

KONTROWERSJE WOKÓŁ „KRZEMOWYCH” POCZĄTKÓW ŻYCIA

WSTĘP

W kontekście problematyki istoty i genezy życia spekulowano niejednokrotnie o możliwości istnienia form życia alternatywnych¹ do obecnie znanych. Na pytanie, czy materiałem budulcowym organizmów żywych mogą być inne związki chemiczne niż związki węglowe, udzielono wielu odpowiedzi, wśród których znaczące miejsce zajmują dwie teorie lub raczej hipotezy: silicydów² i glinowa (lub mineralnego „genu”)³. Te właśnie hipotezy⁴ „krzemowych” początków życia należą do osobliwej mniejszości wśród bardzo licznych propozycji rekonstrukcji procesów biogenezy [zob. np. Ługowski 2005, s. 111-124]. W niniejszym artykule chciałbym zwrócić uwagę na ważniejsze implikacje i kontrowersje wokół tych hipotez oraz wskazać na ich aktualność i potencjał heurystyczny. Chronologicznie rzecz ujmując, hipoteza W. Sedlaka powstawała wcześniej, bo w latach 1959-1967 [Sedlak 1959, s. 69-112; Sedlak 1961, s. 95-118; Sedlak 1967], a A. Cairns-Smitha – 1966-1986 [Cairns-Smith 1966 s. 53-88; Cairns-

¹ Listę alternatywnych siedlisk i form życia można znaleźć na przykład w *Encyclopedia of Astrobiology, Astronomy and Spaceflight* [<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/>].

² Autorem jej był Włodzimierz Henryk Sedlak (1911-1993), antropolog kulturowy, biolog teoretyk z KUL.

³ Jej autorem jest Alexander Graham Cairns-Smith (1931-), chemik z Uniwersytetu w Glasgow.

⁴ Co prawda Sedlak używa częściej określenia „teoria”, ale w jego książce *Rola krzemu w ewolucji biochemicznej życia* można znaleźć nieco skromniejsze wyrażenie „(...) hipoteza robocza silicydów (...)” [zob. Sedlak 1967, 62].

-Smith 1971; Cairns-Smith 1982; Cairns-Smith 1985; Cairns-Smith, Hartman 1986]. W późniejszych latach pierwszy z autorów publikował już mało istotne modyfikacje swojej idei [Sedlak 1985; Sedlak 1985, s. 59-74], drugi natomiast działa do chwili obecnej, popularyzując i broniąc swoje pomysły [zob. np. Cairns-Smith 2008, s. 3830-3839; Cairns-Smith 2003, s. 87-90].

Porównam obie hipotezy krzemowych początków życia, próbując wydobyć z nich odpowiedzi dotyczące kluczowych aspektów, mianowicie tego, co one zakładają lub twierdzą odnośnie do: a) pierwotnego środowiska na Ziemi, b) prebiotycznej chemii systemów supramolekularnych, c) energetyki początków życia, i d) molekuł bioinformacyjnych.

1. PREKURSORY IDEI „KRZEMOWYCH” POCZĄTKÓW ŻYCIA

Najpierw jednak wymienić wypadałoby ważniejszych prekursorów idei „krzemowego życia”. Pierwszym zapewne jest niemiecki fizjolog i psycholog Wilhelm T. Preyer (1847-1897), który w 1880 roku pisał: „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”. Z kolei w 1891 roku Julius Scheiner (1858-1913), astrofizyk niemiecki, sugerował, że krzem mógłby być odpowiedni jako podstawa dla życia. Ideę tę podchwycił brytyjski chemik James Emerson Reynolds (1844-1920), który w 1893 roku wskazał, że stabilność cieplna związków krzemowych mogłaby pozwolić życiu istnieć w bardzo wysokich temperaturach, a w 1909 roku wysunął hipotezę „wysokotemperaturowej plazmy” złożonej z krzemu, fosforu i siarki jako substytutów odpowiednio węgla, azotu i tlenu. W 1916 roku Sydney G. Paine sugerował, że życie powstało w roztworach koloidalnej krzemionki [Paine 1916, s. 383-384]. Istotna też jest sugestia wyrażona w 1929 roku przez Johna B. S. Haldane’a (1892-1964)⁵, że życie oparte na stopionych częściowo krzemianach może się znajdować we-

⁵ John Burdan Sanderson Haldane – genetyk, urodzony w Wielkiej Brytanii, później obywatel Indii.

wnątrz jakiejś planety, a utlenianie żelaza zapewne dostarczałoby mu energii. Haldane jednak znany jest bardziej z poglądów zbliżonych do poglądów A. I. Oparina. Tematyka „życia krzemowego” obecna jest również w literaturze lub filmach typu *science fiction*.⁶

2. SEDLAKA HIPOTEZA SILICYDÓW

Silicydy⁷ to domniemane organizmy stanowiące najpierwotniejsze życie na Ziemi, życie, którego pierwotna organizacja opierała się na związkach krzemu, a nie związkach węgla. Kontekst problemowy, w którym kształtowała się hipoteza silicydów, to oczywiście darwinowska idea ewolucji. Idea ta postulowała: a) istnienie zmienności form gatunkowych, b) istnienie śladów tej zmienności w organizmie, oraz c) że mechanizmy zmienności leżą w relacji między organizmem a jego środowiskiem. Dyskutowano wówczas, a przypomnijmy są to lata 50. i 60. XX wieku, bardzo trudną kwestię przejścia między ewolucją chemiczną a biologiczną. Zakładano (np. A. I. Oparin, J. B. S. Haldane, J. D. Bernal), że życie od samego początku rozwijało się na tym samym co dziś podłożu chemicznym, tj. związkach węglowych, takich, jak kwasy nukleinowe, białka, lipidy etc. Co więcej, hipoteza ewolucji chemicznej oparta na ekstrapolacji „doboru naturalnego” na świat molekuł, uzyskała już silną konfirmację ze strony licznych laboratoryjnych syntez związków organicznych w domniemanych warunkach prebiotycznych (otrzymano przecież: aminokwasy, nukleotydy, węglowodany etc.). Otóż Sedlak podjął próbę rekonstrukcji wczesnej ewolucji życia na podstawie dość oryginalnej, mianowicie – komponenta krzemowego w organizmach. Obecność w nich bowiem związków krzemu interpretowano wówczas jako rzecz przypadku, a nawet krzem uchodził za pierwiastek abiologiczny. Za niezbędny dla organizmów został uznany dopiero w latach 70. ubiegłego stulecia [Carlisle 1974, s. 1758-1766]. Schemat metodologiczny rekonstrukcji natomiast przyjął Sedlak za Darwinem. Schemat ten zawierał trzy metody: a) me-

⁶ Np. w serialu *Star Trek*.

⁷ Termin ten jest, według R. Piękosia, niezbyt fortunny i właściwszym byłby „silikonidy” [Piękoś 1982, s. 27-46].

todę 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 „(...) ewolucja jest już faktem historycznym życia na Ziemi” [Sedlak 1967, s. 9].

Sedlak opracowuje więc przegląd licznych danych doświadczalnych na temat występowania krzemu w ustrojach żywych, prawidłowości morfologicznych, anatomicznych i filogenetycznych oraz fizjologii i biochemii tego pierwiastka. Następnie proponuje nową interpretację biogenezy, w której markerem, tj. wyznacznikiem ewolucyjnym, jest antagonistyczna relacja Si-Ca, czyli stosunek zawartości Si do Ca w organizmie. Okazuje się, że zależność ta jest powszechna i pokazuje jakąś prawidłowość rozwojową, przejawiającą się na przykład w przypadku szkieletyzacji krzemionkowej albo wapiennej. Otóż ta druga ma tendencję do rozwoju i dominacji, zaś szkieletyzacja krzemionkowa jest recesywna w trakcie ewolucji życia od kambru do współczesności. Podobną relację Si-Ca stwierdza się w wypadku rozwoju tkanek miękkich. Wyjaśnienia relacji Si-Ca poszukuje w danych na temat środowiska prekambryjskiego, gdyż, jego zdaniem, ewolucja praśrodowiska jest lepiej udokumentowana niż rozwój wczesnych form życia. Archaiczne środowisko życia było krzemionkowe i alkaliczne. Na tej podstawie Sedlak wysuwa hipotezę, że krzem jako mikroelement jest czynnikiem o roli zredukowanej, a niegdyś istotnej w organizacji życia, zaś ewolucję chemiczną życia należałoby rekonstruować „daleko wstecz”, tj. poza związki organiczne węgla do związków krzemu. Nie rekonstruuje jej jednak, ale raczej dokonuje ekstrapolacji jeszcze dalej, stwierdzając, że silicydy 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 prekambru, na długo przed powstaniem pierwszych skał osadowych pochodzenia morskiego, przeszło życie prawdopodobnie swój wielki «za-

krętu» biochemiczny, z wkroczeniem węgla w jego organizację” [Sedlak 1967, s. 60-61]. Sedlak uważa, że życie jest funkcją środowiska, tzn. że ewolucja środowiska i zmienność biochemiczna życia są zjawiskami funkcjonalnie powiązanymi.

W chemicznej prehistorii życia istniałyby więc, według Sedlaka, trzy zasadnicze okresy: najstarszy *silicum*, przejściowy *silicocarbonicum* i obecny okres węglowy – *carbonicum*. Jako relikat takiego właśnie kierunku przemian Sedlak traktuje bakterie krzemowe rozkładające kwarc oraz bezwzględne autotrofy, np. niektóre gatunki bakterii żelazistych lub purpurowych bakterii siarkowych, asymilujących węgiel z węglanów wapnia lub magnezu, a nierozwijających się w ogóle na węglu organicznym. Jako reliktowe procesy bioenergetyczne, oprócz chemosyntezy, wymienia Sedlak: termosyntezę, radiosyntezę i elektrosyntezę. Z termosyntezy jako archaicznego metabolizmu pozostałyby dziś na przykład część fotosyntezy, jaką są tzw. reakcje ciemne fotosyntezy. Elektrosynteza zaś mogłaby zachodzić ze względu na obecność tzw. prądów tellurycznych w praśrodku geofizycznym. Te domniemane typy przemian bioenergetycznych były prawdopodobnie przyczyną ewolucji od silicydów do karbonidów.

Stworzona przez Sedlaka idea istnienia krzemowych form życia przeszła niezauważona przez badaczy powstania życia, zarówno przyrodników, jak i filozofów. Można powiedzieć, że jedyną kontrowersją wokół niej był brak kontrowersji. Zapewne była zbyt spekulatywna⁸. Inaczej było z podobną koncepcją publikowaną o dekadę później przez A. G. Cairns-Smitha.

3. CAIRNS-SMITHA HIPOTEZA MINERALNEGO „GENU”

Zagadnienie tzw. krzemowych organizmów pierwotnych pojawia się również w hipotezie mineralnego „genu”, której autorem jest Cairns-Smith⁹. Zgodnie z nią bowiem niektóre rodzaje glinokrzemianów

⁸ A ponadto opublikowana jedynie w języku polskim.

⁹ Zwana jest ona „na wyrost” również teorią – teorią glinową bądź teorią mineralnego pochodzenia życia.

zapoczątkowały ewolucję organiczną, gdyż posiadały zdolność do replikacji, przypadkowych mutacji i łatwość syntezy. Cairns-Smith odrzuca zatem powszechnie przyjmowane przekonanie, że pierwsze organizmy zawierały informacje o sobie w postaci genów, czyli fragmentów kwasów nukleinowych charakterystycznych dla całego znanego życia. Praprzodkami współczesnych układów żywych były, według niego, nieorganiczne kryształy minerałów glinokrzemianowych. Jak doszedł do tej idei i jak ją uzasadnił?

Otóż na podstawie danych geologicznych i astronomicznych Cairns-Smith zakwestionował Oparinowską koncepcję pierwotnego bułionu, a na podstawie biochemii uznał syntezę prebiotyczną kwasów nukleinowych za bardzo mało prawdopodobną. Kwasy te pojawiły się, według niego, dość wysoko na „drzewie ewolucyjnym”. Są one wprawdzie nośnikami informacji o organizmie, która może ulegać replikacji i przekazywaniu z pokolenia na pokolenie, jednak kwasy nukleinowe niekoniecznie były potrzebne do zapoczątkowania jej ewolucji, ale coś, co pełniło funkcję genów. Alternatywą dla DNA, pełniącą funkcję prymitywnego genu, są kryształy glinokrzemianów warstwowych, usytuowane w cyklicznym krystalizatorze ciągłym utrzymywanym przez przyływy i odpływy, podlegające procesowi wzrostu w roztworze o niewysokim stopniu przesycenia. Minerały ilaste, takie jak montmorylonit czy kaolinit, posiadające regularne formy geometryczne, tworzące się spontanicznie i powielające według pewnych stałych wzorów, stanowią przykład zdolności natury do samoorganizacji. Glinokrzemiany tego typu występowały obficie na prebiotycznej Ziemi. Genezę pierwszych układów składających się z komponentów ściśle od siebie uzależnionych i kolejnych układów składających się z innych składników również współdziałających ze sobą Cairns-Smith tłumaczy za pomocą metafor, takich jak: „struktury łukowe”, czyli struktury zbudowane z uzależnionych od siebie elementów, np. modelem ich jest łuk zbudowany z kamieni; lina złożona z włókien konopi, których długość jest mniejsza od całej liny. Układy tego typu podlegają naprzemiennym procesom eliminacji starych elementów i dodawania nowych. Za przykład takiej struktury łukowej Cairns-Smith uważa jakikolwiek cykl metaboliczny. Niektóre ogniwa

takiego cyklu reakcji metabolicznych zniknęły, chociaż zachowała się ich „funkcja”. W wyniku przemian miała dokonać się „metamorfoza genetyczna”. Zmienił się obiekt ewolucji, ale zachowała się „lukowa” organizacja procesów. Krótko mówiąc, pomostem między ewoluującymi organizmami mineralnymi a dominującą obecnie na Ziemi całkowicie inną formą życia był, według Cairns-Smitha, tzw. przechwyt genetyczny. Mineralny były warunkiem powstania cząsteczek organicznych, stwarzając dla nich „podporę”, i z biegiem czasu te ostatnie, gdy uzyskały zdolność do powielania siebie, wówczas odrzuciły tę wcześniej istniejącą i ważną dla ich powstania podporę. Hipoteza „kryształów jako genów” jest podatna na testowanie, o czym świadczą dokonywane już próby [Bullard, Freudenthal, Avagyan, Kahr 2007, s. 231-245].

4. GLINOKRZEMIANOWE ŚRODOWISKO PIERWOTNE JAKO KONIECZNY CZYNNIK POWSTANIA ŻYCIA

Zarówno obie wspomniane hipotezy „krzemowego” życia, jak i szeroko akceptowane teorie „organicznych” początków mają istotną wspólną cechę. Jest nią teza, iż glinokrzemianowe środowisko pierwotne jest czynnikiem koniecznym powstania protoorganizmów. I jest to chyba jedyna zbieżność.

Dane geologiczne i rekonstrukcja wczesnej chronologii zdarzeń na Ziemi pozwoliły na ustalenie z dużym prawdopodobieństwem kilku punktów orientacyjnych. Są to w przybliżeniu: 1) 4,5-4,6 mld – wiek powstania Ziemi; 2) 4,2 mld lat temu zakończył się okres formowania się skorupy Ziemskiej; 3) przez okres 0,5-0,7 mld lat od powstania Ziemi miało miejsce intensywne bombardowanie jej przez meteoryty, powodujące ogrzewanie pierwotnego oceanu powyżej 100°C [np. Nisbet, Sleep 2001, s. 1083-1091]; 4) 3,8 mld lat temu istniała już jakaś aktywność biologiczna, na którą wskazują pośrednie dowody¹⁰;

¹⁰ Ową aktywnością biologiczną była prawdopodobnie fotosynteza [zob. np. Rosing, Frei 2004, s. 237-244; Schidlowski 2001, s. 117-134; Zuilen, Lepland, Teranes, Finarelli, Wahlen, Arrhenius 2003, s. 331-348].

5) 3,5 mld lat temu, gdy istniało już życie w formie komórkowej (i to są już tzw. węglowe formy życia), na co istnieją mocne dowody w postaci rejestru skamieniałości [zob. np. Schopf, Kudryavtsev, Czaja, Tripathi 2007, s. 141–155]¹¹.

Niestety, nie pozostały żadne bezpośrednie ślady geologiczne procesu powstawania życia z okresu 4,2–3,8 mld lat temu (w domyśle życia opartego na węglu). Porównywanie cykli geochemicznych pierwiastków śladowych istotnych dla organizmów (np. P, B, Mo, Mn, Cu, Zn) z cyklami występującymi w tym, trwającym 400 mln lat, okresie „prebiotycznym” pozwala jednakże przypuszczać, że pierwotne życie mogło występować w hydrotermalnych obszarach podmorskich [Kakegawa, Noda, Nannri 2002, s. 83–89]. Jeśli więc życie powstało na Ziemi, a nie przywędrowało z kosmosu, to jego pierwotne środowisko powinno być glinokrzemianowe i wodne. Krzemiany bowiem dominują ilościowo w litosferze [Siever 1992, s. 3265–3272]. Dlatego też ich istotna rola w biogenezie jest powszechnie przyjmowana, zresztą dobrze potwierdzona badaniami eksperymentalnymi. Sądzi się więc, że glinokrzemiany służyły jako katalizatory i adsorbenty związków organicznych oraz matryce dla struktur organicznych [Biondi, Branciamore, Maurel, Gallori 2007; Ertem 2004, s. 549–570; Franchi, Bramanti, Bonzi, Orioli, Vettori, Gallowi 1999, s. 297–315; Lahav 2002, s. 615–638; Nussinov, Otroshchenko, Santoli 1997, s. 111–118].

Natomiast możliwość istnienia krzemowych form życia i znaczącej roli krzemu w ewolucji biochemicznej są nadal wielce hipotetyczne ze względu chociażby na słabe zaawansowanie chemii biokrzemorganicznej i biochemii krzemu [zob. np. Bendz, Lindqvist 1978; Simpson, Volcani 1981; Woronkow, Zełczan, Łukiewicz 1978; Evered, O'Connor 1986; Müller, Grachev 2009]. Nie znaleziono, jak dotąd, zarówno silicydów, jak i form przejściowych – silikokarbonidów; być może dlatego, że ich nie poszukiwano. Faktem natomiast jest, że większość współczesnych tzw. organizmów krzemowych (tzn. zawierających nawet ponad 10% Si w substancji żywej) przynależy do niższych

¹¹ Nawet i z tego okresu prekambriu ślady życia są kwestionowane [np. Brasier, Green, Lindsay, Steele 2004, s. 257–269].

i starych klas materii ożywionej, np. okrzemki (*Diatomea*), krzemowiciowce (*Silicoflagellatae*), słonecznice (*Heliozoa*), gąbki krzemowe (*Poriferae*), promienice (*Radiolariae*). U okrzemków, na przykład, krzem ma aktywny udział w syntezie DNA i polimerazy DNA, a także chlorofilu [zob. np. Volcani 1978, s. 177-204; Martin-Jézéquel, Lopez 2003, s. 99-124]. Ale krzem jest obecny w całej biosferze. Interesującym przykładem może być istnienie w mitochondriach i mikrosomach komórek trzustki i żołądka zwierząt ciepłokrwistych enzymu silikaza, uwalniającego kwas krzemowy ze związków, który jest niezwykle stabilny cieplnie, nie tracąc aktywności w 100°C przez 10 minut [Schwarz 1978, s. 207-230]. Mimo tej istotnej obecności krzemu, nie znaleziono w przyrodzie ożywionej związków chemicznych zawierających wiązania Si-O-C lub Si-C. Wyjaśnienia niezbędności krzemu w organizmach poszukuje się, badając biogeochemiczny cykl krzemu i okazuje się, że biochemia krzemu jest powiązana ściśle z biochemią glinu, a więc drugim istotnym elementem glinokrzemianów [Exley 1998, s. 139-144].

W wypadku bakterii wykazano, że kwas krzemowy stymuluje wzrost ich liczby w warunkach oligotroficznych i w związku z tym przypuszcza się, iż na prebiotycznej Ziemi jakieś protobakterie, przybyłe z kosmosu lub powstałe na Ziemi, musiały się zaadaptować właśnie do warunków niskich koncentracji dostępnego węgla. Stąd musiały one być oligokarbotrofami, czyli heterotrofami a nie chemotrofami [Wainwright, Al-Wajeeh, Wickramasinghe, Narlikar 2003, s. 227-229; Trevors 1997, s. 271-276]. Zakłada się jednak, że są to organizmy oparte na węglu, a nie krzemie.

5. CZY GORĄCA PODZIEMNA BIOSFERA JEST NATURALNYM ŚRODOWISKIEM PIERWOTNYM „KRZEMOWYCH FORM PROTOŻYCIA”?

Zarówno Sedlak, jak i Cairns-Smith przyjmowali w swoich hipotezach typowe warunki powierzchniowe pierwotnej Ziemi. Nie brali pod uwagę warunków ekstremalnych, takich na przykład jak wysokie

temperatury i ciśnienia. Może więc warto rozpatrzeć możliwości powstania organizmów krzemowych w warunkach, jakie panują bardzo głęboko pod Ziemią. Otóż Thomas Gold od kilkunastu już lat rozwija oryginalną i kontrowersyjną hipotezę gorącej biosfery podziemnej [Gold 1992, s. 6045-6049; Swerdlow 2000, s. 598-608; Emery 2005, s. 83-92]. Zgodnie z tą hipotezą, organizmy żywe zamieszkują również całą skorupę ziemską do głębokości kilku kilometrów. Stanowią one dużo większą i starszą część naszej biosfery. Badania wskazują na istnienie tam prokariotów hipertermotroficznych, zarówno heterotrofów, jak i fakultatywnych i bezwzględnych chemolitoautotrofów [zob. np. Stetter, Huber 1999; Amend, Teske 2005, s. 131-155; Stetter 2001]. W tej niezwyklej części biosfery żyją jednak organizmy oparte na węglu. Jak odmienną mają one biochemię, wykażą przyszłe badania.

W kontekście hipertermofilii warto przypomnieć, że w roku 1963 brytyjski astronom V. Axel Firsoff, zaproponował trójsiarczek fosforu (P_4S_3) jako substytut wody i procesy życiowe z udziałem krzemianów w temperaturze ponad $1000^{\circ}C$, a więc była to sugestia już w czasach powstawania Sedlaka teorii silicydów [Piękoś 1982, s. 27-46]. Problem krzemowej biochemii przesuwają się więc głębiej. Postulowana przez Sedlaka termosynteza, jako sposób zdobywania energii przez silicydy, być może realizuje się głęboko pod powierzchnią Ziemi lub innych planet od początku ich istnienia, gdzie środowisko nie pozwala na chemosyntezę lub fotosyntezę. Koncepcja termosyntetycznego życia jest już rozwijana [Sheehan 2007, s. 1774-1797; Muller, Schulze-Makuch 2006, s. 177-189].

ZAKOŃCZENIE

Filozoficzną podstawą współczesnych badań przyrodniczych nad powstaniem życia jest naturalizm metodologiczny. Część badaczy podziela również naturalizm ontologiczny, zgodnie z którym materia może wytworzyć życie bez udziału inteligencji spoza kosmosu. Niemniej jednak przyjmowanie tego drugiego typu naturalizmu nie jest

konieczne do rekonstrukcji procesów biogenezy. Wystarczy bowiem akceptować naturalizm metodologiczny, tak jak chociażby ks. W. Sedlak. Metodologia badań zaś kieruje się zasadą uniformitaryzmu¹² i zasadą ciągłości ewolucyjnej¹³. Dlatego też hipotezy i teorie powstawania pierwszych systemów protobiotycznych zakładają istnienie okresu ewolucji chemicznej, podczas którego przebiegały procesy samoorganizacji materii. Protoorganizmy powstały albo w specyficznych warunkach pierwotnej Ziemi, albo gdzieś w kosmosie. Scenariusze biogenezy są więc wysoce hipotetyczne a ich stopień prawdopodobieństwa zależy od wielu czynników. Jednym z nich jest zespół warunków fizycznych i chemicznych środowiska prebiotycznego, którego określenie stanowi niezwykle trudny problem podejmowany przez licznych badaczy ze zmiennym na ogół szczęściem. Sedlak i Cairns-Smith, przestrzegając wspomnianych zasad, zwrócili uwagę na „środowisko krzemianowe” i przeakcentowali je oraz wysunęli bardzo spekulatywne hipotezy „życia krzemowego”, uznawane przez większość przyrodników za niedozwoloną już ekstrapolację. Życie takie nie zostało jak dotąd odkryte, choć być może istnieje głęboko we wnętrzu Ziemi lub innych planet. Można powiedzieć, że rekonstrukcje początków życia obu autorów są względnie jednostronne, bo oparte na jednym z bardzo wielu czynników. Wydaje się, że głębsza analiza tych kontrowersyjnych przecież „hipotez krzemowych” i skierowanie uwagi badaczy na biogeochemię czy paleobiochemię krzemu może mieć znaczenie zarówno dla poszukiwania życia w ekstremalnych warunkach ziemskich, jak i dla badań astrobiologicznych.

¹² Głoszącą, że teraźniejszość jest kluczem do poznania przeszłości. Dlatego prowadzi się badania paleontologiczne i poszukuje „reliktów” biochemicznych i biofizycznych obecnych we współczesnej organizacji molekularnej życia.

¹³ Zgodnie z którą rozwój struktur i mechanizmów dokonywał się stopniowo, każde stadium rozwoju wynikało z poprzedniego, a samo stanowiło podstawę dla następnego. Z tego punktu widzenia, odrzucane są, jako zupełnie nieprawdopodobne, takie hipotezy, które przyjmują powstanie struktur i mechanizmów od razu w ich współczesnej postaci, np. powstanie mechanizmów translacji i transkrypcji na drodze przypadku. Wymaganie, aby hipotezy i teorie były niesprzeczne ze znanymi prawami przyrodniczymi, jest traktowane jako oczywiste.

LITERATURA

- Amend J. P., Teske A., 2005, *Expanding frontiers in deep subsurface microbiology*, Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 219, nr 1-2, s. 131-155.
- Bendz G., Lindqvist I. (red.), 1978, *Biochemistry of Silicon and Related Problems*, Plenum Press, New York.
- Biondi E., Branciamore S., Maurel M.-C., Gallori E., 2007, *Montmorillonite protection of an UV-irradiated hairpin ribozyme: evolution of the RNA world in a mineral environment*, BMC Evolutionary Biology 7, Suppl 2, s. 1-7.
- Brasier M., Green O., Lindsay J., Steele A., 2004, *Earth's oldest (~3.5 Ga) fossils and the 'early Eden hypothesis': questioning the evidence*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 34, nr 1-2, s. 257-269.
- Bullard T., Freudenthal J., Avagyan S., Kahr B., 2007, *Test of Cairns-Smith's 'crystals-as-genes' hypothesis*, Faraday Discussions, nr 136, s. 231-245.
- Cairns-Smith A. G., 1966, *The origin of life and the nature of the primitive gene*, Journal of Theoretical Biology 10, nr 1, s. 53-88.
- Cairns-Smith A. G., 1971, *The Life Puzzle. On Crystals and Organisms and on the Possibility of a Crystal as an Ancestor*, Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Cairns-Smith A. G., 1982, *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life*, Cambridge University Press Cambridge.
- Cairns-Smith A. G., 1985, *Seven Clues to the Origin of Life. A scientific detective story*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cairns-Smith A. G., Hartman H. (red.), 1986, *Clay Minerals and the Origin of Life*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cairns-Smith A. G., 2003, *Fine-tuning in living systems: early evolution and the unity of biochemistry*, International Journal of Astrobiology 2, nr 2, s. 87-90.
- Cairns-Smith A. G., 2008, *Chemistry and the missing era of evolution*, Chemistry – A European Journal 14, nr 13, s. 3830-3839.

- Carlisle E. M., 1974, *Silicon as an essential element*, Federation Proceedings 33, nr 6, s. 1758-1766.
- Emery R., 2005, "*Bioplutonism*" and the evolutionary implications of beneficial genes from another biosphere, *BioSystems* 82, nr 1, s. 83-92.
- Ertem G., 2004, *Montmorillonite, oligonucleotides, RNA and origin of life*, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 34, nr 6, s. 549-570.
- Evered D., O'Connor M. (red.), 1986, *Silicon Biochemistry*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Exley C., 1998, *Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality*, *Journal of Inorganic Biochemistry* 69, nr 3, s. 139-144.
- Franchi M., Bramanti E., Bonzi L. M., Orioli P. L., Vettori C., Gallori E., 1999, *Clay-nucleic acid complexes: characteristics and implications for the preservation of genetic material in primeval habitats*, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 29, nr 3, s. 297-315.
- Gold T., 1992, *The deep, hot biosphere*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 89, nr 13, s. 6045-6049.
- <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/>, (2005-09-01).
- http://www.nap.edu/html/ssb_html/NANO/nanopanel2stetter.shtml, (2004-05-08).
- Kakegawa T., Noda M., Nannri H., 2002, *Geochemical cycles of bioessential elements on the early Earth and their relationships to origin of life*, *Resource Geology* 52, nr 2, s. 83-89.
- Lahav N., 2002, *Organo-minerals and organo-clay interactions and the origin of life on Earth*, w: *Organo-Clay Complexes and Interactions*, red. S. Yariv, H. Cross, Marcel Dekker, New York, s. 615-638.
- Ługowski W., 2005, *Ile jest teorii powstawania życia?* w: *W poszukiwaniu istoty życia: Pamięci ks. prof. Szczepana Ślagi*, red. G. Bugajak, A. Latawiec, Wydawnictwo UKSW, Warszawa, s. 111-124.

- Martin-Jézéquel V., Lopez P. J., 2003, *Silicon – a central metabolite for diatom growth and morphogenesis*, w: *Silicon Biomineralization*, red. W. E. G. Muller, Springer-Verlag, Berlin, s. 99-124.
- Muller A. W. J., Schulze-Makuch D., 2006, *Thermal energy and the origin of life*, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 36, nr 2, s. 177-189.
- Müller W. E. G., Grachev M. A. (red.), 2009, *Biosilica in Evolution, Morphogenesis, and Nanobiotechnology. Case Study Lake Baikal*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Nisbet E. G., Sleep N. H., 2001, *The habitat and nature of early life*, *Nature* 409, nr 6823, s. 1083-1091.
- Nussinov M. D., Otroshchenko V. A., Santoli S., 1997, *The emergence of the non-cellular phase of life on the fine-grained clayish particles of the early Earth's regolith*, *Biosystems* 42, nr 2-3, s. 111-118.
- Paine S. G., 1916, *On the supposed origin of life in solutions of colloidal silica*, *Annals of Botany* 30-os, nr 3, s. 383-384.
- Piękoś R., 1982, *Krzemowe tło życia*, *Roczniki Filozoficzne* 30, z. 3, s. 27-46.
- Rosing M. T., Frei R., 2004, *U-rich Archean sea-floor sediments from Greenland – indications of > 3700 Ma oxygenic photosynthesis*, *Earth and Planetary Science Letters* 217, s. 237-244.
- Schidlowski M., 2001, *Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of Earth history: evolution of a concept*, *Precambrian Research* 106, nr 1-2, s. 117-134.
- Schopf J. W., Kudryavtsev A. B., Czaja A. D., Tripathi A. B., 2007, *Evidence of Archean life: Stromatolites and microfossils*, *Precambrian Research* 158, nr 3-4, 141-155.
- Schwarz K., 1978, *Significance and functions of silicon in warm-blooded animals. Review and outlook*, w: *Biochemistry of Silicon and Related Problems*, red. G. Bendz, I. Lindqvist, Plenum Press, New York, s. 207-230.
- Sedlak W., 1959, *Ewolucja biochemiczna i teoria silicydów*, *Roczniki Filozoficzne* 7, z. 3, s. 69-112.

- Sedlak W., 1961, *Teoretyczno-naukowe perspektywy silicydalnej ewolucji biochemicznej*, Zeszyty Naukowe KUL 4, nr 3(15), s. 95-118.
- Sedlak W., 1967, *Rola krzemu w ewolucji biochemicznej życia*, PWN, Warszawa.
- Sedlak W., 1985, *Kierunek – początek życia. Narodziny paleobiochemii krzemu*, RW KUL, Lublin.
- Sedlak W., 1985, *Rola krzemu w ewolucji organicznej*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Seria: Chemia, s. 59-74.
- Sheehan D. P., 2007, *Thermosynthetic life*, Foundations of Physics 37, nr 12, s. 1774-1797.
- Siever R., 1992, *The silica cycle in the Precambrian*, Geochimica et Cosmochimica Acta 56, nr 8, s. 3265-3272.
- Simpson T. L., Volcani B. E. (red.), 1981, *Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Stetter K. O., 2001, *Smallest cell sizes within hyperthermophilic Archaea ("Archaeobacteria")*, w: *Size Limits of Very Small Microorganisms. Proceedings of a Workshop. Panel 2*, National Academy of Science, Washington.
- Stetter K. O., Huber R., 1999, *The role of hyperthermophilic prokaryotes in oil fields*, w: *Microbial Biosystems: New Frontiers – Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology*, red. C. R. Bell, M. Brylinsky, P. Johnson-Green, Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, s. 1-7.
- Swerdlow N. M., 2000, *Thomas Gold's deep hot biosphere and the origin of petroleum [1]*, Perspectives in Biology and Medicine 43, nr 4, s. 598-608.
- Trevors J. T., 1997, *Bacterial evolution and silicon*, Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology 71, nr 3, s. 271-276.

- Volcani B. E., 1978, *Role of silicon in diatom metabolism and silicification*, w: *Biochemistry of Silicon and Related Problems*, red. G. Bendz, I. Lindqvist, Plenum Press, New York, s. 177-204.
- Wainwright M., Al-Wajeeh K., Wickramasinghe N. C., Narlikar J. V., 2003, *Did silicon aid in the establishment of the first bacterium?*, *International Journal of Astrobiology* 2, nr 3, s. 227-229.
- Woronkow M. G., Zełczan G. I., Łukiewicz E. J., 1978², *Kriemnij i żizń: Biochimija, farmakologija i toksikologija sojedinienij kriemnija*, Zinatnie, Riga.
- Zuilen M. A. van, Lepland A., Teranes J., Finarelli J., Wahlen M., Arrhenius G., 2003, *Graphite and carbonates in the 3.8 Ga old Isua Supracrustal Belt, southern West Greenland*, *Precambrian Research* 126, s. 331-348.

CONTROVERSIES ABOUT „SILICEOUS” ORIGINS OF LIFE

Summary

Some significant works concerning the deep hot biosphere as well as silicate minerals of primordial environment playing the role of a necessary condition for the origin of life on the Earth have been reviewed. Special attention is paid to the hypotheses formulated by Włodzimierz Sedlak (silicic life forms) and by Alexander Graham Cairns-Smith (the mineral “gene”).

FILOZOFICZNE I NAUKOWO-PRZYRODNICZE ELEMENTY OBRAZU ŚWIATA

Współczesne kontrowersje wokół
początków Wszechświata
i początków życia

8

redakcja naukowa
Anna Lemańska, Adam Świeżyński



Wydawnictwo
Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Warszawa 2010