

**Grzegorz Sadlok**

## **Późnokambryjskie skamieniałości śladowe z formacji piaskowców z Wiśniówki w Górach Świętokrzyskich**

### **Streszczenie**

Infaunalizacja była jednym z kluczowych wydarzeń we wczesnych fazach ewolucji tkankowców, stanowiąc zarazem istotny aspekt „kambryjskiego wybuchu życia” na granicy prekambr-kambr. Pojawienie się zwierząt ryjących w osadzie wywarło ogromny wpływ na strukturę i własności dna morskiego. W szelfowych środowiskach schyłku neoproterozoiku powszechne były dna pokryte matami mikrobialnymi (matgrounds). Na skutek pojawienia się infauny zostały one zastąpione w początkach fanerozoiku przez zbioturbowane dna (mixgrounds) z wymieszaną warstwą przypowierzchniowego osadu (mixed layer). Ta radykalna restrukturyzacja dna morskiego miała kluczowe znaczenie dla cyklu geochemicznego, ewolucji bentosu, a przy okazji spowodowała pogorszenie potencjału fosylizacyjnego skamieniałości śladowych najpłytszych pięter ichtologicznych (shallow tier trace fossils).

W literaturze ugruntował się pogląd, że przejście od dna pokrytego matami do dna zmiksowanego odbyło się raptownie, w stosunkowo wąskim przedziale czasu wokół granicy prekambr-kambr. Z tego powodu transformacja ta została określona jako „kambryjska rewolucja agronomiczna” (Cambrian agronomic revolution) bądź jako „kambryjska rewolucja podłoża” (Cambrian substrate revolution). Obraz ten ulega jednak stopniowej zmianie wraz z pojawianiem się nowych danych na temat ichtologii i sedymentologii utworów wczesnego paleozoiku. Okazuje się bowiem, że środowiska depozycji ze zbliżonym do prekambryjskiego stylem strukturalnym dna były powszechne nie tylko we wczesnym kambrze, ale również w późniejszych epokach kambru, w ordowiku, a nawet w sylurze. Dane te wskazują, że „kambryjska rewolucja” była procesem stopniowym i rozciągłym w czasie, który trwał od początku kambru aż do syluru.

Kluczowe znaczenie dla odtworzenia przebiegu globalnych zmian w stylu bioturbacji i struktury dna morskiego mają badania ichtologiczne oraz sedymentologiczne lokalnych formacji osadowych. Takiej możliwości dostarcza górnokambryjska (furong) formacja piaskowców z Wiśniówki (fm) odsłonięta w kamieniołomie Wiśniówka Duża (Wielka) w Górach Świętokrzyskich. Jest to ponad 200 m. miąższości seria utworów silikoklastycznych, zdominowana przez piaskowce kwarcowe oraz piaskowcowo-

mułowcowe heterolity z licznymi śladami działalności późnokambryjskich zwierząt. Ichnoskamieniałości te były przedmiotem szeregu opracowań, skoncentrowanych głównie na śladach przypisywanym trylobitom. Jednak potencjał ichnologiczny oraz sedymentologiczny tego stanowiska pozostawał w dużej mierze niewykorzystany.

Zasadniczym celem niniejszej rozprawy było zbadanie ichnologii oraz sedymentologii formacji piaskowców z Wiśniówki w kontekście toczącej się obecnie debaty na temat przebiegu „kambryjskiej rewolucji podłoża”. Szczególny nacisk został położony na ustalenie ichnotaksonomii śladów, a także ich charakterystyki paleoekologicznej oraz tafonomicznej. Podstawą do rozważań ichnologicznych była licząca ponad 2300 okazów kolekcja późnokambryjskich skamieniałości śladowych, zebrana warstwa po warstwie z profilu kamieniołomu Wiśniówka Duża. Wiele uwagi poświęcono także identyfikacji struktur pochodzenia mikrobialnego (MISS, czyli microbially induced sedimentary structures). Ponadto dokonano interpretacji wybranych skamieniałości śladowych w kategoriach paleobiologii ich twórców, posiłkując się przy tym eksperymentami neoichnologicznymi z wykorzystaniem przekopnic australijskich.

Rozprawa składa się z trzech zasadniczych części, w skład których wchodzi siedem odrębnych rozdziałów. Pierwszy z nich jest oryginalnym opracowaniem, przewidzianym do publikacji jako osobna praca, natomiast sześć pozostałych to artykuły naukowe o różnym statusie: wydrukowane, w druku, lub zaakceptowane do druku.

Część pierwsza rozprawy, najbardziej ogólna w swym zakresie, dotyczy ichnologii oraz środowiska sedymentacji formacji piaskowców z Wiśniówki. Składa się na nią rozdział 1. Zostały w nim opisane i zilustrowane czterdzieści dwa późnokambryjskie ichnotaksony: *Arenicolites sparsus*, *A. statheri*, *Arenicolites* isp., cf. *Artichnus* isp., cf. *Asphoidichnus* isp., aff. *Artichnus* isp., *Bergaueria* cf. *baltica*, *Bergaueria* cf. *perata*, *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana rusiformis*, *C. semiplicata*, *C. tenella*, *C.* isp., *Dimorphichnus* isp., *Diplichnites* isp., *Diplocraterion biclavatum*, *Gordia marina*, ?*Gordia* isp., *Helminthoidichnites tenuis*, *Helminthopsis tenuis*, *H. hieroglyphica*, cf. *Multina* isp., *Monocraterion* cf. *tentaculatum*, *Monocraterion* isp., *Monomorphichnus bilinearis*, *M. lineatus*, *Palaeophycus tubularis*, *Petalichnus* isp., *Phycodes curvipalmatus*, *P. palmatus*, *Planolites beverleyensis*, ?*Psammichnites* isp., *Rusophycus* cf. *arizonensis*, *R. carbonarius*, *R. moyensis*, *R. polonicus*, *R. versans*, *R. inexpectus*, *Rusophycus* isp., ?*Skolithos* isp., *Treptichnus* cf. *rectangularis*, oraz *Teichichnus* cf. *rectus*.

Część sedymentologiczna rozdziału 1 zawiera opis litologii badanego profilu oraz interpretację środowiska depozycji z wykorzystaniem mikrobialnie indukowanych struktur sedymentacyjnych (m.in. typu "Kinneyia" oraz "Manchuriophycus"), które wskazują na

powszechną obecność bentosowych mat mikrobialnych w środowisku sedymentacji piaskowców z Wiśniówki. Środowisko to zostało zinterpretowane w kategoriach modelu sedymentacji szelfu silikoklastycznego zdominowanego przez sztormy; wskazano przy tym, że utwory te tworzyły się w strefie dolnego przybrzeża (lower shoreface).

Zespół ichtnologiczny z formacji piaskowców z Wiśniówki jest zdominowany przez ślady spoczynku (cubichnia), ślady przemieszczania się (repichnia) oraz ślady żerowania i przemieszczania (pascichnia). Reprezentuje on głównie ichtnofację *Cruziana* wykształconą w swej nietypowej, wczesnopaleozoicznej wersji, która charakteryzuje się wyraźnym zachowaniem śladów najpłytszego piętra, utworzonych na lub tuż pod powierzchnią osadu o znacznym stopniu zwięzłości (firmground).

Formacja piaskowców z Wiśniówki stanowi drugą na świecie przeanalizowaną szczegółowo pod względem ichtnologicznym i sedymentologicznym sekwencję osadową furongu (po formacji Umm Ishrin w Jordanii), która dostarcza przesłanek wskazujących na brak lub bardzo słaby rozwój warstwy zmiksowanej na dnie morskim. Wniosek ten wynika z powszechnego występowania mikrobialnie indukowanych struktur sedymentacyjnych w profilu, a także z bardzo dobrego zachowania skamieniałości śladowych reprezentujących najpłytsze piętro ichtnologiczne. Formacja piaskowców z Wiśniówki dostarcza więc istotnych danych dla poparcia kształtującej się obecnie w literaturze opinii, że „kambryjska rewolucja podłoża” była w rzeczywistości rozciągłym w czasie, stopniowym procesem.

Druga część rozprawy składa się z rozdziałów 2-5. Traktuje ona o wybranych ichtnogatunkach pospolitych w badanych utworach ichtnorodzajów *Cruziana* i *Rusophycus*, które tradycyjnie są interpretowane jako ślady działalności życiowej trylobitów.

Ichnogatunek *Rusophycus versans* został opisany poraz pierwszy z facji pełnomorskich (rozdział 2). Przegląd wystąpień ichtnogatunku i jego prawdopodobnych twórców prowadzi do wniosku, że zaliczone do niego ślady były wytwarzane przez bliżej niespokrewnione grupy stawonogów. W rezultacie uznano *R. versans* za przykład konwergencji behawioru stawonogów związanego z żerowaniem.

Ichnogatunek *Cruziana tenella* nie był dotychczas znany z piaskowców z Wiśniówki (rozdział 3). Opisany materiał jest reprezentowany przez ślady niezwykle drobne w porównaniu z innymi formami *Cruziana*. Obserwację tę wykorzystano jako przesłankę przemawiającą za odrębnością twórców *C. tenella* i innych paleozoicznych ichtnogatunków *Cruziana*.

Ichnogatunek *Cruziana semiplicata* to ichtnoskamieniałość typowa dla utworów kambryjskich Wiśniówki (rozdział 4). W dotyczącym go rozdziale przedstawiono nową interpretację sposobu powstawania tej skamieniałości oraz dokonano próby identyfikacji jej

twórcy. Wykorzystano przy tym obserwacje przeprowadzone w akwariu na przekopnicach australijskich (*Triops australiensis*). W myśl nowej interpretacji *Cruziana semiplicata* to powierzchniowy ślad żerowania wytworzony przez bliżej niezidentyfikowanego trylobita unoszącego tułów nad dnem i przeszukującego osad za pomocą przednich odnóży. Zakwestionowano także wcześniejszy pogląd o tożsamości twórcy *C. semiplicata* i innego powszechnego w badanych utworach ichnogatunku *Rusophycus polonicus*.

Ichnogatunek *Rusophycus inexpectus* został utworzony przez autora rozprawy (rozdział 5) na podstawie okazów zaliczanych przez wcześniejszych badaczy do ichnogatunku *Cruziana barbata*. Analiza morfologiczna nowego ichnogatunku wykazała, że jego twórca cechował się inną niż u trylobitów tagmatyzacją. Ponadto reinterpretacja okazów zaliczanych wcześniej do *R. barbata* podważyła datowania biostratygraficzne oparte na zastosowaniu schematu „*Cruziana stratigraphy*” dla profilu Wiśniówki.

W trzeciej części rozprawy poruszona została problematyka tafonomii skamieniałości śladowych z formacji piaskowców z Wiśniówki. Analizie tafonomicznej poddano m.in. tropy stawonogów (rozdział 6), które występują na powierzchniach ławic piaskowców. Wynikiem tych badań jest rozpoznanie czterech scenariuszy tafonomicznych prowadzących do zachowania się tropów stawonogów w badanych utworach. Zwrócono przy tym uwagę na zjawisko podtropu (undertrack) oraz rolę czynnika mikrobialnego w doskonałym zachowaniu się badanych tropów.

W końcowej części rozprawy został poddany analizie styl zachowania okazów *Rusophycus* (rozdział 7). Opisano m.in. wklęsłe okazy podobnych do *Rusophycus* struktur występujące na górnych powierzchniach warstw piaskowców, wskazując, że nie są one prawdziwymi śladami, ale strukturami diagenetycznymi, wytworzonymi przez piaskowcowe wypełnienia pierwotnego śladu, które napierały w czasie kompacji osadów na znajdujące się poniżej laminy osadowe. Na takie „fałszywe” ślady o zadziwiająco niedokładnym stopniu odwzorowania morfologii trylobita zwracali uwagę poprzedni badacze profilu Wiśniówki, uważając je za rzeczywiste ślady trylobitów utworzone na dnie morskim.