCH, „The Search for Alien Life in Our Solar System: Strategies and Priorities”, *Astrobiology* 2009, vol. 9, no. 4, s. 335-343.

³ Por. np. Arnold HANSLMEIER, Stephan KEMPE, and Joseph SECKBACH (eds.), **Life on Earth and Other Planetary Bodies**, Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London 2012; Arnold HANSLMEIER, **Habitability and Cosmic Catastrophes**, Springer, Berlin 2009, s. 187-190; Pabulo Henrique RAMPELOTTO, „The Search for Life on Other Planets: Sulfur-Based, Silicon-Based, Ammonia-Based Life”, *Journal of Cosmology* 2010, vol. 5, s. 818-827.

⁴ Por. Carol E. CLELAND and Shelley D. COPLEY, „The Possibility of Alternative Microbial Life on Earth”, *International Journal of Astrobiology* 2005, vol. 4, no. 3-4, s. 165-173.

⁵ Por. Thomas GOLD, „The Deep, Hot Biosphere”, *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 1992, vol. 89, no. 13, s. 6045-6049; Thomas GOLD, **The Deep Hot Biosphere**, Copernicus/Springer-Verlag, New York 1999 (por. też przekład polski: Thomas GOLD, **Gorąca podziemna biosfera**, przeł. Andrzej Pieńkowski, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1999); Daniel R. COLMAN, Saroj POUDEL, Blake W. STAMPS, Eric S. BOYD, and John R. SPEAR, „The Deep, Hot Biosphere: Twenty-Five Years of Retrospection”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2017, vol. 114, no. 27, s. 6895-6903.

⁶ Por. David DUNÉR, Joel PARTHMORE, Erik PERSSON, and Gustav HOLMBERG (eds.), **The History and Philosophy of Astrobiology: Perspectives on Extraterrestrial Life and the Human Mind**, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, UK 2013; Louis Neal IRWIN and Dirk SCHULTZE-MAKUCH, **Cosmic Biology: How Life Could Evolve on Other Worlds**, Springer — Praxis Publishing, New York, Dordrecht, Heidelberg, London, Chichester 2011; National Research Council of the National Academies (John A. BAROSS *et. al.*), **The Limits of Organic Life in Planetary Systems**, The National Academies Press, Washington, DC 2007.

⁷ Por. Marian WNUK, „The Possibility of the Occurrence of Silicon Porphyrins in the Living Organi-

i mojego doktoranta Jerzego Rapały,⁸ jest przegląd hipotez biogenezy mineralnej⁹ oraz rekonstrukcja implikowanych przez nie idei elementarnej jednostki życia. Hipotezy krzemowych początków życia zakładają, że pierwsze organizmy w ogóle nie były zbudowane ze związków węglowych takich jak: kwasy nukleinowe, lipidy, białka i tak dalej, lecz ze związków nieorganicznych. Organizmy pierwotne oparte na „mineralnych genach” rozwinęłyby następnie zdolność do syntezy molekuł organicznych, przechwycały kontrolę genetyczną i uwolniły się od kontroli minerałów. W kolejnych przypuszczalnych etapach swego rozwoju (*silicum*, *silicocarbonicum* i *carbonicum*) „organizmy mineralne” uległyby przekształceniu we współcześnie nam znane tzw. węglowe formy życia, w których w śladowych ilościach pozostały: krzem i glin oraz mnóstwo innych mikroelementów i ultramikroelementów

2. Poprzednicy hipotez biogenezy krzemowej

Idee wiążące powstanie życia z mineralnymi składnikami ziemi obecne są już w starożytnych mitach. Podobnie jest w wypadku idei formowania człowieka z gliny — znanej z literatury babilońskiej, sztuki egipskiej czy Biblii. Fakt, że takie substancje mineralne jak: piasek, krzemionka, kwarc lub glina mają ze sobą coś wspólnego, zrozumiano dopiero po wyodrębnieniu i zidentyfikowaniu krzemu jako pierwiastka w 1823 roku przez Jönsa Jacoba Berzeliusa (1779-1848). Krzem jednak pozostał w domenie chemii nieorganicznej, gdyż ówczesna chemia życia stała się tzw. chemią organiczną, tj. dziedziną obejmującą związki: C, H, O, N, P, S, stanowiące ponad 99% składu większości organizmów żywych. Niemniej jednak już w XIX wieku nie wykluczano możliwości zastępowania węgla w „żywych związkach” innymi pierwiastkami, jak chociażby krzemem.¹⁰ Na przykład w roku 1880 niemiecki fizjolog i psycholog Wil-

sms”, *Roczniki Filozoficzne* 1986, vol. 34, no. 3, s. 161-181; Marian WNUK, „Kontrowersje wokół «krzemowych» początków życia”, w: Anna LEMAŃSKA i Adam ŚWIEŻYŃSKI (red.), *Filozoficzne i naukowo-przyrodnicze elementy obrazu świata. Współczesne kontrowersje wokół początków Wszechświata i początków życia*, t. 8, Wydawnictwo UKSW, Warszawa 2010, s. 154-169; Marian WNUK, *Geneza i rozwój idei elementarnej jednostki życia. W kierunku filozofii nanobiologii*, Wydawnictwo KUL, Lublin 2013.

⁸ Por. Jerzy RAPAŁA, *Teorie mineralnych początków życia. Studium filozoficzno-przyrodnicze*, Wydawnictwo KUL, Lublin 2016.

⁹ Por. np. Alexander Graham CAIRNS-SMITH, Alan J. HALL, and Michael J. RUSSEL, „Mineral Theories of the Origin of Life and an Iron Sulfide Example”, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 1992, vol. 22, no. 1-4, s. 161-180; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge 1982; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, *Seven Clues to the Origin of Life: A Scientific Detective Story*, Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, Rochelle, Melbourne, Sydney 1985; oraz cytowane poniżej publikacje Włodzimierza Sedlaka.

¹⁰ Por. H. Charlton BASTIAN, *The Beginnings of Life: Being Some Account of the Nature, Modes of*

helm Thierry Preyer (1841-1897) pisał:

Przede wszystkim należy odrzucić skostniałą przesadę, jakoby życie miało polegać wyłącznie na protoplazmie takiej, jaką jest obecnie i jakoby przed roślinami i zwierzętami nie istniały jakieś inne organizmy. Czym jest w ogóle protoplazma? Czym jest białko? W każdym razie czymś w najwyższym stopniu zmiennym i nie związkiem chemicznym, lecz niezmiernie skomplikowaną mieszaniną ciał stałych i płynnych, które znajdują się w stanie stałego rozkładu i stale zmieniających się dysocjacji, przemian i syntez. Kto wie, czy wskutek zamiany części węgla w protoplazmie, np. przez krzem lub części wodoru przez metale, nie będzie można otrzymać innej protoplazmy, czy też nie istniała już jeszcze inna, która również żyła.¹¹

Z kolei 1891 roku Julius Scheiner (1858-1913) — astrofizyk niemiecki sugerował, że krzem mógłby być odpowiedni jako podstawa dla życia.¹² Zgodnie z tą ideą irlandzki chemik James Emerson Reynolds (1844-1920), referując w 1893 roku postępy chemii krzemu, wskazał, że stabilność cieplna związków krzemowych mogłaby pozwolić życiu istnieć w bardzo wysokich temperaturach.¹³ Związki bowiem węgla z wodorem, tlenem czy azotem, dominujące w obecnej przyrodzie żywej, są trwałe we względnie niskich temperaturach w porównaniu ze związkami krzemu, których aktywność przejawia się właśnie w bardzo wysokich temperaturach. Stąd krzem mógł być istotnym elementem w przyrodzie w odległej przeszłości, kiedy temperatura ziemi była daleko wyższa i poza zakresem, w którym mogłyby istnieć związki węglowe życia organicznego. Co więcej, substancje złożone z krzemu, glinu i tlenu poprzedzały związki chemiczne węgla, azotu i wodoru wymagane na późniejszym etapie ziemskiej historii organizmów żywych. Tenże autor w 1909 r. wysunął hipotezę „wysokotemperaturowej protoplazmy” złożonej ze związków krzemu, siarki i fosforu jako substytutów odpowiednio związków: węgla, tlenu i azotu, uważając, że krzem potrafi odgrywać większą rolę jako pewien „pierwiastek organiczny” niż dotychczas zakładano. Protoplazma taka mogłaby istnieć w zakresie temperatur dużo szerszym niż zakres dostępny organizmom węglowym.¹⁴

Origin and Transformations of Lower Organisms, vol. II, MacMillan and Co., London 1872, Appendix A, s. ix-xi.

¹¹ Wilhelm PREYER, *Naturwissenschaftliche Thatsachen und Probleme*, Verlag von Gehrüder Pachtel, Berlin 1880 (przekład cytatu za: Jerzy KREINER i Stanisław SKOWRON (red.), *Powstanie życia na Ziemi. Część druga: Próby wyjaśnienia życia na Ziemi*, PWN, Warszawa 1957, s. 231).

¹² Por. David DARLING, „Silicon-Based Life”, <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/> [18.07.2020].

¹³ Por. James Emerson REYNOLDS, „Chemistry”, *Nature* 1893, vol. 48, no. 1246, s. 477-481.

¹⁴ Por. James Emerson REYNOLDS, „Recent Advances in Our Knowledge of Silicon and of Its Relations to Organized Structures”, *Nature* 1909, vol. 81, no. 2076, s. 206-208. Należy zauważyć, że współczesna

Ważną wydaje się sugestia angielskiego fizjologa Sydneya G. Paine'a (kontynuującego doświadczenia H. C. Bastiana) z 1916 roku, zgodnie z którą życie może spontanicznie powstawać w roztworach koloidalnej krzemionki z domieszką fosforanu amonu, kwasu fosforowego i tak dalej.¹⁵ Niemniej jednak doświadczenia te, mające zapewne bronić teorię *generatio spontanea*, nie były wystarczająco poprawne metodycznie.

Warto zauważyć, że tematyka tzw. życia krzemowego obecna jest również w literaturze i filmach typu *science fiction*.¹⁶ W tego rodzaju tematyce mieści się chyba pomysł wyrażony w 1928 roku przez genetyka Johna Burdona Sandersona Haldane'a (1892-1964), że życie może znajdować się wewnątrz jakiejś planety, oparte na stopionych częściowo krzemianach, a utlenianie żelaza dostarczałoby mu energii.¹⁷

3. Hipotezy biogenezy krzemowej

W kontekście teorii abiogenezy jedną z prób geochemicznego i biochemicznego podejścia do zagadnienia powstania „materii żywej” były hipotezy mineralnych początków życia, w szczególności początków krzemowych (ściślej mówiąc glinokrzemianowych). Chodzi tu o hipotezy alternatywnych form i środowisk pierwotnych życia: Włodzimierza Sedlaka (1911-1993, biologa teoretyka z Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego) hipoteza silicydów i Alexandra Grahama Cairns-Smitha (1931-2016, chemika z Uniwersytetu w Glasgow, Szkocja) hipoteza mineralnego „genu”. Autorzy obu hipotez¹⁸ wymieniają tych samych trzech badaczy: Viktora M. Goldschmidta (1888-1947), Johna D. Bernala (1901-1971) i Normana W. Piriego (1907-1997) jako „kręcących się wokół krzemu” (Sedlak) lub jako będących źródłami inspiracji (Cairns-Smith). Obie hipotezy odrzucają przede wszystkim „zasadę podobieństwa biochemicznego”, to jest nie akceptują tezy, że pierwsze istoty żywe były pod względem składu chemicznego i metabolizmu podobne do najprostszych organizmów żyjących obecnie na Ziemi. Różnią się natomiast modelami „przejścia” życia pomiędzy różnymi podłożami materialny-

nauka, to jest astrobiologia, biokosmologia i tym podobne, rozważa nawet dużo bardziej spekulatywne możliwości.

¹⁵ Por. Sydney G. PAINE, „On the Supposed Origin of Life in Solutions of Colloidal Silica”, *Annals of Botany* 1916, vol. 30, no. 3 (119), s. 383-388.

¹⁶ Na przykład w amerykańskim serialu *Star Trek*.

¹⁷ J.B.S. Haldane — urodzony w Wielkiej Brytanii, później obywatel Indii: por. John Burdon Sanderson HALDANE, *The Possible Worlds and Other Essays*, Harper and Brothers, New York London 1928.

¹⁸ Zarówno W. Sedlak jak i A.G. Cairns-Smith używają terminu „teoria” w odniesieniu do swoich dokonań. Wydaje się jednak, że termin hipoteza byłby bardziej adekwatny, gdyż zgodnie z definicją metodologiczną: teoria jest zbiorem hipotez, praw i definicji uporządkowanych logicznie i rzeczowo; ponadto powinna posiadać znaczący stopień confirmacji.

mi oraz koncepcjami „czynnika inwariantnego” obecnego w procesach rozwoju życia. Na przykład Sedlak zwraca uwagę na strukturę jako najbardziej konserwatywną cechę każdej żywej drobin, natomiast Cairns-Smith za najtrwalszy czynnik uważa informację. Hipotezę silicydów można zaliczyć do koncepcji opartych na metodzie *top-down*, podczas gdy hipoteza mineralnego genu preferuje raczej podejście *bottom-up*.

3.1. Sedlaka hipoteza silicydów vel silikonidów ¹⁹

Darwinowska teoria ewolucji ekstrapolowana na „świat molekuł chemicznych” pozwoliła na poszukiwanie początków życia w procesach ewolucji chemicznej i laboratoryjne testowanie syntez podstawowych składników budulcowych organizmów (to jest aminokwasów, nukleotydów, węglowodanów i tak dalej) w domniemanych warunkach środowiska prebiotycznego. Jednakże problem tzw. biopoezy, czyli przejścia od ewolucji chemicznej do biologicznej, stanowił bardzo trudne wyzwanie dla ówczesnych zwolenników teorii abiogenezy, takich jak A.I. Oparin, J.B.S. Haldane, J.D. Bernal i tak dalej. Ich scenariusze abiogenezy opierały się na tym samym istotnym założeniu, że rozwój życia od samego jego początku do dzisiejszej biosfery dokonywał się na tym samym podłożu chemicznym, to jest związkach węgla, takich jak: kwasy nukleinowe, białka, węglowodany, lipidy i tak dalej. Różnice zaś w scenariuszach dotyczyły fizycznych przyczyn „ożywienia” substancji wyjściowych oraz sposobów dochodzenia takich układów do specyfiki, autonomii i autoreplikacji. W tym kontekście problemowym ²⁰ powstawały również prace Sedlaka dotyczące genezy życia.

W latach 1959-1967 Sedlak opublikował szereg artykułów ²¹ i jedną książkę, które

¹⁹ Termin „silicydy”, zdaniem R. Piękosia, jest niezbyt fortunny, gdyż „w przekładzie na języki obce organizmy te utożsamiać się będą z krzemkami. Właściwszy byłby termin «silikonidy»” (Ryszard PIĘKOŚ, „Krzemowe tło życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1982, t. 30, nr 3, s. 38 [27-46]).

²⁰ Por. np. Alexander Ivanovich OPARIN, *The Origin of Life on the Earth*, trans. Ann Synge, Oliver and Boyd, Edinburgh — London 1957; John D. BERNAL, *The Origin of Life*, Weidenfeld and Nicolson, London 1967; Melvin CALVIN, *Chemical Evolution: Molecular Evolution Towards the Origin of Living Systems on the Earth and Elsewhere*, Oxford at the Clarendon Press, London 1969.

²¹ Por. Włodzimierz SEDLAK, „Ewolucja biochemiczna i teoria silicydów”, *Roczniki Filozoficzne* 1959, t. 7, nr 3, s. 69-112; Włodzimierz SEDLAK, „Teoretyczno-naukowe perspektywy silicydalnej ewolucji biochemicznej”, *Zeszyty Naukowe KUL* 1961, t. 4, nr 3, s. 95-118; Włodzimierz SEDLAK, „Teoria silicydów i jej praktyczne znaczenie dla nauk biologicznych”, *Zeszyty Naukowe KUL* 1962, t. 5, nr 1, s. 57-82; Włodzimierz SEDLAK, „Rola krzemu jako mikroelementu w organizmie i teoria silicydów”, w: **Sprawozdania z Czynności Wydawniczej i Posiedzeń Naukowych oraz Kronika Towarzystwa Naukowego Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego (za okres od 1 stycznia 1962 r. do 31 grudnia 1962 r.)**, t. 13, nr 13, Wydawnictwo TN KUL, Lublin 1963, s. 56-58; Włodzimierz SEDLAK, „Występowanie komponenta krzemowego w żywym ustroju”, *Kosmos, Seria A: Biologia* 1963, t. 12, nr 6, s. 497-504; Włodzimierz SEDLAK, „Krzem jako wskaźnik ewolucji biochemicznej”, *Kosmos, Seria A: Biologia* 1965, t. 14, nr 1, s. 23-30. Artykuły z tych lat zostały przedrukowane z niewielkimi poprawkami w książce: Włodzimierz SEDLAK, **Kie-**

zawierają²² najbardziej istotne elementy jego koncepcji krzemowych form pierwotnego życia.²³ Pierwszy z artykułów, pod tytułem „Ewolucja organiczna i teoria silicydów”, jest przez jego autora uważany za tak doniosły dla nauki, jak opublikowana 100 lat wcześniej (to jest w 1859 roku) książka Karola Darwina **O powstawaniu gatunków**. Czy taka wysoka samoocena jest usprawiedliwiona? Sedlak przyjął odmienne stanowisko w kwestii genezy życia, niż wymienieni wyżej badacze abiogenezy. Uznał mianowicie, że początek życia był zupełnie inny, zarówno od strony podłoża chemicznego jak i „chemii życia”. W punkcie wyjścia swej koncepcji przyjął tezę, uchodzącą za oczywistą, że każdy etap ewolucji życia jest jakoś „zadokumentowany” w organizmach. Zgodnie z tym, każdy współczesny organizm jest zatem podobny do wykopaliska, jest jakby „żywą skamieniałością biochemiczną”. Należy tylko odnaleźć i wyeksponować zachowane relikty biofizyczne²⁴ i biochemiczne.

Schemat metodologiczny rekonstrukcji przyjął Sedlak za Darwinem. Schemat ten zawierał trzy metody: (a) metodę doświadczalną — zdobycie faktów dotyczących występowania krzemu w organizmach, (b) metodę porównawczą — klasyfikacja faktów i dostrzeżenie prawidłowości o charakterze ewolucyjnym, (c) metodę przyczynowego wyjaśnienia, czyli sformułowanie teorii zagadnienia. Metodę tę Sedlak nazywa metodą historyczną, gdyż „evolucja jest już faktem historycznym życia na Ziemi”.²⁵ Sedlak opracował więc przegląd licznych danych doświadczalnych na temat: występowania Si w organizmach żywych, fizjologii i biochemii tego pierwiastka oraz prawidłowości morfologicznych, anatomicznych i filogenetycznych. Następnie zaproponował nową interpretację początków życia. Interpretację, w której markerem (to jest wyznacznikiem ewolucyjnym) jest antagonistyczna relacja Si–Ca, czyli stosunek zawartości tych pierwiastków w organizmie. Istnienie tej zależności okazuje się powszechne w organizmach i pozwala na wskazanie jakiejś prawidłowości rozwojowej, na przykład w postaci rozwoju szkieletyzacji krzemionkowej lub wapiennej. Mianowicie w trakcie ewolu-

runek — początek życia. Narodziny paleobiochemii krzemu, Redakcja Wydawnictw KUL, Lublin 1985.

²² Por. Włodzimierz SEDLAK, **Rola krzemu w ewolucji biochemicznej życia**, PWN, Warszawa 1967. Jest to zmodyfikowana rozprawa habilitacyjna nosząca pierwotnie tytuł: **Możliwość odtworzenia początku ewolucji organicznej na podstawie komponenta krzemowego** (por. SEDLAK, **Kierunek — początek życia...**, s. 13-14).

²³ Kolejne artykuły Sedlaka nie zawierają już jakichś istotnych modyfikacji lub uzupełnień w tym przedmiocie.

²⁴ Na temat reliktyw biofizycznych por. np. Marian WNUK i Józef ZON, „Znaczenie paleobiofizyki dla egzobiologii”, w: Wiesław DYK (red.), **Egzobiologia, czyli poszukiwanie życia w kosmosie**, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2002, s. 76-88.

²⁵ SEDLAK, **Rola krzemu w ewolucji...**, s. 9.

cji od kambru do dziś szkieletyzacja wapienna ma tendencję do szybkiego rozwoju i dominacji, natomiast — krzemionkowa jest recesywna. Analogiczna relacja Si–Ca istnieje w wypadku ewolucji tkanek miękkich. Wyjaśnienia owych relacji poszukuje Sedlak w danych na temat środowiska prekambryjskiego, gdyż ewolucja praśrodoiska jest lepiej udokumentowana niż rozwój wczesnych form życia. Można przecież na podstawie badań sedymentów zrekonstruować „skamieniałe” warunki geofizyczne i geochemiczne litosfery, hydrosfery i atmosfery, w których powstało życie. Archaiczne środowisko było krzemionkowe i alkaliczne. Na tej podstawie Sedlak nie tylko zakłada, że życie w nim powstało, ale i wysuwa hipotezę, iż Si jako mikroelement jest czynnikiem o roli zredukowanej, niemniej niegdyś istotnej w organizacji życia. Postuluje by ewolucję chemiczną życia rekonstruować „daleko wstecz”, to jest poza związki organiczne węgla do związków krzemu. Nie rekonstruuje jej jednak, ale raczej dokonuje ekstrapolacji jeszcze dalej, twierdząc, iż silicydy (to jest hipotetyczne organizmy zbudowane ze związków krzemowych) stanowiły najbardziej pierwotne życie na Ziemi. Píše bowiem, że:

Gdzieś w niezwykle odległym okresie historii życia na Ziemi, być może u schyłku dyferencjacji pramagmy na zasadach dyfuzji jonów i elektronów, wytworzyła się hydrosfera i powstały pierwsze formy materii ożywionej opierające swój metabolizm na dominacji chemicznej znamionującej środowisko, a więc na krzemie. [...] Gdzieś u początków prekambriu, na długo przed powstaniem pierwszych skał osadowych pochodzenia morskiego, przeszło życie prawdopodobnie swój wielki „zakręt” biochemiczny, z wkroczeniem węgla w jego organizację.²⁶

Sedlak uważa także, iż życie jest funkcją środowiska, tzn. że ewolucja środowiska i zmienność biochemiczna życia są zjawiskami funkcjonalnie powiązаныmi. Sedlak wysuwa następującą alternatywę:

Życie wytworzyło w obrębie węglowej organizacji biochemicznej kilka szlaków metabolicznych. Jednym z nich jest schemat krzemowy zachowany w śladzie do dziś. Selekcja rozwojowa uprzywilejowała obecny schemat biochemiczny, inne pozostały w stanie relikto wym.

Albo:

Pierwotna organizacja chemiczna życia była oparta na związkach krzemu, a zmienione warunki środowiska indukowały zmiany oparte na metabolizmie związków węglowych. Śladem ewolucyjnym tego zdarzenia jest komponent Si z relacją do Ca, gdyż węgiel wszedł w rachubę środowiska jako anion CO₃ na nośniku Ca.²⁷

²⁶ Por. SEDLAK, *Rola krzemu w ewolucji...*, s. 60-61.

²⁷ SEDLAK, *Rola krzemu w ewolucji...*, s. 48-49.

Sedlak, zapewne lubiący przesadne metafory, ujmuje to zagadnienie jako „kopernikański problem w biologii”, czyli „co i wokół czego się «obraca»?”. Pyta on mianowicie, czy do życia opartego na związkach węgla „dopłatał” się krzem jako „mikroelementarny satelita?”, czy przeciwnie, pierwotne życie oparte było właśnie na krzemie, a wtórnie „wypchnął” go dopiero węgiel?²⁸ Otóż Sedlak przyjmuje drugą możliwość. W konsekwencji, na podstawie schematów ewolucji praoceanu i uwzględnienia relacji między zawartością Si i Ca w rozmaitych organizmach Sedlak wysuwa hipotezę o istnieniu w chemicznej prehistorii życia trzech zasadniczo różnych faz. Najstarszą fazę nazywa „*silicum*” — jest to okres istnienia organizmów, których budulcem nie są związki organiczne lecz związki krzemowe. Następnie wyróżnia okres przejściowy — „*silicocarbonicum*”, zaś obecną fazę nazywa węglową — „*carbonicum*”.²⁹ Za relikty takiego właśnie kierunku przemian Sedlak uważa obecne, bezwzględne autotrofy (na przykład niektóre gatunki bakterii żelazistych lub purpurowe bakterie siarkowe, które asymilują węgiel z węglanów wapnia bądź magnezu, natomiast nie rozwijają się w ogóle na węglu organicznym), czy bakterie krzemowe rozkładające kwarc.³⁰ Jako reliktyowe procesy bioenergetyczne, oprócz chemosyntezy, wymienia Sedlak: termosyntezę, radiosyntezę i elektrosyntezę.³¹ Z termosyntezy jako archaicznego metabolizmu pozostałaby dziś na przykład część fotosyntezy, jaką są tzw. reakcje ciemne fotosyntezy. Elektrosynteza zaś mogłaby zachodzić ze względu na obecność tzw. prądów tellurycznych w próbnym środowisku geofizycznym. Te możliwe typy przemian bioenergetycznych mogły być przyczyną ewolucji od silicydów do karbonidów.

Powyższe idee Sedlaka nie znalazły dużego oddźwięku w świecie naukowym — mierzonego liczbą cytatów w piśmiennictwie specjalistycznym.³² Należy jednak zauważyć, iż obecność krzemu w biosferze traktowano wówczas, to jest w latach pięć-

²⁸ Por. Włodzimierz SEDLAK, „Krzem — pierwiastek młodości (Szkic scenariusza filmu oświatowego)”, *Roczniki Filozoficzne* 1986, t. 34, nr 3, s. 203-208.

²⁹ Por. SEDLAK, **Rola krzemu w ewolucji...**, s. 60.

³⁰ Por. PIĘKOŚ, „Krzemowe tło życia...”; Ryszard PIĘKOŚ, „Silicydalna teoria życia profesora Sedlaka”, *Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego* 1986, t. 23, nr 3-4, s. 121-132.

³¹ SEDLAK, **Rola krzemu w ewolucji...**, s. 54.

³² Zapewne z tego powodu, że nie zostały opublikowane we współczesnej „łacinie naukowej”, to jest w języku angielskim. Jedynymi bodaj naukowymi pozycjami (poza pracami polskojęzycznymi), w których znalazłem cytowane prace Sedlaka są: jedna książka w języku rosyjskim pod tytułem „Krzem i życie”, której autorami są łotewscy chemicy: Michaił Grigorjewicz WORONKOW, Gunar Izidorowicz ZELCZAN i Edmund Jakowicz ŁUKIEWICZ, **Kriemnij i żizń: Biochimija, farmakologija i toksikologija sojedinenij kriemnija**, Izdatielstwo „Zinatnie”, Riga 1978; i jedna książka w języku angielskim pod tytułem „Chemia krzemionki” chemika amerykańskiego: Ralph K. ILER, **The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry**, John Wiley and Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1979.

dziesiątych i sześćdziesiątych minionego wieku, jako rzecz przypadku. Na możliwość zinterpretowania tej obecności w kategoriach ewolucyjnych zwrócił uwagę dopiero Sedlak. Co więcej, przez bardzo długi czas krzem był uważany za pierwiastek abiologiczny, pozostający w domenach: chemii nieorganicznej, petrografii, mineralogii, technologii czy elektroniki. Za niezbędny dla organizmów został uznany dopiero w latach siedemdziesiątych przez Edith Carlisle.³³ Dlatego też wydaje się, że niektóre tezy postawione przez Sedlaka jeszcze w 1959 roku, na przykład, że krzem jest normalnym komponentem ustroju żywego i spełnia doniosłą rolę w filogenetycznie starszych formach życia mogły uchodzić za przedwczesne i słabo uzasadnione bądź wyraźnie przecenione. Na tego typu dość kruchych przeciw podstawach Sedlak wysunął śmiało i wręcz wizjonerską hipotezę, która mogła wydawać się niedozwoloną już ekstrapolacją. Niemniej jednak z biegiem czasu okazuje się, że teza, iż krzem jako mikroelement jest zredukowanym czynnikiem o istotnej niegdyś roli w organizacji życia, nie została obalona i można oczekiwać, że będzie potwierdzona. Niezbędność biologiczna krzemu i glinu może wynikać na przykład z selekcji naturalnej.³⁴

Okazało się, że większość „organizmów krzemowych” (to znaczy zawierających nawet ponad 10% Si w substancji żywej) przynależy do niższych i starych filogenetycznie klas świata ożywionego, np. krzemowiciowce (*Silicoflagellatae*), słonecznice (*Heliozoa*), gąbki krzemowe (*Poriferae*), promienice (*Radiolariae*), okrzemki (*Diatomea*). U tych ostatnich stwierdzono na przykład, że krzem ma aktywny udział w syntezie DNA i polimerazy DNA, a także chlorofilu.³⁵ Krzem istnieje w całej współczesnej biosferze. Co więcej, w mitochondriach i mikrosomach (komórek trzustki i żołądka zwierząt ciepłokrwistych) jest obecny enzym silikaza,³⁶ uwalniający kwas krzemowy

³³ Por. Edith M. CARLISLE, „Silicon as an Essential Element”, *Federation Proceedings* 1974, vol. 33, no. 6, s. 1758-1766; Edith M. CARLISLE, „Essentiality and Function of Silicon”, w: Gerd BENDZ and Ingvar LINDQVIST (eds.), **Biochemistry of Silicon and Related Problems**, Plenum Press, New York 1978, s. 231-253; Edith M. CARLISLE, „Silicon as an Essential Trace Element in Animal Nutrition”, w: David EVERED and Maeve O’CONNOR (eds.), **Silicon Biochemistry**, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, New York, Sydney, Toronto, Singapore 1986, s. 123-139; Edith M. CARLISLE, „Silicon: An Essential Element for the Chick”, *Science* 1972, vol. 178, no. 4061, s. 619-621; por. także: Tracy L. SIMPSON and Benjamin E. VOLCANI (eds.), **Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems**, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin 1981.

³⁴ Por. Christopher EXLEY, „Darwin, Natural Selection and the Biological Essentiality of Aluminium and Silicon”, *Trends in Biochemical Sciences* 2009, vol. 34, no. 12, s. 589-593.

³⁵ Por. np. Benjamin E. VOLCANI, „Role of Silicon in Diatom Metabolism and Silicification”, w: BENDZ and LINDQVIST (eds.), **Biochemistry of Silicon...**, s. 177-204; Véronique MARTIN-JÉZÉQUAL and Pascal J. LOPEZ, „Silicon — A Central Metabolite for Diatom Growth and Morphogenesis”, w: Werner E.G. MÜLLER (ed.), **Silicon Biomineralization: Biology — Biochemistry — Molecular Biology — Biotechnology**, Springer-Verlag, Berlin 2003, s. 99-124.

³⁶ Por. Klaus SCHWARZ, „Significance and Functions of Silicon in Warm-Blooded Animals: Review

ze związków chemicznych. Jest on bardzo stabilny cieplnie, nie tracąc aktywności w 100°C przez 10 minut. O ważności krzemu świadczy też to, że u bakterii kwas krzemowy stymuluje wzrost ich liczby w warunkach oligotroficznych. Na tej podstawie przypuszcza się, iż na prebiotycznej Ziemi jakieś protobakterie (przybyłe z kosmosu bądź powstałe na Ziemi) mogły zaadaptować się do warunków niskich koncentracji dostępnego węgla i musiały być oligokarbotrofami, czyli heterotrofami, a nie chemotrofami.³⁷

Z kolei postulat Sedlaka, iż ewolucję chemiczną życia należy rekonstruować daleko wstecz, poza związki organiczne węgla, aż do związków krzemowych pozostaje nadal do zrealizowania. Zaznaczyć jednak należy, iż potrzeba takiej rekonstrukcji opiera się na hipotetycznym założeniu, choć w przekonaniu autora dość prawdopodobnym.

3.2. Cairns-Smitha hipoteza mineralnego „genu”

Problem możliwości istnienia u początków ewolucji życia organizmów opartych na związkach krzemu nie był bynajmniej odosobniony w literaturze naukowej. Już po pierwszych pracach Sedlaka, bo począwszy od 1966 roku, opublikowane zostały liczne artykuły i książki Alexandra Grahama Cairns-Smitha³⁸ — rozwijającego hipotezę mineralnego „genu”.³⁹ W 1983 roku zaś odbyły się w Uniwersytecie Cambridge, sponso-

and Outlook”, w: BENDZ and LINDQVIST (eds.), *Biochemistry of Silicon...*, s. 207-230.

³⁷ Por. Milton WAINWRIGHT, K. AL-WAJEEL, N. Chandra WICKRAMASINGHE, and Jayant V. NARLIKAR, „Did Silicon Aid in the Establishment of the First Bacterium?”, *International Journal of Astrobiology* 2003, vol. 2, no. 3, s. 227-229; Milton WAINWRIGHT, Amar LASWD, and Fawaz ALSHAMMARI, „Bacteria in Amber Coal and Clay in Relation to Lithopanspermia”, *International Journal of Astrobiology* 2009, vol. 8, no. 2, s. 141-143; Jack T. TREVORS, „Bacterial Evolution and Silicon”, *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology* 1997, vol. 71, no. 3, s. 271-276.

³⁸ Por. Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „The Origin of Life and the Nature of the Primitive Gene”, *Journal of Theoretical Biology* 1966, vol. 10, no. 1, s. 53-88; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „An Approach to a Blueprint for a Primitive Organism”, w: Conrad Hal WADDINGTON (ed.), *Towards a Theoretical Biology, vol. I: Prolegomena*, Aldine Publishing Company, Birmingham 1968, s. 57-66; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „Case for an Alien Ancestry”, *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* 1975, vol. 189, no. 1095, s. 249-274; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „Organisms of the First Kind”, *Chemistry in Britain* 1979, vol. 15, s. 576-579; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „Clues to the Origin of Life”, *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain* 1988, vol. 60, s. 137-159; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „Materials for «first steps» in Evolution”, w: Julián CHELA-FLORES, Tobias OWEN, and François RAULIN (eds.), *The First Steps in the Origin of Life in the Universe*, Springer Science + Business Media, B.V., Dordrecht 2001, s. 49-53; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „Chemistry and the Missing Era of Evolution”, *Chemistry — A European Journal* 2008, vol. 14, no. 13, s. 3830-3839; Alexander Graham CAIRNS-SMITH, *The Life Puzzle: On Crystals and Organisms and on the Possibility of a Crystal as an Ancestor*, Oliver and Boyd, Edinburgh 1971; CAIRNS-SMITH, *Genetic Takeover...*; CAIRNS-SMITH, *Seven Clues to the Origin of Life...*

³⁹ Niekiedy zwana „na wyrost” również teorią — teorią mineralnych początków życia. *Nota bene* tak

rowane przez NASA, warsztaty naukowe poświęcone roli minerałów glinowych w powstaniu życia.⁴⁰ Hipoteza ta, jak wspomniano wyżej, wykazuje pewne podobieństwa z wcześniejszymi ideami Sedlaka, choć zapewne powstała niezależnie.⁴¹ Zgodnie z nią niektóre rodzaje glinokrzemianów zapoczątkowały ewolucję organiczną, gdyż posiadały zdolność do replikacji, przypadkowych mutacji i łatwość syntezy. Cairns-Smith odrzuca powszechnie przyjmowane przekonanie, że pierwsze organizmy zawierały jakies informacje o sobie w postaci genów jako fragmentów kwasów nukleinowych tak charakterystycznych dla znanego obecnie życia. W konsekwencji praprzodkami współczesnych układów żywych musiały być według niego nieorganiczne kryształy minerałów glinokrzemianowych. Jak doszedł do tej idei i jak ją uzasadnił?

Otóż Cairns-Smith przyjmuje teleonomiczną definicję życia,⁴² zgodnie z którą jest ono całością z góry założoną we wszystkich jej częściach, akcentującą współzależność wszystkich elementów tworzących biosystemy. W związku z tym przyjmuje on, że tym, co wyróżnia organizmy żywe od innych układów naturalnych jest ich złożona niepodzielność, inaczej mówiąc nieredukowalna złożoność.

Cairns-Smith zakwestionował paradygmat OHUM (Oparin-Haldane-Urey-Miller), to jest teorię abiogenezy tak zwanego głównego nurtu badawczego w protobiologii. W szczególności odrzucił koncepcję bulionu pierwotnego na podstawie danych geologicznych i astronomicznych. Za mało prawdopodobną uznał przede wszystkim możliwość abiotycznej syntezy kwasów nukleinowych, gdyż jego zdaniem pojawiły się one

właśnie został zatytułowany jeden z podrozdziałów (5.3.) książki: Włodzimierz ŁUGOWSKI, **Filozoficzne podstawy protobiologii**, Wydawnictwo IFiS PAN, Warszawa 1995, s. 128-146, poświęcony zreferowaniu i analizie publikacji Cairns-Smitha w tym względzie; prace Sedlaka nie są tam analizowane.

⁴⁰ Alexander Graham CAIRNS-SMITH and Hyman HARTMAN (eds.), **Clay Minerals and the Origin of Life**, Cambridge University Press, Cambridge 1986.

⁴¹ W żadnej jednak ze swoich publikacji Cairns-Smith nie cytuje prac Sedlaka. To samo zresztą można stwierdzić w wypadku Sedlaka, który również w swoich późniejszych pracach nie cytuje Cairns-Smitha, zob. np. Włodzimierz SEDLAK, „Paleobiochemiczne problemy wczesnych stadiów życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1973, t. 21, nr 3, s. 65-87; Włodzimierz SEDLAK, „Paleontologiczne problemy krzemowe”, *Summariu* (za rok 1973), nr 2(22/1 Numer jubileuszowy), Wydawnictwo TN KUL, Lublin 1975, s. 329-335; Włodzimierz SEDLAK, „Rola krzemu w ewolucji organicznej”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu* 1985, Ser. „Chemia”, nr 45, s. 59-74; Włodzimierz SEDLAK, „Cwierćwiecze krzemowej teorii życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1985, t. 33, nr 3, s. 115-133. Jedynym bodajże wyjątkiem jest publikacja zarysu scenariusza filmu popularnonaukowego na temat powstania życia: SEDLAK, „Krzem — pierwiastek młodości...”. Można więc podejrzewać, że prawdopodobnie mamy do czynienia z sytuacją, gdy twórca nowej teorii lub hipotezy eksponuje własne osiągnięcia, natomiast u swych poprzedników dostrzega same wady, zaś dorobku konkurentów nie zauważa w ogóle (por. ŁUGOWSKI, **Filozoficzne podstawy protobiologii...**, s. 141).

⁴² Por. np. CAIRNS-SMITH, **Genetic Takeover...**, s. 78; CAIRNS-SMITH, **Seven Clues to the Origin of Life...**, s. 2.

na dość wysokim etapie tzw. drzewa ewolucyjnego.⁴³ Kwasy nukleinowe, jako nośniki informacji genetycznej, nie były potrzebne do zapoczątkowania rozwoju życia, ale coś, co pełniło funkcję genów przekazywanych z pokolenia na pokolenie. Jako alternatywę dla DNA, pełniącą funkcję prymitywnego genu, Cairns-Smith proponuje kryształy glinokrzemianów warstwowych, usytuowane w cyklicznym krystalizatorze ciągłym utrzymywanym przez przyprływy i odpływy, podlegające procesowi wzrostu w roztworze o niewysokim stopniu przesylenia. Glinokrzemiany tego typu występowały obficie na prebiotycznej Ziemi. Jako przykład zdolności natury do samoorganizacji wymienia w szczególności minerały ilaste, takie jak montmorylonit czy kaolinit. Posiadają one regularne formy geometryczne, tworzą się spontanicznie i powielają według pewnych stałych wzorów.⁴⁴

Jak wspomniano wyżej, Cairns-Smith przyjmuje teleonomiczną definicję życia, akcentującą współzależność elementów tworzących organizm jako z góry niepodzielnie złożoną całość. W związku z tym, ażeby wyjaśnić, jak taka niepodzielna całość powstała, przyjmuje również model ewolucji jako procesu addycji i eliminacji. Tak więc, genozę pierwszych układów składających się z komponentów ściśle od siebie uzależnionych i genozę kolejnych układów składających się z innych składników również współdziałających ze sobą Cairns-Smith tłumaczy za pomocą metafor, takich jak: (a) „struktury łukowe”, czyli struktury zbudowane z uzależnionych od siebie elementów, np. modelem ich jest łuk rzymski budowany z kamieni, których pewna liczba została usunięta jako zbędna, (b) lina złożona z włókien konopi, których długość jest mniejsza od całej liny. Rozwój układów tego typu podlegał naprzemiennym procesom eliminacji elementów starych i dodawania nowych. Przykładami takiej struktury łukowej są, według Cairns-Smitha, cykle metaboliczne. Niektóre ogniwa jakiegoś cyklu reakcji metabolicznych już zniknęły, chociaż zachowała się ich „funkcja”. W wyniku tego rodzaju przemian miała dokonać się „metamorfoza genetyczna”. Zmienił się obiekt ewolucji, ale zachowała się „łukowa” organizacja procesów. Krótko mówiąc, pomostem między ewoluującymi organizmami mineralnymi a dominującą obecnie na Ziemi całkowicie inną formą życia był według Cairns-Smitha tak zwany przechwyty genetyczny (*genetic takeover*⁴⁵) lub inaczej — metamorfoza genetyczna (*genetic metamorphosis*⁴⁶). Tak więc minerały glinokrzemianowe były warunkiem późniejszego powstania cząsteczek organicznych, będąc dla nich „podporą”. A z biegiem czasu te ostatnie, gdy uzyskały

⁴³ Por. CAIRNS-SMITH, *Genetic Takeover...*, s. 56-59.

⁴⁴ Por. CAIRNS-SMITH, *Seven Clues to the Origin of Life...*, s. 78-79; CAIRNS-SMITH, *Genetic Takeover...*, s. 419-420.

⁴⁵ Por. np. CAIRNS-SMITH, *Genetic Takeover...*, s. 121-135.

⁴⁶ Por. np. CAIRNS-SMITH, *The Life Puzzle...*, s. 137-150.

zdolność do powielania siebie, odrzuciły tę wcześniej istniejącą i ważną dla ich powstania podporę, która po wypełnieniu swej funkcji zniknęła bezpowrotnie z chemii życia.

W dotychczasowym darwinowskim modelu tzw. drzewa życia postulowany był ostatni uniwersalny przodek wszystkich organizmów (LUCA⁴⁷). Otóż Cairns-Smith uzupełnił to „drzewo” wprowadzając „ostatecznego przodka” (UA⁴⁸). Według jego koncepcji LUCA był organizmem zupełnie innego rodzaju niż jego przodek, to jest UA zbudowany był z odmiennych substancji chemicznych.

4. Model minimalnego systemu żywego w teorii biogenezy krzemowej

Komórka żywa jest izotermicznym układem otwartym: samozestawialnym, samonastawczym i samourwalającym się. Tego rodzaju system chemiczny (jak również cybernetyczny, elektroniczny i tak dalej), będący nośnikiem życia, czyli realizujący „stan bycia żywym”, jest nadal uważany za „atom biologiczny”. Stanowi on punkt odniesienia do budowania modeli minimalnego systemu żywego, które wykorzystywane są do badań genezy życia. Proponowano cały szereg takich modeli, np. koacerwat, mikrosfera, bioid, minimalny (M,R)-system, chemoton, minimalny system autopoietyczny, minimalna protokomórka syntetyczna i tak dalej.⁴⁹ Ostatni z wymienionych — jest bodaj najbardziej współcześnie rozwijanym modelem,⁵⁰ aczkolwiek zakładającym tak zwane węglowe początki życia, a więc będącym w głównym nurcie badań nad genezą życia. Teoria krzemowych początków życia nie jest teorią głównego nurtu. Interesujące więc będzie wydobycie z niej i przeanalizowanie sugestii dotyczących minimalnego systemu żywego, którego model może być alternatywny względem wymienionych powyżej modeli.

4.1. „Minimum” życia w ujęciu Sedlaka

W ramach wyżej wymienionych publikacji na temat teorii silicydów Włodzimierz Sedlak nie przedstawił żadnych sugestii dotyczących minimalnego układu żywego.

⁴⁷ LUCA — skrót od nazwy w języku angielskim: *Last Universal Common Ancestor*.

⁴⁸ UA — skrót od nazwy w języku angielskim: *Ultimate Ancestor*.

⁴⁹ Przegląd tych modeli por. w: WNUK, *Geneza i rozwój idei elementarnej jednostki życia...*, s. 123-160.

⁵⁰ Por. np. Steen RASMUSSEN, Mark A. BEDAU, Liaohai CHEN, David DEAMER, David C. KRAKAUER, Norman H. PACKARD, and Peter F. STADLER (eds.), *Protocells: Bridging Nonliving and Living Matter*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts — London, England 2008.

Niemniej jednak sugestie takie wyrażone zostały w niektórych jego publikacjach z zakresu bioelektroniki,⁵¹ jako pewnej dziedziny biologii teoretycznej lub biofizyki, mającej również charakter ogólnoteoretyczny i filozoficzny, a spełniającej funkcję eksplikacyjną i metody badania życia. Koncepcje bioelektroniczne Sedlaka prezentują interdyscyplinarne i holistyczne, systemowe spojrzenie na istotę życia, przeciwstawne ujęciom cząstkowym o charakterze mechanistycznym.⁵² Już w jednym z wcześniejszych artykułów z tej dziedziny, niepoświęconym jednak biogenezie, Sedlak, rozważając kwestię natury „pola biologicznego” i „geometrii życia” pisze: „*Elementarna jednostka życia jest kwadrupolem sił*”,⁵³ to jest sił fizycznych w geometrii aperiodycznego kryształu żywego.

Wprowadzając do swojej koncepcji elektromagnetycznej natury życia Sedlak zakłada, że życie jest funkcją środowiska. Otóż stwierdza on, że:

Próby odtworzenia początków życia oparte jedynie na chemii są niebiologiczne. Nie ma życia bez odbioru informacji elektromagnetycznej środowiska. Zawiązanie akcji życia to zmuszenie drobiny chemicznej względnie ich agregatu do dawania elektromagnetycznej odpowiedzi łącznie z wyzwoleniem mechanizmów samoregulacji. Nie ma biopoezy bez integratora energetycznego jednoczącego układ w funkcjonalną całość. Nie musiało się życie dokonać w chemicznym zestawie obecnej biomolekuły. Równie dobrze mógł być to start z innego półprzewodnika krystalicznego, jak np. koloidalna krzemionka. Optyczna czynność, śrubowy układ drobin, wielkość skoku śruby w białkach to zapewne pozostałości informacji elektromagnetycznej środowiska z protożywych układów krzemowych.⁵⁴

Tego rodzaju protożywy układ krzemowy zawiera powierzchniową warstwę elektronów, nazywaną przez Sedlaka „elektrostazą”. Pełni ona rolę odbiornika i nadajnika informacji elektromagnetycznej oraz utrzymuje stan wewnętrznej homeostazy układu i zapobiega wzrostowi jego entropii. Elektrostaza jest ponadto barierą energetyczną, a także integruje system i zapewnia selektywny dopływ informacji z otoczenia, co warunkuje rozwijanie się mechanizmów ewolucyjnych. W tego rodzaju fizykalnym podłożu życia (to jest na przykład koloidalnej krzemionki) Sedlak dopatruje się „minimum”

⁵¹ Por. Włodzimierz SEDLAK, „Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1970, t. 18, nr 3, s. 101-126; Włodzimierz SEDLAK, „Bioelektronika — system nowego pojmowania życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1984, t. 32, nr 3, s. 199-218.

⁵² Por. Szczepan W. ŚLAGA, „Wstęp”, w: Stefan KAJTA, **Włodzimierza Sedlaka kwantowa teoria życia**, *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa filozofii przyrody*, t. 12, red. Mieczysław Lubański i Szczepan W. Ślaga, ATK, Warszawa 1991, s. 7-9.

⁵³ Włodzimierz SEDLAK, „Zaburzenia pola biologicznego jako przyczyna narośli rakowatej na drzewach”, *Roczniki Filozoficzne* 1968, t. 16, no. 3, s. 85 [77-103].

⁵⁴ Włodzimierz SEDLAK, „Elektrostaza i ewolucja organiczna”, *Roczniki Filozoficzne* 1967, t. 15, nr 3, s. 56 [31-58].

życia.⁵⁵ Minimum tym jest cząstka koloidalna potraktowana jako układ bipółprzewodnikowy, którego własności zależą od elektronicznej natury jego tworzywa i od otaczającego środowiska elektrycznego i elektromagnetycznego, będącego nośnikiem informacji zewnętrznej wpływającej na tworzenie się układu zdolnego do samoregulacji. Sedlak nie wskazuje konkretnego zestawu procesów, w jaki sposób informacja elektromagnetyczna środowiska kształtuje tego rodzaju „minimum” życia. Niemniej jednak twierdzi, że początek takiego minimalnego systemu, równoznaczny z początkiem życia, zaistniał, gdy tylko dokonało się sprzężenie pomiędzy reakcjami chemicznymi a procesami elektronicznymi w półprzewodnikach glinokrzemianowych. Czynnikiem sprzęgającym były fotony protośrodowiska. Sedlak posługuje się w tym kontekście najczęściej takimi terminami jak: „sprzężenie chemiczno-elektroniczne”, „kwantowy szew życia”, „kwant życia”.⁵⁶ Niestety, tych trzech terminów oraz kilkunastu innych o pokrewnym lub zbliżonym znaczeniu używa na ogół zamiennie i niekonsekwentnie, na przykład w rozdziale szóstym pod tytułem „Analiza elementarnego układu bioelektronicznego” książki **Homo electronics** utożsamia kwant życia z energią biogenego fotonu:

Znalezienie kwantu życia byłoby nie lada sensacją w biologii. A może — wychodząc z ogólnej idei elektromagnetyczności życia – jego kwant nie będzie niczym innym, jak tylko energią biogenego fotonu?

Konieczne jest pewne wyjaśnienie. Bioelektronika jest równoznaczna nie z poszukiwaniem kwantu życia, czyli jego najmniejszej jednostki, a raczej z wyodrębnieniem poziomu kwantowego, na którym dokonuje się proces nazwany ogólnie życiem.⁵⁷

Z kolei w innych publikacjach ujmuje tę kwestię trochę odmiennie i w niezbyt jasnych metaforach, na przykład:

kwantowy szew jest przekazywalny genetycznie, można by go nazwać genem życia. Stanowi właściwie kwant życia, czyli najmniejszą jednostkę życia. Kwant życia jest nośnikiem oddziaływań chemicznych i elektronicznych, zespolonych w jedno pojęcie życia.

Kwantowe łącze życia jest pojęciem abstrakcyjnym z podstawą w rzeczy. Być może jest ono również najsztubtelniejszym detektorem pól elektromagnetycznych odbieranych ze środowisk wewnętrznego i zewnętrznego”.⁵⁸

⁵⁵ Por. SEDLAK, „Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia...”, s. 101-126.

⁵⁶ Przybliżenie tych idei znaleźć można w artykułach: Marian WNUK i Józef ZON, „Wkład Włodzimierza Sedlaka w powstawanie bioelektroniki”, *Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego* 1986, t. 23, nr 3-4, s. 88-103; Marian WNUK, „Włodzimierza Sedlaka idea sprzężenia chemiczno-elektronicznego w organizmach”, *Roczniki Filozoficzne* 1991-1992, t. 39-40, nr 3, s. 103-120.

⁵⁷ Włodzimierz SEDLAK, **Homo electronics**, PIW, Warszawa 1980, s. 59.

⁵⁸ Włodzimierz SEDLAK, **Wprowadzenie w bioelektronikę**, Zakład Narodowy im. Ossolińskich —

Minimum układu protobiologicznego stanowią reakcje oksydoredukcyjne, czyli „wahadło” elektronowe. [...] Procesy plazmowe uruchomienia zdelokalizowanych elektronów w półprzewodniku nieorganicznym pod działaniem światła mogły zapoczątkować zespolenie chemii z półprzewodnikami organicznymi typu melaniny, porfiryny itp. Wydaje się, że obecna bioplazma przechodziła etap organiczno-nieorganiczny i przez pewien czas była plazmą tylko fizyczną sprzężoną z reakcjami chemicznymi.

Powstanie życia mogło się dokonywać na kilka sposobów, ale musiało objąć dwa etapy — chemiczny i elektroniczny. W jakiś nieznan nam sposób zadzierzgnął się ostatecznie kwantowy szew życia.⁵⁹

Aspekt strukturalny minimalnego systemu żywego Sedlak utożsamia niekiedy z aspektem funkcjonalnym wówczas, gdy bardziej szczegółowo opisuje „najmniejszą jednostkę funkcjonalną życia” w sposób następujący:

Jeśli zwykłe łącze typu p-n, czyli dwóch półprzewodników o przeciwstawnej charakterystyce donora i akceptora elektronów, spełnia w elektronice technicznej tak wielostronne funkcje, że nazywa się je niekiedy elektronicznym sercem układu, to można postawić pytanie: czy łącze dwóch procesów, z których jeden jest oksydoredukcyjnym wahadłem chemicznym, a drugi procesem elektronicznym, nie można by uważać za sprzężony układ chemiczno-elektroniczny? Czy taki układ nie byłby najbardziej odpowiedni dla zawiązywania akcji określanej jako życie? Oba układy nawet oddzielnie brane pracują na podstawach kwantowych. W układzie chemicznym dokonuje się zmiana w przenoszeniu elektronów walencyjnych, w elektronicznym uruchamiają się elektrony uwspólnione, walencyjne pozostają bez zmiany. Co teraz będzie, jeśli takie dwa układy zaczną się podczas „pracy” zbliżać do siebie na odległość krytyczną, gdzie wystąpić muszą kwantowe sprzężenia? Oba układy będą pracowały kolektywnie jako kwantowo mechanicznie opisywalna para wzajemnie na siebie oddziaływująca. Łączny układ takiej pary będzie funkcjonował jako sprzężenie kwantowe dwu różnych procesów. Ta sprzężona funkcjonalność to właśnie życie.⁶⁰

Jak wspomniano wyżej, czynnikiem sprzęgającym byłyby fotony, bowiem: „Kwantowy szew życia jest najmniejszym reagentem na czynniki ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego organizmu”.⁶¹ Sedlak uważa, że możliwe są trzy sposoby „zawiązania” życia, które mogłyby sporadycznie współwystępować: (a) epitaksjalny wzrost amorficznych związków organicznych, (b) uruchomienie reakcji oksydoredukcyjnych na półprzewodnikach mineralnych, (c) poprzez plazmowe wyładowania elek-

Wydawnictwo, Wrocław 1988, s. 51.

⁵⁹ SEDLAK, **Wprowadzenie w bioelektronikę...**, s. 113-114.

⁶⁰ Włodzimierz SEDLAK, „Bioelektronika — system nowego pojmowania życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1984, t. 32, nr 3, s. 206-207 [199-218].

⁶¹ SEDLAK, „Bioelektronika — system...”, s. 207.

tryczne na związkach chemicznych pochodzenia niebiotycznego.⁶²

Reasumując, jeśli przyjąć, że wyjściowym substratem protoorganizmów nie były związki węgla, ale rozpowszechnione w środowisku prebiotycznym glinokrzemiany o własnościach półprzewodnikowych, to modelem „minimum życia” mogą być cząstki glinokrzemianowego koloidu amfoterycznego, w którym układ „cząstka koloidalna — woda” należałoby traktować jako tzw. złącze *p-n* znane z elektroniki. A to dlatego, że powstające życie powinno było oprzeć się na systemie umożliwiającym subtelną odbiór minimalnych bodźców polowych (zwłaszcza elektromagnetycznych) i optymalny odbiór informacji, czyli na systemie półprzewodnikowym.

4.2. Kryształ gliny jako pierwotna jednostka życia w ujęciu A.G. Cairns-Smitha

W badaniach biogenezy zakłada się na ogół, że pierwsze organizmy powstały poprzez samorództwo (*spontaneous generation*). Cairns-Smith również przyjmuje ten punkt widzenia, ale i rozważa, dlaczego nie ma jakichś znaków obecnego lub niedawnego samorództwa oraz dlaczego nie stwierdzono istnienia takich organizmów — samostarterów (*self-starters*).⁶³ Czy tak jest z powodu zmiany ogólnych warunków na Ziemi, czy z innych przyczyn, których dopatruje się we właściwościach molekuł budulcowych życia. Cairns-Smith odrzuca molekuly autokatalitycznego RNA (hipoteza świata RNA) jako wspomniane samostartery, z powodu ich zbyt zaawansowanej złożoności. W ogóle „rozprawia” się z organicznymi molekułami jako pewną klasą. Stwierdza konsekwentnie, że jednostki odpowiednie dla samomontowania pierwszych genów powinny być małe. Powinny również być zdolne do przechowania znaczącej ilości informacji oraz replikowania informacji w miarę dokładnie poprzez procesy wzrostu i podziału kryształów.⁶⁴ Kryształy bowiem są najbardziej rozpowszechnioną klasą obiektów samomontujących się.

Minerały glinowe są złożone z niezmiernie drobniutkich kryształów, zwykle krzemianów warstwowych (kaolinit, diki, haloizyt, illit, mika, montmorylonit i tak dalej). Dlatego też Cairns-Smith uważa, że krystaliczne „geny” są hipotetycznymi genami pierwotnymi,⁶⁵ replikującymi się poprzez procesy wzrostu kryształów. Właśnie taki pierwotny obnażony gen (*naked gene*)⁶⁶ jest owym hipotetycznym organizmem minimalnym, który nie ma oddzielnego fenotypu. Cairns-Smith analizując pewną hipote-

⁶² Por. SEDLAK, **Wprowadzenie w bioelektronikę...**, s. 112-113.

⁶³ Por. np. CAIRNS-SMITH, **Seven Clues to the Origin of Life...**, s. 98-99.

⁶⁴ Por. np. CAIRNS-SMITH, **Seven Clues to the Origin of Life...**, s. 74.

⁶⁵ Por. np. CAIRNS-SMITH, **The Life Puzzle...**, s. 120.

tyczną klasę obiektów, tak zwane właściwe geny krystaliczne,⁶⁷ wskazuje, że mineralny „gen” nie może być jednak zbudowany z kryształów homogenicznych, gdyż do magazynowania i transferu informacji potrzebna jest nieregularność komponentów. Mineralny gen powinien więc charakteryzować się: zaburzeniami struktury, zdolnością do wzrostu (ze względu na replikowanie informacji), trwałością uporządkowania (ze względu na dokładność replikacji) oraz łupliwością (pozwalającą na ukończenie replikacji).⁶⁸

Cairns-Smith rozważa również kwestię tzw. odpowiedniej pojemności informacyjnej krystalicznego genu. Informacja mierzona w bitach jest jakąś specyfikacją jednej konfiguracji elementów z „astronomicznej” liczby wszystkich możliwych konfiguracji (rzędu 2^{400}). Jakiś realny kryształ, składający się z mozaiki mniejszych podjednostek i budowany wzdłuż podobnych linii, potrzebuje nie więcej niż kilka nanometrów szerokości, by móc pomieścić skromną ilość informacji, rzędu 400 bitów.⁶⁹ Cairns-Smith nie podaje, ile bitów informacji jest potrzebne do zainicjowania powstania „samostartatorów” i skąd się ona bierze, uznając zapewne, iż jest to problem filozoficzny, a nie przyrodniczy. Dodać należy, że hipoteza „kryształów jako genów” okazała się podatna na testowanie. Próbę taką już podjęto.⁷⁰

5. Uwagi końcowe

Istnieje wiele modeli elementarnej jednostki życia, a niektóre mają duże znaczenie teoretyczne i doświadczalne, zwłaszcza w badaniach protobiologicznych, astrobiologicznych etc. Pozwalają one zarówno na głębsze rozumienie natury życia, jak i na prognozowanie nowych obszarów do badań. W teorii krzemowej biogenezy brak jest odpowiedniego modelu „atomu życia”, jak to jest w wypadku większości teorii genezy i ewolucji życia. Te ostatnie, szeroko akceptowane teorie „organicznych” początków mają istotną wspólną tezę z obiema hipotezami życia „krzemowego”. Zgodnie z nią wodne i glinokrzemianowe środowisko pierwotne było czynnikiem koniecznym dla powstania protoorganizmów, o ile życie rzeczywiście powstało na Ziemi, a nie przywędrowało z kosmosu. Tyle że ich budowa chemiczna jest całkiem odmienna. Ponieważ

⁶⁶ Por. np. CAIRNS-SMITH, *Genetic Takeover...*, s. 81-82, 136-139.

⁶⁷ Alexander Graham CAIRNS-SMITH, „The Four Crystal Genes”, w: CAIRNS-SMITH and HARTMAN (eds.), *Clay Minerals and the Origin of Life...*, s. 143-152.

⁶⁸ Por. CAIRNS-SMITH, „The Four Crystal Genes...”, s. 147.

⁶⁹ Por. CAIRNS-SMITH, „The Four Crystal Genes...”, s. 145.

⁷⁰ Por. Theresa BULLARD, John FREUDENTHAL, Serine AVAGYAN, and Bart KAHR, „Test of Cairns-Smith’s «Crystals-as-Genes» Hypothesis”, *Faraday Discussions* 2007, no. 136, s. 231–245.

krzemiany dominują ilościowo w litosferze,⁷¹ to ich istotna rola w „biogenezie węglowej” jest uznawana, a ponadto dobrze potwierdzona doświadczalnie: glinokrzemiany mogły służyć jako katalizatory i adsorbenty związków organicznych oraz matryce dla struktur organicznych i ich ekrany chroniące przed niszczącym działaniem promieniowania UV.⁷²

Jak dotąd nie wykryto krzemowych form życia (to jest bezwęglowych silicydów),⁷³ a spór o możliwość ich istnienia w ekstremalnych warunkach, zwłaszcza pozaziemskich, trwa nadal.⁷⁴ Powyższy przegląd hipotez „krzemowych” początków życia na Ziemi miał na celu wyeksponowanie implikowanych przez te hipotezy tych sugestii, które pozwoliłyby na rekonstrukcję jakiegoś spójnego modelu elementarnej jednostki życia i porównanie go z innymi tego rodzaju modelami. Próba takiej rekonstrukcji, w kontekście interdyscyplinarnym, będzie podjęta w drugiej części artykułu

Marian Wnuk

⁷¹ Por. Martin J. VAN KRANENDONK, R. Hugh SMITHIES, and Vickie C. BENNETT (eds.), **Earth's Oldest Rocks**, Elsevier, Amsterdam Boston Heidelberg 2007; Patrick G. ERIKSSON, Władysław ALTERMANN, David R. NELSON, Wulf U. MUELLER, and Octavian CATUNEAU (eds.), **The Precambrian Earth: Tempos and Events**, Elsevier, Amsterdam, Boston, Heidelberg 2004.

⁷² Por. np. Hope L. JUNTUNEN, Lucas J. LEINEN, Briann K. PITTS, Samantha M. O'HANLON, Bethany P. THEILING, Laura M. BARGE, Patrick VIDEAU, and Michael O. GAYLOR, „Investigating the Kinetics of Montmorillonite Clay-Catalyzed Conversion of Anthracene to 9,10-anthraquinone in the Context of Prebiotic Chemistry”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 2018, vol. 48, no. 3, s. 321-330; Elisa BIONDI, Sergio BRANCIAMORE, Marie-Christine MAUREL, and Enzo GALLORI, „Montmorillonite Protection of an UV-Irradiated Hairpin Ribozyme: Evolution of the RNA World in a Mineral Environment”, *BMC Evolutionary Biology* 2007, vol. 7, Suppl. 2, s. S2 [S1-S7]; Gözen ERTEM, „Montmorillonite, Oligonucleotides, RNA and Origin of Life”, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 2004, vol. 34, no. 6, s. 549-570; Shmuel YARIV and Harold CROSS (eds.), **Organo-Clay Complexes and Interactions**, Marcel Dekker, New York 2002.

⁷³ Por. Joseph SECKBACH and J. Patrick KOCIOLEK (eds.), **The Diatom World**, Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht Heidelberg London New York 2011; Werner E.G. MÜLLER and Mikhael A. GRACHEV (eds.), **Biosilica in Evolution, Morphogenesis, and Nanobiotechnology: Case Study Lake Baikal**, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2009; MÜLLER (ed.), **Silicon Biomineralization...**; Hideki SAKURAI (ed.), **Organosilicon and Bioorganosilicon Chemistry: Structure, Bonding, Reactivity and Synthetic Application**, Ellis Horwood, Chichester 1985; SIMPSON and VOLCANI (eds.), **Silicon and Siliceous Structures....**

⁷⁴ Por. Lev GRIBOV, V. BARANOV, and Yuri MAGARSHAK, „Is «Silicate Life» Possible?”, w: Yuri MAGARSHAK, Sergey KOZYREV, and Ashok K. VASEASHTA (eds.), **Silicon Versus Carbon: Fundamental Nanoprocesses, Nanobiotechnology and Risks Assessment**, Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht 2009, s. 1-8; Shirley PENG, „Silicon-Based Life in the Solar System”, *Silicon* 2015, vol. 7, no. 1, s. 1-3; David T. JACOB, „There Is No Silicon-Based Life in the Solar System”, *Silicon* 2016, vol. 8, no. 1, s. 175-176; Janusz Jurand PETKOWSKI, William BAINS, and Sara SEAGER, „On the Potential of Silicon as a Building Block of Life”, *Life* 2020, vol. 10, no. 6, numer artykułu: 84.

Bibliografia

BASTIAN H. Charlton, **The Beginnings of Life: Being Some Account of the Nature, Modes of Origin and Transformations of Lower Organisms**, vol. II, MacMillan and Co., London 1872.

BENDZ Gerd and LINDQVIST Ingvar (eds.), **Biochemistry of Silicon and Related Problems**, Plenum Press, New York 1978.

BERNAL John D., **The Origin of Life**, Weidenfeld and Nicolson, London 1967.

BIONDI Elisa, BRANCIAMORE Sergio, MAUREL Marie-Christine, and GALLORI ENZO, „Montmorillonite Protection of an UV-Irradiated Hairpin Ribozyme: Evolution of the RNA World in a Mineral Environment”, *BMC Evolutionary Biology* 2007, vol. 7, Suppl. 2, s. S1-S7.

BULLARD Theresa, FREUDENTHAL John, AVAGYAN Serine, and KAHR Bart, „Test of Cairns-Smith’s «Crystals-as-Genes» Hypothesis”, *Faraday Discussions* 2007, no. 136, s. 231–245.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „An Approach to a Blueprint for a Primitive Organism”, w: WADDINGTON (ed.), **Towards a Theoretical Biology....**, s. 57-66.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „Case for an Alien Ancestry”, *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* 1975, vol. 189, no. 1095, s. 249-274.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „Chemistry and the Missing Era of Evolution”, *Chemistry — A European Journal* 2008, vol. 14, no. 13, s. 3830-3839.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „Clues to the Origin of Life”, *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain* 1988, vol. 60, s. 137-159.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, **Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life**, Cambridge University Press, Cambridge 1982.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „Materials for «first steps» in Evolution”, w: CHELA-FLORES, OWEN, and RAULIN (eds.), **The First Steps in the Origin of Life in the Universe....**, s. 49-53.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „Organisms of the First Kind”, *Chemistry in Britain* 1979, vol. 15, s. 576-579.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, **Seven Clues to the Origin of Life: A Scientific Detective Story**, Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, Rochelle, Melbourne, Sydney 1985.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „The Four Crystal Genes”, w: CAIRNS-SMITH and HARTMAN (eds.), **Clay Minerals and the Origin of Life....**, s. 143-152.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, **The Life Puzzle: On Crystals and Organisms and on the Possibility of a Crystal as an Ancestor**, Oliver and Boyd, Edinburgh 1971.

CAIRNS-SMITH Alexander Graham, „The Origin of Life and the Nature of the Primitive Gene”, *Journal of Theoretical Biology* 1966, vol. 10, no. 1, s. 53-88.

- CAIRNS-SMITH Alexander Graham, HALL Alan J., and RUSSEL Michael J., „Mineral Theories of the Origin of Life and an Iron Sulfide Example”, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 1992, vol. 22, no. 1-4, s. 161-180.
- CAIRNS-SMITH Alexander Graham and HARTMAN Hyman (eds.), **Clay Minerals and the Origin of Life**, Cambridge University Press, Cambridge 1986.
- CALVIN Melvin, **Chemical Evolution: Molecular Evolution Towards the Origin of Living Systems on the Earth and Elsewhere**, Oxford at the Clarendon Press, London 1969.
- CARLISLE Edith M., „Essentiality and Function of Silicon”, w: BENDZ and LINDQVIST (eds.), **Biochemistry of Silicon...**, s. 231-253.
- CARLISLE Edith M., „Silicon as an Essential Element”, *Federation Proceedings* 1974, vol. 33, no. 6, s. 1758-1766.
- CARLISLE Edith M., „Silicon as an Essential Trace Element in Animal Nutrition”, w: EVERED and O’CONNOR (eds.), **Silicon Biochemistry...**, s. 123-139.
- CARLISLE Edith M., „Silicon: An Essential Element for the Chick”, *Science* 1972, vol. 178, no. 4061, s. 619-621.
- CHELA-FLORES Julián, OWEN Tobias, and RAULIN François (eds.), **The First Steps in the Origin of Life in the Universe**, Springer Science + Business Media, B.V., Dordrecht 2001.
- CLELAND Carol E. and COPLEY Shelley D., „The Possibility of Alternative Microbial Life on Earth”, *International Journal of Astrobiology* 2005, vol. 4, no. 3-4, s. 165-173.
- COLMAN Daniel R., POUDEL Saroj, STAMPS Blake W., BOYD Eric S., and SPEAR John R., „The Deep, Hot Biosphere: Twenty-Five Years of Retrospection”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2017, vol. 114, no. 27, s. 6895-6903.
- DARLING David, „Alternative Forms of Life”, w: **Encyclopedia of Science**, 2016, http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/alternative_forms_of_life.html [11.10.2020].
- DARLING David, „Silicon-Based Life”, <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/> [18.07.2020].
- DUNÉR David, PARTHEMORE Joel, PERSSON Erik, and HOLMBERG Gustav (eds.), **The History and Philosophy of Astrobiology: Perspectives on Extraterrestrial Life and the Human Mind**, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, UK 2013.
- DYK Wiesław (red.), **Egzobiologia, czyli poszukiwanie życia w kosmosie**, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2002.
- ERIKSSON Patrick G., ALTERMANN Wladyslaw, NELSON David R., MUELLER Wulf U., and CATUNEAU Octavian (eds.), **The Precambrian Earth: Tempos and Events**, Elsevier, Amsterdam, Boston, Heidelberg 2004.
- ERTEM Gözen, „Montmorillonite, Oligonucleotides, RNA and Origin of Life”, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 2004, vol. 34, no. 6, s. 549-570.
- EVERED David and O’CONNOR Maevé (eds.), **Silicon Biochemistry**, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, New York, Sydney, Toronto, Singapore 1986.

- EXLEY Christopher, „Darwin, Natural Selection and the Biological Essentiality of Aluminium and Silicon”, *Trends in Biochemical Sciences* 2009, vol. 34, no. 12, s. 589-593.
- GOLD Thomas, **Goraça podziemna biosfera**, przeł. Andrzej Pieńkowski, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1999.
- GOLD Thomas, „The Deep, Hot Biosphere”, *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 1992, vol. 89, no. 13, s. 6045-6049.
- GOLD Thomas, **The Deep Hot Biosphere**, Copernicus/Springer-Verlag, New York 1999.
- GRIBOV Lev, BARANOV V., and MAGARSHAK Yuri, „Is «Silicate Life» Possible?”, w: MAGARSHAK, KOZYREV, and VASEASHTA (eds.), **Silicon Versus Carbon...**, s. 1-8.
- HALDANE John Burdon Sanderson, **The Possible Worlds and Other Essays**, Harper and Brothers, New York London 1928.
- HANSLMEIER Arnold, **Habitability and Cosmic Catastrophes**, Springer, Berlin 2009.
- HANSLMEIER Arnold, KEMPE Stephan, and SECKBACH Joseph (eds.), **Life on Earth and Other Planetary Bodies**, Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London 2012.
- ILER Ralph K., **The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry**, John Wiley and Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1979.
- IRWIN Louis Neal and SCHULTZE-MAKUCH Dirk, **Cosmic Biology: How Life Could Evolve on Other Worlds**, Springer — Praxis Publishing, New York, Dordrecht, Heidelberg, London, Chichester 2011.
- JACOB David T., „There Is No Silicon-Based Life in the Solar System”, *Silicon* 2016, vol. 8, no. 1, s. 175-176.
- JUNTUNEN Hope L., LEINEN Lucas J., PITTS Briann K., O'HANLON Samantha M., THEILING Bethany P., BARGE Laura M., VIDEAU Patrick, and GAYLOR Michael O., „Investigating the Kinetics of Montmorillonite Clay-Catalyzed Conversion of Anthracene to 9,10-anthraquinone in the Context of Prebiotic Chemistry”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 2018, vol. 48, no. 3, s. 321-330.
- KAJTA Stefan, **Włodzimierza Sedlaka kwantowa teoria życia**, *Z zagadnień filozofii przyrodniczo-nawstwa filozofii przyrody*, t. 12, red. Mieczysław Lubański i Szczepan W. Ślaga, ATK, Warszawa 1991.
- KREINER Jerzy i SKOWRON Stanisław (red.), **Powstanie życia na Ziemi. Część druga: Próby wyjaśnienia życia na Ziemi**, PWN, Warszawa 1957.
- LEMAŃSKA Anna i ŚWIEŻYŃSKI Adam (red.), **Filozoficzne i naukowo-przyrodnicze elementy obrazu świata: Współczesne kontrowersje wokół początków Wszechświata i początków życia**, vol. 8, Wydawnictwo UKSW, Warszawa 2010.
- ŁUGOWSKI Włodzimierz, **Filozoficzne podstawy protobiologii**, Wydawnictwo IFiS PAN, Warszawa 1995.

- MAGARSHAK Yuri, KOZYREV Sergey, and VASEASHTA Ashok K. (eds.), **Silicon Versus Carbon: Fundamental Nanoprocesses, Nanobiotechnology and Risks Assessment**, Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht 2009.
- MARTIN-JÉZÉQUAL Véronique and LOPEZ Pascal J., „Silicon — A Central Metabolite for Diatom Growth and Morphogenesis”, w: MÜLLER (ed.), **Silicon Biomineralization...**, s. 99-124.
- MÜLLER Werner E.G. (ed.), **Silicon Biomineralization: Biology — Biochemistry — Molecular Biology — Biotechnology**, Springer-Verlag, Berlin 2003.
- MÜLLER Werner E.G. and GRACHEV Mikhael A. (eds.), **Biosilica in Evolution, Morphogenesis, and Nanobiotechnology: Case Study Lake Baikal**, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
- National Research Council of the National Academies (John A. BAROSS *et. al.*), **The Limits of Organic Life in Planetary Systems**, The National Academies Press, Washington, DC 2007.
- OPARIN Alexander Ivanovich, **The Origin of Life on the Earth**, trans. Ann Synge, Oliver and Boyd, Edinburgh — London 1957.
- PAINÉ Sydney G., „On the Supposed Origin of Life in Solutions of Colloidal Silica”, *Annals of Botany* 1916, vol. 30, no. 3 (119), s. 383-388.
- PENG Shirley, „Silicon-Based Life in the Solar System”, *Silicon* 2015, vol. 7, no. 1, s. 1-3.
- PETKOWSKI Janusz Jurand, BAINS William, and SEAGER Sara, „On the Potential of Silicon as a Building Block of Life”, *Life* 2020, vol. 10, no. 6, numer artykułu: 84.
- PIĘKOŚ Ryszard, „Krzemowe tło życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1982, t. 30, nr 3, s. 27-46.
- PIĘKOŚ Ryszard, „Silicydalna teoria życia profesora Sedlaka”, *Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego* 1986, t. 23, nr 3-4, s. 121-132.
- PREYER Wilhelm, **Naturwissenschaftliche Thatsachen und Probleme**, Verlag von Gehrüder Paetel, Berlin 1880.
- RAMPELOTTO Pabulo Henrique, „The Search for Life on Other Planets: Sulfur-Based, Silicon-Based, Ammonia-Based Life”, *Journal of Cosmology* 2010, vol. 5, s. 818-827.
- RĄPAŁA Jerzy, **Teorie mineralnych początków życia. Studium filozoficzno-przyrodnicze**, Wydawnictwo KUL, Lublin 2016.
- RASMUSSEN Steen, BEDAU Mark A., CHEN Liaohai, DEAMER David, KRAKAUER David C., PACKARD Norman H., and STADLER Peter F. (eds.), **Protocells: Bridging Nonliving and Living Matter**, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts — London, England 2008.
- REYNOLDS James Emerson, „Chemistry”, *Nature* 1893, vol. 48, no. 1246, s. 477-481.
- REYNOLDS James Emerson, „Recent Advances in Our Knowledge of Silicon and of Its Relations to Organized Structures”, *Nature* 1909, vol. 81, no. 2076, s. 206-208.
- SAKURAI Hideki (ed.), **Organosilicon and Bioorganosilicon Chemistry: Structure, Bonding, Reactivity and Synthetic Application**, Ellis Horwood, Chichester 1985.
- SCHULTZE-MAKUCH Dirk and IRVIN Louis N., **Life in the Universe: Expectations and Constraints**, Springer Verlag, Berlin — Heidelberg 2008.

SCHWARZ Klaus, „Significance and Functions of Silicon in Warm-Blooded Animals: Review and Outlook”, w: BENDZ and LINDQVIST (eds.), **Biochemistry of Silicon...**, s. 207-230.

SECKBACH Joseph and KOCIOLEK J. Patrick (eds.), **The Diatom World**, Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht Heidelberg London New York 2011.

SEDLAK Włodzimierz, „Bioelektronika — system nowego pojmowania życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1984, t. 32, nr 3, s. 199-218.

SEDLAK Włodzimierz, „Bioelektronika — system nowego pojmowania życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1984, t. 32, nr 3, s. 199-218.

SEDLAK Włodzimierz, „Ćwierćwiecze krzemowej teorii życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1985, t. 33, nr 3, s. 115-133.

SEDLAK Włodzimierz, „Elektrostatyka i ewolucja organiczna”, *Roczniki Filozoficzne* 1967, t. 15, nr 3, s. 31-58.

SEDLAK Włodzimierz, „Ewolucja biochemiczna i teoria silicydów”, *Roczniki Filozoficzne* 1959, t. 7, nr 3, s. 69-112.

SEDLAK Włodzimierz, **Homo electronics**, PIW, Warszawa 1980.

SEDLAK Włodzimierz, **Kierunek — początek życia. Narodziny paleobiochemii krzemu**, Redakcja Wydawnictw KUL, Lublin 1985.

SEDLAK Włodzimierz, „Krzem — pierwiastek młodości (Szkic scenariusza filmu oświatowego)”, *Roczniki Filozoficzne* 1986, t. 34, nr 3, s. 203-208.

SEDLAK Włodzimierz, „Krzem jako wskaźnik ewolucji biochemicznej”, *Kosmos, Seria A: Biologia* 1965, t. 14, nr 1, s. 23-30.

SEDLAK Włodzimierz, „Paleobiochemiczne problemy wczesnych stadiów życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1973, t. 21, nr 3, s. 65-87.

SEDLAK Włodzimierz, „Paleontologiczne problemy krzemowe”, *Summariusz* (za rok 1973), nr 2(22/1 Numer jubileuszowy), Wydawnictwo TN KUL, Lublin 1975, s. 329-335.

SEDLAK Włodzimierz, „Rola krzemu jako mikroelementu w organizmie i teoria silicydów”, w: **Sprawozdania z Czynności Wydawniczej...**, s. 56-58.

SEDLAK Włodzimierz, **Rola krzemu w ewolucji biochemicznej życia**, PWN, Warszawa 1967.

SEDLAK Włodzimierz, „Rola krzemu w ewolucji organicznej”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu* 1985, Ser. „Chemia”, nr 45, s. 59-74.

SEDLAK Włodzimierz, „Teoretyczno-naukowe perspektywy silicydalnej ewolucji biochemicznej”, *Zeszyty Naukowe KUL* 1961, t. 4, nr 3, s. 95-118.

SEDLAK Włodzimierz, „Teoria silicydów i jej praktyczne znaczenie dla nauk biologicznych”, *Zeszyty Naukowe KUL* 1962, t. 5, nr 1, s. 57-82.

SEDLAK Włodzimierz, **Wprowadzenie w bioelektronikę**, Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo, Wrocław 1988.

SEDLAK Włodzimierz, „Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia”, *Roczniki Filozoficzne* 1970, t. 18, nr 3, s. 101-126.

SEDLAK Włodzimierz, „Występowanie komponenta krzemowego w żywym ustroju”, *Kosmos, Seria A: Biologia* 1963, t. 12, nr 6, s. 497-504.

SEDLAK Włodzimierz, „Zaburzenia pola biologicznego jako przyczyna narośli rakowatej na drzewach”, *Roczniki Filozoficzne* 1968, t. 16, no. 3, s. 77-103.

SHAPIRO Robert and SCHULTZE-MAKUCH Dirk, „The Search for Alien Life in Our Solar System: Strategies and Priorities”, *Astrobiology* 2009, vol. 9, no. 4, s. 335-343.

SIMPSON Tracy L. and VOLCANI Benjamin E. (eds.), **Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems**, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin 1981.

ŚLAGA Szczepan W., „Wstęp”, w: KAJTA, Włodzimierza Sedlaka **kwantowa teoria życia...**, s. 7-9.

Sprawozdania z Czynności Wydawniczej i Posiedzeń Naukowych oraz Kronika Towarzystwa Naukowego Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego (za okres od 1 stycznia 1962 r. do 31 grudnia 1962 r.), t. 13, nr 13, Wydawnictwo TN KUL, Lublin 1963.

TREVORS Jack T., „Bacterial Evolution and Silicon”, *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology* 1997, vol. 71, no. 3, s. 271-276.

VAN KRANENDONK Martin J., SMITHIES R. Hugh, and BENNETT Vickie C. (eds.), **Earth's Oldest Rocks**, Elsevier, Amsterdam Boston Heidelberg 2007.

VOLCANI Benjamin E., „Role of Silicon in Diatom Metabolism and Silicification”, w: BENDZ and LINDQVIST (eds.), **Biochemistry of Silicon...**, s. 177-204.

WADDINGTON Conrad Hal (ed.), **Towards a Theoretical Biology, vol. I: Prolegomena**, Aldine Publishing Company, Birmingham 1968.

WAINWRIGHT Milton, AL-WAJEEH K., WICKRAMASINGHE N. Chandra, and NARLIKAR Jayant V., „Did Silicon Aid in the Establishment of the First Bacterium?”, *International Journal of Astrobiology* 2003, vol. 2, no. 3, s. 227-229.

WAINWRIGHT Milton, LASWD Amar, and ALSHAMMARI Fawaz, „Bacteria in Amber Coal and Clay in Relation to Lithopanspermia”, *International Journal of Astrobiology* 2009, vol. 8, no. 2, s. 141-143.

WNUK Marian, **Geneza i rozwój idei elementarnej jednostki życia. W kierunku filozofii nanobiologii**, Wydawnictwo KUL, Lublin 2013.

WNUK Marian, „Kontrowersje wokół «krzemowych» początków życia”, w: LEMAŃSKA i ŚWIEŻYŃSKI (red.), **Filozoficzne i naukowo-przyrodnicze elementy obrazu świata...**, s. 154-169.

WNUK Marian, „The Possibility of the Occurrence of Silicon Porphyrins in the Living Organisms”, *Roczniki Filozoficzne* 1986, vol. 34, no. 3, s. 161-181.

WNUK Marian, „Włodzimierza Sedlaka idea sprzężenia chemiczno-elektronicznego w organizmach”, *Roczniki Filozoficzne* 1991-1992, t. 39-40, nr 3, s. 103-120.

WNUK Marian i ZON Józef, „Wkład Włodzimierza Sedlaka w powstawanie bioelektroniki”, *Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego* 1986, t. 23, nr 3-4, s. 88-103.

WNUK Marian i ZON Józef, „Znaczenie paleobiofizyki dla egzobiologii”, w: DYK (red.), **Egzobiologia...**, s. 76-88.

WORONKOW Michaił Grigoriewicz, ZELCZAN Gunar Izydorowicz i ŁUKIEWIC Edmund Jakowicz, **Kriemnij i żizń: Biochimija, farmakologija i toksikologija sojedinenij kriemnija**, Izdatielstwo „Zinatnie”, Riga 1978.

YARIV Shmuel and CROSS Harold (eds.), **Organo-Clay Complexes and Interactions**, Marcel Dekker, New York 2002.

**Hipotezy biogenezy krzemowej a zagadnienie elementarnej jednostki życia.
Część I: Sedlaka hipoteza „silicydów” i Cairns-Smitha hipoteza „mineralnych genów”**

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem modelowania minimalnego systemu żywego z punktu widzenia hipotez mineralnych początków życia. Szczególną uwagę poświęcono hipotezom sformułowanym przez Włodzimierza Sedlaka (krzemowe formy życia) i przez Alexandra Grahama Cairns-Smitha (mineralny „gen”). Wskazano na możliwość rekonstrukcji nowego modelu elementarnej jednostki życia. Dokonano przeglądu piśmiennictwa dotyczącego tej problematyki.

Słowa kluczowe: mineralne początki życia, życie oparte na krzemie, hipoteza „kryształów jako genów”, Włodzimierz Sedlak, Alexander Graham Cairns-Smith.

**The Hypotheses of Silicon Biogenesis and the Problem of the Elementary Unit of Life.
Part I: Sedlak’s Hypothesis of “Siliceous Life Forms” and Cairns-Smith’s Hypothesis of
“Mineral Genes”**

Summary

The problem of the modeling of a minimal living system is presented from the viewpoint of the hypotheses of mineral origins of life. Special attention is paid to the hypotheses formulated by Włodzimierz Sedlak (siliceous life forms) and by Alexander Graham Cairns-Smith (the mineral “gene”). The possibility of the reconstruction of a new model of elementary unit of life is suggested. The significant works concerning above problems have been reviewed.

Keywords: mineral origins of life, silicon-based life, “crystals-as-genes” hypothesis, Włodzimierz Sedlak, Alexander Graham Cairns-Smith.