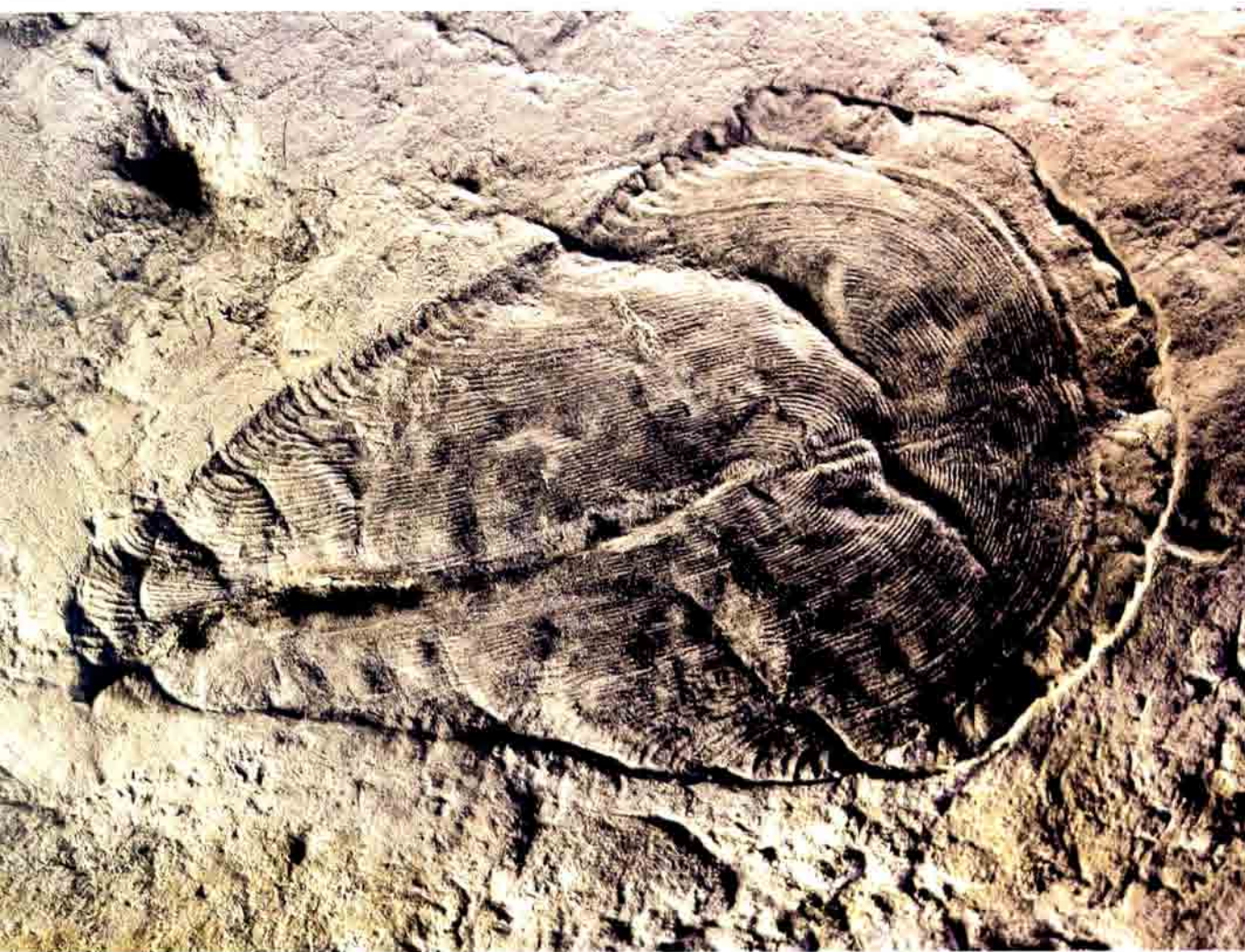


**РАССВЕТ И ЗАКАТ  
ВЕНДСКОЙ (ЭДИАКАРСКОЙ) БИОТЫ  
ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ БИОСФЕРЫ**

Труды Международной конференции по проекту 493 МПГК



**Earth Science Department, RAS  
Geological Institute, RAS  
Paleontological Institute, RAS  
IGCP National Committee of Russian Federation**



**Отделение наук о Земле РАН  
Геологический институт РАН  
Палеонтологический институт РАН  
Российский Национальный комитет МПГК (ЮНЕСКО)**



**The Rise and Fall of the Vendian  
(Ediacaran) Biota  
Origin of the Modern Biosphere**

**Transaction of the International Conference  
on the IGCP Project 493**

Moscow  
GEOS  
2007

**Рассвет и закат вендской  
(эдиакарской) биоты  
Происхождение  
современной биосферы**

**Труды Международной конференции  
по проекту 493 МПГК**

Москва  
ГЕОС  
2007

УДК 551.72+56(11)

ББК 26.323

P 58

Ответственный редактор  
Академик *М.А. Семихатов*

Редакционная коллегия:  
*М.В. Леонов, М.А. Семихатов, Е.А. Серезжникова, М.А. Федонкин, Н.М. Чумаков*

**Рассвет и закат вендской (эдиакарской) биоты. Происхождение современной биосферы.** Труды международной конференции по проекту 493 МПГК, 20–31 августа, 2007, Москва. Отв. ред. М.А. Семихатов). – М.: ГЕОС, 2007. – 85 с.

ISBN 5-89118-378-5

Сборник трудов международной конференции по проекту 493 «Рассвет и закат вендской биоты» Международной программы по геонаукам (МПГК, ЮНЕСКО) составлен из докладов, представленных участниками конференции на русском или английском языках. Тематика докладов включает следующие проблемы: реконструкция автотрофных сообществ венда, интерпретация ископаемых эдиакарского типа, динамика биоразнообразия, глобальные изменения климата, палеогеография и стратиграфия рифея и венда.

Для специалистов в области палеонтологии, стратиграфии и других наук о Земле.

**Издание осуществляется при финансовой поддержке Отделения наук о Земле  
Российской Академии наук**

Responsible Editor

*M.A. Semikhatov*

Editorial Board:

*N.M. Chumakov, M.A. Fedonkin, M.V. Leonov, M.A. Semikhatov, E.A. Serezhnikova*

**The Rise and Fall of the Vendian (Ediacaran) Biota. Origin of the Modern Biosphere.** Transactions of the International Conference on the IGCP Project 493, August 20–31, 2007, Moscow. Ed. by M.A. Semikhatov. – Moscow, GEOS, 2007. – 85 p.

The transaction volume of the International Conference on the Project 493 “The Rise and Fall of the Vendian/Ediacaran Biota” of International Geoscience Programme (IGCP, UNESCO) consists of the papers presented by the participants of the meeting in Russian and English. The topics of the papers includes the following problems: reconstruction of the autotrophic communities of the Vendian, interpretation of the Ediacara fossils, biodiversity dynamics, global climatic changes, paleogeography and stratigraphy of the Riphean and Vendian.

The book is oriented towards the specialists in paleontology, stratigraphy and other Earth sciences.

**Published at financial support of the Department of Earth Sciences,  
Russian Academy of Sciences**

На 1-ой странице обложки: *Andiva ivantsovi* ПИН № 3993/5272, верхний венд, Зимний берег Белого моря. Сборы А.Ю. Иванцова, фото М.В.Леонова.

На 4-ой странице обложки: *Панорама раскопа верхневендского местонахождения Еловый ручей, Зимний берег Белого моря. Фото Е.А.Серезжниковой, коллаж М.В.Леонова.*

© Коллектив авторов, 2007

© ГЕОС, макет, 2007

## INTRODUCTION

This volume represents contributions for the final meeting of the International Working Group of Project 493 "The Rise and Fall of the Vendian/Ediacaran Biota" (2002–2007, leaders M.A. Fedonkin, P. Vickers-Rich and J. Gehling) of the International Geoscience Programme (IGCP, UNESCO). The meeting includes a week-long geological excursion to the uniquely fossiliferous deposits of the Vendian of the White Sea coast, a two-day Conference hosted at the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences in Moscow, and an open day for the examination of the Vendian Fossil Collection housed at the Paleontological Institute RAS in Moscow.

The two day Conference includes both presentation of papers and discussions at the Geological Institute RAS. The joint work facilitated by participants of IGCP493 of specialists representing the earth and life sciences (paleobiology, stratigraphy, paleobiogeography, paleoclimatology, geochemistry, geophysics, zoology and molecular biology) brings understanding of the nature, dynamics and interplay of environment and biota characteristic of the Neoproterozoic – a plexus that led to the modern style biosphere.

IGCP Project 493, like a number of other projects of this UNESCO program devoted to the Neoproterozoic geological history, exemplifies the cutting edge of modern geosciences in terms its multidisciplinary, international and biosphere-oriented approach. It is a project that has worked in cooperation with other IGCP projects (in particular Project 478 "Neoproterozoic-Early Palaeozoic Events in SW-Gondwana", Project 512 "Neoproterozoic Ice Ages" and Project 497 "The Rheic Ocean: Its Origin, Evolution and Correlatives"), another international cooperative project funded by German DFG and Chinese NSFC ("From Snowball Earth to the Cambrian bioradiation: an interdisciplinary study of the Yangtze Platform, China"), as well as a number of research projects funded by the Russian Fund for Basic Research and by the Russian Academy of Sciences.

During 2002–2007 the IGCP493 participants carried out a number of geological expeditions in Russia, Namibia, South Australia, Newfoundland and Argentina. These expeditions netted new fossil material of fundamental importance and a number of papers have been published, or are now in press and under prepara-

tion. Significant public outreach of the IGCP493 is exemplified by a state of the art publication "The Rise of Animals" by Johns Hopkins University Press (Washington) due out in October 2007 and by a scientific monograph, a Geological Society of London Special Publication 286, containing papers presented in the course of earlier meetings of the IGCP 493 in Prato, Italy and Kyoto, Japan, due out in August 2007 ("The Rise and Fall of the Ediacaran (Vendian) Biota).

A multinational exhibition devoted to the Precambrian Life and accompanied by educational kits was arranged by the Monash University, Melbourne, South Australian Museum, Adelaide (Australia), and Paleontological Institute, RAS, and launched at the Fukui Prefectural Dinosaur Museum in 2006, with close to 100,000 attendees, the most successful traveling exhibition hosted by this museum in its history. These groups also organized a stamp issue in 2005 that celebrated the Neoproterozoic metazoans, issued by Australia Post.

We hope that the five-years of research activity of the IGCP 493 and the related public outreach will continue to benefit society via improvement the public understanding of factors controlling global climatic and biotic change, via transfer information internationally (including the project's internet sites: [www.vend.paleo.ru](http://www.vend.paleo.ru) and [www.geosci.monash.edu.au/precsite](http://www.geosci.monash.edu.au/precsite)), in providing training of student participants from many countries, via offering opportunities for both undergraduate and post-graduate research studies and in facilitating cooperative projects in the future between many of the more than 100 participants from 26 countries in the future.

The Organizing Committee of the events related to IGCP Project 493 expresses their gratitude to the Earth Science Department (Russian Academy of Sciences), to the Geological Institute, RAS, Paleontological Institute, RAS, IGCP National Committee of Russian Federation, School of Geosciences, Monash University (Melbourne, Australia), South Australian Museum (Adelaide), and Chisholm Company and the Hunt family for their support and cooperation.

Organizing Committee,  
Meeting of the IGCP Project 493,  
August 20–31, 2007

**PART 1**  
**THE VENDIAN (EDIACARAN) BIOTA**  
**ЧАСТЬ 1**  
**ВЕНДСКАЯ (ЭДИАКАРСКАЯ) БИОТА**

**DYNAMICS OF EVOLUTION AND BIODIVERSITY IN THE LATE VENDIAN:  
A VIEW FROM THE WHITE SEA**

*M.A. Fedonkin, A.Yu. Ivantsov, M.V. Leonov, E.A. Serezhnikova*

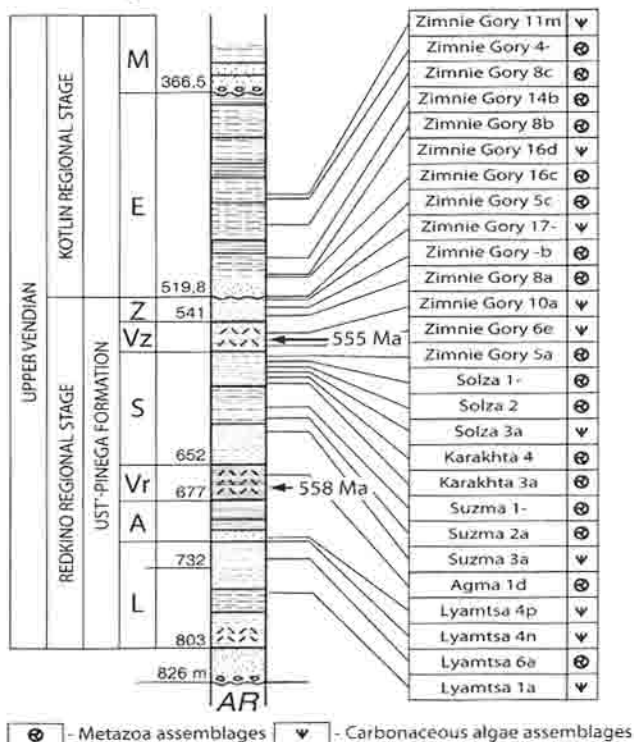
Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia,  
e-mail: mfedon@paleo.ru

The paper represents some results of taxonomic and statistical study of the Vendian Fossils Collection accumulated by the staff of the Laboratory of the Precambrian Organisms (PIN RAS) after thirty years of paleontological and stratigraphic research in the White Sea region. Only part of the Collection – over 3100 specimens from 27 stratigraphic levels – is put into the database so far. This is first attempt to estimate all the data concerning distribution of all fossils from this succession on the basis of exact databasing and statistics.

The Vendian shallow-water siliciclastic succession (>600 meter thick (fig. 1)) has preserved a uniquely rich fossil record of the soft-bodied invertebrates, bioturbations, megascopic algae, organic-walled microorganisms, and bacterial mats. The exposed interval of Ust'-Pinega and Mezen formations related to Redkino and Kotlin Regional Stages of Upper Vendian (Aksenov et al., 1978, Stankovski et al., 1981). The time range of the documented fossil record goes well beyond the radiometrically dated interval 558–555 Ma (Martin et al., 2000). The stratigraphic distribution of the fossil taxa is controlled by the taphonomic, paleoecological and paleoclimatic factors that is reflected in the step-wise mode of the biodiversity change, punctuated occurrence ranges of the taxa, and severe alterations in the structure of the successive faunal communities preserved *in situ*. Distribution of the cosmopolitan taxa may be also related to the changes in the paleobiographic connections of the Vendian palaeobasin. Beside, the fossil records of the fauna and flora are representative in different degree. Nevertheless one can see the distinct trends in biodiversity.

**Ust'-Pinega borehole section (after Stankovski et al., 1981, with changes)**

**Index names of fossiliferous levels**



**Fig. 1.** The stratigraphic position of the major fossiliferous levels in a sequence of the Upper Vendian deposits in the White Sea Area, based on the lithostratigraphic correlation of the discrete locality sections with the borehole section. Radioisotope datings after Martin et al., 2000.

Abbreviations: L – Lyamtsa beds; A – Arkhangelsk beds; Vr – Verkhovka beds; S – Suzma beds; Vz – Vaizitsa beds; Z – Zimnie Gory beds; E – Erga Beds; M – Mela beds

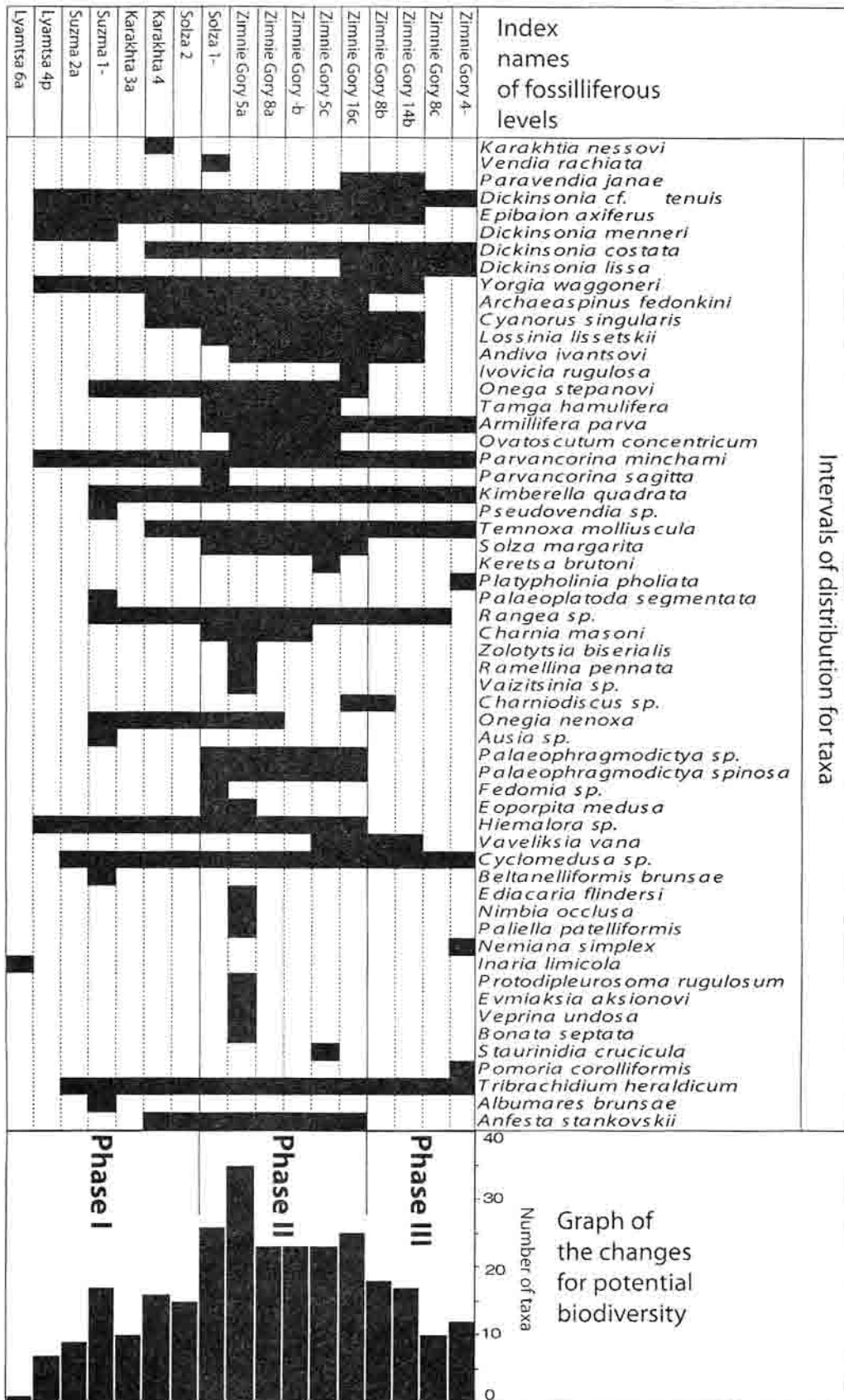


Fig. 2. The distribution of the Metazoan taxa in the White Sea section. The Phases I, II, III explained in the text



### Metazoan Fossils

In a recent study were used data about intervals of distribution of all valid taxa of Metazoan body fossils from White Sea area (taxonomy according to Fedonkin, 1985; Fedonkin et al., in press) (fig. 2, A). The number of taxa for the curve of biodiversity is estimated on the basis of potential existence of the taxa on the level, non only the real existence. This method allows to smooth the gaps that caused by facial-controlled character of distribution in the assemblages.

The metazoans diversity shows gradual growth on the first part of succession (fig. 2, Phase I). The most groups of soft-bodied animals appear in the lowermost part of succession, but diversity in these groups grows gradually.

On the second phase there is some leap, followed by a period of stability (fig. 2, Phase II) that characterized by the highest level of potential diversity. Nevertheless the discrete assemblages show various composition and number of taxa, controlled by facies distribution.

The third phase shows some decline by the end of the fossiliferous Vendian succession in the region (fig. 2, Phase III). On this background we observe an increasing portion of the bilaterians represented by the body fossils and bioturbations. Decline in biodiversity by the end of the Vendian succession may be related to the regressive trends and to the change from the marine to the brackish environments.

### Algae and cyanobacteriae

The primary producers making the base of the food pyramid in the Vendian ocean are represented by the cyanobacteria, bacterial mats, diverse eukaryotic phytoplankton and macroscopic algae.

Some recent scientific conceptions (Burzin, 2001) proposed that during the late Precambrian there was a gradual appearance of new and more advanced alga, more similar to Phanerozoic forms, rather than their predecessors.

But after a detailed review of terminal Proterozoic algal assemblages, it seems that trends of their evolution were rather more complicated and not so gradual. The oldest of the diverse Vendian (Ediacaran) floras is Doushantuo flora (Xiao et al, 2002). The Doushantuo assemblage includes algae with compact, laminated thalli of tissue-grade organisation. Many Doushantuo taxa are characterized by regular dichotomous branching and the presence of holdfasts or rhizoids for attachment to the substrate. The Laymtsa assemblage (*Archyfasma* flora) (Leonov, 2006) of the Eastern European Platform is contemporary to or slightly younger than the Doushantuo assemblage. It is reported from the basis of Upper Vendian succession of the region (Lyamtsa and Archangelsk beds (fig. 3))

(Gnilovskaya, 2003, Leonov, 2006, Leonov, Ragozina, 2007). Laymtsa taxa demonstrate thalli with tissue organisation and differentiation into layers.

							Index names of fossiliferous levels	Distribution of taxa		
Lyamtsa 1a	Lyamtsa 4n	Agma 1d	Suzma 3	Solza 3a	Zimnie Gory 06e	Zimnie Gory 10a	Zimnie Gory 17-		Zimnie Gory 16d	Zimnie Gory 11m
							<b>ARRHYFASMA ALGOFLORA</b>	<b>EOHOLYNIA ALGOFLORA</b>	<b>VENDOTAENIA ALGOFLORA</b>	Names of assemblages

Fig. 3. The distribution of macroscopic carbonaceous algae in White Sea section and established assemblages

The younger Redkino assemblage (*Eoholynia* flora) (Gnilovskaya et al., 1989) includes exclusively simpler, crust-like and bush-shaped thalli. It is established in a section of the central part of the Eastern-European platform and then documented from the Verkhovka, Suzma, Vayzitsa and Zimnie Gory beds of White Sea section. A significant part in Redkino assemblage is represented by prokaryote taxa, such as oscillatorioid cyanobacteria, which form biofilms. The uppermost Vendian Kotlin assemblage is typified by its Vendotaenia flora and cyanobacterial biofilms. The dominant eukaryotic taxa – members of family Vendotaeniceae – is more morphologically primitive when compared with older forms. It seems that this more simple morphology (more primitive branching and growth) corresponds with less evolutionary advanced anatomy of thallus. Biodiversity is low – 1–4 taxa versus around 20 in the Doushantuo assemblage. The highly organised algae and diverse algal assemblages appear in geological record again only in Cambrian (Walcott, 1919; Ivantsov et al., 2005).

Thus there is a stage that falls outside the gradual trend for the overall evolutionary “progress” of eukaryotic algae. This stage corresponds to the second part of the Upper Vendian (558–543 ma). To under-

stand the causes for this phenomenon further research is needed of such abiotic factors as the increased oxygenation of the environment, the brief periods of glaciation and related variations in carbon concentrations, and tectonics that affected the wide distribution of epicontinental seas with restricted water circulation.

Stratigraphic subdivisions		Index names of fossiliferous levels	Phases of Metazoa biota development	Algal assemblages			
UPPER VENDIAN	KOTLIN REGIONAL STAGE	Zimnie Gory 11m	III	VENDOTAENIA ALGOFLORA			
		Zimnie Gory 4-					
		Zimnie Gory 8c					
		Zimnie Gory 14b					
		Zimnie Gory 8b					
		Zimnie Gory 16d					
	REDKINO REGIONAL STAGE UST'-PINEGA FORMATION	Z	Zimnie Gory 16c	II	EOHOLYNTIA ALGOFLORA		
			Zimnie Gory 5c				
			Zimnie Gory 17-				
			Zimnie Gory -b				
			Zimnie Gory 8a				
			Zimnie Gory 10a				
		Vz	Zimnie Gory 6e				
			Zimnie Gory 5a				
		S	Solza 1-			I	ARHYFASMA ALGOFLORA
			Solza 2				
			Solza 3a				
			Karakhta 4				
			Karakhta 3a				
			Suzma 1-				
Suzma 2a							
Suzma 3a							
Vr	Agma 1d						
A	Lyamtsa 4p						
	Lyamtsa 4n						
L	Lyamtsa 6a						
	Lyamtsa 1a						

Fig. 4. The comparison of the development stages for the animal and algae assemblages. Note the almost contemporary changes near Redkino-Kotlin boundary. Abbreviations: See fig. 1.

#### The major trends of White Sea biota evolution

Biodiversity dynamics of the photosynthesizing eukaryotes and that of the metazoans went not in the concert during the Vendian. Maximum diversity of the tissue-grade algae is documented at the base of the

succession (prior 558 Ma, Archyfasma flora) marked by low metazoan diversity (Phase I (fig. 4)). On the contrary, the major leap in the metazoan diversity corresponds to the domination time (between 558 and 555 Ma) of the cyanobacterial benthic communities with low participation of the eukaryotic algae.

The revealed biotic trends in addition to the high variety of the fossil groups provide a solid basis for the biostratigraphy of the Vendian as well as for the paleoecological reconstructions.

The study is supported by the Russian Foundation of Basic Research, project 05-05-64825, President Grant of the NSH-28899.2006.5 and the Program 18 P of Presidium of RAS "The Origin and Evolution of the Biosphere".

#### References

- Aksenov E.M., Keller B.M., Sokolov B.S., Solontsov L.F. & Shulga P.L., 1978. General stratigraphic scheme of Upper Precambrian of Russian platform. Proc. Acad. Sci. USSR. Geol. Ser. 12, 17-34 [in Russian].
- Fedonkin M.A., 1985. Systematic description of Vendian Metazoa. In: Sokolov B.S., Ivanovsky A.B. (eds.). The Vendian System. Vol. 1. Paleontology. Nauka. 70-106 [in Russian].
- Fedonkin M.A., Gehling J.G., Grey K., Narbonne G.M., Vickers-Rich P., 2007. The Rise of Animals. Evolution and Diversification of the Kingdom Animalia. John Hopkins Press (In press).
- Gnilovskaya M.B., 2003. About the ancient tissue organisation of the Precambrian (Vendian) algae. Paleontological Journal 2, 98-104 [in Russian].
- Gnilovskaya M.B., Istchenko A.A., Kolesnikov Ch.M., Korenchuk I.V. & Udaltsov A.P., 1988. Vendotaenids of the Eastern-European platform. Nauka. 141 [in Russian].
- Ivantsov A.Yu., Zhuravlev A.Yu., Krassilov V.A., et al., 2005. Unique Sinsk localities of the Early Cambrian organisms. Transactions of the Paleontological Institute. Vol. 284. Moscow. Nauka. 142 p. [In Russian].
- Leonov M.V., 2006. Terminal Proterozoic Lyamtsa algoflora (White Sea, Russia) In: Ancient Life and Modern Approaches. Abstracts of the Second International Palaeontological Congress, June 17-21, 2006, Beijing, China. (Qun Yang, Yongdong Wang, and Elizabeth A. Weldon, eds.) University of Science and Technology of China Press. P. 282-283.
- Leonov M.V., Ragozina A.L., 2007. Organically preserved macro- and microfossil complexes in Upper Vendian sequence of the Northern Arkhangelsk region: biostratigraphic aspects. In: Vickers-Rich P. and P.Komarower (Eds.) "Rise and Fall of the Vendian Biota". Geological Society of London. Special Volume [In press].
- Martin M.W., Grazhdankin D.V., Bowring S.A., Evans D.A.D., Fedonkin M.A. & Kirschvink J.L., 2000. Age of Neoproterozoic bilaterian body and trace fossils. White Sea, Russia: Implications for metazoan evolution. Science, 288, 841-845.
- Stankovski A.F., Verichev E.M., Grib V.P., Dobeyko M.P., 1981. The Vendian of South-Eastern White Sea area. Trans. Acad. Sci. USSR. Geol. Ser., 2, 78-87 [In Russian].
- Walcott C.D., 1919. Cambrian Geology and Paleontology. IV. Middle Cambrian Algae. Smithsonian Miscellaneous Collections, vol. 67, No. 5. Washington: Smithsonian Institution. 217-260.

# NEOPROTEROZOIC SHELLY FOSSILS OF SPAIN

J.A. Gámez Vintaned, E. Liñan, and A.Yu. Zhuravlev

Área y Museo de Paleontología, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España;  
email: gamez@unizar.es

Recent finds of rich fauna with mineralized skeletons in the Ediacaran (Vendian) strata of Namibia, China, Siberian Platform (Russia), and Spain turns our thinking about Precambrian/Cambrian events to a different way. Many explanations of this sequence of events tied closely with skeletal mineralization, thus, do not look fully correct now. Radiometric isotope data from ashes of Oman, Namibia, and Siberian Platform frame the Ediacaran shelly fauna within the interval of 553–543 Ma (Grotzinger *et al.*, 1995; Brasier *et al.*, 2000; Semikhatov *et al.*, 2003).

At least nine genera of calcareous skeletal fossils are described of which tubicolous *Cloudina* and goblet-shaped *Namacalathus* are the most ubiquitous and widespread forms. They are known from all regions where Ediacaran carbonates are present. Dozens of new mineralized fossils are awaiting for their adequate study. There are two distinct new genera of such a kind in Spain only, apart four others. Here, *Cloudina* and other diverse Ediacaran shelly fossils are found at least in three different tectonostratigraphic zones, namely, in the Galician–Castilian and East Lusitanian–Alcudian zones as well as in the Cadenas Ibéricas (probably, the Cantabrian Zone) where such fossils are restricted to scarce thin carbonate units (e.g., Fuentes and Membrillar olistostromes).

None of Ediacaran skeletal fossils can be affiliated firmly either with any modern phylum or even with any of diverse Early Cambrian shelly groups immediately following them. The skeletal morphology of Ediacaran shelly fossils is very distinct and not simple. In this aspect they resemble famous Ediacaran vendobionts which also lack any close descendents if any descendents at all. Similarly, Ediacaran skeletal fauna vanished completely at the beginning of the Cambrian, about 541 Ma. Also, some primitive trace fossil producers, soft vendotaenid algae, tubicolous organic-walled sabelliditids, and even some calcareous cyanobacteria (*Angusticellularia*, *Gemma*, *Korilophyton*) disappeared approximately at the same time.

It is difficult to image now if it was a global extinction event or a step-by-step replacement of an old biota by a new one. Some specialists speculate on various extrinsic factors which could cause a global extinction of the entire Ediacaran biota, for instance, an infamous asteroid impact (Hsu *et al.*, 1985) or a widespread development of oxygen-deficient shallow marine environments either due to a transgression of deep anoxic

waters onto shelves or on a contrary due to a regression led to a massive release of methane-hydrates stored in marine sediments (Kimura & Watanabe, 2001). Both later suggestions are mostly based on the presence of a pronounced negative stable carbon isotope shift abutting the Precambrian/Cambrian boundary in many regions.

More recent data indicated a multiplicity of such isotope ratio shifts (Kouchinsky *et al.*, 2005). Besides, the diversification of Early Cambrian biota continuous across these shifts and in many sections the latest Ediacaran elements co-occur with the earliest Early Cambrian ones (e.g., *Cloudina* with anabaritids on the Siberian Platform; vendotaenids with complex trace fossils in Spain, Vidal *et al.*, 1994; vendobionts with trace fossils of the Phanerozoic aspect in Namibia, Jensen & Runnegar 2005).

These facts hints of favour of a step-by-step replacement. The more advanced Early Cambrian fauna could take other Ediacaran fauna by a predator pressure as well as by a devastation of environments because vendobionts depended firmly on microbial films (Seilacher & Pflüger, 1994) while Ediacaran shelly organisms were too weakly mineralized to withstand a bulldozing effect of Cambrian vagrant animals. That replacement had not happened at one stroke but, however, during a very short interval of about 5 m.y.: strata of 545 Ma age contain pure Ediacaran biota while those of 540 Ma completely lack such fossils.

## References

- Brasier M.D., McCarron G., Tucker R., Leather J., Allen P. & Shields G. 2000. New U-Pb zircon dates for the Neoproterozoic Ghubrah glaciation and for the top of the Huqf Supergroup, Oman. *Geology* 28, 175–178.
- Grotzinger J.P., Bawring S.A., Saylor B.Z. & Kaufman A.J. 1995. Biostratigraphic and geochronologic constraints on early animal evolution. *Science* 270, 598–604.
- Hsü K.J., Oberhänsli K., Gao J.Y., Sun Shu Chen Haihong & Krahenbühl U. 1985. 'Strangelove ocean' before the Cambrian explosion. *Nature* 316, 809–811.
- Jensen S. & Runnegar B. 2005. A complex trace fossil from the Spitskop Member (terminal Ediacaran–?Lower Cambrian) of southern Namibia. *Geological Magazine* 142: 561–569.
- Kimura H. & Watanabe Y. 2001. Oceanic anoxia at the Precambrian-Cambrian boundary. *Geology* 29, 995–998.
- Kouchinsky A., Bengtson S., Pavlov V., Runnegar B. Val'kov A. & Young E. 2005. Pre-Tommotian age of the lower Pestrosvet Formation in the Selinde section on the Siberian Platform: Carbon isotope evidence. *Geological Magazine* 142: 319–325.

Seilacher A. & Pflüger F. 1994. From biotrits to benthic agriculture: A biohistoric revolution. In: *Biostabilization of Sediments* (Eds. W.E. Krumbein, D.M. Paterson & L.J. Stal). BIS, Oldenburg, 97–105.

Semikhatov M.A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Kuznetsov A.B., Kaurova O.K. & Petrov P.Yu. 2003. [Pb-Pb isochronous age and Sr-isotope characteristics of the upper Yu-

doma carbonate strata (Vendian of the Yudoma-Maya Depression, Eastern Siberia)]. *Doklady Rossiyskoy akademii nauk* 393 (1), 83–87 (in Russian).

Vidal G., Palacios T., Gámez-Vintaned J.A., Díez Balda M.A. & Grant S.W.F. 1994. Neoproterozoic-early Cambrian geology and palaeontology of Iberia. *Geological Magazine* 131: 729–765.

## EDIACARAN FOSSILS ON BONAVISTA PENINSULA, AVALON ZONE, NEWFOUNDLAND, CANADA

H.J. Hofmann<sup>1</sup>, S.J. O'Brien<sup>2</sup> and A.F. King<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Earth and Planetary Sciences, and Redpath Museum, McGill University, Montreal, Canada, email: hofmann@eps.mcgill.ca;

<sup>2</sup> Geological Survey, Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, St. John's, Canada;

<sup>3</sup> Department of Earth Sciences, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Canada

The diverse Ediacaran fossils discovered on the Bonavista Peninsula in 2003 correspond closely with those in the renowned Mistaken Point and Fermeuse assemblages on the Avalon Peninsula more than 200 km to the south (fig. 1). As in the latter area, the Bonavista remains are generally found as remarkably well preserved biocoenoses on interturbidite siltstone beds below thin layers of volcanic ash. The fossiliferous sequence is exposed throughout a more than 1 km thick section that embraces the deep water turbiditic Mistaken Point and Trepassey formations, and the overlying pro-delta and delta facies siltstones of the Fermeuse and Renewes Head formations (O'Brien & King, 2004, 2005; Hofmann et al. in press) (fig. 2).



Fig. 1. Key areas of Ediacaran fossils in the Avalon Zone of Newfoundland: B – Bonavista Peninsula, C – western Conception Bay area, M – Mistaken Point area

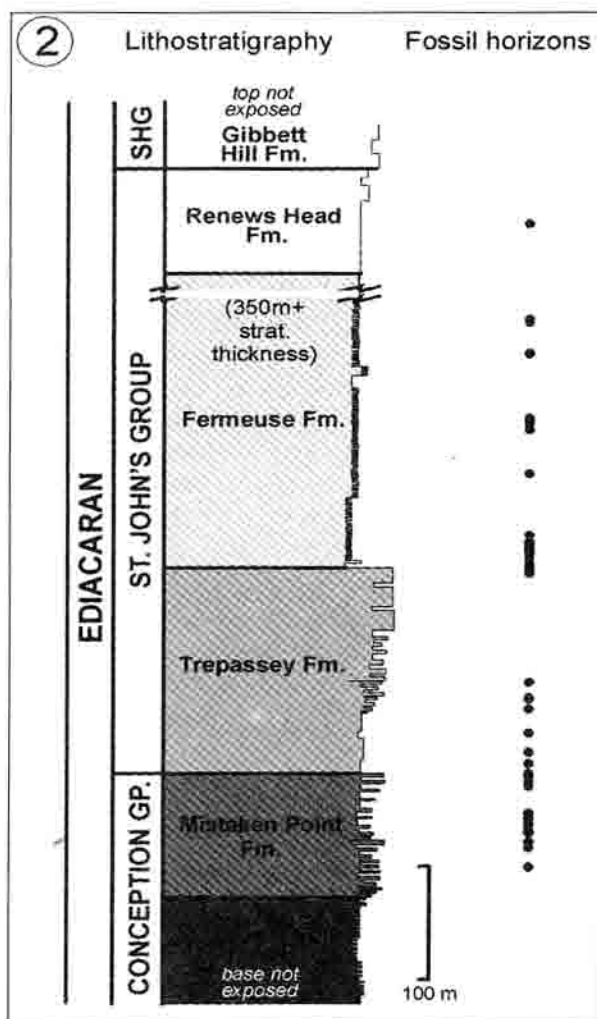


Fig. 2. Generalized stratigraphic section of study area on Bonavista Peninsula and fossil horizons. (SHG – Signal Hill Group.)

The Bonavista fossil assemblage includes *Aspidella*, *Bradgatia*, *Charnia* (3 species), *Charniodiscus* (3 species), *Fractofusus* (2 species), *Hiemalora*, *Ivesheadia*, and, possibly, *Blackbrookia*, demonstrating its close Avalonian and Charnian affinities. Other forms are referred to “strings”, “brush-like fossils”, and “ladder-like bodies”. In addition, there are large enigmatic *Aspidella*-like dubiofossils several decimetres across.

Some specimens of *Hiemalora* have attached stems and fronds, supporting earlier interpretations that the characteristic radial processes, often branching distally, are root-like structures rather than tentacles. Such specimens can attain decimetric size, with a central disc diameter of the order of 7.5 cm, and overall dimensions (including the processes) as much as 16 cm.

The stratigraphic ranges of certain genera on the Bonavista Peninsula are longer than previously reported from the Avalon Peninsula, with *Fractofusus* present in the Trepassey Formation, and *Bradgatia* and *Charniodiscus* extending as high as the Fermeuse Formation.

*Charnia* and *Charniodiscus* fronds in the area exhibit strong unimodal felling alignment in a northerly direction, with mean trends rotating clockwise up-

section from NNW in the Mistaken Point Formation, to NNE in the Trepassey Formation, and NE in the Fermeuse Formation.

The Bonavista fossil localities are clearly part of the same paleogeographic province in the Avalon Zone that includes the Ediacaran Mistaken Point and Fermeuse assemblages in southeastern Avalon Peninsula, and the more recently described intermediate occurrence in western Conception Bay.

### References

Hofmann H.J., O'Brien B.H., and King A.F. Ediacaran biota on Bonavista Peninsula, Newfoundland, Canada: *Journal of Paleontology* [In press]

O'Brien S.J., and King A.F., 2004, Ediacaran fossils from the Bonavista Peninsula (Avalon Zone), Newfoundland: preliminary descriptions and implications for regional correlation: Newfoundland Department of Mines and Energy – Geological Survey, Report 04-01, p. 203–212. [http://www.nr.gov.nl.ca/mines/en/geosurvey/publications/cr2004/obrien\\_king.pdf](http://www.nr.gov.nl.ca/mines/en/geosurvey/publications/cr2004/obrien_king.pdf)

O'Brien S.J., and King A.F., 2005, Late Neoproterozoic (Ediacaran) stratigraphy of Avalon Zone sedimentary rocks, Bonavista Peninsula, Newfoundland: Current Research, Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, Geological Report 05-1, p. 101–113. <http://www.nr.gov.nl.ca/mines/en/geosurvey/publications/cr2005/obrien.pdf>

## TRILOBOZOA AND COELENTERATA: PARALLELS IN EVOLUTION OF LIFE FORMS

A.Yu. Ivantsov

Paleontological Institute RAS, Moscow,  
email: ivancov@paleo.ru

The Ediacaran (Vendian) Period is traditionally regarded as the time of Coelenterate radiation because of reconstruction of “cyclic” and “pinnate” fossils as medusoids or pennatularians (Glaessner, 1984). Indeed, these forms dominate in the Ediacaran communities, and in some fossil localities only these forms are preserved. Radial symmetry, medusoid appearance of “cyclic” forms and pinnatularian appearance of the frond-like ones are the main evidence supporting such an interpretation, but it does not seem to be the necessary and sufficient criterion for Coelenterate grade. An absence of some characters casts doubts in the assignment of Ediacaran “polyps” and “jellyfishes” to Coelenterata: there are no signs of tentacles, neither mouth nor coelenteron. Recognition of new morphological features of the Vendian fossils previously interpreted as medusoid organisms has completely changed their reconstructions. Many of “cyclic” forms are now reinterpreted as attachment disks of organisms, whose relationships are not yet understood (Gehling et al., 2000).

Coelenterate organisms that can be directly compared to Phanerozoic members appear to have still been absent in the Vendian.

Ediacaran organisms are characterized by different kinds of radial symmetry including threefold organization, which is not typical of modern non-colonial Metazoa. All the Vendian and Early Cambrian organisms with triradial body plan were classified as Trilobozoa (Fedonkin, 1985). These fossil organisms can be attributed to four main life-forms: (1) sedentary frond-like organisms with basal anchoring bulb (triradial attachment disks); (2) sedentary hemispherical organisms (*Tribrachidium*, *Alburnares*, *Anfesta*); (3) ovoid planktonic organisms (*Ventogyrus* and some other Petalonamae); (4) sedentary forms with tubular conic exoskeleton (*Vendoconularia* and some *Angustiochorda*). We could expect medusae-like planktonic Trilobozoa to be found. Thus, trilobozoan living-forms appear to have been simulated the living-forms of coelenterates (including ctenophores).

Being the closest relatives of the Vendian bilaterians, true Cnidaria are to be expected not early than Cambrian that is consistent with the data on comparative anatomy, embryology and molecular biology; namely metameric organisms with alternating left and right segments might be considered among possible ancestors of Cnidaria (Malakhov, 2004). Ovoid pelagic metameric trilobozoans, which developed a gastral cavity, settled on the sea bottom and could become the ancestral forms of metameric organisms mentioned above. This assumption can be the explanation for obvious parallelism between the life forms of Trilobozoa and Coelenterata: evolutionary trends in both Palaeozoic Coelenterata and their Precambrian ancestors might be uniform.

The work is supported by the Russian Foundation of Basic Research, project 05-05-64825, President

Grant of the NSh-28899.2006.5 and the Program 18 P of Presidium of RAS "The Origin and Evolution of the Biosphere".

### References

Fedonkin M.A., 1985. Systematic description of the Vendian Metazoa. In: Sokolov B.S., Iwanowski A.B. (Eds.), Vendian System: Historical Geological and Palaeontological Substantiation, V. 1. Nauka, Moscow, pp. 70–112 [in Russian].

Gehling J.G., Narbonne G.M., Anderson M.M. The first named Ediacaran body fossil, *Aspidella terranovica* // Palaeontology, 2000. V. 43. Pt 3. P. 427–456.

Glaessner M.F., 1984. The dawn of animal life: A biohistorical study. Cambridge University Press, Cambridge, 224 pp.

Malakhov V.V. New views on the origin of Bilateria. Biologiya Morya, Vladivostok, 2004. Vol. 30. N. 5. P. 79–90 [in Russian].

## ONTOGENETIC VARIABILITY IN THE LATE VENDIAN PROBLEMATICS *PARVANCORINA* GLAESSNER, 1958

A.Yu. Ivantsov & E.B. Naimark

Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia,

e-mail: naimark@paleo.ru

*Parvancorina* is a bilateral Precambrian animal originally described from the Ediacaran sediments of Australia. Morphology of the casts of the dorsal shield of *Parvancorina* is relatively simple: the most distinctive structures are the elevated margin and the central anchor-shaped structure. Overall, the dorsal shield gives little information about the constitution of the animal. The reconstruction of phylogenetic relationships of *Parvancorina* remains elusive, although the arthropod nature of *Parvancorina* is generally accepted as the most plausible. In the absence of distinct morphological characteristics of extant animal phyla and classes, data on the ontogeny and growth parameters is of great importance. It is believed that the Australian species *Parvancorina minchami* Gleassner, 1958 were growing isometrically and had no metamorphosis (Glaessner, 1979). Among the arthropods, isometric growth without metamorphosis is typical for some chelicerates and arachnomorphs.

In 2000–2006 a large collection of *Parvancorina* was collected in the Late Vendian deposits of the White Sea region. This material contains two species: *P. minchami* Gleassner, 1958 and *P. sagitta* Ivantsov, 2004. These two species differ, among other things, in the length/width ratio of the shield. The material from the White Sea provides an opportunity to examine a wider range of growth parameters and clarify the ontogeny of *Parvancorina*.

We examined 490 individual specimens of *Parvancorina* from the Late Vendian deposits of Southeast White Sea. They were collected in several locations. Stratigraphic range of this locations include Lyamtsa, Verkhovka, Zimnie Gory and Erga formations (stratigraphic subdivisions by D.V. Grazhdankin (2003)). All specimens in each sample were collected strictly from one surface of a layer, so animals in each sample can be considered more or less synchronous.

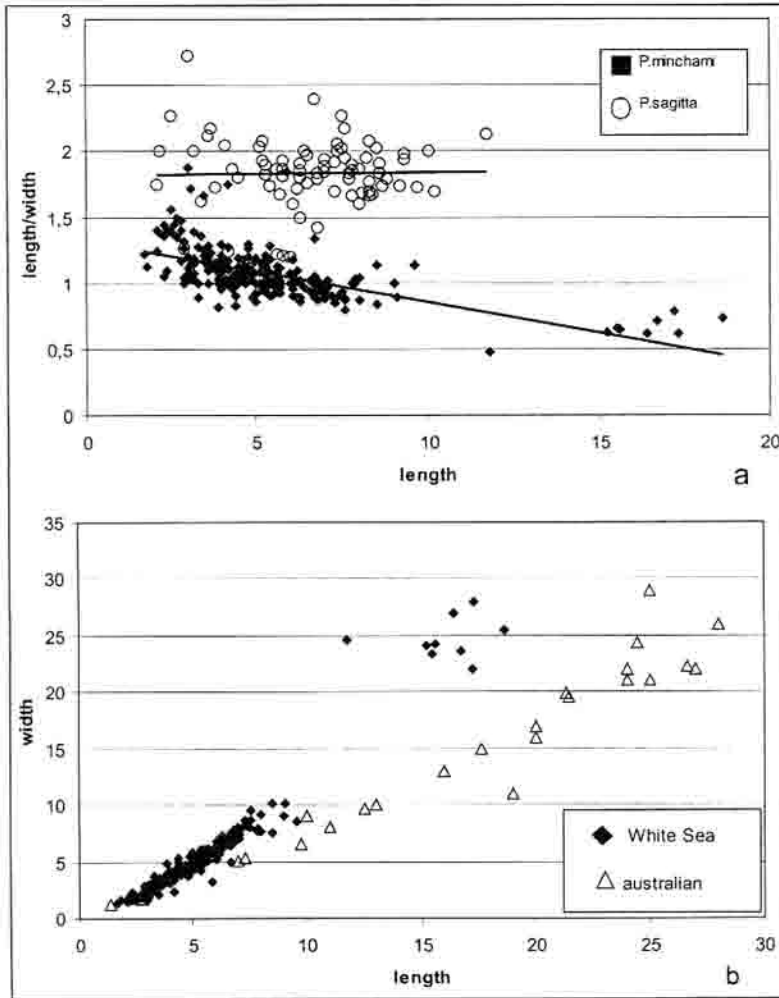
Length of *P. minchami* from the White sea varies from 1.8 to 18.6 mm, width from 1.6 to 25.5 mm. The majority of specimens (96%) in all samples irrespective of facial identity are small. The representation of age ranges is associated with the location and taphonomic characteristics and does not reflect biological or ecological features of *Parvancorina* populations.

Specimens of *P. sagitta* are from 2.2 to 11.7 mm long and from 1.1 to 5.5 mm wide. Larger specimens were not found. In *P. minchami* from the White sea, the shield was growing faster in width than in length, while in *P. sagitta* length and width increased evenly (fig. 1, a).

The most distinct age-related changes in shield pattern can be seen in *P. sagitta* (pl. 1, fig. 1–4). In the smallest specimens, the future anchor looks like an undivided bulge; its lateral lobes start to separate later, eventually forming typical anchor-like structure. In *P. minchami*, the smallest specimens already have lat-

eral lobes separated from the central part, although the former are very short, and the latter is long and broad. The lateral lobes in *P. minchami* become longer in the

course of growth, while the central part of the anchor becomes narrower and shorter. Extension of the lateral parts is associated with expansion of the whole plate.



**Fig. 1.** Growth of *Parvancorina minchami* Glaessner, 1958 and *P. sagitta* Ivanstov, 2004: **a** – Changes in length/width ratio in the course of plate growth in *Parvancorina minchami* and *P. sagitta* from the White sea. In *P. minchami* the growth is nonisometric; **b** – the growth of Australian (measurements based on photographs from Glaessner, 1958, 1979, 1980, Lin *et al.*, 2006) and White sea populations of *Parvancorina minchami*

**Рис. 1.** Рост *Parvancorina minchami* Glaessner, 1958 и *P. sagitta* Ivanstov, 2004: **a** – изменение отношения длина:ширина по мере роста щитка у беломорских *Parvancorina minchami* и *P. sagitta*. У *P. minchami* рост неизометричный; **b** – параметры роста австралийской (измерения по фотографиям Glaessner, 1958, 1979, 1980, Lin *et al.*, 2006) и беломорской популяций *Parvancorina minchami*

The data permit a comparison of growth patterns in Australian and White Sea parvancorinas (Figure 1, b). The Australian parvancorinas are characterized by isometric growth (Glaessner, 1979, 1980; Gehling, 1999). The White Sea population of *P. minchami* is characterized by allometric growth, plate width growing faster than its length. *P. sagitta* was growing isometrically, but their dorsal plate is noticeably narrower than in Australian parvancorinas. We presume that the parameters of growth in Australian parvancorinas may be substantially more variable than it is shown in the published papers. This is well illustrated by images of ediacaran fauna from Flinders (Gehling, 2005)

Three main arguments in favor of arthropod kinship of parvancorinas are currently discussed. First, the oblique striation on the lateral surfaces of the shield may

may represent the vestiges of legs. Secondly, the anchor-shaped structure and the elevated margin are the same as similar structures in the Early Cambrian arthropods *Scania* and *Primicaris*. The third feature is isometric growth without metamorphosis, which characterises some chelicerates and, formerly, arachnomorphs. Our results provide an opportunity to apply some corrections to the latter two “arthropod” evidences. First, the anchor-like structure in parvancorinas is formed during the development, while in *Primicaris* it is present at all growth stages studied (Zhang *et al.*, 2003). Secondly, the growth of parvancorinas can be allometric, as exemplified by *P. minchami* from the White Sea.

The similarity of growth patterns in parvancorinas and early arthropods (Lin *et al.* 2006) appears to be

misleading. Additional sampling of *P. minchami* from the White Sea demonstrated growth variability well out of the range described for Australian parvancorinas and early arthropod species from China (fig. 2).

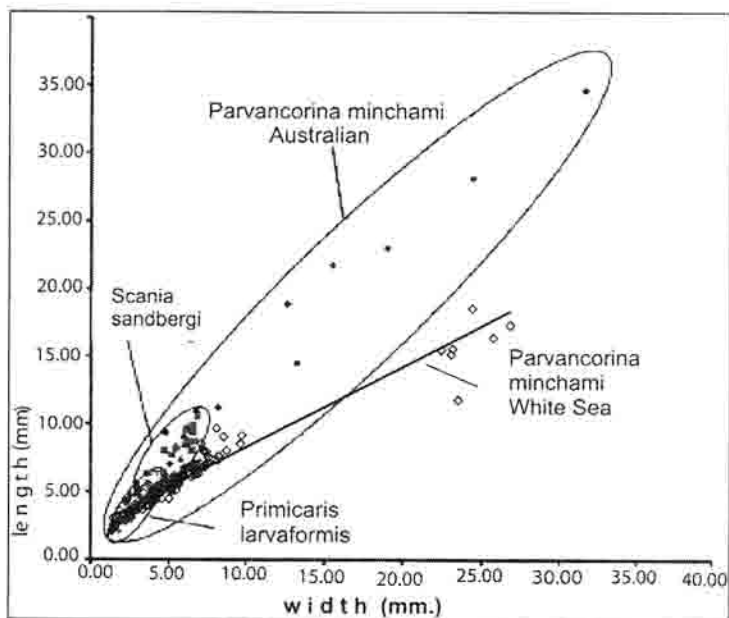
Thus, the evidence for close relationship between parvancorinas and arthropods remain scarce and rely purely on the adult morphology. Age-related changes observed in parvancorinas, especially in their central

anchor-shaped structure, vary within the genus and can not be considered as strong evidence in favour of the "arthropod" hypothesis.

The work is supported by the Russian Foundation of Basic Research, project 05-05-64825, President Grant of the NSh-28899.2006.5 and the Program 18 P of Presidium of RAS "The Origin and Evolution of the Biosphere".

**Fig. 2.** Growth of dorsal shields in *Scania sandbergi* from Kaili location (China), *Primicaris larvaeformis* from Chengjiang (China), *Parvancorina minchami* from Ediacara, and *Parvancorina minchami* from the White Sea. From Lin *et al.*, 2006, with addition of data on the White Sea populations

**Рис. 2.** Рост спинных панцирей в длину и ширину у *Scania sandbergi* из местонахождения Кайли, *Primicaris larvaeformis* (Китай) из местонахождения Чендзян (Китай), *Parvancorina minchami* из местонахождения Эдиакара и *Parvancorina minchami* из беломорских местонахождений. Рисунок из Lin *et al.*, 2006 с добавлением данных по беломорским популяциям



## ВОЗРАСТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЗДНЕВЕНДСКИХ ПРОБЛЕМАТИК *PARVANCORINA* GLAESSNER, 1958

А.Ю. Иваццов, Е.Б. Наймарк

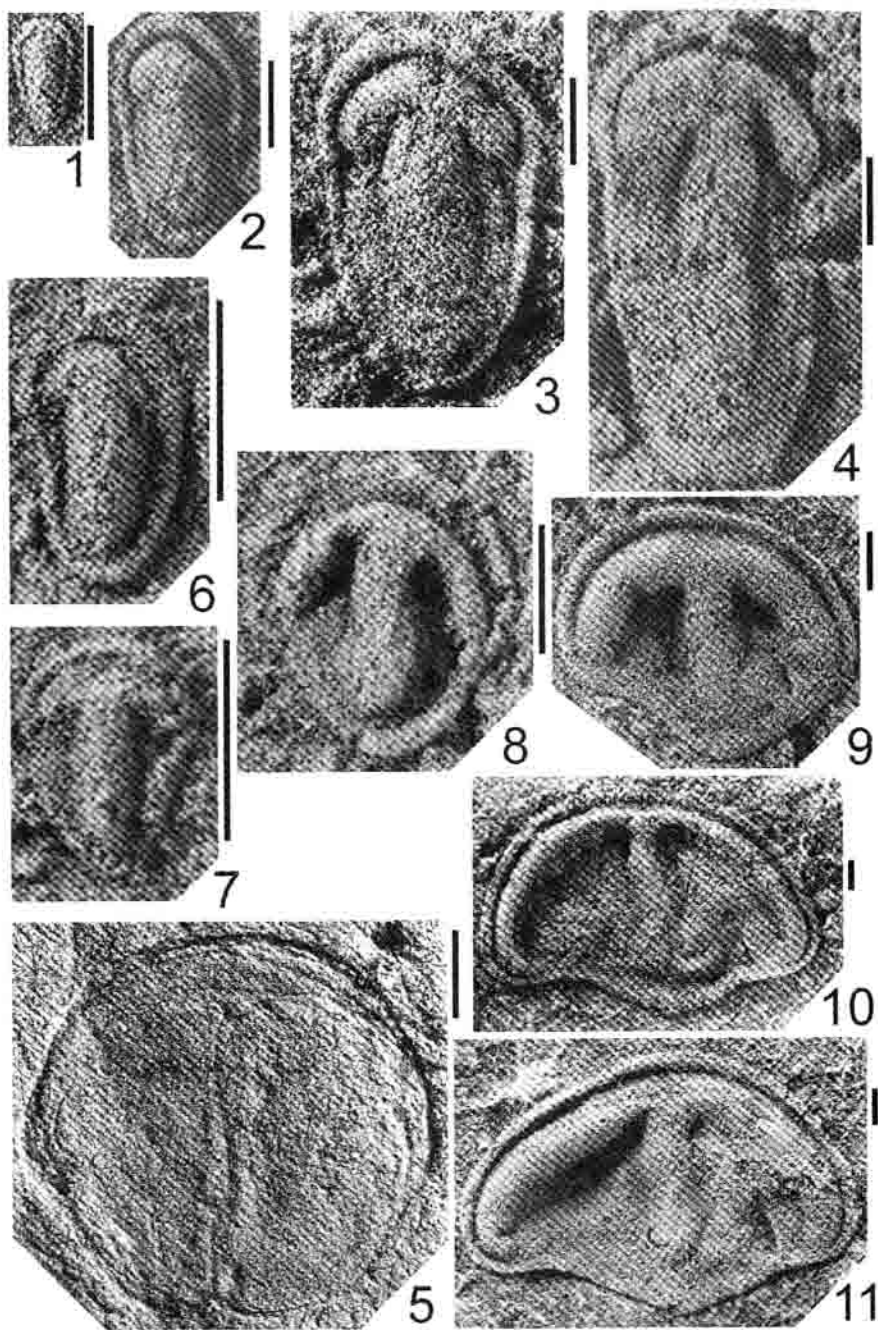
Палеонтологический институт РАН, Москва;  
e-mail: naimark@paleo.ru

*Parvancorina* – докембрийские билатеральные животные, впервые описанные из эдиакарских отложений Австралии. Морфология отпечатков спинного щитка *Parvancorina* относительно проста: наиболее отчетливой структурой являются приподнятый над краем бортик и центральная якоревидная структура. В целом спинной щиток дает мало бесспорной информации о строении этих существ. Поэтому реконструкция филогенетических связей *Parvancorina* остается дискуссионной. Наиболее обоснованным признается принадлежность парванкорин к членистоногим. При отсутствии отчетливых морфологических признаков современных типов и классов животных большое значение приобретают данные по онтогенезу и параметрам роста. Считает-

ся, что австралийские парванкорины (*Parvancorina minchami* Glaessner, 1958) развивались без метаморфоза и росли изометрично (Glaessner, 1979). У арthropод равномерный рост без метаморфоза характерен для некоторых хелицеровых и трилобитов.

В 2000–2006 годах была собрана представительная коллекция парванкорин из отложений позднего венда Белого моря. Беломорский материал включает два вида парванкорин: *P. minchami* Glaessner, 1958 и *P. sagitta* Ivantsov, 2004. Эти два вида отличаются помимо прочего и размерными соотношениями длины и ширины щитков. Поэтому беломорский материал дает возможность изучить более широкий спектр параметров роста парванкорин и уточнить ход их онтогенеза.





**Plate I.** Age-related changes in *Parvancorina* from the White Sea (5 – natural cast, others – latex casts, scale 2 mm): 1–4 – *P. sagitta* Ivanstov, 2004, Solza location, local assemblage SL1 (VII): 1 – specimen PIN No.4853/91, 2 – specimen PIN No.4853/101, 3 – specimen PIN No.4853/93, 4 – specimen PIN No.4853/92; 5 – *Parvancorina* sp., Lyamtsa location, local assemblage L2 (XII), specimen PIN No.4716/5010; 6–11 – *Parvancorina minchami* Glaessner, 1958, Zimnegorskoe location, local assemblage Z11 (XXII): 6 – specimen PIN No.3993/6156, 7 – specimen PIN No.3993/6214, 8 – specimen PIN No.3993/6298, 9 – specimen PIN No.3993/6382, 10 – specimen PIN No.3993/6290, 11 – specimen PIN No.3993/6215

**Табл. I.** Возрастные изменения *Parvancorina* из отложений Белого моря (5 – натуральный отпечаток, все остальные – латексные слепки, линейка 2 мм): 1–4 – *P. sagitta* Ivanstov, 2004, местонахождение Солза, локальное скопление SL1(VII): 1 – экз. ПИН, №4853/91, 2 – экз. ПИН, №4853/101, 3 – экз. ПИН, №4853/93, 4 – экз. ПИН, №4853/92; 5 – *Parvancorina* sp., местонахождение Лямца, локальное скопление L2(XII), экз. ПИН, №4716/5010; 6–11 – *Parvancorina minchami* Glaessner, 1958, местонахождение Зимнегорское, локальное скопление Z11(XXII): 6 – экз. ПИН, №3993/6156, 7 – экз. ПИН, №3993/6214, 8 – экз. ПИН, № 3993/6298, 9 – экз. ПИН, №3993/6382, 10 – экз. ПИН, №3993/6290, 11 – экз. ПИН, №3993/6215

Материалом послужила коллекция из 490 экземпляров *Parvancorina* из поздневендских отложениях Юго-восточного Беломорья. Они были собраны в нескольких местонахождениях, стратиграфический интервал которых охватывает лямийскую, верховскую, зимнегорскую и ергинскую свиты схемы Д.В. Гражданкина (2003). Все экземпляры из каждой выборки были собраны строго с одной поверхности напластования, так что животных в каждой выборке можно считать более или менее синхронными.

Диапазон размеров беломорских *P. minchami* – длина от 1,8 до 18,6 мм, а ширина от 1,6 до 25,5 мм. Наибольшее число экземпляров (96%) во всех выборках безотносительно к фациальной принадлежности относится к мелкому размерному классу. Представленность возрастного ряда в разрезах связана с тафономическими характеристиками местонахождения и не отражает биологических и экологических характеристик популяций парванкорин.

Размерный диапазон *P. sagitta* длина от 2,2 до 11,7 мм, ширина от 5,5 до 1,1 мм, т.е. крупных экземпляров найдено не было. У беломорских *P. minchami* щиток растет в ширину быстрее, чем в длину, а у *P. sagitta* длина и ширина увеличиваются равномерно (рис. 1, а).

Возрастные преобразования щитков у *P. sagitta* прослеживаются наиболее четко (табл. 1, 1–4). У самых мелких экземпляров будущий якорек имеет форму нерассеченной овальной выпуклости, и только потом начинается обособление боковых частей и оформляется якорек обычного вида. У *P. minchami* у самых мелких экземпляров уже видно разделение на центральную и боковые части, хотя боковые части очень короткие, а центральная часть длинная и широкая. По мере роста у *P. minchami* удлиняются боковые лопасти, а центральная часть якорька становится относительно уже и короче. Удлинение боковых частей способствует расширению всего щитка.

Имеющиеся данные позволяют сопоставить рост беломорских и австралийских парванкорин (рис. 1, б). Для австралийских парванкорин характерен изометричный рост (Glaessner, 1979, 1980; Gehling, 1999). Для беломорской популяции *P. minchami* характерен неизометричный рост с преимущественным расширением щитка. Изометричный рост свойственен *P. sagitta*, но у них спинной щиток заметно уже, чем у австралийских парванкорин. Тут необходимо заметить, что и у австралийских парванкорин изменчивость показателей роста может быть существенно больше, чем это показано в опубликованных исследованиях. Это хорошо видно по изображениям, демонстрирующим эдиакарскую фауну из хр. Флиндерс (Gehling, 2005).

В настоящее время обсуждается три основных довода в пользу артроподного родства парванкорин. Во-первых, отпечатки косых насечек на боковых поверхностях щитка, которые могут быть следами ножек. Во-вторых, якоревидная структура и приподнятый бортик. Помимо *Parvancorina* подобные структуры характерны для раннекембрийских членистоногих *Scania* и *Primicaris*. В-третьих, рост парванкорин – изометричный и без метаморфоза. Так растут некоторых хелицеровые и в прошлом арахноморфы. Результаты изучения беломорских парванкорин позволяют внести некоторые коррективы к двум последним «артроподным» свидетельствам. Во-первых, якорек у парванкорин появляется и формируется только в ходе роста. А у *Primicaris* якоревидная структура неизменна на всем протяжении изученного развития (Zhang *et al.*, 2003). Во-вторых, рост парванкорин, как это видно у беломорской *P. minchami* может быть и неизометричным.

Сходство параметров роста у парванкорин и ранних членистоногих (Lin *et al.*, 2006) оказалось обманчивым. Дополнительная выборка по беломорской *P. minchami*, очевидно, находится вне области изменчивости индивидуального роста австралийских парванкорин и китайских видов ранних членистоногих (рис. 2).

Таким образом, аргументы в пользу близости парванкорин к артроподам остаются по-прежнему скудными и лежат в области морфологии. Возрастные изменения парванкорин, в том числе и их центральной якоревидной структуры, варьируют в пределах рода и не могут надежно свидетельствовать в пользу артроподной гипотезы.

Работа проводилась при финансовой поддержке программы Президента РФ «Научные школы Российской Федерации» (проект НШ-2899.2006.5), РФФИ (проект 05-05-64825) и Программы 18-II Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы».

### Литература

- Gehling J.G. Microbial mats in terminal Proterozoic siliciclastics: Ediacaran death masks // *Palaios*, 1999. Vol. 14. P. 40–57.
- Gehling J.G. Field guide to the Ediacaran – Cambrian of the Flinders Ranges, South Australia. IGCP-493. South Australia Mus.: 2005. 70 p.
- Glaessner M.F. Precambrian. (In: eds. Robison R.A., Teichert C. Treatise on invertebrate paleontology. Part A: Introduction). 1979. Boulder and Lawrence: Geological Society of America and University of Kansas. P. 79–118.
- Glaessner M.F. Parvancorina-an arthropod from the Late Precambrian of South Australia // *Annals Natural Museum Wien*, 1980. Vol. 83. P. 83–90.
- Grazhdankin D.V. Structure and Depositional Environment of the Vendian complex in the Southeastern White Sea Area // *Stratigraphy and Geological Correlation*. Vol. 11. No. 4. 2003. 313–331.

Lin Jih-Pai, Samuel M. Gon III, Gehling J.G., Babcock L.E., Zhao Yuan-Long, Zhang Xing-Liang, Hu Shi-Xue, Yuan Jin-Liang, Yu Mei-Yi, Peng Jin. A Parvancorina-like arthropod from the Cambrian of South China // *Historical Biology*, 2006. V. 18. № 1. P. 33–45.

Zhang X.L., Han J., Zhang Z.F., Liu H.Q., Shu D.G. Reconsideration of the supposed naraoiid larva from the Early Cambrian Chengjiang Lagerstätte, South China // *Palaentology*, 2003. V. 46. № 3. P. 447–465.

## PALAEONTOLOGY OF THE BOOLEY BAY FORMATION, CO. WEXFORD, IRELAND: IMPLICATIONS FOR THE FALL OF THE EDIACARAN BIOTA

B.A. MacGabhann, J. Murray, P.D. Ryan & C. Nicholas

<sup>1</sup> Department of Earth and Ocean Sciences, National University of Ireland, Galway, Ireland, email: b.macgabhann1@nuigalway.ie;

<sup>2</sup> Department of Geology, Trinity College, University of Dublin, Ireland.

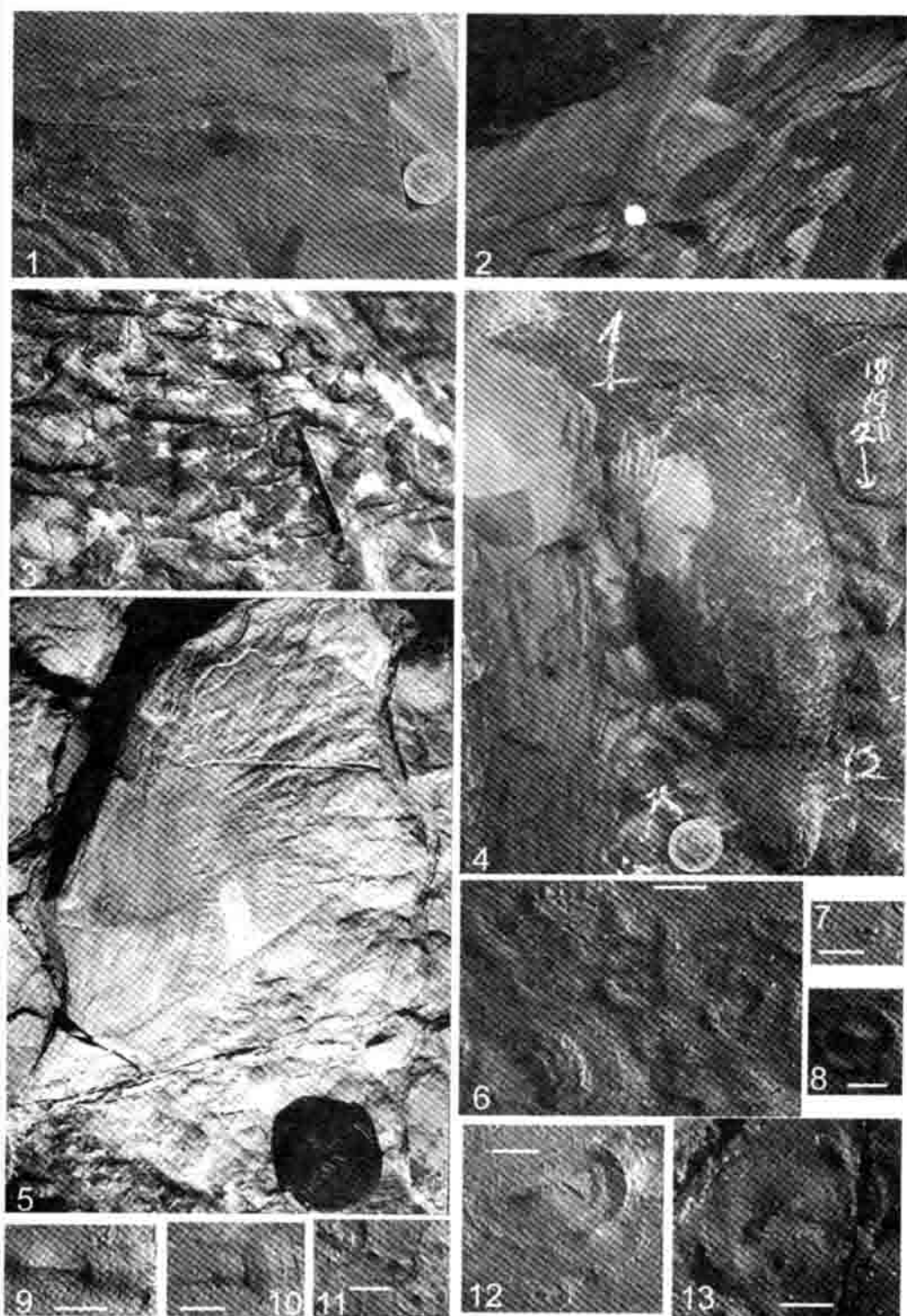
The demise of the Ediacaran biota has proved to an extremely complex problem for Precambrian palaeontologists, inextricably linked as it is to the various competing theories on the nature or the organisms, animal or otherwise. Originally assumed to be simply ancestral members of modern animal groups (e.g. Sprigg 1947), Seilacher (1984) controversially proposed that these instead represented a distinct Kingdom, separated from later animals by a mass extinction at the start of the Phanerozoic. However, the report of two common discoidal Ediacaran genera, *Ediacaria* and *Nimbia*, from the Booley Bay Formation, Co. Wexford, Ireland (Crimes *et al.*, 1995) apparently provided compelling evidence against a terminal Precambrian mass extinction. Described as occurring in Upper Cambrian deep-marine turbiditic sediments, the specimens apparently extended the range of the Ediacaran Biota far beyond the end of the Precambrian (Crimes *et al.*, 1995), seemingly corroborating earlier reports of potential Middle Cambrian-aged Ediacaran remains preserved in a different taphonomic style (Conway Morris, 1993). However, the original report left several unanswered questions, particularly with regard to taphonomy. Due to the significance of the site, both the structures and their sedimentological context have been re-examined.

The Booley Bay Formation sediments consist of thinly to medium-bedded fine-grained siliciclastic sandstones and siltstones interbedded with grey mudstones, with occasional metre scale black shale units. Sedimentary structures are commonly observed in the siltstones, both on the soles of overturned beds, and in profile where the exposure is predominantly orthogonal to bedding. Occurrence of wrinkle marks, similar to structures interpreted as due to the presence of microbial mats at other locations (Hagadorn & Bottjer, 1997), suggest that the Booley Bay substrates were microbially bound. This is consistent with the occurrence of small pre-depositional burrows filled with

later sediment (Burke & Orr 2004, 2005). Cross-lamination is common, indicating a unidirectional palaeocurrent flowing to the west (present co-ordinates), and corroborated by tool marks on the soles of some beds (plate I, fig. 1).

However, two additional sets of structures sub-parallel to this direction are more complex in nature. The first, contained within generally parallel-laminated poorly sorted beds, are substantial rolled-up fragments of well-sorted silt-grade sediment (plate I, fig. 2). These beds are perhaps best interpreted as debris or slurry flows, with the direction of flow orthogonal to that of the well-sorted siltstone units. The second, a suite of sole structures previously interpreted as flute casts (plate I fig. 3), are demonstrably not erosional structures but are in fact better interpreted as soft-sediment deformation due to down-slope creep of microbially-bound soft-sediment. Importantly, this implies that the sediments were deposited on a slope, and that the palaeocurrent flowed primarily in an along-slope, not down-slope, direction. This is consistent with the occurrence of metre-scale pull-apart structures, and metre scale syn-sedimentary folding concentrated around thick mudstone units, interpreted to be a product of large-scale slumping. Additionally, vertical sequences within the sediments do not correspond confidently to complete or partial turbidite sequence models, but more closely resemble idealised contourite sequences (e.g. Stow & Lovell, 1979; Stow & Mayall, 2000). However, contour currents generally carry only sediment supplied by down-slope sediment processes, suggesting that a turbidite influence is likely. The Booley Bay sediments thus appear to have been deposited on a microbially-bound slope by a combination of contour currents, turbidity currents, debris flows, and hemipelagic sedimentation.

The fossils assigned to *Ediacaria* were placed in a new species, *E. booleyi*. Two distinct surfaces were described; a dorsal surface consisting of an inner flat



**Fig. 1.** Tool marks on a bed sole: note chevrons on the example at bottom right. □ 1 coin for scale; Fig. 2. Rolled-up fragments of well sorted sediment contained within a poorly sorted bed. □ 1 coin for scale. Pen for scale; Fig. 3. Structures previously (incorrectly) interpreted as flute casts. Fig. 4. Examples of specimens previously (incorrectly) assigned to *Ediacaria*. □ 1 coin for scale. Fig. 5. Large swing mark on a siltstone bed sole – evidence that large stalked organisms lived on the Booley Bay substrates. Camera lens cap for scale. Fig. 6–13. Examples of structures previously assigned to *Nimbia occlusa*, but better interpreted as small swing marks produced by stalked tethered organisms living on the Booley Bay substrates. Note overlapping specimens in 6, 11, 12, 13; and specimens indicating rotation in a conical fashion close to the sediment-water interface in 9, 10, 12, 13. All scale bars 1 mm

disc, a steeply sloped middle area, and an outer flat zone; and a generally flat ventral surface with a central depression. A range of concentric and radial ornamentation was described on both surfaces. These were interpreted as medusoids, transported within a turbidity current, and impacted into a muddy seafloor to form a mould, allowing coarser sediment to cast this on decay of the organisms (Crimes *et al.*, 1995).

Our re-examination of the site has included the examination of over two hundred specimens, a vast increase on the 27 noted by the original authors (Crimes *et al.*, 1995). None of the specimens correspond to the original description (MacGabhann *et al.*, 2007). Instead, all are partial discs preserved in positive hyporelief on the soles of siltstone beds, and exhibiting a concentric-ornamented area often surrounded by a flared margin (plate I, fig. 4). They cannot be assigned to *Ediacaria*, and indeed show very little resemblance to any constituent of the Ediacaran Biota.

Specimens containing primary depositional structures (parallel and cross-lamination) within the casts confirm that at least some of the moulds were empty voids in the muddy seafloor when deposition of the casting sediment occurred. This firmly rules out the original taphonomic model, instead suggesting the organisms to have been benthic and preserved *in situ*, or with the organisms removed from their anchorage on the seafloor prior to burial. Preservation was likely to have been by moulding of the lower surfaces, and was facilitated by entrainment within microbially bound sediment creeping down-slope. Statistical analysis of measured data for 210 specimens (MacGabhann *et al.*, 2007) appears to support this, showing the size distribution of the fossils to be consistent with mass-mortality of a typical population of benthic organisms preserved *in situ*. Further, statistical analysis of the orientation of the fossils indicates a strong palaeocurrent influence, suggesting perhaps alignment of the fossils due to current-deflection. It is thus likely the organisms had appreciable upper soft-parts which are not preserved, on which the current could exert a force. This interpretation may be supported by tool marks in the sediments (plate I, fig. 1), which are indicative of the presence of large organic fragments carried by the current – perhaps examples of the organisms which had been removed by the current and dragged across the seafloor (Haines, 1997). Additionally, large sets of concentric ridges on fossil beds (plate I, fig. 5) are interpreted as swing marks (scratch marks in the sediment produced by current-driven rotation of benthic organisms), attesting to the presence of tethered stalked forms. An interesting interpretation of the fossils may be that these represent holdfasts of benthic, stalked, filter-feeding organisms supplied with food by contour currents.

The structures assigned to *Nimbia* were described as small disc-like bodies with one or more concentric rings

and a central tubercle, and were placed in the existing species *N. occlusa*. These were subsequently re-examined briefly by Jensen *et al.* (2002), who reinterpreted them as swing marks. Our re-examination of these has confirmed this interpretation, and has elucidated more details about the producers of these traces. A new process involving Image Analysis of digital photographs combined with statistical analysis of the resulting data collected was developed to produce high-resolution morphometric and palaeoecological information. This has indicated that the organisms lived in definable clusters on the seafloor, and confirmed the traces to be aligned with the palaeocurrent, corroborating the swing mark interpretation. The morphology of the traces is seen to be highly variable (plate I, fig. 6–13), with between one and eight rings present; additionally whilst most specimens produced near-circular rings in a broad area surrounding the point of attachment (plate I, figs. 6–8, 11–13), a subset instead produced near-conical structures with highly-inclined rings by rotation in a narrow fashion around a central axis sub-parallel to the palaeocurrent direction (plate I, figs. 9–10). However, all specimens are consistent with production by stalked, branched organisms of millimetre to centimetre height. The undoubted presence of such organisms indicated by the swing marks is thus entirely consistent with the similar interpretation for the larger discs previously described as *E. booleyi*, in that it confirms that the environment was suitable to sustaining such organisms.

Neither of the described fossils from the Booley Bay Formation thus provide any evidence that any member of the Ediacaran biota survived beyond the Precambrian-Cambrian boundary. However, the presence of stalked tethered organisms living on a microbially-bound substrate and supplied with food by contour currents is very similar in terms of ecology to Ediacaran rather than Phanerozoic environments (e.g. Ichnas *et al.*, 2007; Wood *et al.*, 2003). This raises the possibility that although Ediacaran organisms may have disappeared at the end of the Precambrian, the ecological structure of deep marine environments, prior to their colonisation by typical Phanerozoic organisms, may have remained similar to that of the terminal Precambrian.

## References

- Burke S. and Orr P.J. (2004). The evolution of ecospace utilisation in deeper marine Cambrian environments of South East Ireland. *Irish Journal of Earth Sciences*, 22, 57.
- Burke S. and Orr P.J. (2005). Microbially bound substrates in Upper Cambrian deep marine settings. *Paleobios*, 25, 26.
- Conway Morris S. (1993). Ediacaran-Like Fossils in Cambrian Burgess Shale-Type Faunas of North-America. *Palaeontology*, 36, 593–635.
- Crimes T.P., Insole A. and Williams B.P.J. (1995). A Rigid-Bodied Ediacaran Biota from Upper Cambrian Strata in Co Wexford, Eire. *Geological Journal*, 30, 89–109.

Hagadorn J.W. and Bottjer D.J. (1997). Wrinkle structures: microbially mediated sedimentary structures common in subtidal siliciclastic settings at the Proterozoic-Phanerozoic transition. *Geology*, 25, 1047–1050.

Haines P.W. (1997). Tool marks from ca. 1750 Ma, northern Australia: Evidence for large drifting algal filaments? *Geology*, 25, 235–238.

Ichaso A.A., Dalrymple R.W. and Narbonne G.M. (2007). Paleoenvironmental and basin analysis of the late Neoproterozoic (Ediacaran) upper Conception and St. John's groups, west Conception Bay, Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 44, 25–41.

Jensen S., Gehling J.G., Droser M.L. and Grant S.W.F. (2002). A scratch circle origin for the medusoid fossil *Kullingia. lethata*. *35*, 291–299.

MacGabhann B.A., Murray J. and Nicholas C. (2007). *Ediacaria booleyi* – weeded from the "Garden of Ediacara"? In: Vickers-Rich, P. and Komarow, P. (eds) *The Rise and Fall of*

*the Ediacaran Biota*. Geological Society of London, Special Publications, 286: 277–295.

Seilacher A. (1984). Late Precambrian and Early Cambrian metazoa: Preservational or real extinctions? Holland H. D. & Trendall A. F. *Patterns of change in Earth evolution*: 159–168.

Sprigg R.C. (1947). Early Cambrian (?) jellyfishes from the Flinders Ranges, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 71, 212–224.

Stow D.A.V. and Lovell J.P.B. (1979). Contourites: their recognition in modern and ancient sediments. *Earth-Science Reviews*, 14, 251–291.

Stow D.A.V. and Mayall M. (2000). Deep-water sedimentary systems: New models for the 21st century. *Marine and Petroleum Geology*, 17, 125–135.

Wood D.A., Dalrymple R.W., Narbonne G.M., Gehling J.G. and Clapham M.E. (2003). Paleoenvironmental analysis of the late Neoproterozoic Mistaken Point and Trepassy formations, southeastern Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40, 1375–1391.

## PROBLEMS OF IDENTIFICATION OF THE VENDIAN ECHINODERMS

S.V. Rozhnov and A.Yu. Ivantsov

Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia,

email: rozhnov@paleo.ru

The Vendian beds yielded several radially symmetrical skeletonless forms that are tentatively assigned to echinoderms based on certain similarity to Edrioasteroidea. They are similar in the flattened rounded shape of the body and three or five grooves, which radially deviate from the center. In 2005, A.Yu. Ivantsov found new radially symmetrical imprints of animals resembling Edrioasteroidea, but distinguished from both *Tribrachidium* and *Arcarua* in the Zimnii Bereg (Winter Coast) locality of the White Sea (Rozhnov & Ivantsov, 2006). Prior to the assignment of these specimens to echinoderms, one should analyze characters that must have been present in skeletonless animals belonging to echinoderms. These characters should be derived from the concepts of evolutionary morphology, embryology, and paleontology on skeletal organisms.

All extant phyla of multicellular animals appeared within a very short time interval from the end of the Vendian to the beginning of the Cambrian (Rozhnov, 2001; Valentine, 2005), which lasted for about 20 m.y. (Convey Morris, 2000). The first skeletal remains of echinoderms are known from the Atdabanian Stage of the Lower Cambrian of Siberia, Mongolia, and North America. These are taxa with pentaradial symmetry in the position of food-gathering grooves (Edrioasteroidea and Eocrinolepta), spindle-shaped taxa with three ambulacra (Helicoplacoidea), and bilaterally asymmetric Carpoidea (Soluta, Cornuta). These animals are assigned to echinoderms based on the presence of any of

three characters of extant representatives of the phylum, i.e., the ambulacral system, pentaradial symmetry, and calcitic skeleton of plates with a special stereome structure. For the identification of skeletonless echinoderms, the presence of the ambulacral system and its developmental features are of particular importance. The pentaradial body symmetry of living echinoderms is induced in ontogeny by the ambulacral system. This reflects the evolution of morphogenesis of the pentamerism, since in the earliest echinoderms it initially embraced only the ambulacral system; later, it expanded onto many other structures, including the skeleton. Therefore, the recognition of the earliest skeletonless echinoderms and their ancestors is primarily based on the search for traces of the ambulacral system and inferences concerning the extent to which it is developed. The ambulacral system of echinoderms is marked on the body surface by the food-gathering grooves (the radial ambulacral canal extends under their bottom) and madreporite, which connects the cavity of the ambulacral system with environment through the stone canal. Therefore, the ambulacral system may be represented in imprints by grooves deviating from the mouth opening. The hydropore or madreporite are not necessarily seen in imprints because of small pore size. In historical development, the ambulacral system appeared not earlier than the formation of a through intestine, which is marked in fossil prints by the mouth and anus. The mouth opening and anus would have

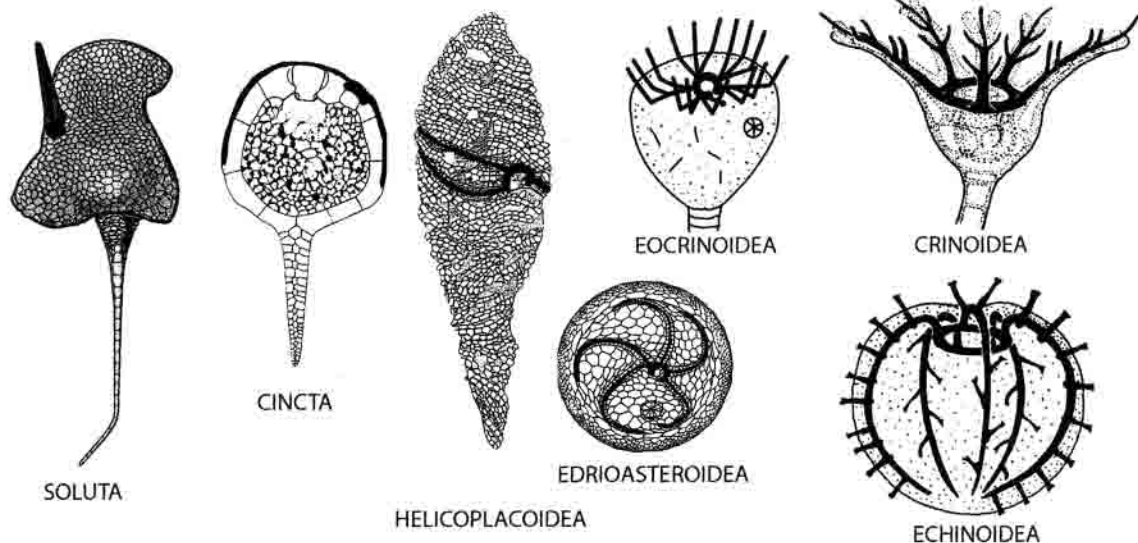
been well-pronounced in some specimens, as they were probably preserved in imprints to at least the same extent as the ambulacral grooves.

Judging from the morphogenesis of the ambulacral system in living echinoderms and reconstruction in Early Paleozoic skeletal taxa, the ambulacral system was initially represented by an ambulacral sac with the only canal deviating from it and giving rise to alternating right and left tentacle triads (*Soluta*). Subsequently, the sac-shaped hydrocoel partly embraced the esophagus, becoming arcuate, with two radial canals deviating from the ends of the arch to the right and to the left (*Cincta*). At the next stage of evolution of the ambulacral system, the hydrocoel became horseshoe-shaped, with three radial canals deviating from it (*Helicoplacoidea*). Finally, in the first pentaradiate taxa, two radial canals branched near their beginning and the ends of the horseshoe hydrocoel approached each other (?*Edrioasteroidea*, ?*Eocrinoidea*); then, they fused to form the ambulacral ring, which is characteristic of all extant adult echinoderms (fig. 1).

As the ambulacral grooves are radially symmetrical, they are probably characterized by certain distinctive features. Let us consider this point in greater detail. Radially symmetrical figures may be identical but considerably differ in constructional pattern. For example, a five-point star may be constructed differently. Two variants, i.e., division of a circle and closure of a border, are similar to, for example, the arrangement of septa in corals and the development of the ambulacral ring in echi-

noderns. In some cases, it is possible to recognize the developmental pattern ("morphogenesis") of a geometrical figure using abnormal specimens. In paleontology, these abnormal specimens are both aberrant individuals of a species and taxa of various taxonomic rank deviating from a standard, for example, small echinoderm classes of the Early Paleozoic.

A surprising morphological feature of living echinoderms is the perfect pentaradiate symmetry combined with the pronounced asymmetry. The morphological diversity of early echinoderms displays designs corresponding to the combination of pentaradiate symmetry and asymmetry, as in extant echinoderms. The ontogeny of living echinoderms shows that their radial symmetry develops through curving and closing the metamerism. This suggests close relationships of the origin of radial symmetry of echinoderms with asymmetry, which has evolved by coiling and closure of the initial metamerism (Rozhnov, 2002). This coiling and subsequent closing could have developed through asymmetric development of the right and left sides of a metameric ancestor. This resulted in the reduction of the right anterior and right middle coeloms and displacement of the posterior coeloms. Judging from the development of coeloms, the initial metamerism of echinoderms was tripartite. The primary tripartite metamerism undoubtedly induced the primary triradial symmetry of echinoderms. Therefore, the pentaradiate symmetry of many echinoderms shows clear signs of triradial symmetry.



**Fig. 1.** A morphological series of the development of pentaradiate symmetry in the ambulacral system (in black), as displayed by fossil taxa

**Рис. 1.** Морфологический ряд развития пятилучевой симметрии амбулакальной системы (показана черным), отраженный в ископаемых формах

In adult echinoderms, the primary triradial symmetry is infrequent, or even completely absent. Apparently, triradial taxa are only represented by *Helicoplacoidea*, known from the Lower Cambrian of North America. Therefore, the three grooves radiating from the mouth opening are evidence that such an animal is an echinoderm. However, at least some specimens must necessarily show traces of the anus, since it is preserved not worse than the ambulacral grooves. *Tribrachidium* Glaessner, contrary to the initial treatment (Glaessner & Wade, 1966), should not be assigned to echinoderms because of both the morphology of its grooves (Fedonkin, 1987) and the absence of anus.

The five grooves deviating from the mouth suggest to assign these animals to echinoderms in the case that two grooves branch from two primary grooves (model 2-1-2). A possible variant is the presence of four grooves, with the fifth undeveloped. However, their arrangement should not contradict the echinoderm model of pentaradial symmetry (2-1-2), with the obligatory presence of the anus. Well-preserved specimens must have retained traces of the madreporite. *Arcaria* Gehling, 1987 does not meet these conditions, since its grooves do not correspond to the echinoderm model, while any trace of the anus is absent.

The new records from the Zimnii Bereg locality are closer in morphology to echinoderms. They are circular imprints 0.5–2 cm in diameter, with a negative relief on the bottom of a sandstone bed (Pl. 1). Below, the morphology is described based on rubber casts with a positive relief. The central zone usually has five crests, three of which deviate from the center, while two branch secondarily. The crests may be folds that cover ambulacral grooves. Despite the heavily damaged central zone, the arrangement of grooves distinctly display the echinoderm model (2-1-2). In two specimens, the nonbranching crest is opposed to rounded formations, which are interpretable as traces of the anus. The peripheral zone has coarse concentric folds, which apparently result from postmortem sedimentation and the burial in deposits. If the presence of the anus is corroborated in the future, these organisms will be assigned to echinoderms with confidence.

It is more difficult to identify skeletonless echinoderms that had not developed the radial symmetry. Theoretically, it is expected that, in the Vendian, primitive echinoderms were bilaterally symmetrical and bilaterally asymmetrical rather than radially symmetrical. However, bilaterally symmetrical forms are difficult to identify, as their imprints could have been similar to other Bilateria. In our opinion, *Parvancorina sagitta* and *Temnoxia*, which have been recently described from the Vendian of the White Sea (Ivantsov et al., 2004), probably belong to these primitive echinoderms or the closest relatives of their ancestors.

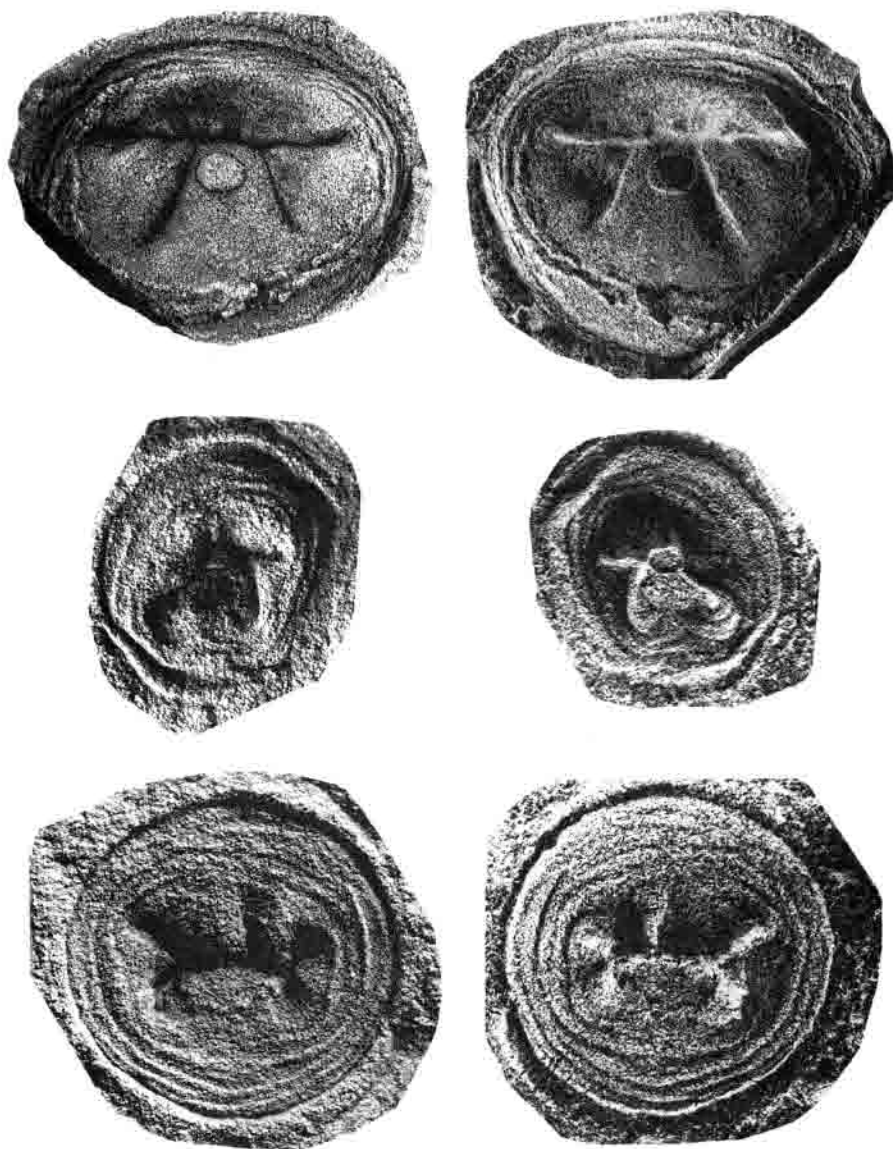
Asymmetric development of the right and left coeloms apart, comparative embryological data suggest that the common ancestor of echinoderms was a bilaterally symmetrical, three-segmented, freely floating animal. Its descendants turned to a bottom mode of life and initially laid on the bottom by their left body side (according to a different hypothesis, by the right side); this resulted in asymmetrical development of coeloms. This approach seems mechanistic. A different approach is based on the fact that, if a spherical animal has something like the anterior end, the opposite end is by definition the posterior end. If any side of this animal becomes flattened along the anteroposterior axis, the right and left sides appear in addition to the dorsal and ventral surfaces. This gives rise to a bilaterally symmetrical animal. However, as it grows in size retaining the bilateral symmetry, the right and left body sides have to grow synchronously, with the same rate. The correlated growth of the right and left sides required the development of special mechanisms; until then, the right and left sides could have developed asynchronously, with different growth rates. One lineage comprises bilaterally symmetrical animals, while the other includes asymmetric animals. Thus, one should distinguish between morphological symmetry, symmetry in shape, and morphogenetic symmetry (symmetry in process). The asymmetric development of the right and left sides was completed by the transformation of metamery into cyclomery. From this point of view, the bilaterally asymmetric echinoderms that are placed in Early Paleozoic Carpozoa classes are life forms that were realized in the lineage where the morphogenesis of radially symmetrical echinoderms was established. These life forms could have appeared at different stages of development of both radial and bilateral symmetry. In addition, they could have evolved from radially symmetrical forms by pedomorphosis. Asymmetric skeletonless imprints of typical shape could have been assigned to echinoderms; however, they have not been recorded in the Vendian. The absence of these forms is probably connected with the fact that must have had an articulated process, which provided the movement of animals (symmetric forms probably moved using the cilia covering the body). The mouth or anus have not been recognized with certainty in Vendian animals, and the overwhelming majority of them lack processes that could have performed food-gathering, locomotor, or other functions. The exception is provided by *Parvancorina minchani* Glaessner, which possibly had buttresses, since some specimens of this species had transverse banding on the body, and a new genus the anterior metamer of which gave rise to two well-pronounced tentacles (Ivantsov, 2006). These restrictions on the morphology of Ven-



dian animals could have resulted from insufficient development of genetic system that regulated their morphogenesis. If this is the case, the presence of the ambulacral system in Vendian ancestors of echinoderms seems hardly probable, since the development of the ambulacral system is based on the tentacle apparatus, which could have appeared and undergo evo-

lutionary changes only against a background of a well-developed regulatory genetic system.

The work is supported by the Russian Foundation of Basic Research, project 05-05-64825, President Grant of the NSh-28899.2006.5 and the Program 18 of Presidium of RAS "The Origin and Evolution of the Biosphere".



**Plate I.** (Rozhnov & Ivantsov)

New representatives of the Vendian biota, resembling echinoderms from the Zimnii Bereg locality of the White Sea: a – print on the bottom of a sandstone bed (negative relief) and b – rubber cast (positive relief), specimens: 1 – PIN, no. 3993/5823, 2 – PIN, no. 3993/5853, 3 – PIN, no. 3993/6425. Scale 10 mm

**Табл. I.** (К статье С. В. Рожнова и А. Ю. Иванцова)

Новые представители верхневендской биоты, сходные с иглокожими. Зимний берег Белого моря, усть-пинежская свита, зимнегорские слои: а – отпечатки на подошве слоя песчаника (отрицательный рельеф), б – латексные слепки (положительный рельеф): 1 – ПИН, экз. 3993/5823, 2 – ПИН, экз. 3993/5853, 3 – ПИН, экз. 3993/6425. Линейка 10 мм

## ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕНДСКИХ ИГЛОКОЖИХ

С.В. Рожнов, А.Ю. Иванцов

Палеонтологический институт РАН, Москва;  
email: rozhnov@paleo.ru

В венде известно несколько радиально-симметричных бесскелетных форм, которые по некоторому сходству с эдриоастероидеями с той или иной степенью вероятности относили к иглокожим. Сходство заключается в уплощенно-округлой форме тела и трех или пяти желобках, радиально отходящих от центра. В 2005 году А.Ю. Иванцовым, на Зимнем берегу Белого моря были найдены новые радиально симметричные отпечатки животных, имеющие сходство с эдриоастероидеями (Rozhnov, Ivantsov, 2006), но отличающиеся и от *Tribrachidium* и от *Arcarina*. Прежде чем оценить вероятность отнесения этих находок к иглокожим, следует проанализировать признаки, присутствие которых необходимо у тех бесскелетных остатков, которые можно уверенно относить к иглокожим. Наличие этих признаков должно быть согласовано с представлениями эволюционной морфологии, эмбриологии и данных палеонтологии по скелетным остаткам.

Все современные типы многоклеточных животных появились в очень короткий промежуток времени, охватывающий конец венда – начало кембрия (Valentine, 2005; Rozhnov, 2001). В абсолютном исчислении он охватывает около 20 млн лет (Convey Morris, 2000). Первые скелетные остатки иглокожих известны из отложений атдабанского яруса нижнего кембрия Сибири, Монголии, Северной Америки. Они представлены формами, имеющими пятилучевую симметрию в расположении пищеварительных желобков (*Edrioasteroidea* и *Eocrinioidea*), веретеновидными формами с тремя амбулакрами (*Helicoplacoidea*) и билатерально-асимметричными карпоидными иглокожими (*Soluta*, *Cornuta*). Остатки этих животных относят к иглокожим по наличию хотя бы одного из трех признаков, характерных для современных представителей типа: амбулакральная система, пятилучевая симметрия и кальцитовый скелет из табличек с особой стереомной структурой. Для идентификации бесскелетных иглокожих главное значение имеет наличие амбулакральной системы и особенности ее развития. Пятилучевая симметрия тела у современных иглокожих определяется индуцирующим влиянием в онтогенезе амбулакральной системы. Это отражает исторический морфогенез пентамерии, так как у древнейших иглокожих она сначала охватывала лишь амбулакральную систе-

му, а затем распространилась и на многие другие структуры, в том числе и скелет. Поэтому для идентификации древнейших бесскелетных иглокожих и их предков прежде всего следует искать следы амбулакральной системы и по возможности определять уровень ее развития. Амбулакральная система иглокожих на поверхности тела маркируется пищеварительными желобками (под их дном проходит радиальный амбулакральный канал) и гидроторой, соединяющую полость амбулакральной системы через каменистый канал с внешней средой. Поэтому амбулакральная система на отпечатках может быть выражена в виде желобков, отходящих от ротового отверстия. Гидротора или мандрепорит не обязательно различимы на отпечатках из-за маленького размера пор. Амбулакральная система в историческом развитии возникает не ранее появления сквозного кишечника, который на ископаемом материале, на отпечатках, должен маркироваться ртом и анусом. Ротовое отверстие и анус должны быть хорошо выражены хотя бы на некоторых образцах, так как возможность их сохранения на отпечатках должна быть не меньше, чем у амбулакральных желобков.

Судя по морфогенезу амбулакральной системы у современных иглокожих и реконструкции ее строения у раннепалеозойских скелетных форм, амбулакральная система сначала представляла собой амбулакральный мешок с единственным отходящим от него каналом, от которого попеременно справа и слева отходили триады щупалец (*Soluta*). Затем мешковидный, гидроцель, охватывая часть пищевода, приобрел дуговидную форму, и от концов дуги направо и налево отходили два радиальных канала (*Cincta*). На следующем этапе конструктивного развития амбулакральной системы гидроцель приобрел подковообразную форму с тремя отходящими от него радиальными каналами (*Helicoplacoidea*). Наконец, у первых пятилучевых форм два радиальных канала разветвились недалеко от их начала, а концы подковы гидроцеля близко сошлись (?*Edrioasteroidea*, ?*Eocrinioidea*), а затем слились, образовав амбулакральный кольцевой, характерный для всех взрослых современных иглокожих (рис. 1).

Если амбулакральные желобки расположены радиально-симметрично, то такая радиальная симметрия должна обладать определенными особен-

ностями. Остановимся на этом подробнее. Радиально-симметричные фигуры могут быть абсолютно одинаковыми, но способы их построения могут сильно различаться. Например, пятиконечную звезду можно построить многими способами. Два из них, делением круга и замыканием бордюра, аналогичны, например, заложению септ у кораллов и развитию амбулакрального кольца у иглокожих. Путь построения геометрической фигуры, ее «морфогенез», если мы не можем наблюдать его непосредственно, можно определить по бракованным экземплярам. В палеонтологии этим «бракованным экземплярам» соответствуют как аберрантные формы, отвечающие индивидуальной изменчивости вида, так и разные «уклоняющиеся» таксоны различного ранга. Например, малые классы иглокожих в раннем палеозое.

В морфологии современных иглокожих поражает сочетание весьма совершенной пятилучевой симметрии с ярко выраженной асимметрией. В морфологическом разнообразии древних иглокожих есть соответствие сочетанию пятилучевой симметрии и асимметрии в морфологии современных иглокожих. Онтогенез современных иглокожих показывает, что их лучевая симметрия возникла путем закругления и замыкания метамерии. Поэтому можно предположить, что радиальная симметрия у иглокожих тесно связана в своем происхождении с асимметрией, сформировавшись путем закручивания и замыкания исходной метамерии (Rozhnov, 2002). Такое закручивание и последующее замыкание метамерии могло произойти при асимметричном развитии правой и левой стороны метамерного предка. С этим связана редукция правых переднего и среднего целомов и перемещение задних целомов. Исходная метамерия иглокожих была трехраздельной, судя по развитию целомов. Первичная трехраздельная метамерия несомненно оказало свое влияние на первичное появление трехлучевой симметрии у иглокожих. Поэтому в пятилучевой симметрии многих иглокожих ясно просвечивает именно трехлучевая симметрия.

У взрослых форм иглокожих первичная трехлучевая симметрия является очень редкой, а, возможно, и совсем отсутствует. Такими трехлучевыми формами являются, вероятно, лишь *Helicoplacoidea*, известные из нижнего кембрия Северной Америки. Поэтому три бороздки, радиально отходящие от ротового отверстия, могут свидетельствовать о возможности отнесения такого животного к иглокожим. Но наличие следов ануса хотя бы на некоторых экземплярах, обязательно, так как анус не может сохраняться значительно хуже, чем амбулакральные желобки. *Tribrachidium* Glaessner, вопреки первоначальным представлени-

ям (Glaessner, Wade, 1966), не может относиться к иглокожим не только по морфологии бороздок (Федонкин, 1987), но и по отсутствию следов анального отверстия.

Пять бороздок, отходящих от ротового отверстия, могут свидетельствовать об отнесении таких животных к иглокожим при условии, если два из них отвечают от двух первичных (модель 2-1-2). Возможен вариант, когда всего четыре бороздки, а пятая не развилась. Но такое расположение не должно противоречить иглокожной модели пятилучевой симметрии (2-1-2). При этом наличие следов ануса обязательно. При хорошей сохранности должны быть и следы гидропоры. *Arcarua* Gehling, 1987 не удовлетворяет этим условиям, так как расположение бороздок на ней не отвечает иглокожной модели, а следы ануса отсутствуют.

Новые представители с Зимнего берега по своей морфологии могут быть ближе к иглокожим. Они представляют собой округлые отпечатки 0,5–2 см диаметром в негативном рельефе на подошве слоя песчаника (табл. 1). Далее морфология описана по латексным слепкам в положительном рельефе. В центральной зоне расположены обычно пять гребней, три из которых отходят от центра, а два в дальнейшем ветвятся. Гребни могут быть складками, прикрывающими амбулакральные желобки. Несмотря на сильную деформацию центральной зоны, вырисовывается иглокожная модель в их расположении (2-1-2). У двух экземпляров напротив неветвящегося гребня находятся округлые образования, которые можно интерпретировать как следы ануса. Периферическая зона осложнена грубыми концентрическими складками, возникшими, по-видимому, в результате оседания тела после смерти и захоронения в осадке. Если в дальнейшем подтвердится наличие ануса у этих организмов, то вероятность их отнесения к иглокожим будет достаточно велика.

Сложнее идентифицировать бесскелетных иглокожих, еще не имевших радиальной симметрии. Теоретически мы с большей вероятностью могли бы ожидать в венде находки билатерально-симметричных и билатерально-асимметричных форм примитивных иглокожих, чем радиально-симметричных. Но билатерально-симметричные формы трудно точно идентифицировать, так как их отпечатки могут быть сходны с другими *Bilateralialia*. С нашей точки зрения такие формы как *Parvancorina sagitta* и *Temnoxa*, недавно описанные из венды Белого моря (Иванцов и др., 2004), могут оказаться именно такими примитивными иглокожими или ближайшими родственниками их предков.

Сравнительно-эмбриологические данные позволяют, если отвлечься от асимметричного развития правых и левых целомов, реконструировать общего предка иглокожих как билатерально-симметричное трехсегментное свободноплавающее животное. Его потомки перешли к придонному образу жизни и сначала легли на дно левой стороной тела (по другой, гипотезе, правой), что и привело к асимметрии целомов. Такой подход кажется механистическим. Можно взглянуть на причины асимметрии с другой точки зрения. Если у шаровидного животного намечен передний конец, то противоположный ему конец по определению становится задним. Если у такого животного вдоль передне-задней оси уплощается какая-либо сторона, то появляется не только спинная и брюшная поверхность, но и правая и левая стороны. Так возникает морфологически билатерально-симметричное животное. Но при его росте для сохранения билатеральной симметрии правая и левая сторона тела должны расти синхронно и с одинаковой скоростью. Механизмы такой корреляции роста правой и левой стороны должны выработаться, а пока они не выработались, то не менее вероятен другой путь развития правой и левой стороны – асинхронный и с разными скоростями роста. В одной линии развития животное будет билатерально-симметричным, а в другой – билатерально-асимметричным. Завершением асимметричного развития правой и левой стороны является превращение метамерии в цикломерию. С этой точки зрения билатерально-асимметричные иглокожие, помещаемые среди раннепалеозойских классов карпозойных иглокожих, представляют собой жизненные формы, осуществившиеся на пути становления морфогенеза радиально-симметричных иглокожих. Жизненные формы таких животных могли осуществляться на разных этапах развития в направлении как радиальной, так и билатеральной симметрии. Кроме того, они могли возникать путем педоморфоза из уже сформировавшихся радиальных форм. Бесскелетные асимметричные отпечатки характерной формы можно было бы достаточно уверенно идентифицировать как иглокожих, но они в венде не встречены. Их отсутствие может быть связано с необходимостью для таких форм иметь членистый отросток, с помощью которого они могли бы двигаться кругообразно (для симметричных форм возможно прямое движение с помощью ресничек, покрывающих тело). У подавляющего большинства вендских животных нет пищевых, двигательных или выполняющих другие функции отростков. До настоящего времени у них достоверно не доказано наличие рта и ануса. Исключение представляют

лишь *Parvancorina minchami* Glaessner, у которой можно предположить существование ножек из-за поперечной исчерченности ее тела на некоторых образцах, и новый род, от переднего метамера которой отходят два хорошо выраженных усика (Ivantsov, 2006). Такие ограничения в морфологии вендских животных, как мне кажется, могут свидетельствовать о недостаточно высоком уровне развития у них регулирующей морфогенез генетической системы. Если это предположение верно, то наличие амбулакральной системы у вендских предков иглокожих кажется сомнительным, так как в основе амбулакральной системы лежит щупальцевый аппарат, появление которого, а тем более его дальнейшие преобразования, возможны только при уже хорошо развитой регуляторно-генетической системе.

Работа проводилась при финансовой поддержке программы Президента РФ «Научные школы Российской Федерации» (проект НШ-2899.2006.5), РФФИ (проект 05-05-64825) и Программы 18 Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы».

## References

- Fedonkin M.A. 1987. Skeletonless Fauna of the Vendian and Its Place in the Evolution of Metazoa. Moscow: Nauka. (Works of Paleontological institute. Vol. 226) [in Russian].
- Conway Morris S. 2000. The Cambrian «Explosion»: Slowfuse or Megatonnage? Proceedings Nat. Acad. Sciences USA No. 97. P. 4430–4433.
- Gehling J.G. 1987. Earliest Known Echinoderm – a New Ediacaran Fossil from the Pound Subgroup of South Australia. *Alcheringa*. 11. Pp. 337–345.
- Glaessner M.F. and Wade M. 1966. The Late Precambrian Fossils from Ediacara, South Australia. *Palaentology*. 9. Pp. 183–208.
- Ivantsov A.Yu. New find of Cambrian type Arthropoda from the Ediacaran of the White Sea, Russia, Ancient Life and Modern Approaches. Abstracts of the Second International Palaeontological Congress. 2006. Beijing, China. P. 280–281.
- Ivantsov A.Yu., Malakhovskaya Ya.E., & Serezhnikova E.S. 2004. Some Problematic Fossils from the Vendian of the Southeastern White Sea Region, *Palaentological Journal* 38, No. 1, pp. 3–9.
- Rozhnov S.V. 2001. Evolution of the Hardground Community. In: *The Ecology of the Cambrian Radiation*, ed. by Zhuravlev A.Yu. and Riding R., Columbia University Press, New York. 238–253.
- Rozhnov S.V. 2002. Morphogenesis and Evolution of Crinoids and Other Pelmatozoan Echinoderms in the Early Paleozoic. *Palaentological Journal*, 36, Suppl. 6, 525–674.
- Rozhnov S.V. & Ivantsov A.Yu. 2006. Echinoderm-like Fossils from the White Sea (Russia): Problems of Identification. In: *Abstracts 21eme Reunion des Sciences de la Terre*. Dijon P. 40.
- Valentine J.W. 2004. *On the Origin of Phyla*. University of Chicago Press.

# VENDIAN ATTACHMENT DISKS AS SYMBIOTROPHIC STRUCTURES

E.A. Serezhnikova

Palaeontological Institute RA S, Moscow, Russia,  
email: serezhnikova@paleo.ru

## Abstract

Currently, modern symbiotic systems and those of the past are under careful consideration. There is no doubt that symbiosis was one of the key factors in development of the early biosphere, especially with regard to the origin and evolution of eukaryotes.

Recognition of new morphological features of the Vendian fossils previously interpreted as medusoid organisms completely changed their understanding and reconstructions. These forms are now reinterpreted as attachment disks of organisms, whose relationships are not yet understood (Gehling, 2000). This causes some questions on the nature of the attached species and their relations to substrate. The Vendian basal structures can be attributed to four main morphotypes: (1) discoid cyclic attachments, e.g. *Ediacaria*; (2) cone-like attachments bearing cyclic radial processes, e.g. *Eoporpita*; (3) cone-like attachments bearing radial processes rather randomly arranged, e.g. *Hiemalora* from Siberia; (4) composite forms showing a combination of some features of the above three morphotypes, e.g. *Palaeophragmodictya*. These morphotypes seem to be ecological and ethological groups rather than true taxa. The diversity of the Vendian basal structures situated inside and above the sediments in life position appears to reflect the variety of attachment modes and

substrate use. Widespread microbial mats on the ocean floor and minor bioturbation common for the Vendian environments were resulted in abrupt transition from oxygenic conditions in the bottom water to anoxic ones inside the sediments (Seilacher, 1999). The close association and likely symbiosis of these attachments present in the Vendian is noteworthy. Evidence supporting such an interpretation include: (1) the considerable morphological diversity and complex structure of these basal structures, (2) the rapid cyclic isometric growth, (3) the absence of recognizable alimentary system, (4) the sedentary life-style, (5) large surface of attachments contacting with the substrate, (6) the preferential fossilization of the basal parts, (7) abrupt changes of fossil community with these sedimentary sequences, (8) the absence of apparent modern analogues, (9) indications of H<sub>2</sub>S in sediments, (10) simultaneous extinction of many Vendian groups and abrupt decline of microbial substrates. Taphonomic and morphological studies indicate that such Vendian attachments could be symbiotrophic structures. Bacterial symbiosis may indeed be the driver for morphological peculiarities of the Vendian attachments. This idea is supported by newly discovered symbiotic relationships between some living animals and sulphate-reducing, methanotrophic and photosynthesizing bacteria.

## ПРИКРЕПИТЕЛЬНЫЕ ДИСКИ ВЕНДСКИХ ОРГАНИЗМОВ КАК СИМБИОТРОФНЫЕ СТРУКТУРЫ

E.A. Сережникова

Палеонтологический институт РАН, Москва;  
email: serezhnikova@paleo.ru

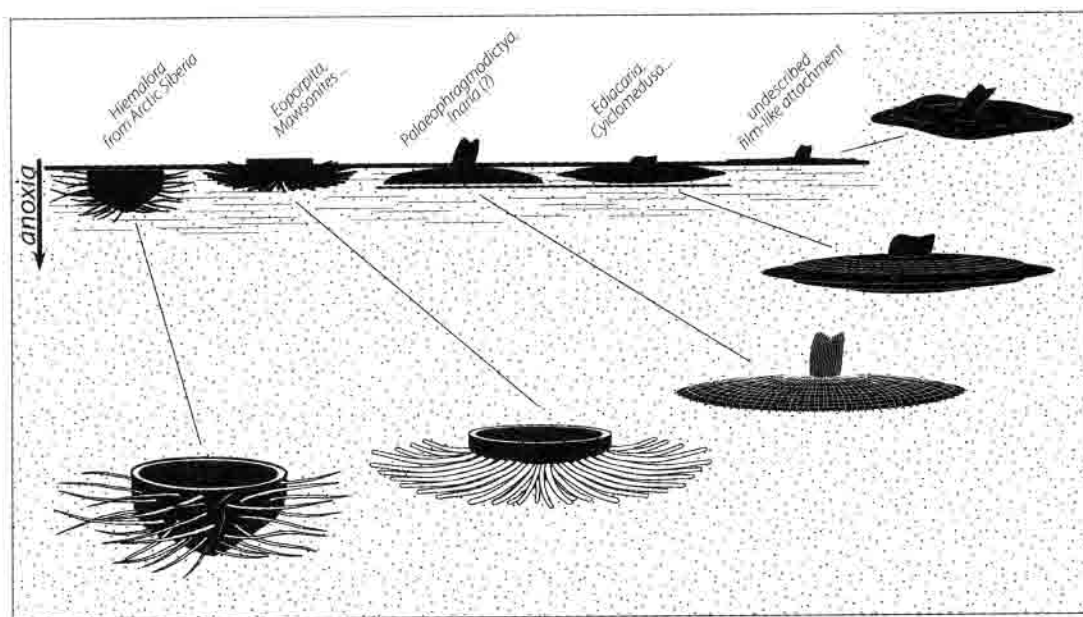
Симбиотические взаимодействия среди первых многоклеточных организмов относятся к вопросам проблематичным: бывшее присутствие связей непросто доказать на ископаемом материале из-за очевидных ограничений, налагаемых неполнотой палеонтологической летописи. Тем не менее, такую исследовательскую задачу необходимо ставить хотя бы потому, что согласно теории симбиогенеза в развитии эвкариот на ранних этапах формирования биосферы современного типа симбиоз должен был являться весьма значимым явлением в процессе становления сложных биологических систем. По видимому, и в жизни сообществ вендских многокле-

точных организмов симбиотические взаимодействия играли немаловажную роль. О возможном присутствии симбионтов у эдиакарских организмов ранее упоминалось неоднократно (Seilacher, 1999, Fedonkin, 2003 и др.). К этой гипотезе интересно вернуться, поскольку многие циклические ископаемые, считавшиеся пелагическими и бентосными медузоидами, были реконструированы как прикрепительные структуры проблематичных животных (Gehling et al, 2000). Свободно живущие медузы, также как и кораллы, имеют симбионтов, чаще всего – эвкариотные одноклеточные водоросли, описываемые под названием «зооксантеллы». Но прикрепительные

органы вендских животных, погруженные в осадок, не могли иметь фотосинтезирующих симбионтов. Возникает закономерный вопрос – имели ли они вообще симбиотические формы микроорганизмов? Ответ на этот вопрос в значительной степени лежит в области взаимодействия организмов, обладавших этими структурами, и субстрата, на котором они обитали. В зависимости от прижизненного положения, образа жизни и возможного использования субстрата вендские организмы были сгруппированы по экологическим типам (Seilacher, 1999).

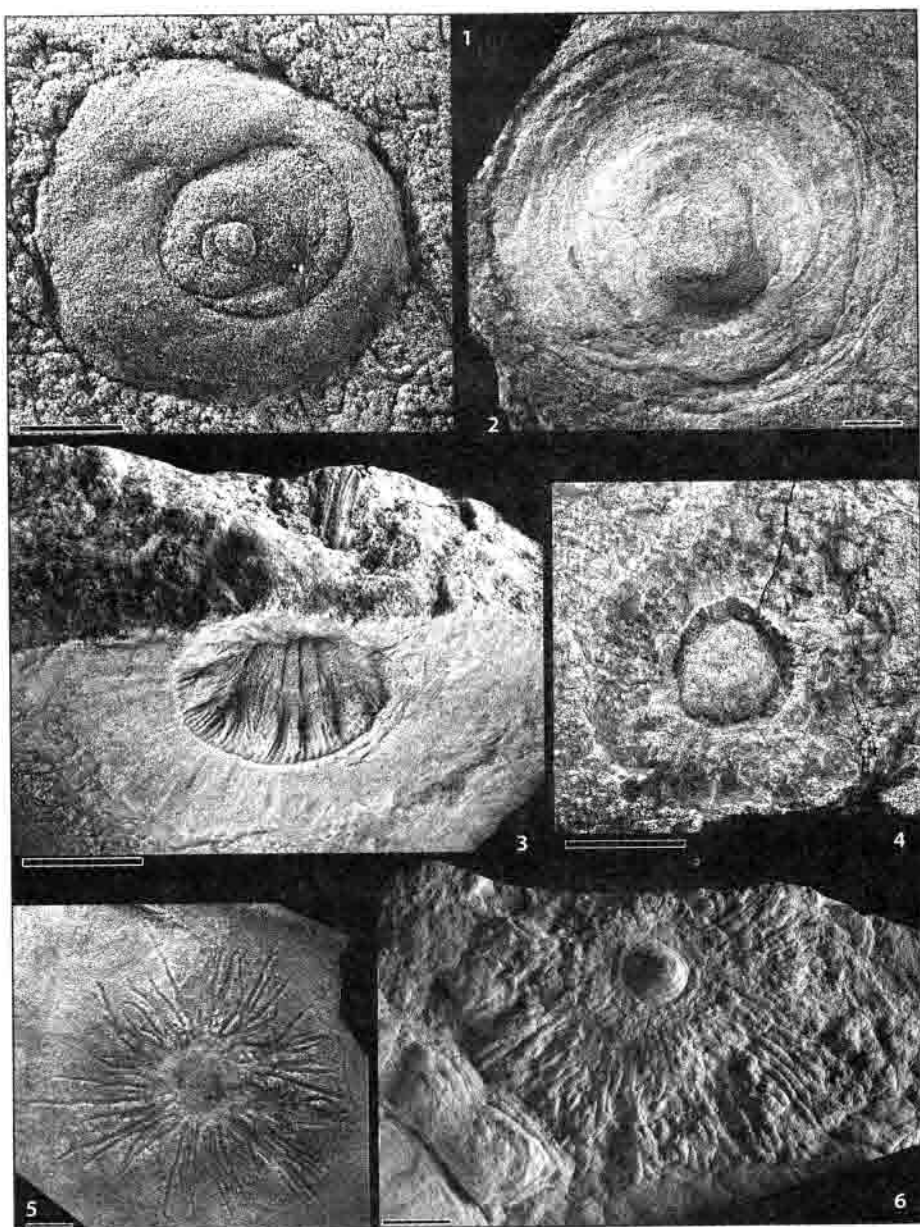
Специфическими особенностями бентали вендских морей называют обширное развитие микробных пленок на поверхности дна, низкую степень сортировки осадка и слабую переработку грунта донными организмами (Fedonkin, 2003). Следствием этого был резкий переход от аэрированной среды в толще воды к бескислородным обстановкам внутри осадка (Seilacher, 1999); косвенно об этом свидетельствуют следы сероводородного заражения и высокое содержание дисперсного органического вещества в глинистых и карбонатных отложениях венда. Вендские базальные структуры отличаются сложное строение и морфологическое разнообразие, из-за фрагментарной сохранности и всевозможных тафономических вариаций при их описании возникают трудности. Повсеместно распространенными и легко диагностируемыми морфотипами являются: дисковидные циклические, уплощенные в той или

иной степени (*Ediacaria*, *Cyclomedusa*); конусовидные с радиальными выростами, расположенными как хаотически (*Hiemalora*, сибирская форма), так и упорядоченно, циклически (*Eoporpita*); полусферические, с разнообразными скелетными элементами (*Palaeophragmodictya*); диски-пленки и др. (рис. 1; табл. I, фиг. 1–6). Эти морфотипы представляют собой не систематические группировки, а этологические и экологические, т.е. отражают разные способы закрепления в субстрате и, вероятно, его использования. Согласно тафономическим наблюдениям и морфологическим особенностям, при жизни эти структуры располагались и на поверхности цианобактериальных матов, и в толще осадков, иногда довольно рыхлых. Таким образом, разные части прикрепленных организмов взаимодействовали с принципиально разными факторами среды: верхняя наддонная часть тела пребывала в аэрированной водной среде, а глубоко погруженный в осадок прикрепительный орган находился в условиях постоянной аноксии, что требовало соответствующих физиологических (биохимических) средств защиты нижней части тела от факторов химически агрессивной среды. По-видимому, такую роль могли играть симбиотические микроорганизмы (строгие или факультативные анаэробы), населявшие ткани прикрепительных органов. Ниже приведены некоторые косвенные признаки, вероятно, указывающие на непротиворечивость подобной трактовки.



**Fig. 1.** Vendian attachments: main morphotypes (tentative schematic reconstructions of preserved fossils from the Vendian sequences of Arkhangelsk Region and Arctic Siberia, Russia)

**Рис. 1.** Основные морфотипы вендских прикрепительных структур (схематические реконструкции, сделанные по материалам из обнажений верхнего венда Юго-Восточного Беломорья и Оленекского поднятия Сибирской платформы)



**Таблица I**

**Fig. 1–6.** Imprints of Vendian attachments from the soles of fossiliferous strata: **1** – *Cyclomedusa sp.*, PIN 3993/6597, Arkhangelsk Region, Zimnii Bereg of the White Sea, Upper Vendian, Zimnii Gory Formation; **2** – *Ediacaria flindersi* Sprigg, 1947; PIN 3993/5287, Arkhangelsk Region, Zimnii Bereg of the White Sea, Upper Vendian, Verkhovka Formation; **3, 4** – *Palaeophragmodictya spinosa* Serezhnikova, 2007, PIN 4853/418, 4853/425, Arkhangelsk Region, Onega Peninsula, Solza river, Upper Vendian, Ust'-Pinega Formation; **5** – *Hiemalora pleiomorphus* Vodanjuk, 1989, PIN 3995/251, Arctic Siberia, Olenek Uplift, the river Khorbusuonka, Vendian, Khatyspyt Formation; **6** – *Eoporpita medusae* Wade, 1972, PIN 3993/6444, Arkhangelsk Region, Zimnii Bereg of the White Sea, Upper Vendian

**Фиг. 1–6.** Отпечатки вендских прикрепительных дисков на подошвах фоссиленосных слоев: **1** – *Cyclomedusa sp.*, экз. ПИН № 3993/6597, Архангельская обл., Зимний Берег Белого моря; верхний венд, зимнегорская свита; **2** – *Ediacaria flindersi* Sprigg, 1947; экз. ПИН № 3993/5287, Архангельская обл., Зимний берег Белого моря; верхний венд, усть-пинежская свита; **3, 4** – *Palaeophragmodictya spinosa* Serezhnikova, 2007, экз. ПИН. № 4853/418 и № 4853/425 Архангельская обл., Онежский п-ов, р. Солза; верхний венд, верховская свита; **5** – *Hiemalora pleiomorphus* Vodanjuk, 1989, экз. ПИН № 3995/251, Оленекское поднятие, р. Хорбусуонка, венд, хатыспытская свита; **6** – *Eoporpita medusae* Wade, 1972, экз. ПИН № 3993/6444, Зимний берег Белого моря; верхний венд. Масштабный отрезок 1 см

*Разнообразие планов строения базальных органов, их сложная морфология, большая площадь соприкосновения с осадком.* Прикрепительные диски по ярусному расположению в субстрате «копируют» корневую систему наземных растений, а по морфологии удивительно похожи на базальные диски бурых водорослей. Тем не менее, вендские организмы все же принято рассматривать как Metazoa, в том числе, и из-за тафономических характеристик – вещество растительного происхождения сохраняется иначе. Радиальная симметрия и «медузоподобность» вендских циклических ископаемых были главными аргументами в пользу систематизации их как Coelenterata, однако, при всей массе накопленного палеонтологического материала, не известны отпечатки достоверных щупалец, ротового отверстия; лишь в единичных случаях наблюдаются следы внутренней (гастральной?) полости. Развитие различных выростов, пронизывающих осадок, пленочных поверхностей, увеличивающих площадь соприкосновения с осадком, можно рассматривать как признак симбиотрофности. С другой стороны, существование в высокодинамичных шельфовых обстановках и отсутствие каменного дна (hard-ground) современного облика могли быть ответственны за развитие сложных и разнообразных приспособлений для закрепления в субстрате.

*Прижизненное положение в осадке.* Аноксия, сероводородное заражение осадка, следы которого наблюдаются в вендских отложениях Юго-Восточного Беломорья, являются неблагоприятными факторами для существования большинства организмов. Одним из возможных вариантов существования в подобных обстановках является развитие в клетках, тканях или окружающих слизистых покровах, например, сульфатредуцирующих или метанотрофных бактерий, что характерно для многих современных организмов (Громов, 1998). Богатые органикой неаэрированные вендские осадки, по-видимому, являлись богатым источником соединений, пригодных для хемотрофного питания за счет окисления соответствующими бактериями соединений серы и/или метана. С другой стороны, от губительного воздействия среды организмы могут предохранять мощные слизистые образования, наличие которых также не исключено у вендских Metazoa.

*Гигантизм.* Некоторые вендские прикрепительные структуры достигают значительных размеров, в целом, гигантизм считается отличительной чертой представителей вендской биоты (Fedonkin, 2003). Гигантизм современных животных связан, в том числе, и с развитием бактериальных симбионтов, как например, у большинства обитателей гидротермальных областей, герматипных кораллов и др.

С другой стороны, т.н. «полярный гигантизм» характерен для организмов холодноводных бассейнов и вызван избытком микропланктона.

*Рост.* Доказано, что некоторым эдиакарским организмам присущ неограниченный (Peterson *et al.*, 2003) изометрический (Runnegar, 1982) рост, не характерный для многоклеточных животных, но свойственный грибам, микробным колониям. Если придерживаться взгляда о метазойной природе эдиакарских организмов, не стоит отказываться от предположения, что именно бактериальные симбионты придавали своеобразие процессам роста, делая их отличными от привычных «метазойных» схем. Циклический рост, например, у Anthozoa, связан с разной сезонной, дневной активностью симбионтов, а у бактериальных колоний он вызван суточными химическими циклами. Кроме того, вендские организмы с прикрепительными структурами, по-видимому, росли достаточно быстро, т.к. их остатки, как правило, находят в шельфовых фациях с высокими скоростями осадконакопления. С другой стороны, если речь идет об отдельных органах, изометрический рост имеет широкое распространение, а циклические процессы роста чаще всего связаны с чередованием климатических условий.

*Преимущественная фоссилизация прикрепительных дисков.* Трудности при систематизации вендских организмов возникают, в том числе, из-за разобщенности остатков, причем отдельные прикрепительные структуры, изредка с фрагментами стебля, сохраняются в большинстве ориктоценозов. Доказано, что микроорганизмы играют важную роль в процессах фоссилизации (Бактериальная палеонтология, 2002), поэтому не исключено, что гипотетические симбиотические бактерии прикрепительных дисков были в какой-то мере ответственны за их избирательную фоссилизацию. С другой стороны, в обстановках развития бактериальных матов создаются исключительные условия для фоссилизации мягких тканей (Wilby *et al.*, 1996), а высокие концентрации захороненного органического вещества и железа способствуют быстрой посмертной пиритизации (Petrovich, 2001). Кроме того, в высокодинамичных обстановках прикрепительные структуры, например, ордовикских стебельчатых иглокожих, ветвистых мшанок и пр. также сохраняются преимущественно и отдельно от верхних частей.

*Резкая смена фаунистических комплексов по разрезу* отмечается повсеместно как характерная особенность вендских и эдиакарских разрезов (Федонкин, 1985, Gehling *et al.*, 2000). Возможными объяснениями этой картины, вероятно, являются как многофакторность условий, обходимых для создания «живых» субстратов, так и постепенное



обеднение этих субстратов (снижение концентрации метана или сероводорода) в процессе симбиотрофного питания. С другой стороны, резкая смена комплексов по разрезу связана с жизнью в высокодинамичных обстановках, с катастрофическими событиями – штормами и т.п. Кроме того, в аноксичных богатых органикой слоях условия для фоссилизации неблагоприятные, т.к. происходит очень быстрое разложение органического вещества (Petrovich, 2001), и таким образом создаются предпосылки для весьма избирательной, послонной фоссилизации.

*Одновременное резкое сокращение площадей микробных поверхностей и исчезновение представителей вендской биоты на границе кембрия* свидетельствует о значительной зависимости вендских организмов от характера субстрата; с началом кембрия связывают «революцию субстратов» (Bottjer et al., 2000). С другой стороны, с наступлением фанерозоя произошла глобальная перестройка всей биосферы, что было вызвано как внутренними, так и внешними факторами (Butterfield, 2007).

*Неоднозначность систематизации.* Вендские ископаемые характеризуются рядом специфических признаков, из-за которых появляется множество интерпретаций их облика и систематического положения. Может быть, именно симбиотическому взаимодействию с бактериями некоторые вендские ископаемые обязаны развитием этих специфических признаков. Так, например, у современных вестиментифер только после внедрения бактерий в личинку происходит развитие симбиотрофного органа, трофосомы, с последующим апоптозом некоторых тканей и органов, служивших личинке (Nussbaumer et al., 2006). С другой стороны, как многоклеточные животные, несколько отличающиеся от современных, большинство вендских организмов находят место среди известных царств и типов (Glaessner, 1984, Федонкин, 1985). Своеобразное фрактальное строение и отсутствие очевидных современных аналогов многих представителей вендской биоты стало основанием для выделения нового типа гигантских многоклеточных простейших (Seilacher, 1989, Zhuravlev, 1993). Особенности фоссилизации (незначительное посмертное уплотнение организмов), роста и морфологическое сходство (развитие концентрических колец и радиальных структур) не противоречат отнесению некоторых представителей вендской биоты к лишайникам (Retallack, 1994), бактериальным колониям (Grazhdankin, 2003) или грибам (Peterson et al., 2003).

По-видимому, совокупность приведенных признаков может служить косвенным доказательством существования симбиотрофии у вендских организмов, а влиянию бактериальных симбионтов можно

приписать развитие особенностей, дающих повод для различий при их систематизации. Подобная интерпретация может быть подкреплена результатами исследований многочисленных современных организмов, живущих в симбиозе с сульфатредуцирующими, метанотрофными, фотосинтезирующими бактериями, открытием взаимного влияния геномов симбионтов.

Искренняя благодарность М.А. Федонкину, А.Ю. Иванцову, М.В. Леонову (ПИН РАН) за предоставленные коллекции и консультации. Фотографии выполнены в фотолаборатории ПИН РАН А.В. Мазиным.

Работа проводилась при финансовой поддержке программы Президента РФ «Научные школы Российской Федерации» (проект НШ-2899.2006.5), РФФИ (проект 05-05-64825) и Программы 18П Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы».

### Литература

- Бактериальная палеонтология. Ред.: Розанов А.Ю. М.: ПИН РАН. 2002. 188 с. (Bacterial Palaeontology. Ed.: Rozanov, A.Yu. 2002. Moscow, PIN RAS. 188 p. [in Russian]).
- Громов Б.В. Эндоситобонты клеток животных // Сорский Образовательный Журнал. 1998. № 2. С. 73–78 (Gromov B.V. 1998. Endocytobionts in animal cell. Soros Educational Journal. N 2. P. 73–78 [in Russian]).
- Федонкин М.А. Систематическое описание вендских Metazoa. Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. I. Палеонтология. Ред.: Соколов Б.С., Ивановский А.Б. М.: Наука. 1985. С. 70–106. (Fedorin M.A. 1985. Non-skeletal Fauna of the Vendian: promorphological analysis. In Sokolov B.S. & Iwanowski A.B. (eds.) *The Vendian System, vol. 1, Palaeontology*, 10–69. Nauka, Moscow [in Russian]).
- Bottjer D.J., Hagadorn J.W., Dornbos S.Q. The Cambrian substrate revolution // GSA Today. 2000. V. 10. №9. P. 1–7.
- Butterfield N.J. Macroevolution and Macroecology through Deep Time // Palaeontology. 2007. Vol. 50. Part 1. P. 41–55.
- Fedorin M.A. The origin of the Metazoa in the light of the Proterozoic fossil record // Paleontological Research. 2003. Vol. 7. No. 1. P. 9–41.
- Gehling J.G. Microbial mats in terminal Proterozoic siliciclastics: Ediacaran death masks // Palaios. 1999. V. 14. N. 1. P. 40–57.
- Gehling J.G., Narbonne G.M., Anderson M.M. The first named Ediacaran body fossil, *Aspidella terranova* // Palaeontology. 2000. V. 43. Pt 3. P. 427–456.
- Glaessner M.F. The dawn of animal life: A biohistorical study. Cambridge University Press, Cambridge. 1984. 224 p.
- Grazhdankin D.V. Ediacaran microbial colonies // The Palaeontology Newsletter. Issue 54. P. 130–131.
- Nussbaumer A.D., Fisher C.R., Bright M. Horizontal endosymbiont transmission in hydrothermal vent tubeworms // Nature. 2006. V. 441. P. 345–348.
- Peterson K.J., Waggoner B., Hagadorn J.W. A Fungal Analogue for Newfoundland Ediacaran Fossils? // Integrative and Comparative Biology. 2003. Vol. 43. P. 127–136.
- Petrovich R. Mechanisms of fossilization of the soft-bodied and lightly armored faunas of the Burgess shale and of some

other classical localities // *American journal of Science*. 2001. Vol. 301. P. 683–726.

*Retallack G.J.* Were the Ediacaran fossils lichens? // *Paleobiology*. 1994. Vol. 20. P. 523–544.

*Runnegar B.N.* Oxygen requirements, biology and phylogenetic significance of the late Precambrian worm *Dickinsonia*, and the evolution of the burrowing habit // *Alcheringa*. 1982. Vol. 6. P. 223–229.

*Seilacher A.* Vendozoa: organismic constructions in the Proterozoic biosphere. // *Lethaia*. 1989. Vol. 22. P. 229–239.

*Seilacher A.* Biomat-Related Lifestyles in the Precambrian // *Palaaios*. 1999. V. 14. P. 86–93.

*Seilacher A., Grazhdankin D., Legouta A.* Ediacaran biota: The dawn of animal life in the shadow of giant protists. // *Palaeontological Research*. 2003. Vol. 7. N 1. P. 43–54.

*Wilby P.R., Briggs D.E.G., Bernier P., Gaillard C.* Role of microbial mats in the fossilization of soft tissues. // *Geology*. 1996. V. 24. No. 9. P. 787–790.

*Zhuravlev A.Yu.* Were Ediacarian Vendobionta multicellulars? // *Neues Jb. Geol. Palaont. Abh.* 1993. B. 190. S. 299–314.

## НОВОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ БЕССКЕЛЕТНЫХ МЕТАЗОА ВЕНДО-ЭДИАКАРСКОГО ТИПА НА ЮГО-ЗАПАДЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ОСЕЛКОВАЯ СЕРИЯ, БИРЮСИНСКОЕ ПРИСАЯНЬЕ

*Ю.К. Советов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия,  
email: sovet@uiggm.nsc.ru

Монографические описания и обзоры местонахождений остатков биоты эдиакарского типа (Федонкин, 1981, 1985, Cloud & Glaessner, 1982, Соколов, 1984, 1997, Гуреев, 1988) показали, что в конце протерозоя (средний венд, эдиакарий) уникальное биосферное событие тесно связано с климатическим. Экспансии сложной эдиакарской или вендо-эдиакарской биоты на широкие терригенные и терригенно-карбонатные шельфы кратонов предшествовало глобальное оледенение материков, а ее расселение тесно связано с дегляциацией и морскими трансгрессиями (Соколов, 1997, Cloud & Glaessner, 1982). Сопряженность во времени оледенения и появления эдиакарской биоты ярко выражена в Бирюсинском Присянье на юго-западе Сибирской платформы.

Эдиакарская биота на Сибирской платформе была ранее отмечена в трех районах: в хатыспытской свите Оленекского поднятия (Федонкин, 1985), по единичным находкам в редколесной свите на юге Енисейского кряжа (Чечель, 1976) и в куртунской свите Прибайкалья (Соколов, 1975). Все другие слепки и отпечатки из нижних горизонтов осадочно-чехла на юго-западе Сибирской платформы, в керне скважин нефтепоискового бурения, на первом этапе изучения были отнесены к проблематике неясного систематического и возрастного положения или считались довендскими, как и отложения, в которых они были найдены (Соколов, 1975). Точка зрения о позднерифейском возрасте крупных докембрийских осадочных серий на юго-западе Сибирской платформы (тасеевской, оселковой, байкальской, дальнетайгинской) имеет своих сторонников (Хоментовский и др., 2004, Яшкин, 2005).

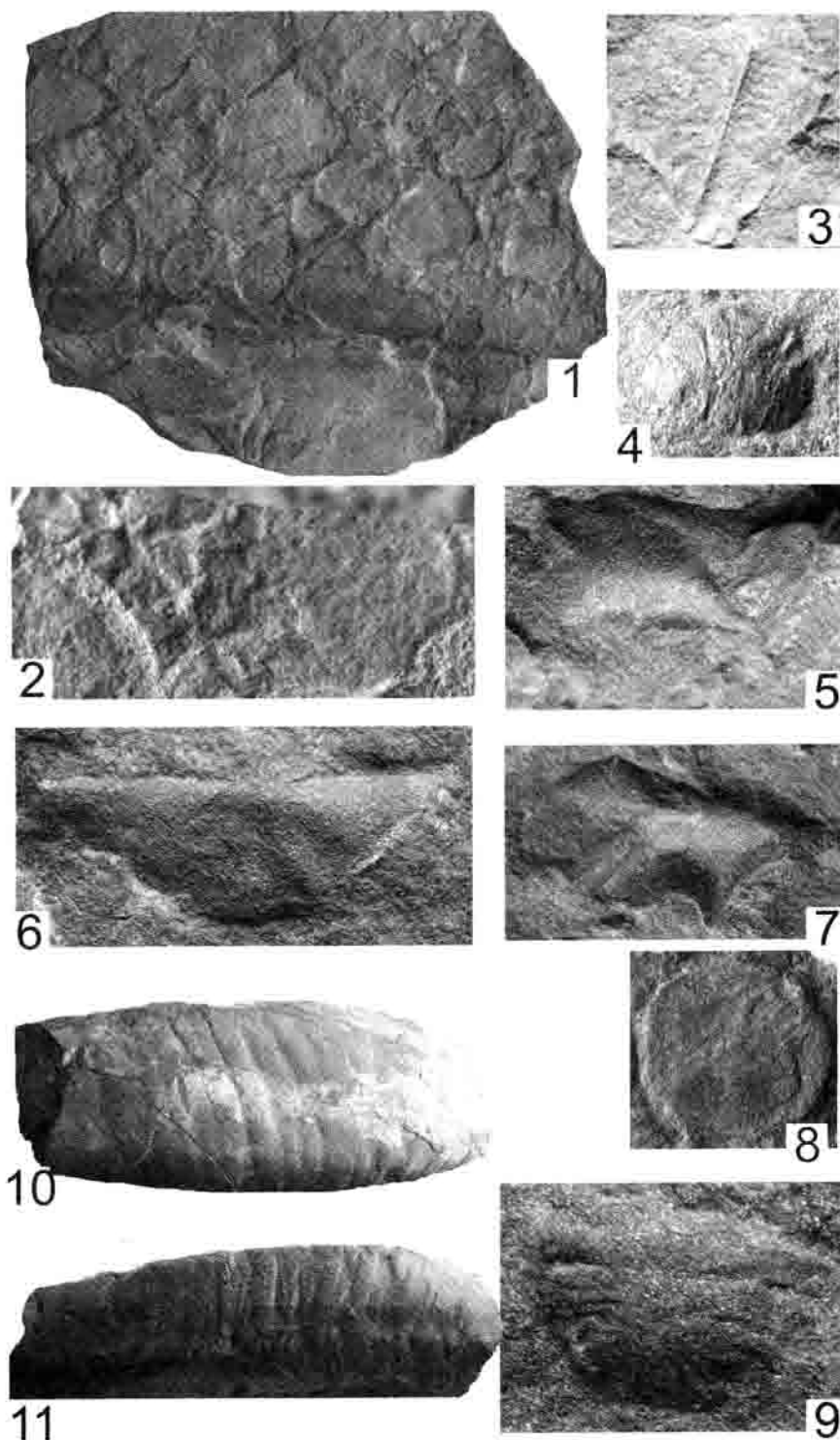
Литостратиграфическая корреляция, стратиграфически связавшая позднедокембрийские отложе-

ния передовых прогибах с относительно маломощным вендскими терригенными и терригенно-карбонатными отложениями чехла Сибирской платформы была относительно недавно подкреплена палеоклиматическим маркером – горизонтом тиллитов (Советов, 2005, Sovetov, 2002). Тиллиты были детально изучены в основании марнинской свиты оселковой серии в Присяянском прогибе, протестированы в основании байкальской серии в Прибайкальском прогибе, а их аналоги в основании чапской серии различных районов Енисейского кряжа и дальнетайгинской серии Патомского нагорья (Советов, 2005). Ранневендский возраст оледенения подтвержден также независимыми палеонтологическими и геологическими данными (Чумаков, Покровский, Мележик, 2007).

Отпечатки, слепки и следы бесскелетных многоклеточных животных были найдены в трансгрессивных отложениях марнинской свиты нижней части оселковой серии, перекрывающих тиллиты, а характер углеродной изотопной кривой подтвердил постварангеровский возраст остатков мягкотелых животных (Советов, 2005). После первых находок в 2001 г., дополнительные сборы были сделаны в 2002–2006 гг в других частях Присяянского прогиба, что, в целом, ставит этот регион в разряд одного из перспективных для изучения вендо-эдиакарской биоты на Сибирской платформе. Более ранние находки *Meduzoides* в терригенно-карбонатной островной свите, перекрывающей на юго-востоке Енисейского кряжа тасеевскую серию, *Baikalina* и *Pteridinium* в Прибайкалье в аналогичной стратиграфической позиции (Соколов, 1975, Чечель, 1976), были веским аргументом проводить нижнюю границу венда в самой верхней части терри-

генного комплекса по подошве устьагульской свиты и ее аналогов (Хоментовский, 1985, Хоментовский и др., 1972). Находки, обсуждаемые в этом сообщении, сделаны в бассейне рек Уда и Бирюса близко от основания оселковой серии, что на 2000–

2500 м стратиграфически ниже вышеназванных. Этот факт служит главным обоснованием, как и базальный горизонт тиллитов, проведения нижней границы венда в основании оселковой серии и ее стратиграфических аналогов (Советов, 2005).



Оселковая серия в Присаянском передовом прогибе залегает на экзарационной поверхности, глубоковрезанной ранневендским ледником в карагаскую серию верхнего рифея и подразделяется на марнинскую, удинскую и айсинскую свиты (Хоментовский и др., 1972), используемых при геологическом картировании. Марнинская и удинская свиты в бассейне р. Уда хорошо стратифицированы (Брагин, 1985), и подразделены на 11 пачек с собственным наименованием (Советов, 2005, рис. 3). В бассейне р. Уда в марнинской свите прослежены два седиментационных цикла 3-го порядка (уляхский и огнитский сиквенсы), разделенные рельефными поверхностями размыва. Остатки и следы мягкотелых животных находятся в трансгрессивных частях этих сиквенсов.

Уляхский сиквенс образован в нижней части диамиктитами (тиллитами), гранено-валунными брекчиями, гляциофлювиальными валунными конгломератами и песчаниками, черными и серыми ламинитовыми алевролитами и аргиллитами, а в верхней части – венчающими доломитами (кэп-доломитами) озеркинской пачки. Выделены два типа разреза озеркинской пачки – ламинитовых и строматолитовых доло-

митов внутренних лагун и песчаных доломитов и песчаников барьерного комплекса и песчаных волн. Многочисленные разнообразные представители ихнофауны *Crusiana* найдены в средней и верхней частях озеркинской пачки (60–140 м) в пиритизированных песчаниках и черных алевролитах межбаровых ложбин и в песчаниках подводных дон. Преобладают *Thalassinoides* и *Planolites* согласно классификации Penberton, MacEachern & Frey (1992).

Наибольшую выдержанность в регионе имеют трансгрессивные отложения верхней части огнитского сиквенса – большеайсинская пачка. Большеайсинская пачка (105–165 м) представлена, в основном, мелкими циклическими последовательностями (5–20 см) песчаников и алевролитов, представляющих собой отложения штормов (темпеститы) и приливов (тайдилиты). В большеайсинской пачке на р. Уда найдены отпечатки и слепки мягких тел бесскелетных Metazoa из групп Radialia и Bilateria, принадлежащих типам Coelenterata, Proarticulata, Petalonomatae. Отпечатки медузоидных организмов отнесены к классам Cyclozoa и Inordozoa согласно М.А. Федонкину (1985). Наиболее крупная по числу экземпляров (более 80 экз.) коллекция Cyclozoa

**Таблица 1.** Все образцы хранятся в коллекции ИНГГ СО РАН. 1–9 – Присаянье, р. Уда, венд, марнинская свита, большеайсинская пачка: **1** – Многослойные скопления представителей Cyclozoa и Inordozoa на поверхности тонкозернистого песчаника, №11270-1, слепки медуз наложены друг на друга, а контуры их тел в нижнем слое «просвечивают» через верхний. Преобладают гладкие формы с центральной ямкой (бугорком). В нижней части снимка неполный слепок cf. *Pteridinium*, x0,6; **2** – cf. *Hiemalora* Fedonkin в левой части и cf. *Paliella* Fedonkin справа, №11270-1, деталь верхней левой части снимка 1. Два слепка *Hiemalora* частично наложены друг на друга, представлены оральной стороной и отличаются крупной центральной ямкой, отделенной валиком от радиально сегментированной внешней части с резким рельефом. Отпечаток *Paliella* (справа) имеет очень тонкую кольцевую и радиальную скульптуру, мелкий центральный бугорок и внешний кольцевой валик, x1,7; **3** – cf. *Dickinsonia* Sprigg, №7039-5. Билатерально-симметричный листообразный неполный отпечаток с разделительной глубокой бороздкой и сегментами, отходящими от бороздки и плавно изгибающимися к сужающейся части «листа». Сегменты булавовидно утолщаются в дистальной части. x1; **4** – Проблематика Radialia, имеющая сходство с седентарными одиночными кишечнополостными, №12508-1, выпуклые округлые формы с неясной радиальной сегментацией и постмортуальной морщинистостью, со слабо выраженным центральным бугорком находятся внутри песчаного слоя. Деформация после захоронения мягкого тела сместила центр симметрии. x1,3; **5–7** – Проблематика Bilateria неясного систематического положения: **5** – 12508-1, **6** – 12508-4-1, **7** – 12508-4-2; **5, 6** – формы со сложной гладкой поверхностью конусные или с конусными элементами, **7** – другие формы в виде полукруга относительно простые уплощенные бисимметричные. Находятся в ассоциации с одиночными Radialia внутри песчаного слоя и отнесены к бентосу. (**5, 6**) – x1, **7** – x1,7; **8** – Cyclozoa наиболее морфологически близкие к *Paliella* Fedonkin, но возможно это самостоятельный род, оральная сторона, №7039-3. Находится на поверхности тонкозернистого песчаника в ассоциации с многочисленными разноразмерными идеально круглыми экземплярами близких по строению медуз. слепок внешнего валика, центральная ямка и слабо выраженные овальные тела (гонады) указывают на четырехлучевую симметрию. x1; **9** – Проблематика Bilateria неясного систематического положения, №12508-3. Имеет сходство с одной стороны с Radialia – одиночными бентосными формами кишечнополостных (**4**), с другой – с животными бисимметричного строения без разделяющего валика или бороздки. Находится внутри слоя песчаника в прижизненном положении, представляет собой выпуклую шлемообразную форму радиально (в дистальной части) и продольно (в медианной части) сегментированную. Входит в ассоциацию бентосных одиночных организмов вместе с формами **4–7**. x2. **10–11** – Проблематика *Kachergatia*. Батонovidный слепок с чешуеобразной скульптурой и продольной морщинистостью, **1** – вид со «спинной» стороны, **2** – вид сбоку, имеет омега-видный поперечный срез. №11304. Признаками биологического происхождения автор считает скульптуру, в которой сочетаются субперпендикулярные друг другу сегментация и морщинистость. x6; Прибайкалье, р. Голоустная, венд, качергатская свита, экорликская пачка

представлена разноразмерными от 3 до 20 мм в диаметре идеально круглыми плоскими гладкими очень тонкими тельцами медуз с центральной ямкой без концентрической и радиальной скульптуры (табл. I, фиг. 9). Ранее эти формы были отнесены к роду *Nemiana* (Советов, 2005), но дополнительные сборы показали отчетливо планктонное происхождение этих организмов, выраженное в многослойном (до трех слоев) скоплении разноразмерных особей на поверхности тайдилитов. Мягкие тельца медуз огибают микрорельеф волновой поверхности тонкозернистых песчаников, а контуры тел, лежащих ниже, «просвечивают» через верхний ряд (табл. I, фиг. 1). Деформированные остатки cf. *Tirasiana* Palij в одном экземпляре обнаружены на поверхности штормового песчаника (Советов, 2005). Представители класса Inorodozoa с радиальной сегментацией, имеют хорошо выраженную глубокую центральную ямку. Найдено три экземпляра диаметром 10–15 мм рода cf. *Hiemalora* Fedonkin в ассоциации с более обильными несегментированными Cyclozoa (табл. I, фиг. 2).

Среди найденных остатков есть большая группа (более 20 экземпляров) несегментированных объемных трехмерных организмов, несомненно бентосных. Эти организмы от 5 до 50 мм по длинной оси имели конусную кубковидную, каплевидную, дисковидную или сложную неправильную формы, в сечении обычно овально-треугольные, уплощенные к основанию, или овоидные. Массовое скопление таких организмов найдено в песчаниках проксимальных штормовых отложений наиболее близких к пляжу. Поверхность форм гладкая или морщинистая, поперечная к удлинению или радиальная иногда с симметричными насечками – протосегментами. На поверхности послойного скола формы самые разнообразные от округлых, бобовидных до неправильных со сложной мягко изгибающейся поверхностью (табл. I, фиг. 4–7, 9). Один экземпляр имеет видимое сходство с изображением и описанием *Baikalina sessilis* Sokolov (Соколов, 1975). Эта группа животных по рудиментарной билатеральной симметрии строения тела отнесена к разделам Radialia и Bilateria.

Листовидный позитивный отпечаток cf. *Dickinsonia* Sprigg был обнаружен на поверхности слоя песчаника штормового происхождения (табл. I, фиг. 3). Организмы семейства Pteridinidae представлены тремя слепками неполных экземпляров, переотложенных штормовыми течениями (Советов, 2005).

Кроме вышеназванных в верхней части оселковой серии (айсинская свита) были собраны многочисленные слепки из проблематичной группы *Arumberia*. Эти остатки тесно связаны с отложе-

ниями аллювиальных равнин, морфологически разнообразны и отнесены к наземным *Metaphyta* (Советов, 2006). В верхней части качергатской свиты (Прибайкалье) – стратиграфическом аналоге айсинской свиты (Присяняне) – были найдены необычные слепки до 50 см в поперечнике, названные *Kachergatia* (Советов, 2006). Эти остатки проблематичного (животного или растительного?) происхождения имеют батоновидную (табл. I, фиг. 10–11) или уплощенную, дисковидную форму, сегментированы с чешуйчатым наложением сегментов, которые в свою очередь покрыты поперечными морщинками. Более детальное изучение трех образцов *Kachergatia* привели к заключению, что чешуйчатая текстура с дополнительной скульптурой не связаны с физическим процессом. Отсутствие продольной оси симметрии не позволяет относить эти остатки к семейству Pteridinidae, возможно *Kachergatia* новый род или более высокий таксон Petalonamae.

Геодинамическое и палеогеографическое положение биот вендо-эдиакарского типа на северо-востоке Восточно-Европейской (Grazhdankin, 2004) и юго-западе Сибирской платформы (Советов, 2002) сходно. Эти биоты были тесно связаны с формированием периферических форландовых бассейнов – следствием кадомской (байкало-тиманской) орогении.

Исследование выполняется в рамках комплексной программы Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы».

Автор благодарен Д.В. Гражданкину за консультации и полезные обсуждения проблем палеонтологии венда.

### Литература

- Бразин С.С. Оселковая серия позднего докембрия Присяня // Стратиграфия позднего докембрия и раннего палеозоя Сибири. Венд и рифей. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР. 1985. С. 44–57.
- Гуреев Ю.А. Бесскелетная фауна венда // Биостратиграфия и палеогеографические реконструкции докембрия Украины. Киев: Наукова думка. 1988. С. 65–81. Табл. I–XIII.
- Панй В.М. Остатки бесскелетной фауны и следы жизнедеятельности из отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Подолии // Палеонтология и стратиграфия верхнего докембрия и нижнего палеозоя юго-запада Восточно-Европейской платформы. Киев: Наукова Думка, 1976. С. 63–77.
- Советов Ю.К. Растительность на берегах вендских рек, климатическая зональность и палеогеографическое положение Сибирского кратона в позднем венде // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научного совещания по интеграционному программат Отделения наук о Земле Сибирского отделения (16–20 октября 2006 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск). Иркутск: ИЗК СО РАН. 2006. Т. 2. С. 143–146.

- Советов Ю.К., Комлев Д.А. Тиллиты в основании оселковой серии Присаянья и нижняя граница венда на юго-западе Сибирской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. №4. С. 3–34.
- Соколов Б.С. О палеонтологических находках в доуольских отложениях Иркутского амфитеатра // Аналогии вендского комплекса в Сибири. М.: Наука. 1975. С. 112–117.
- Соколов Б.С. Вендский период в истории Земли // Природа. №12. 1984. С. 3–18.
- Соколов Б.С. Очерки становления венда. М.: KMK Scientific Press Ltd. 1997. 154 с.
- Федонкин М.А. Беломорская биота венда (докембрийская бесскелетная фауна севера Русской платформы. М.: Наука. 1981. 98 с.
- Федонкин М.А. Бесскелетная фауна венда: проморфологический анализ. Систематическое описание вендских metazoa // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 1. Палеонтология. М.: Наука. 1985. С. 10–106.
- Хоментовский В.В. Венд Сибирской платформы // Соколов Б.С., Федонкин М.А. ред., Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука. 1985. С. 83–161.
- Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якиши М.С., Бутаков Е.П. Опорные разрезы отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Сибирской платформы. М.: Наука. 1972. 356 с.
- Хоментовский В.В., Постников А.А., Карлова Г.А., Кочнев Б.Б., Якиши М.С., Пономарчук В.А. Венд Байкало-Патомского нагорья // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. №4. С. 465–485.
- Чечель Э.И. Находка цикломедузы в отложениях островой свиты Енисейского кряжа // Геология и геофизика. №11. 1976. С. 118–120.
- Чумаков Н.М., Покровский Б.Г., Мележик В.А. Геологическая история Патомского комплекса, поздний докембрий, Средняя Сибирь. Докл. РАН. 2007. Т. 413. №3. С. 379–383.
- Якиши М.С. Рифей. Енисейский регион. Район Бирюсинского Присаянья. Байкало-Патомский регион. Байкальский район, Витимо-Чайский район. Жуино-Ленский район // Мельников Н.В. (ред.) Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: «ГЕО». 2005. С. 61–68, 87–100.
- Cloud P., Glaessner M.F. The Ediacarian Period or System: Metazoa Inherit the Earth // Science. 1982, V. 217. №4562. P. 783–792.
- Grazhdankin D. Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland // Gee D.G. and Pease V. eds., The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London Memoirs, 30. 2004. P. 37–46.
- Penberton G.S., MacEachern J.A., Frey R.W. Trace fossils facies models: environmental allostratigraphic significance // R.G. Walker and N.P. James eds., Facies models: response to sea level change. Geological association of Canada. 1992. P. 47–72.
- Sovetov J.K. Vendian foreland basin of the Siberian cratonic margin: Paleopangean accretionary phases // Russian Journal of Earth Sciences. 2002. V.4. No 5. P. 365–387.

PART 2  
PRECAMBRIAN MICROFOSSILS  
ЧАСТЬ 2  
ДОКЕМБРИЙСКИЕ МИКРОФОССИЛИИ

ЗАМЕТКИ О НОВОМ ПЛАНЕ СТРОЕНИЯ ПОЗДНЕРИФЕЙСКИХ  
МИКРОФОССИЛИЙ *CYPANDINIA*

Т.Н. Герман, В.Н. Подковыров

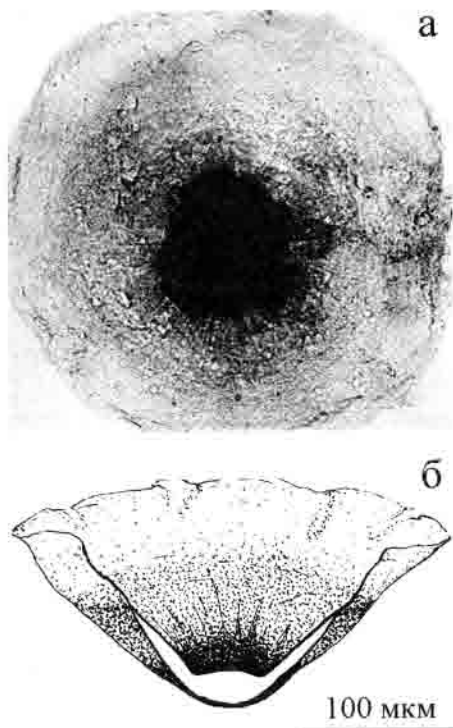
Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург,  
email:vpodk@mail.ru

Предметом данной публикации являются обнаруженные в лахандинской микробиоте (возраст 1020–1030 млн лет) многочисленные, своеобразные микрофоссилии *Cypandinia supracomposita* Hermann, отнесенные в группу акритарх (Герман, Подковыров, 2002). Акритархи в прижизненном состоянии, в большинстве случаев, были шарообразной формы. Обладая достаточно прочной и эластичной оболочкой (клеточной стенкой), акритархи сохраняются в постмортальном состоянии в виде плоских сфер, прижизненный объем которых уходит в различно образуемые складки смятия. Тип сохранности *Cypandinia*, указывает на то, что эти микрофоссилии по своей организации не могли быть шаровидными. Они не имеют лейосферного типа складок и представляется важным обратить внимание на ципандиний, как на специфическую группу древних организмов с новым – чашевидным планом строения их тела и отражающих время появления нового морфотипа в эволюционной истории органического мира верхнего рифея.

Гипотетически эти организмы могли быть низкоконической формы. В ископаемом состоянии тело ципандиний округлое в очертании, диаметром 300–500 мкм, плоское, подразделено на три концентрические зоны, различающиеся по плотности их текстуры и цвету. У микрофоссилий выделяется темно-коричневым цветом центральная плотная однородная зона округлой, реже овальной формы. Эта зона пролонгируется в менее плотную и более светлую (коричневого цвета) зону, которая переходит в краевую зону, утонченную до пленочной толщины, светло-желтого цвета. Центральная зона более или менее обособленная, а граница перехода второй зоны в краевую – размытая, нечеткая.

Именно эта, периферийная зона пленочной толщины, привлекает к себе особое внимание. Контур ее не всегда ровный в очертании; могут быть частичные обрывы и редкие загибы тонкого края. При видимой утонченности этой зоны, она достаточно устойчивая, вероятно упругая. Периферийный край организмов иногда дополняют прерывистые, концентрически расположенные ультратонкие морщинки. Возможно, в прижизненном состоянии, тело *Cypandinia* окружал слизистый чехол.

Другой особенностью микрофоссилий является наличие радиально направленных узких и прямых «случай-каналов» – бороздок. Они отходят от центральной – уплотненной части организмов, проходят через вторую зону и теряются в самой тонкой краевой зоне (рис. 1, а, б). Однозначно объяснить присутствие этих структур затруднительно. Предположение, что они вторичные и могли образоваться при давлении на плотную центральную зону, мало вероятно. В этом случае светлые бороздки должны отразиться на плотной, несколько объемной, центральной части организмов и не обязательно в виде прямых лучей. Возможно, лучевые структуры имели функциональное назначение. Некоторые отличия в интенсивности проявления лучевых структур, и в разделении тела на концентрические зоны, вероятно, связаны с фазами развития *Cypandinia*. Экземпляры, зафиксированные с незначительным смещением центральной зоны в боковое положение, показывают нарастающее расширение вверх второй и третьей зон по отношению к центральной – уплотненной. Предположительно, именно этой, центральной, несколько объемной зоной, организмы могли крепиться к субстрату.



**Рис. 1.** а – *Cylandinia supracomposita* Hermann, 2002 в ископаемом состоянии; б – предполагаемая реконструкция *Cylandinia*

Принимая во внимание благоприятную экологическую среду осадконакопления лахандинского палеобассейна и хорошую сохранность *Cylandinia*, рассматриваемые фоссилии, по образу жизни, интерпретируются как бентосные организмы, захороненные на месте их обитания. В спокойной обстановке происходило быстрое осадконакопление. При отсутствии турбулентности, без дальнейшего переноса осадка по дну бассейна, эти сидячие микроорганизмы, при засыпании их тонкодисперсным глинистым осадком сохранили плоскую и округлую

форму тела с подразделением его на три концентрические зоны, разные по плотности их текстуры.

План строения, наблюдаемый у ципандиний, напоминает план строения некоторых вендских кишечнорастных простого строения, симметрия которых названа монаксонной гетерополярной бесконечно большого порядка. Сюда относят класс *Cyclozoa*, часть из которых, демонстрирует концентрическую дифференциацию тела и имеет радиальные элементы морфологии. Присутствующие у них узкие прерывистые концентрические морщины указывают на возможную радиальную сократимость тела, свойственную прикрепленным организмам (Федонкин, 1987). Отмечаемые признаки у вендских *Cyclozoa*, похоже, повторяют признаки более древних (позднерифейских) организмов, которые могут представлять собой пример действия стабилизирующей формы естественного отбора. *Cylandinia* могут рассматриваться как организмы, адаптированные в процессе исторического развития, к изменениям среды обитания, которые приобрели направленный характер целесообразных реакций (Шмальгаузен, 1941), а так же как организмы, которые приобрели устойчивые свойства новой структуры, развивающейся, запомнившейся, адаптированной и необратимой (Раутиан, 2006).

Работа выполнена при поддержке Программы 18 Президиума РАН и гранта РФФИ 07-05-00906.

### Литература

- Герман Т.Н., Подковыров В.Н. О находках рифейских диморфных организмов // Палеонтол. журн. 2002. №3. С. 3–10.
- Федонкин М.А. Бесскелетная фауна венда и ее место в эволюции метазоа // М.: Наука. 1987. 175 с.
- Раутиан А.С. Букет законов эволюции // Эволюция биосферы и биоразнообразии. М.: Т-во научн. изданий КМК. 2006. С. 20–38.
- Шмальгаузен И.И. Стабилизирующий отбор и его место среди факторов эволюции // Журн. Общей биологии. 1941. N. 2. №3. С. 307–354.

## НИЖНЕВЕНДСКИЙ КОМПЛЕКС МИКРОФОССИЛИЙ ВНУТРЕННИХ РАЙОНОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Е.Ю. Голубкова, Е.Г. Раевская

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург;  
email: lena@ER14812.spb.edu

Находки крупных орнаментированных микрофоссилий, которые в свое время послужили основанием для выделения широко цитируемого ныне сибирского комплекса ШБ, известны из верхнепротерозойских отложений Непско-Ботуобинской ан-

теклизы и Байкало-Патомского прогиба Сибирской платформы начиная с 80-ых годов прошлого столетия. Изначально ошибочное отнесение обнаруженных шиповатых оболочек к роду *Baltisphaeridium* и основанное на этом сопоставление всего комплекса



микрофоссилий с нижнекембрийским люкатинским комплексом Восточно-Европейской платформы привело к разногласиям в интерпретации возраста вмещающих отложений. Это обстоятельство несколько подорвало доверие к микрофитологическому методу и приостановило дальнейшее изучение обнаруженных биот. Последующая таксономическая ревизия затронула только крупные сферические оболочки с выростами (Moczydlowska et al., 1993; Moczydlowska, 2005), оставив за пределами рассмотрения большую группу сопутствующих микрофоссилий.

Данная работа посвящена изучению полного многообразия встречаемых микроостатков, уточнению общей таксономической характеристики реконструируемого микробиального сообщества, а также выявлению особенностей его латерального распространения в вендских отложениях внутренних районов Сибири.

В работе приведены результаты изучения пяти скважин, четыре из которых (Пелейдуйская 750, Озерная 761, Западная 741 и Западная 742), согласно принятому фациальному районированию (Решения..., 1989), расположены в пределах Пелейдуйской структурно-фациальной зоны юго-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы, а пятая — Отраднинская 314-1 находится в северной части Нюйской фациальной зоны Байкало-Патомского прогиба. Во всех скважинах микрофоссилии обнаружены только в породах паршинской свиты непского горизонта венда и не встречены ни в подстилающих, ни в перекрывающих отложениях.

Вместе с тем, выявленные в объеме приблизительно одного стратиграфического интервала, микрофоссилии слагают различные таксономические ассоциации. Отчетливо обособляются две ассоциации, которые по присутствию наиболее характерных таксонов названы нами условно как комплекс I с *Appendisphaera grandis* – *A. tenuis* – *Talakania obscura* и комплекс II с "*Polygonium*" *cratum*.

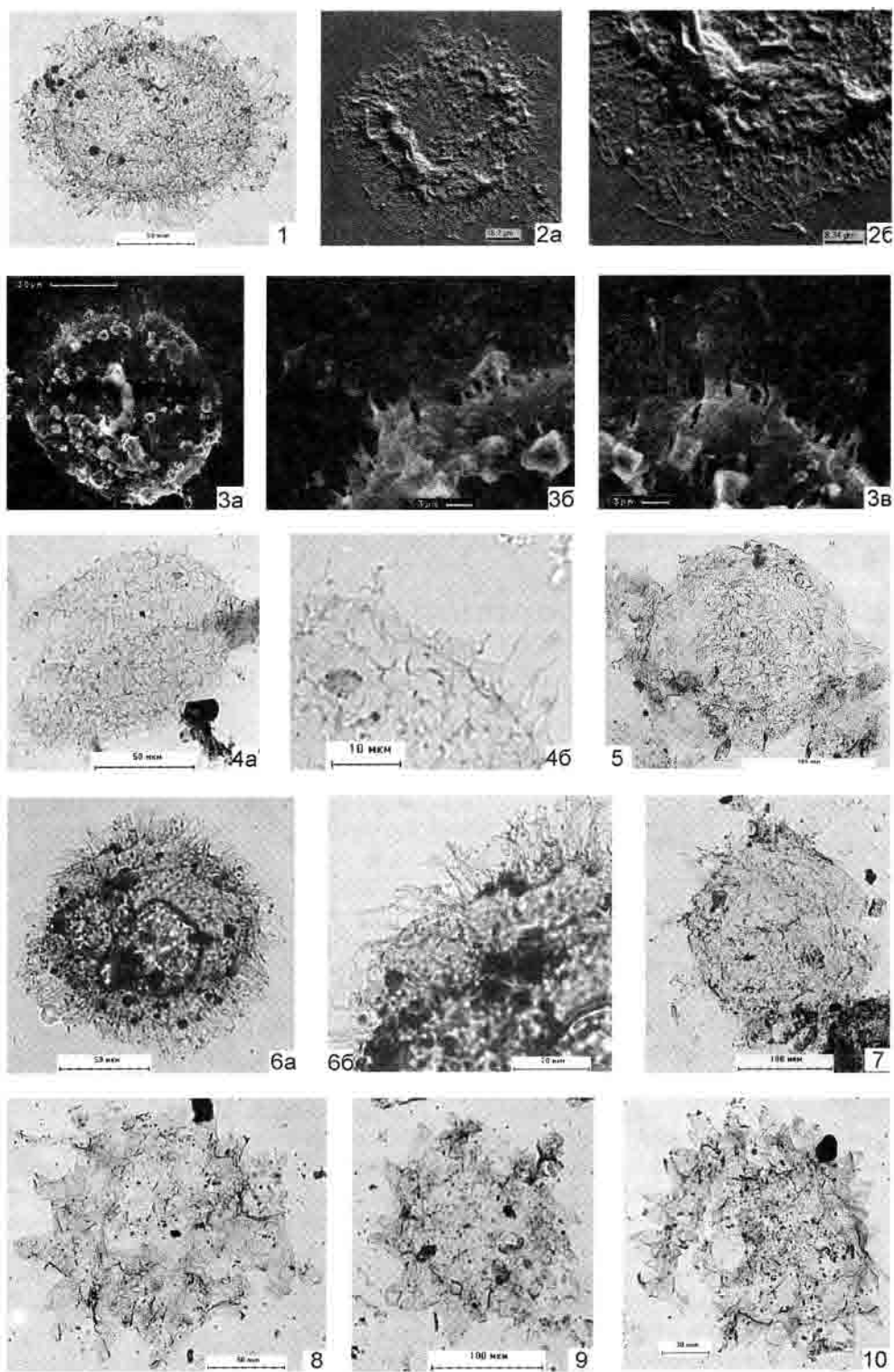
Первый комплекс характеризует отложения паршинской свиты, вскрытые в четырех скважинах Пелейдуйской структурно-фациальной зоны, и содержит богатый набор акантоморфных акритарх *Appendisphaera grandis* (Moczydl. et al.), emend. Moczydl., *A. tenuis* (Moczydl. et al.), emend. Moczydl., *Cavaspina acuminata* (Kol.), emend. Moczydl. et al., *Tanarium conoideum* (Kol.), emend. Moczydl. et al., *T. tuberosum* Moczydl. et al., а также оболочки с продольными тяжами *Cucumiforma vanavaria* Mikh., двухслойные *Pterospermopsimorpha insolita* (Tim.), emend. Mikh. и овальные формы *Navifusa majensis* Pjat., простые сферические *Leiosphaeridia atava* (Naum.), emend. Jank., *L. minutissima* (Naum.), emend. Jank., *L. tenuissima* Eis. и обильные нитча-

тые формы *Talakania obscura* Kol., *Polytrichoides lineatus* Herm., *Glomovertella glomerata* Jank., *Siphonophycus* spp. и некоторые другие. Особый интерес вызывают оболочки найденные в скв. Западная 742 (гл. 1820 м) с многократно ветвящимися тонкими анастомозирующими выростами, образующими нерегулярную сетку или срастающимися в причудливую спутанную кайму (табл. I, фиг. 1–3). Их видовая и родовая принадлежность пока не определены. Похожий план строения оболочек просматривается у некоторых австралийских микрофоссилий из Пертататакской Формации (Zang, Walter, 1992). В вендских отложениях нашей территории такие формы прежде не были известны.

Второй комплекс отличается более бедным составом микрофоссилий и установлен пока только в одной скв. Отраднинская 314-1 (гл. 2603–2604,4 м). В опробованных отложениях перечисленные выше акантоморфные акритархи не встречены. На фоне транзитных сферических оболочек *L. crassa* (Naum.) emend. Jank., *L. minutissima* (Naum.), emend. Jank., *L. tenuissima* Eis. и нитчатых *Siphonophycus robustum* (Schopf), Knoll, *Siphonophycus* sp. в большом количестве присутствуют только своеобразные формы "*Polygonium*" *cratum* (Zang), emend. Grey (табл. I, фиг. 8–10). Эти формы также обнаружены на территории России впервые. Прежде они были описаны только в Австралии из отложений формации Пертататака (Zang, Walter, 1992) и в Китае, в формации Доушаньто (Zhang et al., 1998), где они были найдены в ассоциации с другими акантоморфными акритархами.

Критический анализ и сопоставление диапазонов стратиграфического распространения установленных таксонов в пределах Сибирской платформы и далеко за ее границами, основанный на собственных данных и публикациях других авторов (Колосова, 1990, 1991; Zang, Walter, 1992; Moczydlowska et al., 1993; Zhang et al., 1998; Наговицын и др., 2004; Moczydlowska, 2005), позволяет без тени сомнений считать «паршинское» сообщество микрофоссилий в целом нижневендским. Различное соотношение таксонов и выраженное замещение одних форм другими по латерали является, возможно, отражением углубления бассейна в восточном направлении. Однако для подтверждения намеченной взаимосвязи необходимо изучение большего количества материала с учетом результатов палеофациальных исследований.

Несмотря на то, что на протяжении почти 30-ти лет к рассмотрению вендских микрофоссилий Сибири с той или иной степенью детальности обращались многие специалисты, нижневендский уровень, характеризующийся появлением и широким развитием новых морфологических типов эвкаротных микроорганизмов, остается, по-прежнему,



**Таблица I.** Микрофоссилии паршинской свиты непского горизонта нижнего венда. Сибирская платформа, Байкало-Патомский прогиб: **фиг. 1-3** – gen. et sp. indet., скв. Западная 741, гл. 1820 м; **фиг. 4** – *Appendisphaera tenuis* (Moczydl. et al.), emend. Moczydl., скв. Озерная 761, гл. 1876–1884 м; **фиг. 5** – *Tanarium tuberosum* Moczydl. et al., скв. Озерная 761, гл. 1876–1884 м; **фиг. 6** – *Appendisphaera grandis* (Moczydl. et al.), emend. Moczydl., скв. Западная 741, гл. 1820 м; **фиг. 7** – *Tanarium conoideum* (Kol.), emend. Moczydl. et al., скв. Озерная 761, гл. 1876–1884 м; **фиг. 8-10** – “*Polygonium*” *cratum* (Zang), emend. Grey, скв. Отграднинская 314-1, гл. 2603–2604,5 м

наименее изученным. Поэтому, таксономические исследования богатых ранневендских микробильных сообществ, изучение среды их обитания и взаимоотношений с одновозрастными биотами эдиакарского типа являются первостепенными задачами ближайших лет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-05-00906 и Программы 18 Президиума РАН.

### Литература

Колосова С.П. Древнейшие акантоморфиты востока Сибирской платформы // Сб. Органический мир и стратиграфия отложений нефтегазоносных и рудоносных районов Якутии. Якутск. 1990. С. 2–45. Деп. ВИНТИ №4997-В90.

Колосова С.П. Позднедокембрийские шиповатые микрофоссилии востока Сибирской платформы // Альгология. Киев. 1991. Т. 1. №2. С. 53–59.

Наговицын К.Е., Файзуллин М.Ш., Якишин М.С. Новые формы акантоморфных акритарх байкалия Патомского На-

горья (уринская свита, Восточная Сибирь) // Приложение к журналу Геология и геофизика. Т. 45. Новости палеонтологии и стратиграфии. 2004. Вып. 6–7. С. 7–19.

Решения четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы // Новосибирск. СНИИГ-ГимС. 1989. 64 с.

Moczydlowska M., Vidal G., Rudavskaya V.A. Neoproterozoic (Vendian) phytoplankton from the Siberian platform, Yakutia // Palaeontology. 1993. Vol. 36. Part 3. Pp. 495–521.

Moczydlowska M. Taxonomic review of some Ediacaran acritarchs from the Siberian Platform // Precambrian Research. 2005. 136. Pp. 283–307.

Zang, Wenlong, Walter M.R. Late Proterozoic and Cambrian microfossils and biostratigraphy, Amadeus Basin, central Australia // Mem. Ass. Australas. Palaeontols 12. 1992. 132 p.

Zhang Y., Yin L., Xiao S., Knoll A.H. Permineralized fossils from the terminal Proterozoic Doushantuo Formation, South China // J. Paleontol. 1998. 72(4). The Paleontological Society Memoir 50. pp. 1–52.

## MICROFOSSIL ASSEMBLAGES FROM THE VYCHEGDA FORMATION OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM PASSIVE MARGIN – A BIOSTRATIGRAPHICAL MODEL FOR THE UPPER RIPHEAN (CRYOGENIAN)/VENDIAN (EDIACARAN) BOUNDARY

N.G. Vorob'eva<sup>1</sup>, V.N. Sergeev<sup>1</sup> & A.H. Knoll<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute of RAS, Moscow, Russia;

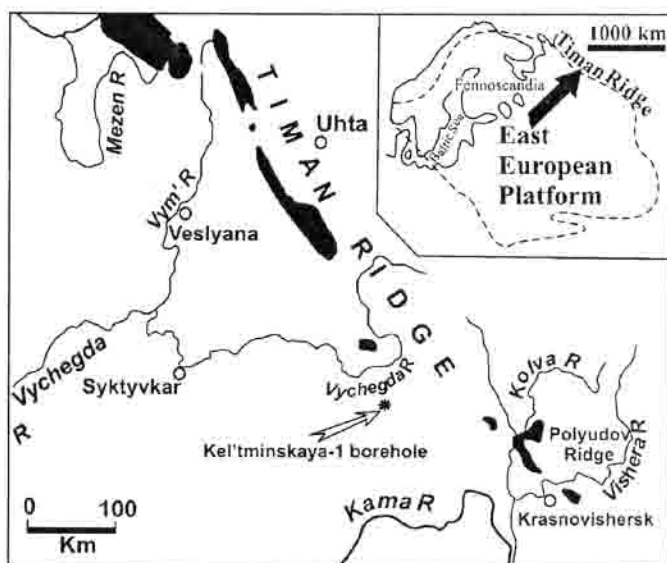
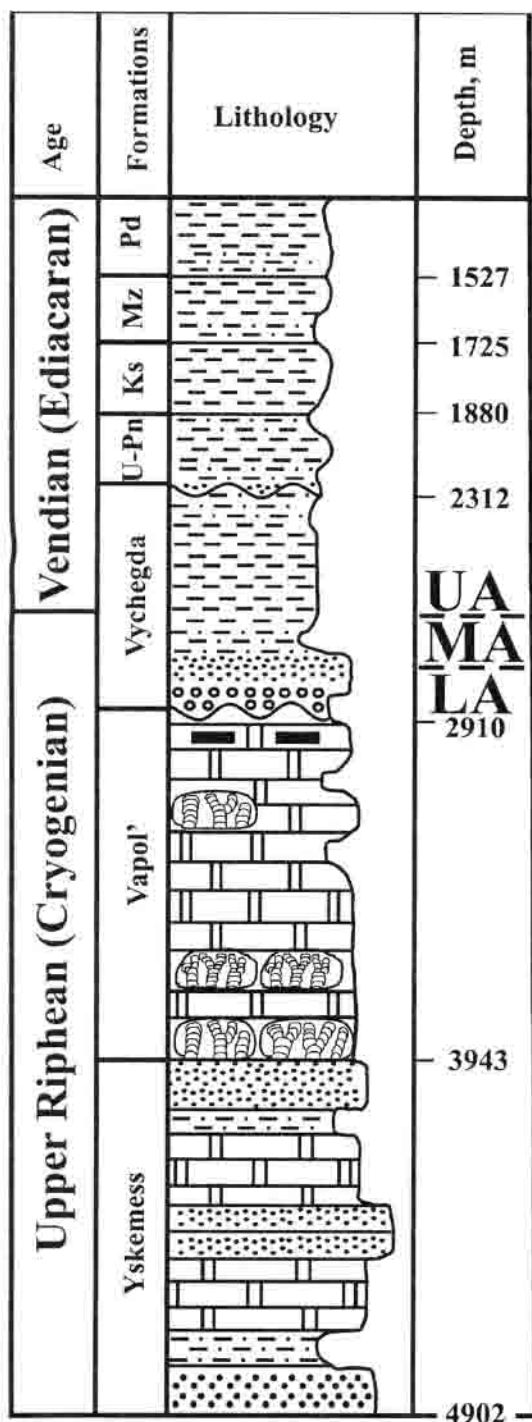
<sup>2</sup> Harvard University, Cambridge, USA;

email: sergeev@ginras.ru

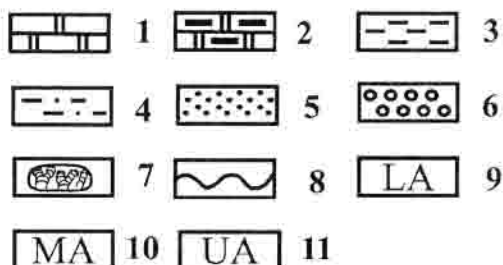
The uppermost Precambrian succession of the East European Platform (EEP) has long played a key role in evolving ideas about terminal Proterozoic stratigraphy and, indeed, was selected as the type section of the Vendian system (Sokolov, 1997). This thick siliciclastic succession contains abundant and diverse remains of soft-body Metazoa and microfossils that document Ediacaran biological diversity, providing paleontological characterization of the Vendian system stratotype. Assemblages of large acanthomorphic acritarchs of Pertatataka type or Ediacaran Complex Acanthomorph Palynoflora (ECAP) have not previously been found here. These microbiotas occur in the relatively narrow stratigraphic interval of the lower Ediacaran (Vendian) and have been reported from numerous localities throughout the world (see Knoll, 1992; Zhang *et al.*, 1998; Grey, 2005 and others). Recently, however, large, profusely ornamented acritarchs have been reported from the Vychegda Formation, deposited along the margin of the EEP (Veis *et al.*, 2006; Vorob'eva *et al.*, 2006).

The Vendian type section consists of a platform succession deposited unconformably on top of crystalline basement and Riphean aulacogen deposits. The

Laplandian, Redkino, Kotlin and Rovno successions (in the international scale, the Rovno belongs to Lower Cambrian) can be traced across the EEP. Laplandian tillites are overlain by Redkino siltstones and argillites that contain a diverse biota of Ediacaran soft-body metazoans (Fedonkin, 1981, 1987). The Redkino and overlying Kotlin horizons contain relatively diverse acritarchs, with abundant remains of coccoidal and filamentous microfossils of various morphologies, but diverse acanthomorphic acritarchs are essentially absent from this succession (Volkova *et al.*, 1983; Burzin, 1994; Sokolov, 1997 *et al.*). The absence of Pertatataka-like assemblages in the EEP succession has been attributed to a hiatus between the Laplandian and Redkino horizons (Burzin, Kuz'menko, 2000), an interpretation supported recent radiometric dates. Constraining dates on tillites in the Ural Mountains (Semikhatov, 1991) are consistent with U-Pb zircon ages from China and South Africa that indicate deglaciation about 635 myr ago (Hoffmann *et al.*, 2004; Condon *et al.*, 2005; but see Calver *et al.*, 2004). Yet, the Redkino transgression that deposited a thick and fossiliferous blanket of siliciclastic rocks across the EEP began no more than 555–560 myr ago (Martin *et al.*, 2000).



A



B

Fig. 1. Location map of the "Kel'tminskaya-1" borehole in the Timan Ridge area (A) and its stratigraphic section (B). Black color areas show the natural outcrops of the Proterozoic rocks and position of main map is shown by the filled arrow on the insert map of Eastern European Platform. The section of the southern Ural Mountains Riphean and Vendian deposits is shown to the lower left corner of figure 1 (C).

Abbreviations, formations: U-Pn – Ust' – Pinega, Ks – Krasavin, Mz – Mezen, Pd – Padun.

Key: 1 – dolomites and limestones, 2 – dolomites with cherts, 3 – shales, 4 – siltstones, 5 – sandstones, 6 – conglomerates, 7 – stromatolitic bioherms, 8 – unconformities, 9 – lower Vycheгда microfossil assemblage, 10 – middle Vycheгда microfossil assemblage, 11 – upper Vycheгда microfossil assemblage (Kel'tma microbiota)

The succession, however, builds downward toward the passive margin of the EEP near the Timan Uplift along its northeastern flank. The Timan trough is located between the Russian and Timan-Pechora plates and contains thick upper Proterozoic and lower Paleozoic sedimentary successions complicated by numerous thrusts and folds (fig. 1A). There are not many natural outcrops of the Proterozoic rocks in this region, so data about these successions comes mainly from boreholes. The new finds of acanthomorphic microfossils come from the borehole "Kel'tminskaya-1", located near the Dzhezhim-Parma Uplift (fig. 1A). The borehole revealed the following upper Proterozoic succession (in ascending order according to the stratigraphic scheme of V.V. Teresho and S.I. Kyrillin [1990]): the Yshkemess (4902–3943 m, 960 m), Vapol' (3943–2910 m, 1000 m), Vychehda (2910–2312 m, 600 m), Ust'-Pinega (2312–1880 m, 430 m), Krasavino (1880–1725 m, 150 m), Mezen (1725–1527 m, 200 m) and Padun (1527–1330 m, 200 m) formations (Fig. 1B, in the brackets the borehole Kel'tminskaya-1 depth levels and total thickness of units are provided). The upper three formations belong to the Kotlin horizon and can be traced into the adjacent Mezen syncline, whereas the Ust'-Pinega Formation is correlated to the Redkino horizon (Fedonkin, 1981, 1987; Sokolov, 1997). However, the Vychehda Formation thins toward the Mezen syncline and has no counterpart in that region. The pre-Vychehda part of section is easily correlated to the type section of the Riphean deposits of the southern Ural Mountains (Gehen et al., 1987; Raaben and Oparenkova, 1997). Therefore, the Vychehda Formation seems to be firmly bracketed between the Upper Riphean (Cryogenian) and upper Vendian (Ediacaran) deposits. Tillites are missing from this area.

Large, profusely ornamented acritarchs occur in all sections of the Vychehda Formation; however, fossil assemblages can be separated into three microbiotas according to their taxonomic composition. The upper part of the formation, from core depths of 2779–2312 m, contains abundant large acanthomorphic acritarchs comparable to those of the Pertatataka and other coeval assemblages. We refer to this as the "Kel'tma microbiota", distinguishing it from subjacent assemblages. The bulk of assemblage comprises taxa of morphologically complex eukaryotic remains, including *Alicesphaeridium medusoidum*, *Tanarium conoideum*, *Cavaspina acuminata*, *Asterocapsoides sinensis*, *Ericiasphaera polystacha* and some others known from the contemporaneous lower Ediacaran (Vendian) assemblages (Pl. I; D, E, K, L), as well as taxa not previously described from other localities. These acritarchs may well include the diapause egg cysts of early animals (Pl. I; F–J). The Kel'tma microbiota also includes morphologically simple filamentous and coccoidal microfossils of broad

stratigraphic range, like *Chuarina circularis*, *Polytrichoides oligofilum*, *Polysphaeroides filiformis*, *Elat-era binata*, *Bavlinella faveolata* and others. In general, the Kel'tma microbiota seems comparable to the first (Ab/Am/Gp) assemblage zone proposed by K. Grey (2005, p. 14) for the ECAP of Australia.

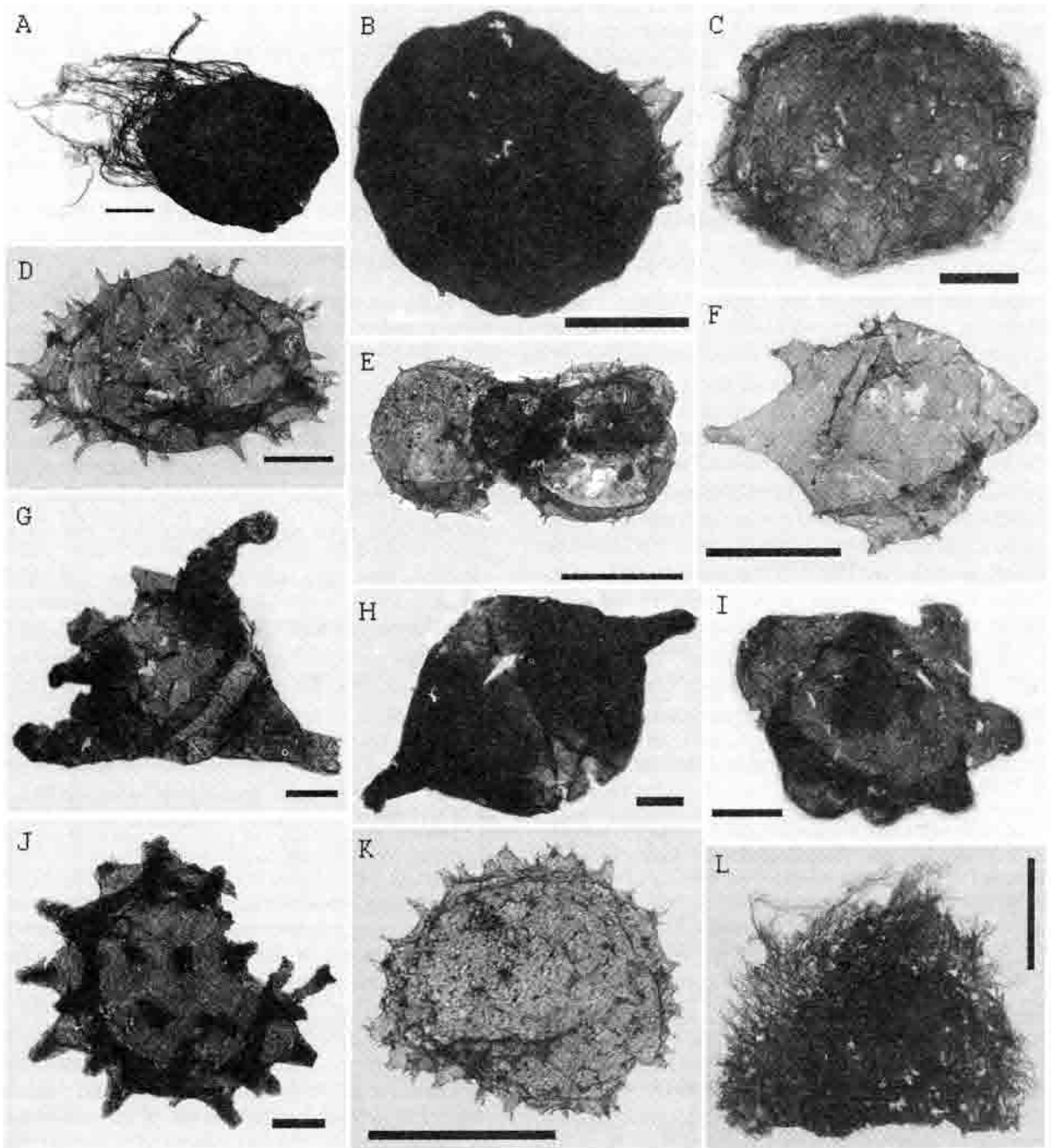
The lower Vychehda assemblage occurs in borehole depths ranging from 2910 to 2780 m. It contains such typical Upper Riphean index taxa as *Trachyhystrichosphaera aimika* (Pl. I; B) and *Prolatoforma aculeata* (Pl. I; C), as well as the filamentous and coccoidal forms like *Chuarina circularis*, *Polytrichoides oligofilum*, *Glomovertella sp.*, *Cucumiforma sp.* and others. The lower assemblage also contains numerous cuticular remains of the putative animal *Parmia anastasiae*. The middle assemblage contains only remains of morphologically simple transitional filamentous and coccoidal microorganisms.

The observed vertical succession of Upper Riphean (Cryogenian) and lower Vendian (Ediacaran) microfossil assemblages distribution through the Vychehda Formation section can be interpreted in two ways. First, the lower and upper assemblages could reflect Late Riphean and Ediacaran deposits respectively, separated by a cryptic unconformity or the condensed layers corresponding to the Laplandian glaciation, as proposed by Vorob'eva et al. (2006). Second, the entire formation could be Ediacaran, with the system-subtending ice age falling at the time represented by sub-Vychehda unconformity in the Kel'tminskaya-1 borehole, a view earlier championed by Veis et al. (2006). The second hypothesis is supported by the data from Australia, where Pertatataka-like acritarch assemblages, or ECAP, appear about 150 m above the Marinoan tillites; between is the Ediacaran Leiosphere Palynoflora composed exclusively by morphologically simple coccoidal forms (Grey, 2005). Similarly, in China, diverse acanthomorphic acritarchs of the middle and upper Doushantuo are preceded by simpler and less diverse microfossils, with uncommon acanthomorphs (Yin et al., 2007 and references therein). These data imply that many microorganisms survived the Marinoan glaciation and their major biological reorganization occurred later, in association with mid-Ediacaran redox change, animal radiation, or the Acraman impact event (e.g. Corsetti et al., 2003, 2006; Grey, 2005).

Continuing research will provide increasingly strong tests of these hypotheses. For now, the new acritarch assemblages provide a potential means of establishing the lower boundary of the terminal Proterozoic system using biostratigraphic criteria. Currently, both the Russian Vendian and International Ediacaran systems have lower boundaries related to Laplandian/Marinoan glaciation. The Vendian Period's base

was established at the base of the tillites and thus coincides with the onset of glaciation. The beginning of the Ediacaran Period is defined by a GSSP placed at the base of cap carbonates that overlie Marinoan glaciogenic rocks in South Australia (Knoll *et al.*, 2006) and

thus coincides with the end of the ice age. In general, the new data obtained on the Vychedga Formation microfossils support the current Ediacaran system lower boundary definition, but they also provide an illuminating biostratigraphic model for this boundary.



**Plate I.** (Vorob'eva *et al.*)

The microfossils from the lower (A–C) and upper (D–L) parts of Vychedga Formation: **A** – *Acritarchs* with hair-like processes; **B** – *Trachyhystrichosphaera aimika* Hermann; **C** – *Prolatoforma aculeata* Mikhailova; **D** – *Tanarium conoideum* Kolosova; **E** – *Cavaspina acuminata* (Kolosova); **F** – Unnamed form 1; **G** – Unnamed form 2; **H** – Unnamed form 3; **I** – Unnamed form 4; **J** – Unnamed form 5; **K** – *Alisesphaeridium medusoidum* Zang; **L** – *Ericiasphaera polystacha* Grey. Single scale bar equals to 50 µm, double – to 100 µm

The significance of the Vychegda microfossil assemblages can be summarized as follows:

First, the discovery of the Pertatataka-like Kel'tma microbiota on the EEP passive margin fills the stratigraphic gap recognized earlier post-glacial rocks of the Vendian type section. Until now, the lack of paleontological or geochemical evidence for lower Ediacaran (Vendian) strata on the EEP created uncertainties in the correlation of EEP successions to contemporaneous deposits throughout the world.

Second, the more-or-less continuous succession of the Vychegda Formation, including successive Cryogenian (Upper Riphean) through lower Ediacaran (Vendian) microfossil assemblages, provides an unusual opportunity to document changes in the organic world during this interval of important evolutionary transition.

Third, the presence of the Upper Riphean index-microfossils and annelidomorphs in the lower part of the Vychegda Formation and the Pertatataka-like microfossils assemblage (ECAP) in its upper part (the Kel'tma microbiota) pave the way toward the development of biostratigraphic criteria for the recognition of the lower boundary of the Terminal Proterozoic System (Ediacaran or Vendian) based on remains of phytoplanktonic microorganisms and early animals.

### References

Burzin M.B. Principal trends in evolution of phytoplankton during the late Precambrian and earlier Cambrian // Ecosystem transformations and evolution of biosphere. Moscow: Nauka. 1994. P. 51–62 [In Russian].

Burzin M.B., and Kuz'menko T.Yu. A high-resolution stratigraphic chart of the Vendian deposits in the Mezen Syneclise // Actual geological problems of mineral deposits in sedimentary basins, the European part of North Russia. Syktyvkar: Geoprint. 2000. P. 39–40 [In Russian].

Corsetti F.A., Awramik S.M., Pierce D. A complex microbiota from snowball Earth times: microfossils from the Neoproterozoic Kingston Peak Formation, Death Valley, USA // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2003. V. 100. P. 4399–4404.

Corsetti F.A., Olcott A.N., and Bakermans C. The biotic response to Neoproterozoic snowball Earth // Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology. 2006. V. 232. P. 114–130.

Calver C.R., Black L.P., Everard J.L., and Seymour D.B. U-Pb zircon age constraints on late Neoproterozoic glaciation in Tasmania // Geology. 2004. V. 32. P. 893–896.

Condon D., Zhu M., Bowring S., Wang W., Yang A., and Jin Y. U-Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China // Science. 2005. V. 308. P. 95–98.

Gechen V.G., Dedeev V.A., Bashilov V.I. et al. Riphean and Vendian of the European North of the USSR. Vologda: Oblknigoizdat. 1987. 186 P. [In Russian].

Grey K. Ediacaran palynology of Australia. Memoirs, Association of Australasian Palaeontologists. 2005. No. 31. 439 P.

Hoffmann K.-H., Condon D.J., Bowring S.A., and Crowley J.L. A U-Pb zircon age from the Neoproterozoic Ghaub Formation, Namibia: Constraints on Marinoan glaciation // Geology. 2004. V. 32. P. 817–820.

Fedonkin M.A. White sea biota of Vendian. Moscow: Nauka. 1981. 100 P. (In Russian).

Fedonkin M.A. Soft-bodied fauna and its place in evolution of Metazoa. Moscow: Nauka. 1987. 176 P. [In Russian].

Knoll A.H. Vendian microfossils in metasedimentary cherts of the Scotia Group, Prins Karls Forland, Svalbard // Palaeontology. 1992. V. 35. P. 751–774.

Knoll A.H., Walter M.R., Narbonne G., and Christie-Blick N. The Ediacaran Period: A new addition to the geologic time scale // Lethaia. 2006. V. 39. P. 13–30.

Martin M.W., Grahdankin D.V., Bowring S.A., Evans D.A.D., Fedonkin M.A., and Kirschvink J.L. Age of Neoproterozoic bilaterian body and trace fossils, White Sea, Russia: Implications for metazoan evolution // Science. 2000. V. 288. P. 841–845.

Raaben M.E., and Oprenkova L.I. New data on the Riphean Stratigraphy of Timan // Stratigraphy and Geological Correlation. 1997. V. 14. No.4. P. 368–385.

Semikhatov M.A. General problems of Proterozoic stratigraphy in the USSR. Geology Reviews. 1991. V. 1. 192 P.

Sokolov B.S. Essays on the establishment of the Vendian System. Moscow: KMK Scientific Press. 1997. 153 P. [In Russian].

Tereshko V.V., and Kirillin S.I. New data on Upper Proterozoic Stratigraphy of the Southern Timan // The Upper Proterozoic Stratigraphy of the USSR (Riphean and Vendian). Ufa: AN SSSR Scientific Publisher. 1990. P. 81–82 [In Russian].

Veis A.F., Vorob'eva N.G., and Golubkova E.Yu. The Early Vendian Microfossils First Found in the Russian Plate: Taxonomic Composition and Biostratigraphic Significance // Stratigraphy and Geological Correlation. 2006. V. 14. No.4. P. 368–385.

Volkova N.A., Kirjanov V.V., Piskun L.V., Paskeviciene L.T., and Yankauskas T.V. Plant microfossils // Upper Precambrian and Cambrian palaeontology of East-European Platform. Moscow: Nauka. 1979 (English version, 1983). P. 5–46.

Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., and Semikhatov M.A. Unique Lower Vendian Kel'tma microbiota, Timan Ridge: new evidence for the paleontological essence and global significance of the Vendian System // Doklady Earth Sciences. 2006. V. 40. P. 1038–1043.

Yin L., Zhu M., Knoll A.H., Yuan X., Zhang J., and Hu J. 2007. Doushantuo embryos preserved inside diapause egg cyst // Nature. 2007. V. 446. P. 661–663.

Zhang Y., Yin L., Xiao S., and Knoll A.H. Permineralized fossils from the terminal Proterozoic Doushantuo Formation, China. Paleontological Society Memoirs. 1998. No.50. 56 p.

**PART 3**  
**THE VENDIAN/LATE PROTEROZOIC GLACIATIONS**  
**ЧАСТЬ 3**  
**ВЕНДСКИЕ/ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ**

**VENDIAN GLACIAL DEPOSITS OF THE NORTH AND MIDDLE URALS:  
DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS AND STRATIGRAPHICAL POSITION**

*N.M. Chumakov, B.G. Pokrovsky*

Geological Institute RAS, Moscow, Russia,  
email: chumakov@ginras.ru

*Glacial horizons*

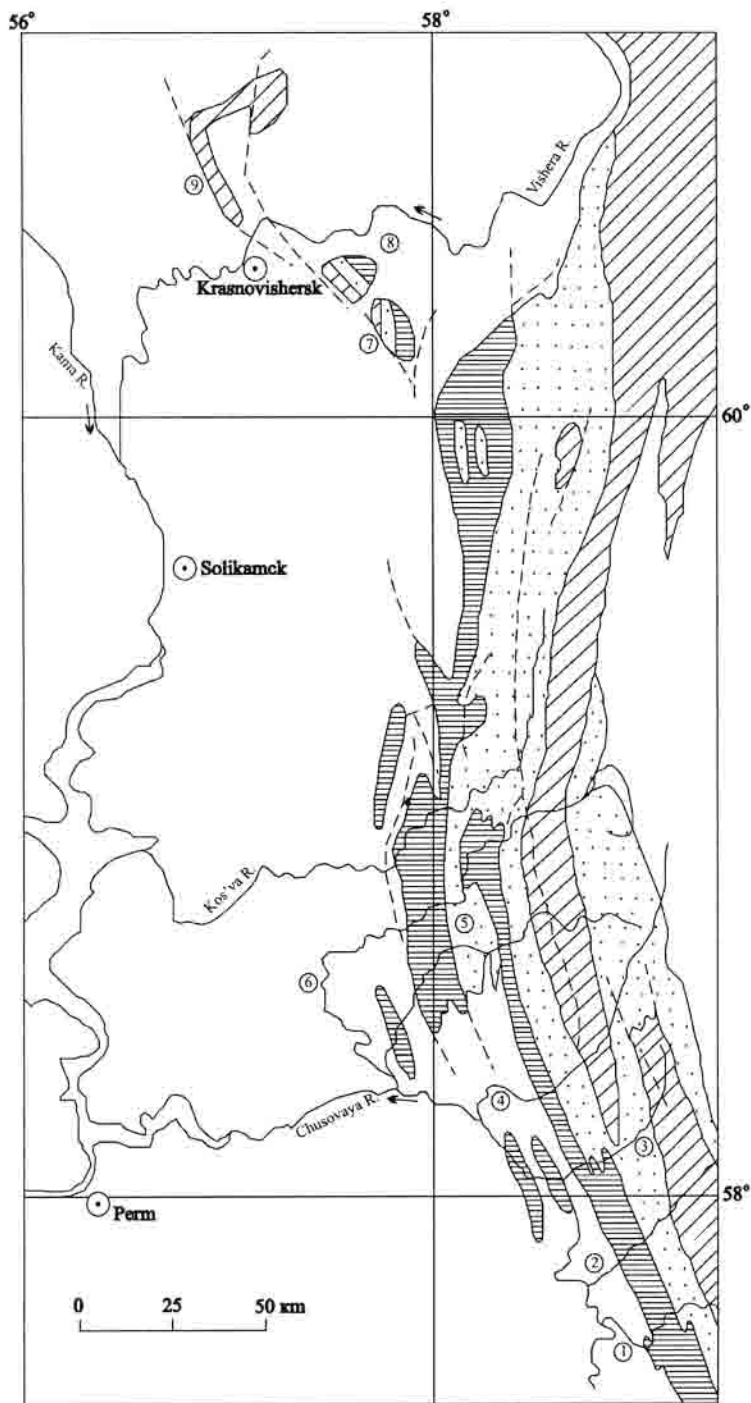
Upper Precambrian glacial deposits are known in the North, Middle and South Urals. They are best exposed at the Churochnaya River, Poludov Ridge of the North Urals (the Churochnaya Formation = Fm.) and at the right tributaries of the Chusovaya River (Koyva, Sylvitsa, Serebryanka, Mezhevaya Utka rivers) of the Middle Urals (the Tany, Koyva formations, and Lower Starye Pechi Subformation) (fig. 1).

The Churochnaya Fm. (350–500 m thick) is composed by massive and bedded diamictites, sandstones, and less frequently conglomerates. Diamictites contain 2 to 10% of stones very variable in size, roundness, and composition. Among the stones there are also erratic and stones abraded by glaciers. Some strata have relict till fabric of elongated stones (one dominating and subordinate transversal orientation of log axis). Such fabric as well as typical varved clays with dropstones are evidence of continental glacial origin of some members of the Churochnaya Fm. Other strata show indistinct bedding, rare stone nests, thin lenses and interbeds of sandstones and shales. They are likely of marine-glacial origin. Diamictites with well-rounded stones of medium size were most likely deposited by seasonal glaciers. Erratic stones are dominated by granites, gneisses, and schists derived from the crystalline basement of the Russian plate. The diamictites are overlain by a marker bed of dolomites (up to 18 m) very similar to "cap dolomites" (fig. 2). The dolomites are slightly calcareous, variably crystalline, nonuniform in structure and texture, frequently massive or brecciated, locally thinly bedded and distorted by subaqueous slumps. Abundant carbonate, chert, and quartz veins cut dolomite and crusted fragments of breccia. The dolomites have typical for cap dolomites negative  $\delta^{13}\text{C}$  values (from  $-3$  to  $-5\%$ ).

Above cap dolomite there is a member of black shales with higher phosphor content. The features of the Churochnaya Fm. suggest glacial sedimentation on occasionally emerged shelf of the Russian plate. The basement and sediments of the Russian plate were main sources for the Churochnaya deposits. Surfaces of many sand particles of the diamictite matrix bear signs of wind action. The particles were most likely derived from interglacial or Riphean eolian sands.

A glacial succession of the Middle Urals is more complicated. Diamictites occur at three stratigraphic levels: in the Tany and Koyva formations of the Serebryanka Group and higher, in the Lower Starye Pechi Subformation of the Sylvitsa Group (fig. 2). The Tany Fm. (800 m) consists of two members of massive dark gray diamictites divided by a sandstone member. The thicker lower member of diamictites is crown by cap dolomites. A considerable portion (up to 45%) of stones consists of acid igneous rocks which increase in abundance and size in southwestern direction, toward the Russian plate (Ablizin *et al.*, 1982). Some blocks of granite-gneisses are up to 3.5 m across. Nests of medium and large stones are common. Some shale interbeds contain dropstones. The Koyva Fm. contains diamictites only to the north of the Sylvitsa River. In general, diamictites are similar to those of the Tany Fm. but differ in reddish color and occurrence of members of bedded diamictites and laminated shales with dropstones at the top of the formation. Farther to the north, at the Vilva, Us'va, Kosva rivers the Koyva Fm. diamictites contain members of alkali basalts. In the Us'va section they are associated with banded hematitic rocks and ores. In the stratotype section at the Koyva River diamictites are overlain by a transitional member of thin-bedded variegated shales with small dropstones and cap dolomites,





**Fig. 1.** Vendian and Upper Riphean deposits at North and Middle Ural. 1 – Phanerozoic; 2 – Upper Vendian; 3 – Lower Vendian; 4 – Upper Riphean; 5 – some disjunctive dislocations; 6 – main sections; **Numbers in circles:** 1 – Mezhevaya Utka R.; 2 – Serebryanka R.; 3 – Sylvitsa R.; 4 – Koyva R.; 5 – Vil'va R.; 6 – Us'va R.; 7, 8, 9 – Poludov Ridge (Polud-Kolchim anticlinorium); 7 – Tulym-Parminsk anticline; 8 – Kolchim anticline (Churochnaya R.); 9 – Poludov Ridge anticline (Nizva R.)

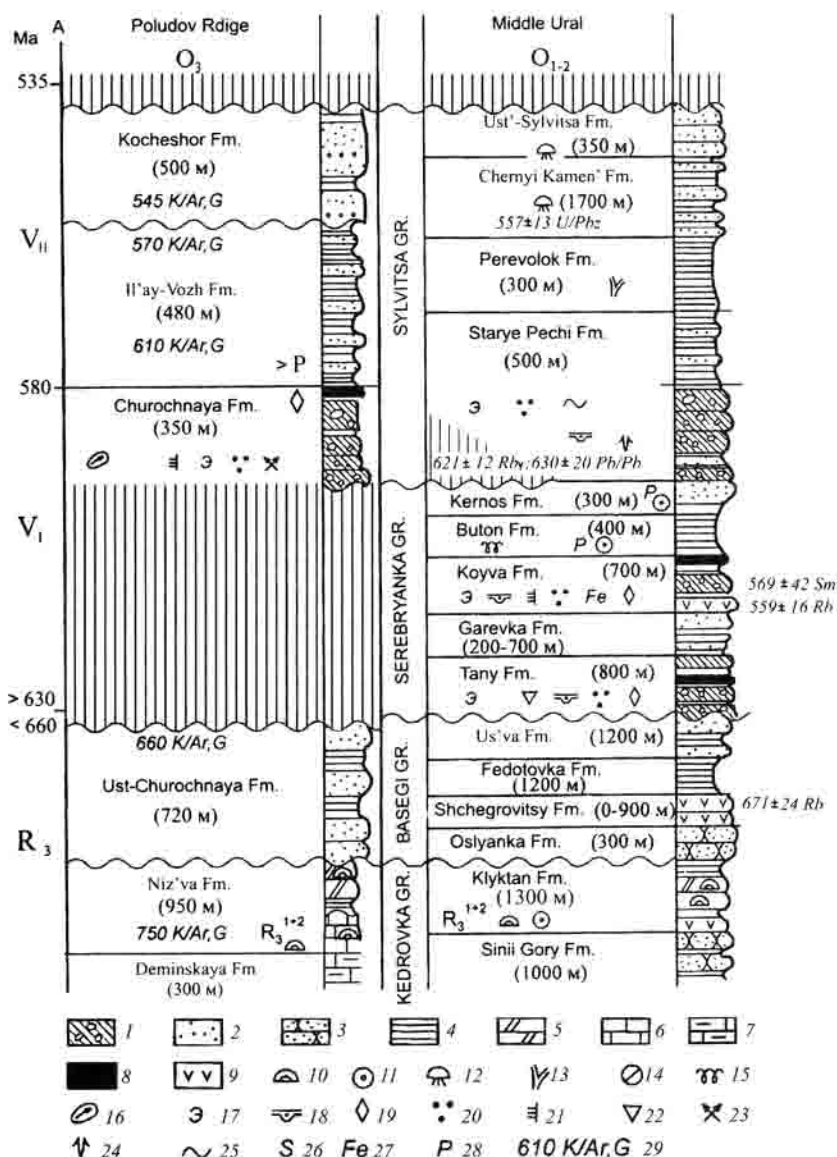
**Рис. 1.** Распространение вендских и верхнерифейских отложений на Северном и Среднем Урале. Условные знаки: 1 – фанерозойские отложения; 2 – верхний венд; 3 – нижний венд; 4 – верхний рифей; 5 – некоторые разломы; 6 – основные разрезы. **Цифры в кружках:** 1 – р. Межевая Утка; 2 – р. Серебрянка; 3 – р. Сылвица; 4 – р. Койва; 5 – р. Вильва; 6 – р. Усьва; 7, 8, 9 – Полудов Кряж (Полудово-Колчимский антиклинорий); 7 – Тулым-Парминская антиклиналь; 8 – Колчимская антиклиналь (р.р. Колчим и Чурочная); 9 – Полудовская антиклиналь (р. Низва)

very large ones), as well as banded iron rocks and impoverished with  $\delta^{13}\text{C}$  cap dolomites allow to suggest that the Tany and Koyva diamictites are typical marine-glacial deposits. The flysch habit of deposits lying under, between and over the diamictites suggests that the Serebryanka Group was formed in the outer shelf, submarine fans and continental slope.

In the Lower Starye Pechi Subformation diamictites alternate with thin-bedded shales containing scattered large sand and locally small pebbles in form of dropstones. Stones of the formation are dominated by fragments of underlying rocks but some erratic pebbles of plagiogranites occur locally. At the bases of the some strata there are diamictite wedges. The common suggestion is that between the Lower Starye Pechi Subformation and the underlying Kernos Fm. there is hiatus (Ablizin *et al.*, 1982) but locally the formations grade into each other (Chumakov, 1998). The set of

which have  $\delta^{13}\text{C}$  values from  $-3$  to  $-5\text{‰}$ . It is worthy noting that to south of Koyva R., where there are not diamictites, dolomites of Koyva Fm. keep similar  $\delta^{13}\text{C}$  values (from  $-2$  to  $-5.5\text{‰}$ ). Presence of massive and bedded diamictites, dropstones, erratic stones (including

features: massive and bedded diamictites, dropstones, erratic stones, diamictite wedges, wide spatial distribution, and confinement to certain stratigraphic level are evidence for marine-glacial origin of the Lower Starye Pechi deposits.



**Fig. 2.** Stratigraphy of Lower Venian glacials at the North and Middle Ural (Ablizin et al., 1982; Chumakov, 1998; Ronkin et al., 2007 and oth.); **Key:** 1 – diamictites and other glacial sediments; 2 – sandstone; 3 – quartzitic sandstone; 4 – shale; 5 – dolomites; 6 – limestone; 7 – clayey limestone; 8 – cap dolomites; 9 – volcanics; 10 – stromatolites; 11 – oncolites; 12 – non-skeletal Metazoa; 13 – Metaphyta; 14 – microfossilites assemblages; 15 – *Obruchevella* etc; 16 – glacially abraded stones; 17 – erratic stones; 18 – dropstones; 19 – cap dolomites; 20 – stone nests; 21 – varves and varve like shales; 22 – erratic blocks; 23 – relict till fabric of stones; 24 – till wedges; 25 – subaquatic slump structures; 26 – subaquatic slump rolls; 27 – banded iron ores and rocks; 28 – phosphates shows; 29 – radio-isotopic data (K/Ar, G – glauconites; Rb/Sr – Rb/Sr, granites; Pb/Pb – Pb/Pb, zircon; U/Pbz – U/Pb, zircon; Sm – Sm/Nd)

**Рис. 2.** Стратиграфическое положение ранневендских ледниковых отложений на Северном и Среднем Урале (Аблизин и др., 1982; Младших, 1983; Чумакова, 2004; Ронкин и др., 2007); **условные обозначения:** 1 – ледниковые отложения (тиллиты, песчаники, конгломераты, тонкозернистые отложения с упавшими камнями – «dropstones»); 2 – конгломераты; 3 – песчаники; 4 – кварцитовидные песчаники; 5 – сланцы; 6 – доломиты; 7 – известняки; 8 – венчающие доломиты – «cap dolomites»; 9 – эффузивные породы; 10 – строматолиты; 11 – онколиты; 12 – бесскелетные метазоа; 13 – метафиты; 14 – комплексы микрофоссилий; 15 – обручевелы; 16 – ледниковые камни; 17 – эрратические камни; 18 – упавшие камни (dropstones); 19 – венчающие доломиты (cap dolomites); 20 – гнезда камней; 21 – варвы и варвоподобные сланцы; 22 – эрратические глыбы; 23 – реликтовая ориентировка удлиненных камней; 24 – тилловые клинья; 25 – подводно-оползневые нарушения; 26 – подводно-оползневые колобки; 27 – железные руды и железистые породы; 28 – фосфатопоявления; 29 – радиоизотопные датировки (K/ArG глаукониты; Rb – Rb/Sr – эффузивы; Rb/Sr – Rb/Sr граниты; U/Pbz, – U/Pb пеплы, циркон; Pb/Pb граниты, циркон; Sm – Sm/Nd)

### **Stratigraphical position**

At the Middle Uralian above the glacial deposits in Chernyi Kamen' Fm. occur abundant nonskeleton Metazoa characteristic of the White Sea and Eriacaran biota and obtained U-Pb zircon SHRIMP-II date for a tuff interbed is  $557 \pm 13$  Ma (Ronkin et al., 2007). This date defines the upper age limit of the entire glacial succession of the Middle Urals. More controversial dates were obtained for glacial formations constituting the succession. Grano-syenites of the Troitsk massif cut the Tany and Garevka formations of the Serebryanka Group at the Kosva River. There is common opinion, that they were injected in the pre-Sylvitsa time. If so, the Starye Pechi glacial horizon is younger than  $630 \pm 20$  or  $621 \pm 12$  Ma (Pb/Pb and Rb/Sr datings for zircon and rock respectively – Petrov et al., 2005). It cannot be excluded however that the supposition on the pre-Sylvitsa age of the Troitsk massif is not correct. It may be of older age and the glacial Starye Pechi Horizon may be younger than  $569 \pm 42$  or  $559 \pm 16$  Ma; the dates being obtained for the Koyva volcanogenic rocks by the Sm-Nd и Rb/Sr datings for the rock and clinopyroxen respectively (Petrov et al., 2005). In the both cases, the Starye Pechi Horizon is younger than the glacial Nantuo Fm. of South China (characterized by age  $>635$  –  $<660$  Ma) and its supposed analog, the Marinoan ( more exactly – Yerelina) glacial horizon, of South Australia. In stratigraphic position the glacial Starye Pechi Horizon is probably correlative of upper glacial horizon of the Lower Vendian of the Russian plate (the Glusck and Mortensnes formations) and the glacial Gaskiers Horizon of Newfoundland. The glacial Tany Horizon, which is cut by the Troitsk grano-syenites (620–630 Ma) and lies above trachytes of the Shchegrovitsy Formation (Rb/Sr date of  $671 \pm 24$  Ma), may be correlated to the lower glacial horizon of the Lower Vendian of the Russian plate (the Blon' and Smalfjord formations), the glacial Nantuo Formation

(and its supposed analog glacial Yerelina horizon of South Australia). A position of the glacials of Koyva Fm. is less definite. Stratigraphically it is closer to the Tany Fm. They both are supposed to form a common glacial complex, in which the Koyva Fm. may be a facial analog of its upper part. The supposition is correct if the radiometric dating yielded younger ages of the Koyva volcanites are rejuvenated. The Tany Fm. is separated from the Klyktan Ff. by two hiatuses and the underlying Basegi Group. The Klyktan Fm. contains stromatolitic assemblage and carbonates with  $\delta^{13}C$  values from  $-0.8$  to  $0.6\%$ . By this aspects it is similar to the Upper Riphean Karatavian Group of the South Urals (Podkovyrov et al., 1998).

Age of the Churochnaya Fm. is also a subject of discussion. Geological mapping extends the Sylvitsa Group northward up to the Poludov Ridge, where it corresponds to the Il'ya-Vozh and Kocheshor formations, but regional correlations of the formations are difficult. Absence of significant stratigraphic hiatuses between the Churochnaya and Il'ya-Vozh formations and within the Sylvitsa Group suggests that the glacial deposits of the Churochnaya Fm. and Lower Starye Pechi Subformation may be coeval (Fig. 2). It should not be excluded however that the supposed hiatus at the base of the Kocheshor Formation embraces the entire lower part of the Sylvitsa Group. In this case, the Churochnaya and Il'ya-Vozh formations together may correspond to the Serebryanka Group and the hiatus at the base of the Churochnaya Fm. is not appears so essential. The traditional correlation of the Nizva Formation to the Upper Riphean (Karatavian) stratotype of the South Urals and the Klytkan Fm. of the Middle Urals is supported by close radiocarbon dates for the Nizva Formation ( $\delta^{13}C$  values from  $-0.5$  to  $2.0\%$ ).

Our investigations were supported by Program №18 of Presidium of RAS, Projects of RFBI № 05-05-64949 and № 07-05-00455.

## **ВЕНДСКИЕ ЛЕДНИКОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ СЕВЕРНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА: УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ**

*Н.М. Чумаков, Б.Г. Покровский*

Геологический институт РАН, Москва,  
email: chumakov@ginras.ru

### **Ледниковые горизонты**

Позднедокембрийские ледниковые отложения известны на Северном, Среднем и Южном Урале. Лучшие их разрезы находятся на Северном Урале, в Полудовом Кряже на р. Чурочной (чурочинская свита) и на Среднем Урале на правых притоках

р. Чусовой, рр. Койва, Сылвица, Серебрянка, Межевая Утка и др. (танинская и койвенская свиты и нижнестаропеченская подсвита; рис. 1). Чурочинская свита (350–500 м) сложена массивными и слоистыми диамиктитами (тиллоидами) серого и красно-бурого цвета, песчаниками и реже конгло-

мератами. Диамиктиты содержат от 2 до 10% весьма разнообразных по размеру, окатанности и составу камней, в том числе эрратических и с явными следами ледниковой обработки. В некоторых пластах удлиненные камни диамиктитов имеют реликтовые следы ориентировки сходной с моренной (одно преобладающее направление и косое к нему второстепенное). Это, наряду с присутствием характерных ленточных глин с камнями упавшими на поверхность осадка ("dropstones"), указывает на участие континентальных ледниковых фаций в разрезе чурочинской свиты. Другие пачки диамиктитов характеризуются неотчетливой слоистостью, редкими камнями, образующими гнезда, и содержат тонкие линзы и прослои песчаников и сланцев. Они являются, по-видимому, марино-гляциальными отложениями. Среди них встречаются диамиктиты с хорошо окатанными камнями среднего размера. Эти породы, скорее всего, представляют отложения сезонных льдов. Среди эрратических камней преобладают граниты, гнейсы и сланцы из кристаллического фундамента Русской плиты. Диамиктиты перекрыты маркирующим пластом доломита мощностью до 18 м, чрезвычайно напоминающим типичные венчающие доломиты ледниковых толщ ("car dolomites"). Венчающий доломит слегка известковистый, в разной степени кристаллический, весьма неоднороден и по структуре и по текстуре: часто массивный или брекчированный, а на отдельных участках с нарушенной тонкой слоистостью и фрагментами строматолитов. В пласте наблюдаются многочисленные карбонатные, кремневые и кварцевые секущие, прожилки и оторочки вокруг обломков. Доломиты характеризуются типичными для "car dolomites" отрицательными значениями  $\delta^{13}\text{C}$  (от  $-3$  до  $-5\%$ ). Выше доломита залегает пачка черных сланцев, отличающихся повышенным содержанием фосфора. Характер отложений чурочинской свиты свидетельствует о том, что она отлагалась на шельфе Русской плиты, иногда осушавшемся. Фундамент и осадочный покров плиты был одним из главных источников сноса для чурочинских пород. Поверхность песчинок из матрикса диамиктитов нередко несет следы золотой обработки. Эти песчинки, скорее всего, были заимствованы из межледниковых или рифейских золотых песков.

Более сложной является последовательность ледниковых отложений на Среднем Урале. Здесь диамиктиты встречаются на трех стратиграфических уровнях: в танинской и койвенской свитах серебрянской серии, а также в нижней части старопеченской свиты вышележащей сыльвицкой серии (рис. 2). Танинская свита (800 м) состоит из двух пачек массивных диамиктитов темно-серого цвета, разделенных пачкой песчаников. Нижняя, более

мощная пачка диамиктитов венчается "car dolomites" (8 м). Значительную часть камней танинских диамиктитов (до 45%) состоит из кислых изверженных пород, причем их количество и размеры увеличивается в юго-западном направлении, в сторону Русской плиты (Аблизин и др., 1982). Среди камней встречаются блоки гранито-гнейсов до 3,5 м в поперечнике, а также гнезда средних и крупных валунов. В редких прослоях сланцев обнаружены друпстоуны ("dropstones"). В койвенской свите диамиктиты встречаются лишь в разрезах расположенных к северу от р. Сыльвица. Эти диамиктиты в целом аналогичны танинским, но отличаются красноватой окраской и присутствием пачек слоистых тиллитов и тонкослоистых сланцев с друпстоунами в верхней части. Еще севернее на р.р. Вильва, Усьва, Косьва диамиктиты койвинской свиты содержат пачки щелочных базальтов. На Усьве в ассоциации с ними и диамиктитами появляется полосчатые гематитовые пород и руды. В стратотипическом разрезе на р. Койва диамиктиты покрываются переходной пачкой тонкослоистых сланцев с мелкими друпстоунами и затем венчающим доломитом ("car dolomite") мощностью 6 м. Он характеризуется отрицательными значениями  $\delta^{13}\text{C}$  (от  $-3$  до  $-5\%$ ). Интересно отметить, что в южных разрезах, где диамиктиты в койвенской свите отсутствуют, сохраняется доломитовая пачка с близкими величинами  $\delta^{13}\text{C}$  (от  $-2$  до  $-5,5\%$ ). Присутствие массивных и слоистых диамиктитов, друпстоунов, эрратических камней, в том числе очень крупных, а также полосчатых железорудных пород и обедненных  $^{13}\text{C}$  венчающих доломитов – все это сближает танинскую и койвенскую свиты с типичными мариногляциальными образованиями. Флишеподобный облик отложений подстилающих, покрывающих и переслаивающихся с диамиктитами позволяет считать, что серебрянская серия формировалась во внешней части шельфа, на подводных конусах выноса и континентальном склоне.

Диамиктиты нижнестаропеченской подсвиты чередуются с тонкослоистыми глинисто-алевролитовыми сланцами, содержащими рассеянный гравий, крупные песчинки и изредка мелкую гальку в виде друпстоунов. Среди камней в диамиктитах нижнестаропеченской подсвиты преобладают обломки подстилающих осадочных пород, но иногда встречаются эрратические гальки плагиогранитов. В основании некоторых пластов встречаются диамиктитовые клинья. Обычно в основании нижнестаропеченской подсвиты отмечается размыв (Аблизин и др., 1982), но местами между свитами отмечается постепенный переход (Чумаков, 1998). Сочетание диамиктитов и друпстоунов, присутствие эрратических обломков и диамиктитовых

клиньев, широкое распространение диамиктитов по площади и приуроченность к определенному стратиграфическому уровню позволяет рассматривать нижнестаропеченские отложения, как главным образом мариногляциальные образования.

### **Стратиграфическое положение**

В разрезах Среднего Урала в верхней половине сыльвицкой серии (чернокаменной свите), выше ледниковых отложений найдены многочисленные бесскелетные Metazoa, характерные для беломорской биоты, а U-Pb методом (SHRIMP II) по циркону из прослая туфов получен возраст  $557 \pm 13$  млн лет (Ронкин и др., 2007). Эти данные определяют верхний возрастной предел всего комплекса ледниковых отложений Среднего Урала. Более противоречивые данные имеются относительно возраста отдельных ледниковых свит составляющих этот комплекс. Грано-сиениты Троицкого массива, прорывающие танинскую и гаревскую свиты серебрянской серии на р. Косье, внедрились, по мнению ряда исследователей, в предсылвицкое время. Если это действительно так, то старопеченский ледниковый горизонт моложе  $630 \pm 20$  или  $621 \pm 12$  млн лет, которые соответственно получены по цирконам и породе для этого массива Pb/Pb и Rb/Sr методами (Петров и др., 2005). Однако не исключено, что предположение о предсылвицком возрасте Троицкого массива ошибочно, что он древнее и что старопеченский горизонт моложе  $569 \pm 42$  или  $559 \pm 16$  млн лет, которые получены для койвенских вулканогенных пород соответственно по клинопироксену и породе Sm-Nd и Rb/Sr методами (Петров и др., 2005). Однако при обоих предположениях старопеченский горизонт будет моложе ледниковой свиты Наньтоу южного Китая ( $>630$ ,  $<660$ ) и её предполагаемого аналога ледниковых отложений Мариино, а точнее Ерелина, Ю. Австралии. Старопеченский ледниковый горизонт лежит в разрезе отложений, согласно подстилающих слою с беломорской биотой и, очевидно, соответствует верхнему ледниковому горизонту венда Русской плиты (свитам глусской и Мортенсенес) и, по-видимому, ледниковому горизонту Гаскье (Gaskiers) Ньюфаундленда.

Танинский ледниковый горизонт, который прован Троицкими грано-сиенитами с возрастом 620–630 млн лет и залегает выше трахитов щегровитской свиты с Rb-Sr датировкой  $671 \pm 24$  млн лет, может соответствовать нижнему ледниковому горизонту нижнего венда Русской плиты (свитам блоньской и Смальфиорд), ледниковой свите Наньтоу (и её предполагаемому аналогу – ледниковым отложениям Мариино Ю. Австралии). Менее определенным является стратиграфическое положение

койвенского ледникового горизонта. Стратиграфически он теснее связан с танинской свитой, и, как предполагают некоторые исследователи, образуют с танинской свитой единый ледниковый комплекс, в котором койвенская свита представлять фациальный аналог верхней части последнего. Это предположение реально, если радиоизотопные датировки вулканитов койвенской свиты омоложены. Танинская свита отделена двумя перерывами и багеевской серией от нижележащей клыкчанской свиты, которая по составу строматолитов и весьма однородному изотопному составу углерода (от  $-0,8$  до  $0,6\%$ ) близка к верхнерифейским карбонатам каратавской серии Ю. Урала (Подковыров и др., 1998).

Возраст чурочинской свиты тоже является предметом дискуссии. Геологической съемкой установлено, что отложения сыльвицкой серии протягиваются в северном направлении до Полюдова кряжа, где им в основном соответствуют ильвожская и кочешорская свиты, однако посвитная корреляция свит этих двух регионов затруднительна. Между чурочинской и ильвожской свитами и внутри сыльвицкой серии нет, по-видимому, значительных стратиграфических перерывов, можно предположить, что чурочинские и нижнестаропеченские ледниковые отложения одновозрастны (рис. 2). Нельзя полностью исключить, однако, что стратиграфический объем предполагаемого перерыва в основании кочешорской свиты соответствует всей нижней части сыльвицкой серии. В таком случае чурочинская и ильвожская свиты могут соответствовать большей части серебрянской серии, а перерыв в основании чурочинской окажется не столь продолжительным, как показано на рис. 2. Традиционная корреляция низвенской свит с верхним рифеем стратотипического разреза Ю. Урала и с клыкчанской свитой Среднего Урала подкрепляется сходными углеродными изотопными характеристиками низвенской свиты ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-0,5$  до  $2,0\%$ ).

Исследования проведены с финансовой поддержкой программы №18 Президиума РАН и проектов РФФИ № 05-05- 64949 и № 07-05-00455.

### **References**

- Ablizin B.D., Klyuzhina M.L., Kurbatskaya F.A., Kurbatskiy A.M. Upper Riphean and Vendian of the West slope of the Middle Ural. M.: Nayka, 1982, 140 pp. (in Russ.)
- Petrov G.A., Maslov A.V., Ronkin Yu.L. Prepalaeozoic magmatic complexes of Kvarakush-Kamennogorsk anticlinorium (Middle Ural): new data on chemistry and geodynamic // Lithosphere. 2005. №4. P. 42–69 (in Russ.).
- Podkovyrov V.N., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B. and oth. Isotopic of carbonate carbon in the stratype section of Upper Riphean (Karataw Group of the South Ural) // Stratigraphy. Geological correlation. 1998. V. 6. №4. P. 3–19.

Ronkin Yu.L., Grazhdankin D.V., Maslov A.V. and oth. U-Pb (SHRIMP-II) age of zircons from ash tuffs of Chernokamen Formation of Sylvitsa Group of Vendian (Middle Ural) // Doklady RAS. 2007. V. 111. №3. P. 354–359.

Chumakov N.M. The key section of Vendian glacial deposits in the South Urals (Kurgashly Formation, Krivoluksky graben) // The Urals: Fundamental Problems of Geodynamics and Stratigraphy. Moscow, Nauka. 1998. P. 138–153 (In Russian).

## TRACES OF A LATE NEOPROTEROZOIC GLACIATION IN THE CADOMIAN BASEMENT OF CENTRAL AND WESTERN EUROPE: CONSTRAINTS BY BASIN DEVELOPMENT AND LASER ABLATION-ICP-MS U/PB DATING OF DETRITAL ZIRCON GRAINS

U.Linnemann<sup>1</sup>, K.Drost<sup>1</sup>, J.Ulrich<sup>1</sup>, A.Gerdes<sup>2</sup>, T.Jeffries<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Staatliche Naturhistorische Sammlungen Dresden, Museum für Mineralogie & Geologie, Dresden, Germany, email: ulf.linnemann@snsd.smwk.sachsen.de;

<sup>2</sup> Institut für Geowissenschaften, Mineralogie, Frankfurt am Main, Germany;

<sup>3</sup> Natural History Museum London, UK

The Precambrian basement of Central and Western Europe consists mainly of Late Neoproterozoic volcanoclastic sediments deposited in marginal basins in a active margin setting of the Avalonian-Cadomian Orogenic Belt at the Gondwanan margin. In places glaciomarine tillites in combination with passive margin sequences occur in the sedimentary succession. Neoproterozoic to Early Palaeozoic marginal basins, island arc remnants, and postkinematic plutons are referred to as the Cadomian basement of the Avalonian-Cadomian Orogen. Remnants of the Cadomian basement are involved in the peri-Gondwanan microplates of Avalonia and Cadomia. The Cadomian basement is cropping out in the Bohemian and Armorican Massifs in places in spectacular sections.

Most Precambrian rocks in these massifs are metamorphosed and deformed by the Variscan Orogeny. Less affected Neoproterozoic rock units of Bohemian Massif are cropping out in the Saxo-Thuringian Zone and in the Tepla-Barrandian Unit and occupy around 25% of the pre-Permian surface of the massif. In the Armorican Massif Neoproterozoic rocks with a only weak Variscan overprint are concentrated in the tectonostratigraphic terranes north of the North Armorican Shear Zone.

We have used U/Pb LA-ICPMS data of detrital zircons from different Neoproterozoic (Ediacaran) sand-

stones of the Saxo-Thuringian Zone and the northern Armorican Massif to characterize the provenance of the detrital material and the maximum ages of deposition. In general the maximum age of the sedimentary units is not older than 570–580 Ma. Sedimentation was running contemporary to the activity of the Cadomian active margin. Neoproterozoic sediments including glaciomarine tillites are not older than 580 Ma. A linkage to the Snowball Earth is not very likely. U/Pb ages of the youngest detrital zircon grains point to a glacial event younger than 580 Ma in the Cadomian Orogenic Belt. The minimum age of the sedimentary units is given by igneous rock complexes that intruded into the sediments at around 540 Ma. In addition, a horizon from the Cadomian basement of the Iberian Massif possibly glaciomarine in origin will be presented.

Currently, there is much debate about the palaeogeography of the Avalonian-Cadomian Orogen. Potential source areas are Amazonia, the West African Craton and the Sub-Sahara Metacraton. Parts of these cratons became recycled during the Cadomian orogeny at the Gondwana margin. These three cratons differ in their mean age and the presence or absence of certain zircon populations with distinct age patterns. The zircon age pattern of the Precambrian rocks of the Saxo-Thuringian Zone and the Armorican Massif suggests a provenance from the West African Craton.

**PART 4**  
**PALEOECOLOGY, GEOCHRONOLOGY AND**  
**STRATIGRAPHY OF LATE PRECAMBRIAN**  
**ЧАСТЬ 4**  
**ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ, ГЕОХРОНОЛОГИЯ**  
**И СТРАТИГРАФИЯ ПОЗДНЕГО ДОКЕМБРИЯ**

**THE PRECAMBRIAN/CAMBRIAN BOUNDARY IN SPAIN:  
ICHOFOSSIL PALAEOBIOLOGY AND ZONATION**

*J.A. Gámez Vintaned\* and E. Liñán*

Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain,  
email: gamez@unizar.es

***The Neoproterozoic of Spain  
and the IGCP***

The existence of Precambrian rocks in Spain was accepted after the works of José MacPherson by the end of the XIXth century. They crop out in the Iberian Massif (from north to south, Cantabrian Mountains, central Spain and Sierra Morena) –which is the westernmost exposure of the European Hercynides– and, in a minor extent, in the Iberian Mountains (Eastern Iberian Chain and Sierra de la Demanda; NE Spain).

Similarly to other regions in the world, Precambrian studies in Spain ran parallel to the issue of placing the boundary between the Proterozoic and Phanerozoic eons, whose advances benefited particularly from IGCP projects nº 29 and 303. Later on, IGCP projects nº 319, 320, 366, 376, 440 and 453, as well as the current 493, helped to deepen the existing lines of research and to open new ones, as the national and international co-operation between working groups intensified.

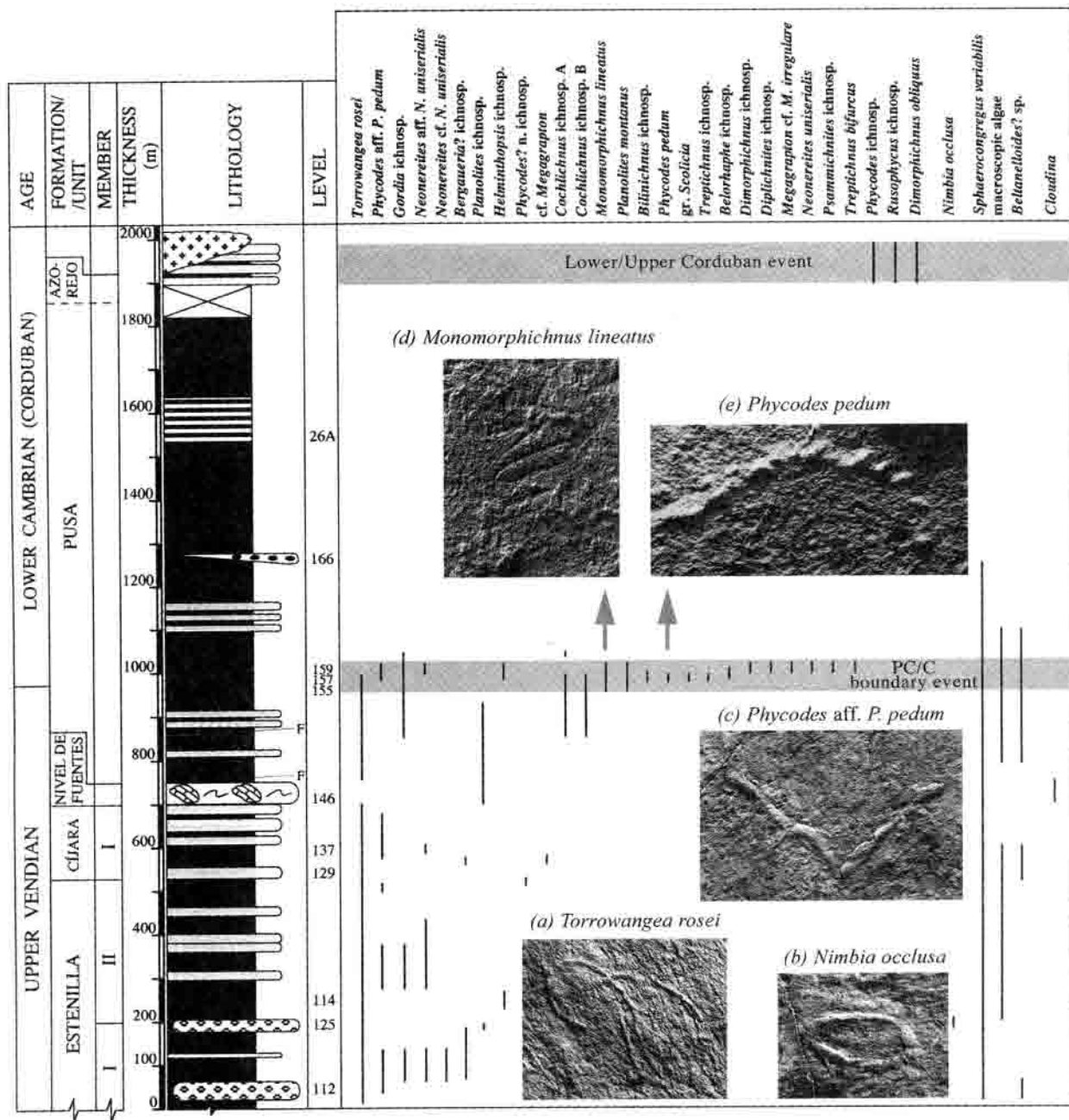
***Palaeontology and age of the Neoproterozoic  
of Spain***

Palaeontological research done mainly since the 1980's have shown that most Precambrian successions are late Neoproterozoic in age (Vendian, or Ediacaran). The works revealed excellent sections to study the Precambrian/Cambrian transition, thanks to a good continuity in the record and the existence of diverse palaeontological groups (stromatolites, ichnofossils, acritarchs, bacteria or cyanobacteria, and metazoans with either calcitic, phosphatic or carbonaceous envelopes) (Palacios Medrano, 1989; Vidal *et al.*, 1994; Gámez Vintaned and Liñán, 1996; Palacios *et al.*, 1999). Up to

now, the most “genuine and famous” representatives of the Ediacara biota (forms such as *Dickinsonia*) are still unknown in Spain.

***The Precambrian/Cambrian boundary  
in Spain***

The best successions straddling the Precambrian/Cambrian boundary in western Europe are located in Spain. Liñán *et al.* (1984) established the basis for the palaeontological analysis and correlation of the boundary in the country. In several areas, successions are interrupted by hiatuses originated by terminal Cadomian deformation, but this transition is recorded without important breaks in the central part of Spain. Here, trace fossils are fairly diverse and abundant. The Ibor and the Valdelacasa anticlines (Toledo Mountains) are two of the most suitable areas to study the palaeontology of this interval, particularly the río Huso section (also spelled “Uso”; Brasier *et al.*, 1979; Palacios Medrano, 1989, Gámez Vintaned, 1996) (fig. 1). At the latter section in the Valdelacasa anticline, fine siliciclastics of the Pusa shale crop out providing a fairly rich record of ichnofossils. Small shelly fossils, trilobites and other groups are also present in neighbouring localities of the Pusa shale. Cambrian-diagnostic trace fossils first appear in basal greenish shales (a monofacial succession deposited under sublittoral marine conditions) of the lower member of the Pusa shale at the río Huso section, including *Phycodes pedum*, *Monomorphichnus lineatus* and small specimens of *Psam-michnites* ichnosp., among others, suggesting that the Precambrian/Cambrian boundary lies at level 157 (fig. 1).



**Fig. 1.** Biostratigraphy of the río Huso section, showing key fossils around the Precambrian/Cambrian transition: **a** – full relief in bottom view, specimen UCMIGEP4/2-112(6); **b** – convex hyporelief, field photograph; **c** – convex hyporelief, specimen UCMIGEP4/2-112(5); **d** – concave epirelief, specimen UCMIGEP4/2-159; **e** – full relief in bottom view, specimen P2/17, collection of Prof. M.D. Brasier, University of Oxford

### Palaeobiological implications of the palaeoichnological record

Data obtained after the paper by Vidal *et al.* (1994) was published confirm that *Phycodes* aff. *P. pedum* occur together with *Monomorphichnus lineatus* and *Phycodes pedum* in the same levels of the río Huso

section (fig. 1). *Phycodes* aff. *P. pedum* is a distinct ichnospecies (yet undefined formally) consisting of a series of short “probe” burrows about 1 mm in diameter, connected to each other but lacking a true main burrow to start from. This rather primitive behaviour represented by *Phycodes* aff. *P. pedum* is also recorded



at several levels of the underlying Upper Vendian Estenilla and Cijara formations (Domo Extremeño group) at the río Huso section. In contrast, *Phycodes pedum* consists of a master burrow bifurcating successively into shorter distributary burrows (all directed first to the same side and then upwards). Therefore *Phycodes pedum* represents a more complex and evolved expression of behaviour, differing substantially from Neoproterozoic-type burrows. It also differs from ichnospecies of the Cambrian ichnogenus *Treptichnus* –with which it is confused in some recent literature– in having a master burrow. The architecture of *P. pedum* reflects a novel strategy of deposit feeders to exploit the benthic marine habitat at the beginning of the Cambrian explosion.

This ethological evolution leading to novel strategies (perhaps entailing also the appearance of new animal groups) was paralleled by the appearance of arthropods (provided with stiff appendages capable of a wide range of behaviours), as evidenced in rocks of the río Huso section, first by simple raking traces (*Monomorphichnus lineatus*) and shortly after by more complex raking (*Dimorphichnus*) and walking traces (*Diplichnites*) (fig. 1).

#### Late Vendian-early Cambrian ichnofossil zonation

The widespread distribution of selected trace fossils throughout late Vendian-early Cambrian successions allows to establish a zonation for the Iberian Peninsula, consisting of three ichnofossil zones (fig. 2), which are from bottom to top:

– *Torrowangea rosei* Zone (uppermost Vendian). It records the ichnofossils *Bergaueria?* ichnosp., *Cochlichnus* ichnosp. A and B, *Gordia* ichnosp., *Helminthopsis* ichnosp., cf. *Megagraption*, *Neonereites* aff. *N. uniserialis*, *Planolites* ichnosp., *Phycodes* aff. *P. pedum*, *Phycodes?* n. ichnosp. and *Torrowangea rosei*, as well as the body fossil *Nimbia oclusa*.

– *Phycodes pedum* + *Monomorphichnus lineatus* Zone (Lower Corduban; lowermost Cambrian). Its beginning coincides with the Precambrian/Cambrian boundary event (Liñán *et al.*, 2006). It records the ichnofossils *Belorhaphé* ichnosp., *Bilinichnus* ichnosp., *Cochlichnus* ichnosp. A and B, *Dactyloidites cabanasi*, *Dimorphichnus* ichnosp., *Diplichnites* ichnosp., *Gordia* ichnosp., *Helminthopsis* ichnosp., *Megagraption* cf. *M. irregulare*, *Monomorphichnus lineatus*, *Neonereites uniserialis*, *N.* aff. *N. uniserialis*, *Phycodes pedum*, *Phycodes* aff. *P. pedum*, *Planolites montanus*, *Psammichnites gigas*, *Psammichnites* ichnosp., gr. *Scolicia*, *Torrowangea rosei*, *Treptichnus bifurcus* and *Treptichnus* ichnosp.

– *Rusophycus avalonensis* + *Rusophycus bonnarensis* Zone (Upper Corduban). Its beginning coincides with the Lower/Upper Corduban event (Liñán *et al.*, 2006). It records the ichnofossils *Arenicolites* ichnosp., *Cruziana cantabrica*, *Dimorphichnus obliquus*, *Diplocraterion* ichnosp., *Gordia* ichnosp., *Monocraterion* ichnosp., *Monomorphichnus* ichnosp., *Phycodes* ichnosp., *Rusophycus avalonensis* (= *R. fasciculatus*), *R. bonnarensis* (= *R. cantabricus*) and *Teichichnus* ichnosp., among others.

Series	Stage	Ichnofossil Zone	Central Spain			Ichnof. Zone	Southern Spain (Sierra Morena)		Ichnof. Zone	Northeastern Spain (Iberian Chains)
			Ibor anticline	Vadelaçasa antiel.						
LOWER CAMBRIAN	Upper Corduban	<i>Rusophycus avalonensis</i> + <i>Rusophycus bonnarensis</i> (3)	Azorejo Formation			(3)	Torreárboles Formation	Julia Member	(3)	Embid Fm. (pars)
	Lower Corduban	<i>Monomorphichnus lineatus</i> + <i>Phycodes pedum</i> (2)	Ibor group	Río Huso group	Pusa shale	(2)		Tierra Member	(2)	Bámbola Formation
UPPER Vendian	Undefined	<i>Torrowangea rosei</i> (1)	Domo Extremeño group (pars)	Domo Extremeño group (pars)	Fuentes	(1)	Volcano-sedimentary Complex (pars)	(1)	Paracuellos Group (pars)	

Fig. 2. Ichnofossil zonation around the Precambrian/Cambrian boundary in Spain and correlation of stratigraphic units in selected areas.

The zonation described above may be correlated with similar ichnological records in other areas of the world, and it can be compared with the zonation made by Crimes (1987), our two first zones corresponding respectively to Crimes' Zone I (Upper Vendian) and Zone II (Nemakit-Daldynian to Lower Tommotian). The *Rusophycus avalonensis* + *Rusophycus bonnarensis* Zone correlates only with the lower part of Crimes' Zone III (Upper Tommotian-Lower Atdabanian), being the upper part of the latter correlatable with the *Astropolichnus hispanicus* Zone of Spain, which is Lower Ovetian (=Lower Atdabanian) in age.

### Conclusions

Trace fossils from late Vendian to early Cambrian successions in central Spain record evolutionary patterns in primitive metazoan behaviour and the incoming of new animal groups, which do not appear to be directly related with environmental facies changes because relevant ichnological innovations occur in monofacial successions. Among these innovations, the FAD of the *Monomorphichnus lineatus* + *Phycodes pedum* assemblage delineates the Precambrian/Cambrian boundary (Gámez Vintaned & Liñán, 1996). Actually, both ichnospecies appear at very similar stratigraphic positions in numerous sections in the world (Crimes, 1987).

### Acknowledgements

This is a contribution to the IGCP project no. 493 "Rise and fall of the Vendian biota". We thank Project Consolider CGL2006-12975/BTE ("MURERO") from Ministerio de Educación y Ciencia of Spain-FEDER-EU, and Grupo Consolidado E-17 ("Patrimonio y Museo Paleontológico") of Gobierno de Aragón. Thanks are due to Universidad Complutense of Madrid and to Prof. M. D. Brasier (University of Oxford) for providing access to their ichnological collections.

### References

- Brasier M.D., Perejón A. and San José M.A. 1979. Discovery of an important fossiliferous Precambrian-Cambrian sequence in Spain. *Estudios geológicos*, 35, 379–383. Madrid.
- Crimes T.P. 1987. Trace fossils and correlation of late Precambrian and early Cambrian strata. *Geological Magazine*, 124 (2), 97–119. Cambridge.
- Gámez Vintaned J.A. 1996. Part II. Field Trip Itineraries. II.1.b. The río Huso section. In: Liñán, E., Gámez Vintaned, J. A. & Gozalo, R. (eds.) *II Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Groups. International Subcommission on Cambrian Stratigraphy. Spain, 13–21 September 1996. Field trip guide and abstracts*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 28–31.
- Gámez Vintaned J.A. and Liñán E. 1996. Significant ichnological data during the Neoproterozoic-early Cambrian transition in Iberia. In: Liñán E., Gámez Vintaned J.A. & Gozalo R. (eds.) *II Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Groups. International Subcommission on Cambrian Stratigraphy. Spain, 13–21 September 1996. Field trip guide and abstracts*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 101–102.
- Liñán E., Gámez Vintaned J.A., Gozalo R., Díez M.E. y Mayoral E. 2006. Events and biostratigraphy in the Lower Cambrian of Iberia. *Zeitschrift der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 157 (4), 597–609. Stuttgart.
- Liñán E., Palacios T. and Perejón A. 1984. Precambrian-Cambrian boundary and correlation from southwestern and central part of Spain. *Geological Magazine* 121, 221–228. Cambridge.
- Palacios Medrano T. 1989. Microfósiles de pared orgánica del Proterozoico Superior (región central de la Península Ibérica). *Memorias del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza*, 3 (2), 1–91. Zaragoza.
- Palacios T., Gámez Vintaned J. A., Fernández-Remolar D. and Liñán E. 1999. The lowermost Cambrian in the Valdelacasa Anticline (central Spain): some new palaeontological data. *Journal of Conference Abstracts*, 4 (3, XV RGOP Abstract Volume), 1017, Cambridge.
- Vidal G., Palacios T., Gámez-Vintaned J.A., Díez Balda M.A. and Grant S.W.F. 1994. Neoproterozoic-early Cambrian geology and palaeontology of Iberia. *Geological Magazine* 131, 729–765. Cambridge.

## BODY FOSSILS AND TRACE FOSSILS FROM THE VENDIAN-CAMBRIAN SECTION OF DZABKHAN ZONE, WESTERN MONGOLIA

A.L. Ragozina<sup>1</sup>, D. Dorjnamjaa<sup>2</sup>, A.V. Krayushkin<sup>1</sup>, E.A. Serezhnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia,  
e-mail: ragozina@paleo.ru;

<sup>2</sup> Geological Institute Mongolian AS, Ulan-Bator, Mongolia

Results of biostratigraphic research in the thick section (over 1000 m) of siliciclastic and carbonate sediments of Tsaagan Oloom Formation (Neoproterozoic III) and Bayan Gol Formation (Lower Cambrian) are reported. Ediacaran problematic biota (presumably,

*Beltanelloides*, *Beltanelliformis* or *Nemiana*); numerous fragments of cyanobacterial mats (with dominant taxon *Siphonophycus*); colonies of coccoid microfossils; mineralized multi-layered algae, which probably regarded to *Thalophycoides* and rich assemblage of

trace fossil were discovered in the section. Algae of genus *Thalophycoides* demonstrate cellular construction and thallus structure of pseudo-parenchymatous type comparable to that of red algae. The complex of

trace fossils let us make the reconstruction of the first Cambrian bioturbators and some conclusions on the ichnostratigraphy in the Precambrian-Cambrian boundary interval.

## ОРГАНИЧЕСКИЕ ОСТАТКИ И ИХНОФОССИЛИИ В ВЕНДО-КЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДЗАБХАНСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

А.Л. Рагозина<sup>1</sup>, Д.Доржнамжаа<sup>2</sup>, А.В. Краюшкин<sup>1</sup>, Е.А. Серезжникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Палеонтологический институт РАН, Москва, Россия,  
e-mail: ragoza@paleo.ru;

<sup>2</sup> Геологический институт Монгольской АН, Улан-Батор, Монголия

Граница докембрия и кембрия в геосинклинальных областях Дзабханской структурной зоны (разрез Саланы-Гол) наиболее полно охарактеризована в трудах Советско-Монгольской Экспедиции и в рамках МПГК, проект №29 (Воронин и др., 1982; Есакова, Жегалло, 1996). Богатые комплексы древнейших скелетных организмов, водоросли и микрофитолиты позволили разграничить эти отложения и провести зональную биостратиграфию нижнего кембрия (томмотский ярус). Многие органические остатки, присутствующие в этом разрезе, распространены также на Сибирской, Восточно-Европейской платформах и в Китае, что позволяет проводить биостратиграфическую корреляцию. Дальнейшие значительные работы в этом районе были проведены группой сибирских и монгольских геологов совместно с Международной рабочей группой по проекту №303 в 1996 г. (Д.Доржнамжаа, В.В. Хоментовский, А.С. Гибшер, М.Бразье, Р.Голдринг и др.). В результате этих работ в нижней части цаганоломской свиты (венд) были впервые установлены тиллиты варангерского оледенения, в верхней части – проблематичные остатки вендских организмов, разнообразные ихнофоссилии и проблематики. Наряду с типичными кембрийскими следами жизнедеятельности древних организмов в верхней части разреза ручья Баян-Гол (баянгольская свита) определен также *Treptichnus pedum*, что вызывает сомнения в правомерности проведения границы докембрия и кембрия по этому ихнороду.

В результате совместных работ в рамках Российско-Монгольской палеонтологической экспедиции 2006 г. в Дзабханском районе была существенно дополнена палеонтологическая характеристика вендо-кембрийских отложений разреза сухого ручья Баян-Гол (рис. 1).

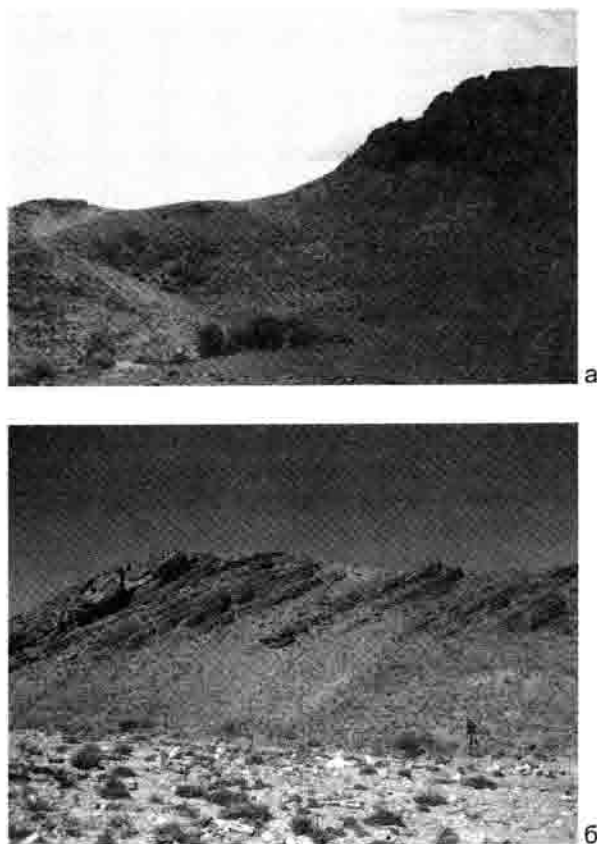


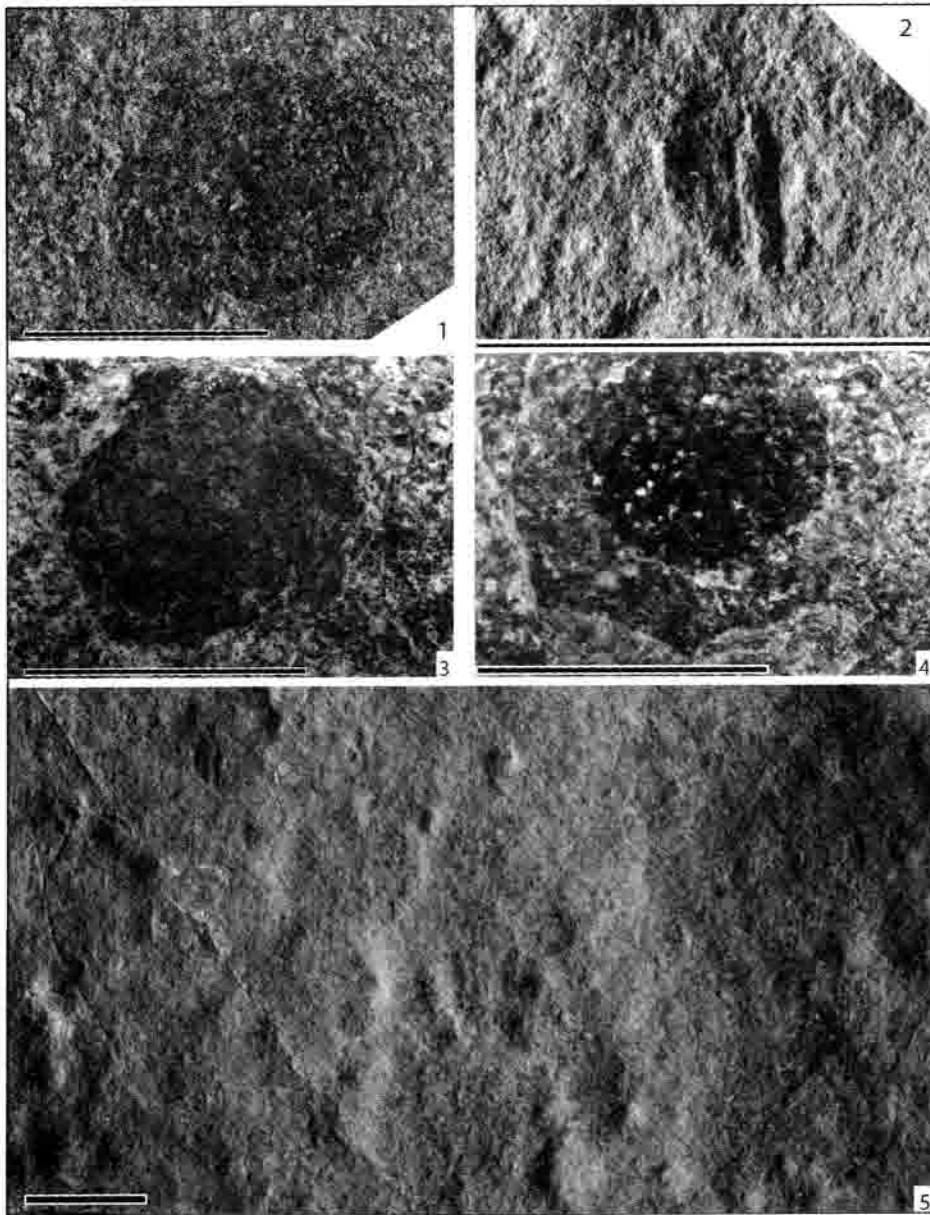
Рис. 1. Разрез вендских и нижнекембрийских отложений сухого русла р. Баян-Гол: а – цаганоломская свита, слои 9–11; б – баянгольская свита, слои 18–19 (нумерация слоев по Khomentovsky, Gibsher, 1996)

### Проблематичные остатки вендских организмов

Первые находки докембрийских многоклеточных организмов в Монголии относятся к девяно-

стым годам прошлого века: открытие разрозненных спикул губок класса Hexactinellida подтвердило существование наиболее примитивных многоклеточных в позднем протерозое, до этого известных в древних отложениях лишь по молекулярным остаткам – биомаркерам. Сложноорганизованные спикулы Hexactinellida были найдены в кремнистых породах верхней части цаганоломской свиты (Brasier *et al.*, 1997). Хемостратиграфически эти отложения

принято коррелировать с эдиакарскими частями докембрийских разрезов северо-запада Канады и уровнем с остатками *Cloudina* группы Нама в Намибии (Brasier *et al.*, 1996). В ходе полевых работ международной экспедиции в 1990-х годах в разрезе ручья Баян-Гол в глинисто-карбонатном прослое верхней части цаганоломской свиты впервые обнаружены остатки эдиакарских организмов, в частности, *Rangea* Gürich, 1929.



**Таблица 1**

**Фиг. 1–4** – проблематичные остатки эдиакарского (вендского) облика; цаганоломская свита, верхний венд; р. Баян-Гол, западная Монголия.

**Фиг. 5** – поверхность фоссиленосного слоя; цаганоломская свита, верхний венд; р. Баян-Гол, западная Монголия

В 2006 г. сотрудниками Докембрийского отряда Совместной Российской-Монгольской палеонтологической экспедиции в тонкослоистых алевролитах верхней части цаганоломской свиты на ручье Баян-Гол (слой 10 по стратиграфической схеме В.В. Хоментовского и А.С. Гибшера (Khomentovsky, Gibsher, 1996)) собрана коллекция проблематичных отпечатков эдиакарского облика. Она представлена двумя группами остатков, сохраняющихся на кровлях и подошвах глинисто-карбонатных тонкослоистых битуминозных алевролитов: 1) округлые плоские или слабо-рельефные (табл. I, фиг. 1, 3, 4); 2) мелкие овальные двустороннесимметричные (табл. I, фиг. 2, 4). Остатки организмов первой группы расположены поодиночке или несогласными скоплениями, иногда небольшими, по 3-4 экземпляра, цепочками. Отпечатки темнее основного фона породы, на выветрелых поверхностях – светлее, т.е. в некоторых случаях сохраняется углефицированное органическое вещество. Немногочисленные рельефные остатки представлены негативными отпечатками на поверхности кровли, при этом органическое вещество не сохраняется. Размеры от 3 до 17 мм. На некоторых экземплярах заметны слабые концентрические бороздки, развитые преимущественно по периферии; единичные экземпляры несут небольшой бугорок в центральной части. Морфологически сходные позднепротерозойские циклические организмы, отличающиеся от типичных многоклеточных эдиакарского типа, описаны в Китае, биота Миаохе (Miaohé), верхняя часть формации Доушаньтоу (Doushantou) (551.1±0.7 Ma, датировка верхней границы по Condon et al., 2005). Они определяются здесь как *Beltanelliformis* Menner, 1974 (в широком смысле, включая *Beltanelloides* Sokolov, 1965) и сравниваются с прикрепленным гаметофитом современных зеленых водорослей *Debresia* (Xiao et al., 2002). Сопоставимые размеры, сходную форму сохранности имеют отдельные представители биоты Джинксиан (Jinxian) – округлые организмы с циклической рябью, обнаруженные в глинистых сланцах формации Ксингминкун (Xingmincun) с абсолютной датировкой 650 Ma (Zhang et al., 2006). Морфологически сходные дисковидные отпечатки обнаружены в гораздо более древних, нижнепротерозойских (>1870 Ma), породах удоканской серии западной части Алданского щита (Синица и др., 2003). Они определены как типичные вендские организмы *Cyclomedusa*, *Nimbia*, *Nemiana* и рассматриваются как седентарные медузоиды. В ходе дальнейших исследований эти отпечатки интерпретированы как остатки сложноорганизованных микробных сообществ – бактерий, протистов, грибов (Терлеев и др., 2006). По морфологическим признакам циклические организмы из цаганоломской свиты могут быть

весьма условно отнесены к родам *Beltanelloides*, *Beltanelliformis* или *Nemiana*, поскольку сохранность материала не дает возможности для более точного определения. Вышеназванные рода повсеместно распространены в верхневендских последовательностях, изредка их определяют и в более древних отложениях. Остатки организмов второй группы – единичные негативные углефицированные овальные отпечатки размером 3–5 мм на кровле слоя. Отпечаток делит тонкие борозды, ограничивающие отчетливый центральный валик. Найденная форма отдаленно напоминает мелкие экземпляры *Kimberella* Glaessner et Wade, 1966, рода, распространенного в эдиакарских (вендских) разрезах. Отдельные черты сходства обнаруживаются и с представителями рода *Anabyllia* Vodanĵuk, 1989, описанными ранее лишь из хатыспытской свиты венда северо-запада Сибирской платформы. К сожалению, неполная сохранность и скудость материала не позволяет диагностировать эти организмы.

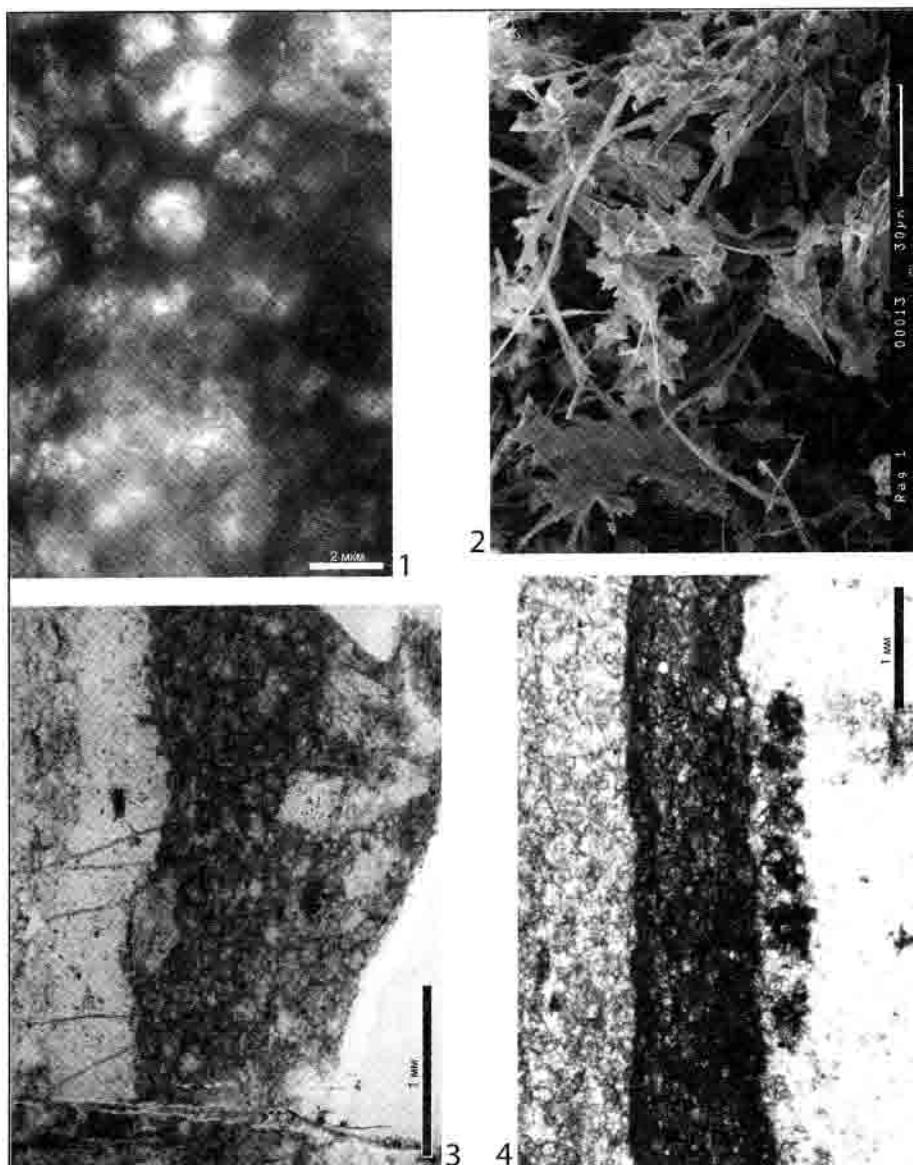
Таким образом, проблематичные остатки, собранные в терригенной пачке переслаивания верхней части цаганоломской свиты, несколько отличаются от типичных эдиакарских (вендских) форм. Отдельные циклические организмы несут черты сходства с представителями биоты Миаохе (Miaohé) из верхней части формации Доушаньтоу (Doushantou).

### Микрофоссилии и водоросли

В верхней части цаганоломской серии (слой 9–12 по стратиграфической схеме В.В. Хоментовского и А.С. Гибшера (Khomentovsky, Gibsher, 1996)) в толще переслаивания глинисто-алевролитовых и карбонатных пород с прослоями черных кремней и фосфоритов установлены многочисленные цианобактерии рода *Siphonophycus* Shopf emend. Knoll, Sweet et Mark, 1991, слагающие нитчатые цианобактериальные маты (табл. II, фиг. 1, 2). Выделяются виды, различающиеся между собой размерами: *S. septatum* (1.0–2.0 мкм), *S. robustum* (2.0–4.0), последний обычно является главным матообразующим компонентом в докембрийских бентосных цианобактериальных сообществах. Характерной особенностью этих микроводорослей является преимущественно гладкая трубчатая форма, отсутствие клеточных перегородок и ветвления. В настоящее время многие исследователи рассматривают микрофоссилии рода *Siphonophycus* как пустые чехлы осцилляториевых или ностококковых цианобактерий, сходных с современными. По данным микрорепродуктивных исследований цианобактериальных сообществ в Хубсугульском фосфоритовом бассейне Монголии микрофоссилии рода *Siphonophycus* обнаруживают поразительное сходство с цианобактериями рода *Microcoleus* (Жегалло, Розанов и др.,

2000). В кремнистых прослоях верхней части цаганоломской свиты установлены проблематичные растительные макрофоссилии водорослевой природы. Они представлены фрагментами многоклеточных слоевищ с псевдопаренхиматозной структурой и многочисленными сфероидными клетками. Размер талломов от нескольких мм до 1 см, сфероидные клетки – 1.5–3 мкм в диаметре. Из-за сильной минерализации и перекристаллизации фоссилий во многих случаях затруднено выделение сердцевинных и корковых клеток, но присутствие псевдопаренхиматозной структуры, характерной для большинства

красных водорослей, проявляется достаточно отчетливо. Псевдопаренхиматозные талломы возникают в результате переплетения и срастания боковых ветвей либо одной оси, неограниченно нарастающей с помощью верхушечной клетки, либо многих таких осей (Горбунова, 1997). Возможно, эти образования относятся к древней группе красных водорослей Rhodophyta – род *Thallophycooides* Zhang Y. et Yuan, 1992 (*T. sp.*). Подобные формы были описаны из верхней части терминального протерозоя (Неопротерозой) формации Душаньто (Doushantou), Южный Китай (Zhang *et al.*, 1998).



**Таблица II**

Нитчатые микрофоссилии и водоросли в верхней части цаганоломской свиты (венд. руч. Баян-Гол):

**фиг. 1** – детали клеточной структуры слоевищ *Thallophycooides sp.*, обр. 82/10; **фиг. 2** – цианобактериальный мат, сложенный *Siphonophicus septatum* (Schopf) и *Siphonophicus robustum* (Schopf), обр. 82/10; **фиг. 3, 4** – фрагменты слоевищ водорослей *Thallophycooides sp.*, обр. 82/10 (3), шлиф.

### Ихнофоссилии

В разрезе Баян-Гол ихнофоссилии были обнаружены в следующих слоях (стратиграфия и нумерация слоев по схеме (Khomentovsky, Gibsher, 1996)):

*Цаганоломская свита* (слои 1–17 – венд и переходные слои в кембрий). В перекрывающих строматолиты карбонатах и тонкослоистых алевролитах

с кремнистыми прослоями 9 и 10 слоев найдены простые горизонтальные ходы (табл. III, фиг. 1). В слоистых известняках 12 и 13 слоев найдены вертикальные норы, пронизывающие слои насквозь. На их кровле образуется холмообразное возвышение, на единичных образцах видны расходящиеся от устья тонкие радиальные нити неясного происхождения (табл. III, фиг. 2).

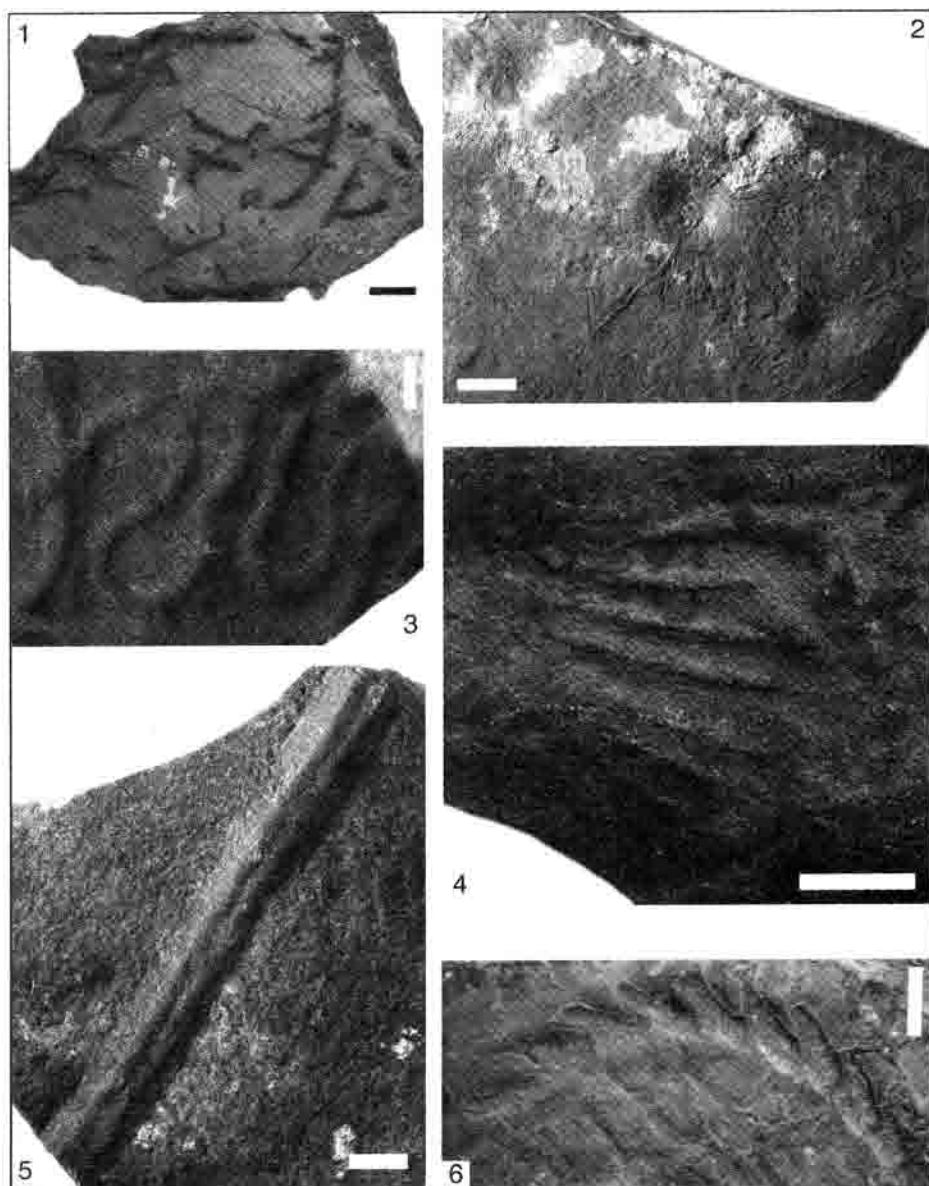


Таблица III

Фиг. 1. Простые горизонтальные ходы; цаганоломская свита; венд; Баян-Гол; Монголия.

Фиг. 2. Вертикальные ходы в карбонатах; цаганоломская свита; венд; Баян-Гол; Монголия.

Фиг. 3. *Helminthoïda* cf. *miocenica* Sacco, 1886; баянгольская свита; нижний кембрий; Баян-Гол; Монголия.

Фиг. 4. *Monomorphichnus* isp; баянгольская свита; нижний кембрий; Баян-Гол; Монголия.

Фиг. 5. *Didymaulichnus* cf. *miettensis* Young, 1972; баянгольская свита; нижний кембрий; Баян-Гол; Монголия.

Фиг. 6. *Treptichnus pedum* (Seilacher, 1955); баянгольская свита; нижний кембрий; Баян-Гол; Монголия.

Масштабная линейка – 1 см

Баянгольская свита (сл. 18–25 – нижний кембрий). В слое 18 найдены многочисленные *Planolites* isp., плотно покрывающие большие поверхности подошв песчаников; более редкие *Cochlichnus* isp. и *Didymaulichnus* isp. (табл. III, фиг. 5). В слое 20 так же встречаются ихнорода *Planolites*, *Cochlichnus* и *Didymaulichnus*, к которым добавились: *Helminthoidea* isp. (табл. III, фиг. 3), группа «следов членистоногих» *Rusophycus* isp. – *Diplichnites* isp. – *Monomorphichnus* isp. (табл. III, фиг. 4), *Palaophycus* isp., cf. *Plagiogmus* isp., cf. *Taphrhelminthopsis* isp., разные ихновиды *Treptichnus* (табл. III, фиг. 6), cf. *Hormosiroidea* isp.

Очень бедный состав докембрийских ихнокомплексов и отсутствие ограниченных неопротерозоем следов в разрезе Баян-Гола обусловлены, вероятно, карбонатным типом отложений венда в этом районе. *Treptichnus pedum* (Seilacher), маркирующий основание кембрия в типовом разрезе ТГСГ на Ньюфаундленде, обнаружен в ассоциации со следами, появляющимися стратиграфически значительно выше (верхнетоммотская-нижнеатдабанская ихнозона III по Crimes, 1987). Поэтому, вследствие сильной фациальной зависимости следов, в данном разрезе точную границу докембрия и кембрия по ихнофоссилиям установить невозможно, что подтверждает мнение некоторых исследователей об ошибочности выбора ТГСГ (Розанов и др., 1997 и др.).

Часть фаций, в которых найдены ихнофоссилии из 18 и 20 слоев, обнаруживают черты, которые можно объяснить только биостабилизацией осадка органическими матами. Эти особенности – частота внутриформационных конгломератов, отсутствие промоин и эродированных подошв событийных штормовых слоев, узловатая или горизонтальная строматолитоподобная слоистость (Goldring, Jensen, 1996). Это, в свою очередь, также способствует сохранности многочисленных сложных меандрических следов, затруднительной в мелководно-морских условиях отложения данных пород. То есть в этом раннекембрийском, так же как и во многих вендских бассейнах, степень сохранности следов зависит от развитости биоматов. Из этого можно заключить, что вендские и первые кембрийские палеоихноценозы более полно отражают реальное палеоразнообразие следов, а более молодые – только часть выборочно сохранившихся форм. В дальнейшем, под влиянием биотурбаций количество биоматов сокращается, и следы сохраняются в геологической летописи только за счет своей массовости. Таким образом, резкое увеличение интенсивности биотурбаций в «трилобитовом кембрии» (Ekdale et al., 1984 и др.) можно объяснить совместным действием тафономических (биостабилизация осадка) и эволюционных (появление новых видов) причин. Описанное выше хорошо

иллюстрирует гипотезу о «кембрийской революции субстратов» (Bottjer et al., 2000 и др.).

### Заключение

В результате биостратиграфических исследований в мощной толще (более 1000 м) терригенно-карбонатных пород цаганаломской (венд) и баянгольской (нижний кембрий) свит в разрезе сухого русла ручья Баян-Гол были установлены: (1) вендские проблематичные организмы эдиакарского облика (предположительно, *Beltanelloides*, *Beltanelliformis* или *Nemiana*); (2) многочисленные фрагменты цианобактериальных матов, сложенных преимущественно нитчатыми цианобактериями рода *Siphonophycus*, колонии коккоидных микрофоссилий, а также минерализованные многослойные водоросли с клеточной структурой, ячеистой тканью псевдопаренхиматозного типа, возможно, относящиеся к красным водорослям (Rhodophyta); (3) в нижнекембрийских глинисто-алевролитовых осадках баянгольской свиты описана богатая ассоциация ихнофоссилий, позволяющая реконструировать животных, оставивших подобные следы жизнедеятельности.

Авторы выражают благодарность М.А. Федонкину (ПИН РАН) и В.Н. Сергееву (ГИН РАН) за ценные советы, Е.А. Жегалло (ПИН РАН) за помощь в работе на SCAN, А.В. Мазину (ПИН РАН) за фотоработы, а также студенту-дипломнику Энх-Баатору (МНР) за участие в экспедиционных работах.

Работа проведена по теме №23 «Биогеография, фауна и флора позднего докембрия и палеозоя Монголии» и при поддержке грантов РФФИ–05-05-64825, Президента РФ НШ-2899.2006.5, Программы 18П Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы».

### Литература

- Горбунова Н.П. Альгология. М.: Высшая школа. 1991. 255 с.
- Воронин Ю.И., Воронова Л.Г., Григорьева Н.В. и др. Граница докембрия и кембрия в геосинклинальных областях (опорный разрез Саланы-Гол, МНР). Тр. ССМПЭ. Вып. 18. М.: Наука. 1982. 152 с.
- Жегалло Е.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т., Гувер Р.Б., Герасименко Л.М., Рагозина А.Л. Атлас микроорганизмов из древних фосфоритов Хубсугула (Монголия). 2000. Палеонтологический институт РАН, NASA-Marshall Space Flight Center. 168 с.
- Есакова Н.В., Жегалло Е.А. Биостратиграфия и фауна нижнего кембрия Монголии. Тр. ССМПЭ. Вып. 46. М.: Наука. 1996. 216 с.
- Розанов А.Ю., Семихатов М.А., Соколов Б.С., Федонкин М.А., Хоментовский В.В. Решение о выборе стратиграфической границы докембрия и кембрия: прорыв в проблеме или ошибка? // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5. №1. С. 21–31.
- Синица С.М., Вильмова Е.С., Туранова Т.К. Протерозойские экосистемы удоканского комплекса // Удокан: геология, рудогенез, условия освоения. Новосибирск: Наука. 2003. С. 26–42.



Терлеев А.А., Постников А.А., Кочнев Б.Б., Наговицын К.Е., Гражданкин Д.В., Станевич А.М. Раннепротерозойская биота из удоканской серии западной части Алданского щита (Россия) // Эволюция биосферы и биоразнообразия. 2006. М.: Т-во научных изданий КМК. Ред. С.В. Рожнов. С. 271–282.

Botzler D.J., Hagadorn J.W., Dornbos S.Q. The Cambrian substrate revolution // *GSA Today*. 2000. V. 10. №9. P. 1–7.

Brasier M.D., Shields G., Kuleshov V.N., Zhegallo E.A. Integrated chemo- and biostratigraphic calibration of early animal evolution; Neoproterozoic-Early Cambrian of Southwest Mongolia // *Geological Magazine*. 1996. V. 133. Issue 4. P. 445–485.

Brasier M.D., Green O., Shields G. Ediacarian sponge spicule clusters from southwestern Mongolia and the origins of the Cambrian fauna // *Geology*. 1997. V. 25. P. 303–306.

Condon D., Zhu M., Bowring S., Wang W., Yang A., Jin Y. U-Pb Ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China // *Science*. 2005. V. 308. P. 95–98.

Crimes T.P. Trace fossils and correlation of late Precambrian and early Cambrian strata // *Geol. Mag.* 1987. V. 124. №2. P. 97–119.

Ekdale A.A., Bromley R.G., Pemberton S.G. Ichnology: the use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy // *SEPM*. 1984. Short course 15. P. 1–317.

Goldring R., Jensen S. Trace fossils and biofabrics at the Precambrian-Cambrian boundary interval in western Mongolia // *Geological Magazine*. 1996. V. 133. №4. P. 403–415.

Khomentovsky V.V., Gibsher A.S. The Neoproterozoic-Lower Cambrian in northern Gobi-Altay, western Mongolia; regional setting, lithostratigraphy and biostratigraphy // *Geological Magazine*. 1996. V. 133. Issue 4. P. 371–390.

Zhang Y., Yin L., Xiao S., Knoll A.H. Permineralized Fossils from the Terminal Proterozoic Doushantuo Formation, South China // *Journal of Paleontology*. 1998. V. 72. Suppl. No.4. 52 p.

Zhang X., Hua H., Reitner J. A new type of Precambrian megascopic fossils: the Jinxian biota from northeastern China // *Facies*. 2006. Vol. 52. P. 169–181.

Xiao S., Yuan X., Steiner M., Knoll A. Macroscopic carbonaceous compressions in a Terminal Proterozoic shale: a systematic reassessment of the Miaochu biota, South China // *Journal of Paleontology*. 2002. V. 76. N 2. P. 347–376.

## A RELIABLE ABSOLUTE MOLECULAR CLOCK, IS IT POSSIBLE?

A.M. Simonetta

Dipartimento di biologia animale e genetica, Università di Firenze, Italia,  
email: alberto.simonetta@katamail.com

Ladies and Gentlemen, not being a palaeontologist, I am a bit of a fish out of water here as, when I have studied some fossils this was sometimes in cooperation with a real and qualified palaeontologist and, anyway, looking at these organisms purely with the attitude of a comparative anatomist. You will, therefore, or, at least I hope that you will, forgive me for not offering any contribution to the strict topics of this meeting, but rather to submit some considerations of a general impact on some common approaches to the dating of evolutionary events and to the problem of the origin of Metazoans.

My topics will be the following: a) is a molecular clock at all feasible? b) do the constraints of reproduction provide some criteria for the assessment of the hypotheses on the origin of metazoans?

Let us begin with the molecular clock. The feasibility establishing a chronology of evolutionary events on molecular evidence has been enthusiastically advocated by a number of scholars, while probably as many have been much more conservative and have maintained that the chronology of the events of phylogeny as reconstructed on molecular and genetic evidence must be adjusted to the palaeontological evidence, which should be assumed as the basic one for dating evolutionary events.

It is well known how there are a number of instances when some chronologies advanced on purely molecular evidence were found so wildly at variance with the palaeontological, geological or geographical

evidence to be clearly objectionable when not plainly impossible. Therefore a number of attempts have been made to find ways to adjust the chronology based on molecular evidence with that suggested by the evidence provided by other fields of research.

I wish to point here some considerations that make me sceptical as to the feasibility of any general method to calliper the molecular evidence so as to get a reliable “molecular clock”.

Molecular and genetic evidence has been assembled concerning basically three subjects: the evidence provided by chromosomal DNA, that of mitochondrial and, finally that of ribosomal RNA. These three sources of evidence in fact are subject to some extent to different constraints.

Mitochondrial DNA has often been assumed to be especially significant as it is assumed to be inherited only through the female lineage. This is certainly true for such animals where only the head of the sperm enters the egg, but it is not definitely established for the many animals where the whole sperm or at least the head and the neck of the sperm, with its complement of mitochondria penetrate the egg. Moreover the mitochondria are functionally concerned with cell respiration and energetic metabolism, and not, as far as we know, with the development and morphology of the organism, so that they may well be of limited evolutionary significance, not to mention a very general problem that we shall discuss further on.

Some such reservations may apply to the significance of ribosomal RNA as both messenger and ribosomal RNA are concerned with templates for the mounting of functional molecules and as we know of a number of instances, such as visual and respiratory pigments where precisely the same or closely related functional molecules have been repeatedly evolved in entirely separate lineages, there may be reasons to think that precisely the same mutations have been involved in their evolution, thus casting some doubts as to their evolutionary significance.

Clearly the basic motor in evolution has been the interaction of the genetic variability of chromosome DNA and selection, but here we meet with a compound of problems, some common with the general problem of the evolution of nucleic compounds and some peculiar to the evolution of Chromosome genome.

Molecular and genetic methods of analysis, at least in principle, should allow for the determination of the number of generations needed to attain certain changes of the genome, or rather of given sections of the genome of a given population (or, if one likes to call it so, species) or of a given bunch of populations. Indeed it is well known that different genes or, perhaps better, sequences may well evolve with remarkably different tempos.

However all methods proposed fail to consider:

a) That, even among living animals, in a number of natural metapopulations the number of generations for any time unit, for quite different reasons, are different. For instance several insects are "polivoltine" (that is: they have a number of generations by year) in some regions and "univoltine" (one generation per year) in others, and, clearly we can not even guess whether, when and where univoltine and polivoltine phases may have succeeded each other during the evolutionary process.

The individual development of the members of each population may be quite different and, therefore, sexual maturity may obtain at different ages among individuals of the same species according, for instance, environmental conditions and may well have considerably changed in the course of evolution of any given lineage. Therefore, even if we happen to know the rhythm of succession of generations in a living population, it is obviously impossible to know if, when and how it may have changed in the past millions of years.

b) Some species which have long larval stages and brief adult lives are, in fact, a composite of entirely separated populations, even if they are completely sympatric. Take, for instance, our cockchafer (*Melolontha vulgaris*) with its three-years larval lifespan and a few weeks as the adult; so while yearly present, it is, in fact, a species made up of three genetically entirely separated populations, and, obviously we can not know in all such cases when such conditions begun to obtain. Moreover many animals with a reasonably long life-

span (up to centuries in some reptiles such as *Sphenodon*, which reaches sexual maturity around seventy), at least as far as chromosomal DNA is concerned, there are no separate generations, but a true maze, which may be further compound by the possibility of preferential reproduction by some classes of the population or by a greater or lesser promiscuity.

Just to take an obvious example: can anyone believe that our shrew-sized ancestors of the late Triassic had the same number of generations per century and the same social organisation of sexual behaviour as modern elephants or of ourselves?

As it is clearly impossible to guess if, when, how long etc. in each lineage these and other facts which may invalidate the classical models of population genetics may have worked, it appears that it is impossible to derive from molecular evidence any absolute chronology.

Indeed, even allowing for the reliability of phylogenies arrived by the implementation of methods based on the assumption of an evolution going by dichotomies (which is questionable by itself) and assuming, at least as a working hypothesis, that our molecular phylogenies are correct, it would be necessary to adjust in each instance and for each, possibly very short, segment of the phylogeny itself, a different temporal average tempo based on the actual palaeontological evidence, which must, in turn, be adjusted to the geological date. A clearly impossible task!

We may now come to our second topic.

It may be safely said that Haeckel's "Fundamental biogenetic Law", that of recapitulation, has been severely criticized, and with good reason, since it was proposed, although it has always been rightly recognised that the morphology of embryonic or larval or juvenile stages does generally provide quite significant evidence for the morphologic interpretation of adult structures and for phylogenetic reconstruction. Yet the idea that ancestral metazoans must have been comparatively simple and small organisms is still by and large with us, but is it justified?

When we consider that by far the majority of animals reproduce and multiply by sexual reproduction, it is self evident that in order to achieve its purpose the prerequisite conditions are either: a) that gametes are produced in such numbers that, even if their individual chances of meeting with the proper partner are few, yet the probability of successful matings are many. Or that, if comparatively few gametes are produced, these are shed under conditions that prevent their dispersal.

Now this second condition obtains under one of the following conditions: internal fertilisation, no matter whether this is done by the operation of an intromittent organ, by packaging the gametes into spermatophores and the like, or by releasing the gametes into such a confined space that the dispersal of gametes is pre-

vented. Such a condition might occur, for instance in an interstitial environment. In any case conditions that require a rather specialized morphology. Again, a small animal, the size of most larvae, may successfully counter the reproductive disadvantage of a low production of gametes if it lives in large colonies: many colonial animals have very small individuals, but these, being associated by the thousands actually make up both the total bulk and the gamete production of a comparatively large animal.

For animals which have a more or less early segregation of the reproductive cell lineage (germinal cell lineage), it is plain that a level of organisation and size, such as that of, for instance, a trochophora, is totally incompatible with reproductive activities. The problem is somewhat different for animals which do not have such separation, such as, for instance, Coelenterates, Sponges, Bryozoans. However, even for such animals there are definite constraints.

First of all, if the animal is a sedentary one or one of limited range of movement, in order to breed successfully, it must produce an enormous number of larvae capable of quick dispersal, so that at least some may have a chance to settle in a favourable environment. Indeed, so long as the local carrying capacity of the environment is not saturated, most larvae will settle in the immediate proximity of the parent individual(s), so that conditions analogous with those of colonial animals will obtain. However, as there never was an locality with unlimited carrying capacity for any organism and local environmental conditions may well change, the long term survival of any lineage depends on its ability to produce large numbers of larvae capable to disperse and explore the availability of new settlements, so that, we are back to our previous situation. On the other side, a highly movable animal requires an efficient tissular organisation. Such an elaborated structure is needed also for sedentary organisms unless the solidity of the structure is provided by a skeleton. Indeed, calcareous sponges,

whose cells are joined only by the simplest and more labile of cell junctions, can withstand the turbulence of water just because of their mineral skeleton. Likewise the small Acoelian flatworms, probably the simplest moving animals and with least organized tissular organisation, yet just, in accordance with our previous considerations, do not shed their sperms, but inject them into the body of their partner and thence the sperms move among the body parenchyma to search for the eggs.

As whole, I think that, when we envisage the earliest possible metazoans we shall imagine an organism which is capable to alternate sexual and asexual reproductions, the sexual reproduction producing planktonic dispersal larvae, perhaps like planulae, which thence evolve into a more complex individual, again possibly, with a level of complexity comparable with that of the simplest flatworms.

It should also be considered that, if the organism is envisaged as a planktonic or nektonic animal then it is prerequisite that it had a set of contractile structures and a sufficiently organised nervous system to gather and process information and to coordinate its movements, as ciliary movement is possible for a planktonic animal only if it is extremely small and, anyway, it will not allow for any displacement beyond a range of a few centimetres, thus leaving the animal entirely to the chances of waves and currents. Ciliary movement is, indeed possible and obtains in different sizeable animals which slide on the bottom, but, again it must be controlled by a sufficiently organised nervous and sensory system. Anyway it looks as our first metazoan had to be considerably more complex both in structure and behaviour than it is commonly assumed, the transition between the organisational level of a colonial protozoan and that of the early metazoans being hard to conceive.

I have titled this little paper "Something to think about" as I have no suggestions to offer as an answer to the problems envisaged here, but I hope that it will spark a lively debate and that I may profit from it.

## THE TRANSGONDWANAN SUPERMOUNTAINS: THE ENVIRONMENTAL CATASTROPHE THAT SPAWNED ANIMALS

*R.J. Squire<sup>1</sup>, I.H. Campbell<sup>2</sup>, C.M. Allen<sup>2</sup> & C.J.L. Wilson<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> School of Geosciences, Monash University, Clayton, Victoria, Australia,  
email: Rick.Squire@sci.monash.edu.au;

<sup>2</sup> Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, Australia;

<sup>3</sup> School of Earth Sciences, University of Melbourne, Australia.

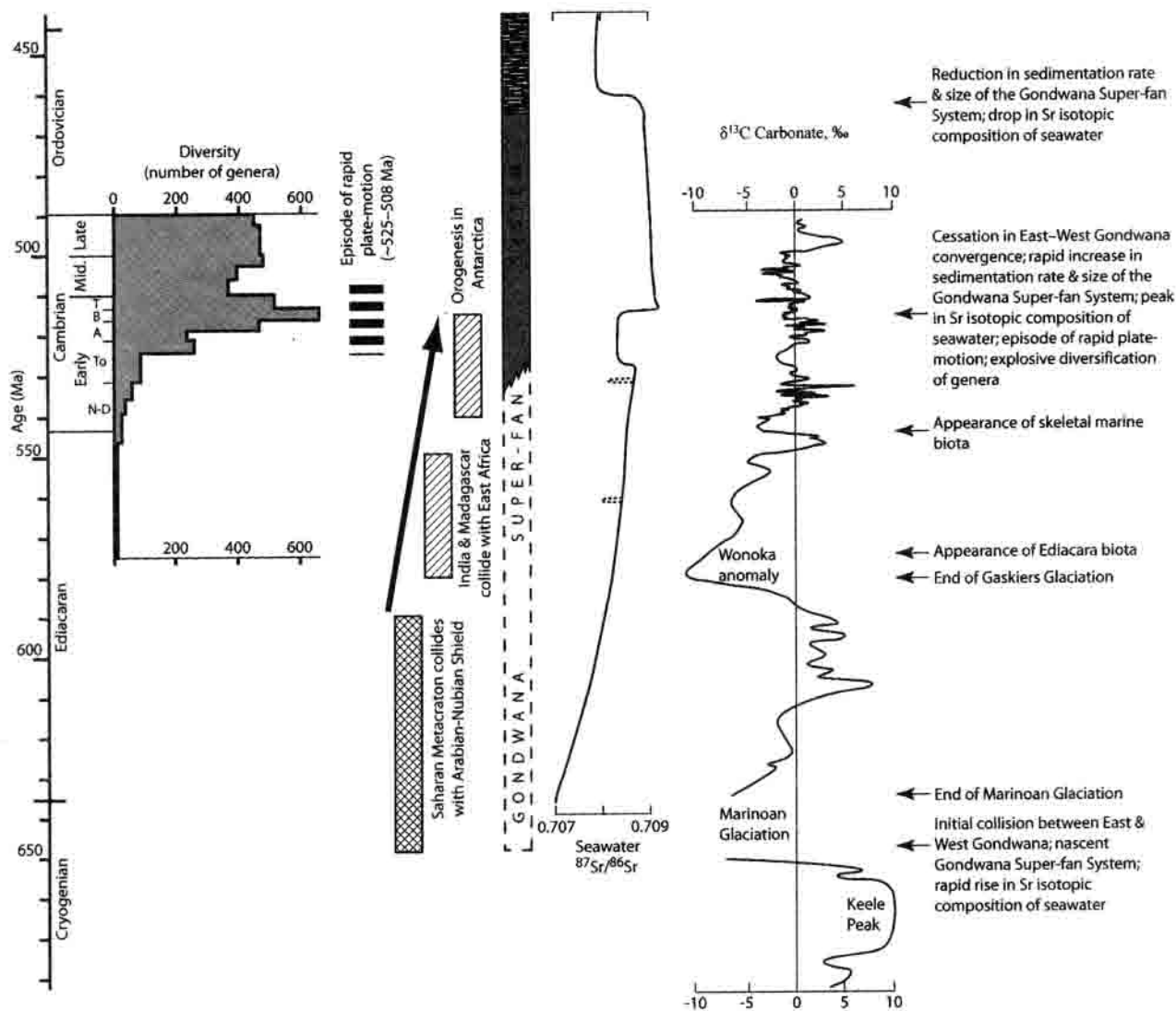
### **Abstract**

Early Palaeozoic quartz-rich sandstone units with dominant Pan African (~650–550 Ma) and secondary Grenvillian (~1200–900 Ma) age peaks are found in

Africa, South America, Arabia, India, Australia, New Zealand and Antarctica. The timing of this sediment influx from a remarkably similar source broadly coincides with the convergence of East and West Gondwana.

We suggest that diachronous convergence between these enormous palaeocontinents between ~650 and 515 Ma generated an 8,000-km-long mountain chain, the Transgondwanan Supermountains, the root-zone of which is presently referred to as the East African–Antarctic Orogen. Huge volumes of sediment were transported down the rivers that drained either side of this gigantic mountain chain, which was located near Earth’s equator, and were deposited in a series of enormous sedimentary fans (i.e., the Gondwana Super-fan System). We estimated that at least 100 Mkm<sup>3</sup> of quartz-rich detritus, equivalent to covering Russia with

5.8 km of material, was deposited in to Earth’s oceans from this mountain chain. This resulted in an unprecedented flux of Sr, P, Fe, Ca and bicarbonate ions into the oceans. Continentally derived Sr drove seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr to the highest levels in Earth’s history, whereas the addition of P and Fe provided the vital nutrients to support blooms of primitive life that in turn fed the Cambrian explosion of animal life. The influx of Ca and bicarbonate ions led to an increase in CaCO<sub>3</sub> supersaturation in the oceans, allowing species in numerous phyla to simultaneously develop skeletons from ~545 Ma.



**Fig. 1.** Summary of the major late Neoproterozoic to Ordovician geological, biological and environmental events associated with the development of the Transgondwanan Supermountains and Gondwana Super-fan System. The intervals recording the greatest flux of quartz-rich sediment associated with the Gondwana Super-fan System are stippled, whereas those with lower depositional rates are shown in grey; dashed lines during the Ediacaran period indicate that the depositional rates are inferred (i.e., sedimentary units not preserved). **N-D** – Nemakit-Daldynian; **To** – Tommotian; **A** – Atdabanian; **B** – Botoman; **T** – Toyonian; **Mid** – Middle. From Squire *et al.* (2006)

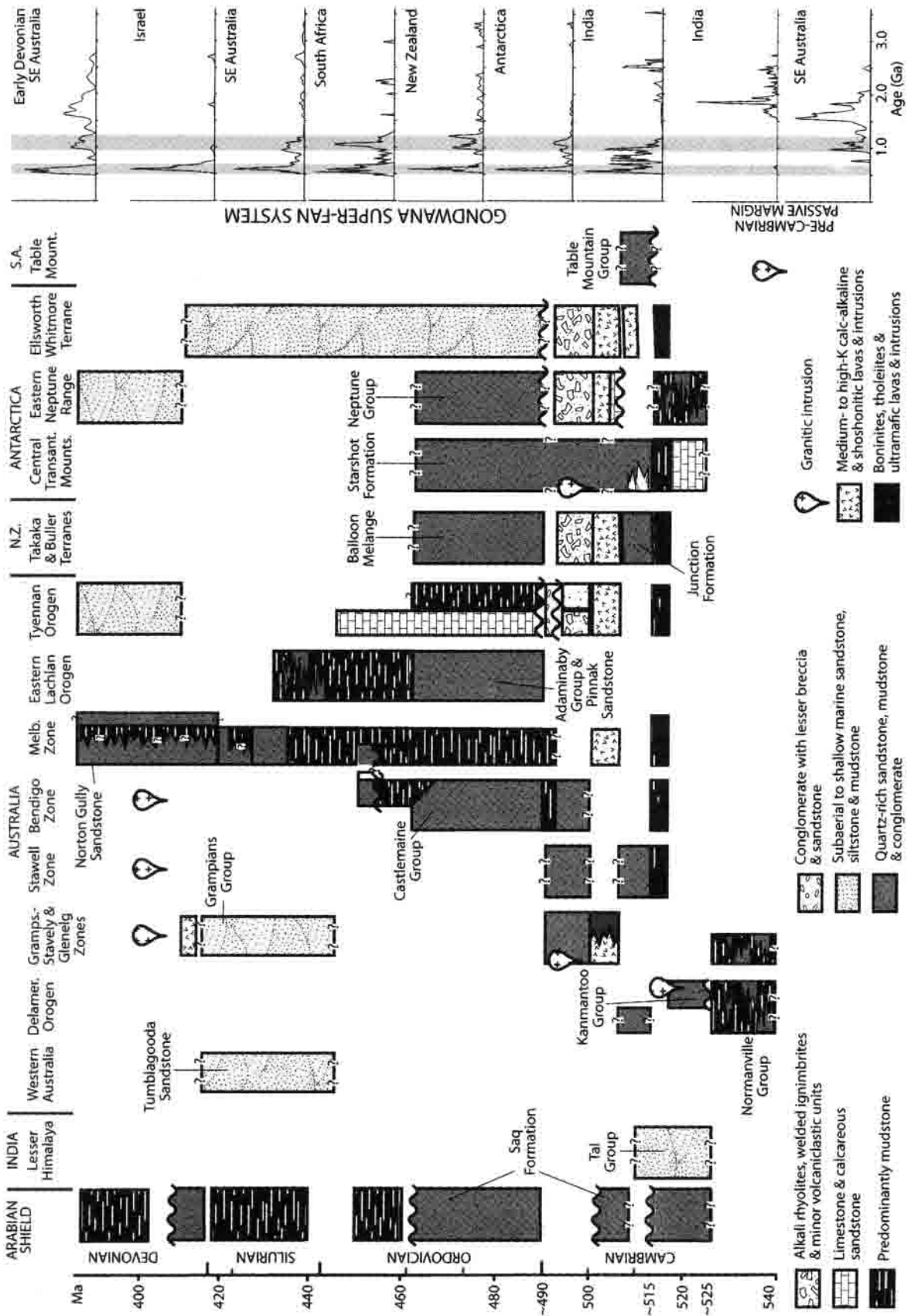


Fig. 2. Simplified time-space chart showing the distribution and stratigraphic relationships of the early Palaeozoic quartz-rich successions in East Gondwana. N.Z. – New Zealand; S.A. – South Africa; **Mount.** – Mountain. Modified after Squire *et al.* (2006)

## **Problems explaining the 'big bang' of animal evolution**

The late Ediacaran to Early Cambrian period (~575 to 510 Ma) is not only marked by the sudden appearance and explosive radiation of animals, but is punctuated by several catastrophic tectonic and environmental events (Fig. 1). These include dynamic plate-tectonic activity associated with formation of the supercontinent Gondwana (Boger & Miller 2004; Jacobs & Thomas 2004) and a variety of dramatic shifts in global environmental conditions such as the rapid rise in Sr isotopic values of seawater to the highest-known levels in Earth's history (Brasier & Lindsay 2001; Shields & Veizer 2002), the escalation in oceanic (Fike *et al.* 2006; Canfield *et al.* 2007) oxygen levels, over a dozen large fluctuations in inorganic  $\delta^{13}\text{C}$  values (Halverson *et al.* 2005) and major glaciations that included the youngest 'snowball Earth' event (~635 Ma Marinoan Glaciation (Hoffman *et al.* 1998)) (Fig. 1). Unfortunately, difficulties in correlating these broadly overlapping environmental, biological and tectonic events have made it difficult to interpret which, if any, triggered the 'big bang' in animal evolution.

Proposals for the cause of the 'big bang' in animal evolution are wildly varying, and commonly involve of single cataclysmic event (e.g., devastating meteorite impacts (Grey *et al.* 2003), a 'bottleneck and flush' response to 'Snowball Earth' (Hoffmann *et al.* 2004) or a convulsive reaction to large and sudden changes in orbital obliquity (Williams 1993)). However, the 60-million-year time gap between the appearance of Ediacaran biota at ~575 Ma (Bowring *et al.* 2003; Narbonne & Gehling 2003) and the sudden peak in diversification of genera in the Botoman stage (~515 Ma) (Kirschvink & Raub 2003) suggests that the cause of this radical biological episode was long-lived and rapidly evolving. Therefore, the most likely cause of this biological catastrophe involved an interaction between the dramatic tectonic and environmental events of this interval. Although resolving this problem is complicated by uncertainty about the timing of amalgamation events in Gondwana and the geometry of the fragments involved (Boger & Miller 2004; Jacobs & Thomas 2004), we show these difficulties may be overcome by tracing the history of collisional orogenesis through the sediments derived from the uplifted terranes. Using detrital-zircon age spectra from broadly contemporaneous early Palaeozoic quartz-rich successions, which display remarkably similar age populations (Fig. 2), we provided a refined interpretation of the timing and nature of amalgamation (Fig. 3).

### **Supermountains and the rise of animals**

This abstract provides an overview of results and interpretations from our recently published paper (Squire

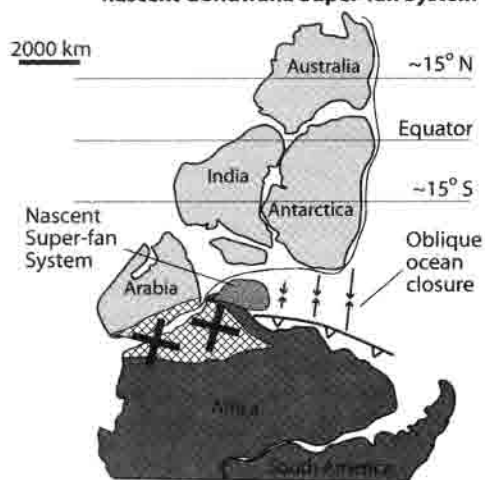
*et al.* 2006) that links the appearance and explosive radiation of animals on Earth to the environmental catastrophe generated during formation of an enormous mountain chain during amalgamation of Gondwana. In the paper, we proposed that rapid erosion of the Transgondwanan Supermountains resulted in the entry of an unprecedented flux of dissolved weathering products, including Sr, Fe, P, Ca and bicarbonate ions, into the oceans. The flux of these elements exceeded that recorded during any previous period of Earth history. Of importance to the appearance of animals is the enormous build-up of P and Fe in the oceans. This provided the vital nutrients to create an unprecedented bloom of primitive life, especially green algal, which in turn, provided an abundance of food from which more complex life forms were able to evolve. In other words, the period from ~580 Ma was unique in Earth's history because it was the first time that the P and Fe contents of the oceans rose to the level where they could sustain abundant primitive life. More-advanced life forms exploited this opportunity, aided by the (related?) rise in oceanic oxygen (Fike *et al.* 2006; Canfield *et al.* 2007), to multiply rapidly and evolved.

By contrast with the Late Paleocene thermal maximum, during which surface waters rose by 4 to 8°C and mammalian fauna radiated dramatically, the explosive increase in biodiversity during the Early Cambrian (Fig. 1) may have been aided by the release of large volumes of methane gas (Kirschvink & Raub 2003). We argue that the hydrocarbons necessary to generate the greenhouse gas methane were probably created following rapid deposition of organic-rich material from the uplifted margins of East and West Gondwana. This rapid erosion during the Early Cambrian may also have been responsible for the sudden appearance of skeletal marine fauna. High erosion rates must have resulted in a dramatic increase in the Ca and bicarbonate flux down the rivers that drained the enormous mountain chain and to a coincident increase in seawater-CaCO<sub>3</sub> supersaturation. Data from halite fluid inclusions (Brennan *et al.* 2004) and cyanophytes (Riding 1982) support this interpretation. Therefore, skeletal marine phyla suddenly appeared ~545 Ma (Martin *et al.* 2000) when an increase in CaCO<sub>3</sub> supersaturation in seawater made it possible for the phyla to precipitate CaCO<sub>3</sub> for the first time.

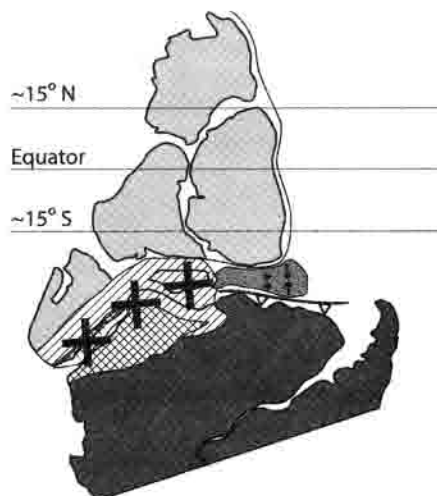
### **References**

- Boger S.D. & Miller J.M. 2004. Terminal suturing of Gondwana and the onset of the Ross-Delamerian Orogeny: the cause and effect of an Early Cambrian reconfiguration of plate motions. *Earth and Planetary Science Letters* 219, 35–48.
- Bowring S.A., Myrow P., Landing E., Ramenzani J. & Grotzinger J. 2003. Geochronological constraints on terminal Neoproterozoic events and the rise of metazoans. *Geophysical Research Abstracts (EGS, Nice)*, 5 13,219.

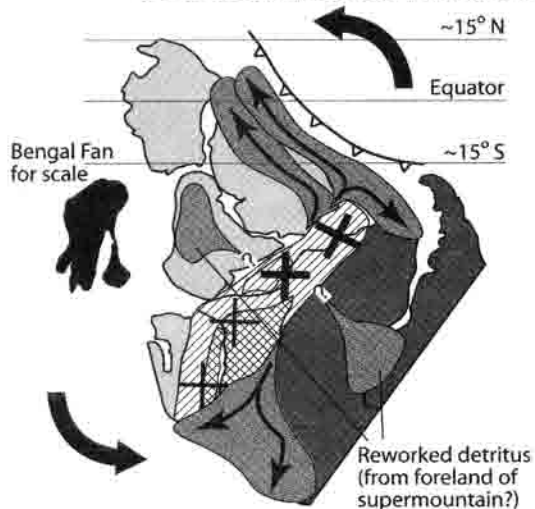
**a ~650-590 Ma: collision between northeastern Africa and the Arabian-Nubian Shield; nascent Gondwana Super-fan System**



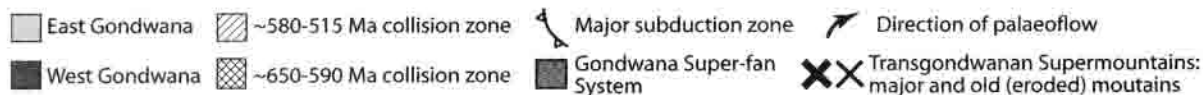
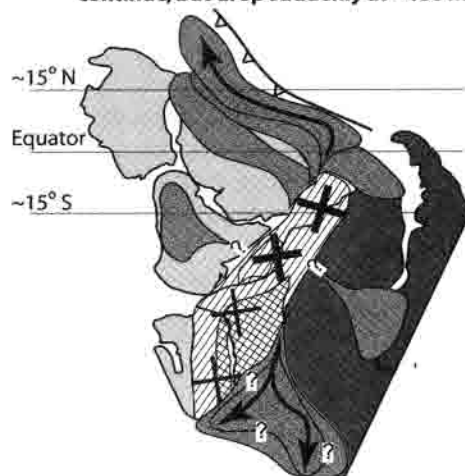
**b ~580-550 Ma: continued East-West Gondwana convergence; continued recycling of detritus in nascent Gondwana Super-fan System**



**c ~525-510 Ma: convergence between East and West Gondwana ceases; rapid increases in global plate-motion, sedimentation rates and the size of the Gondwana Super-fan System**



**d ~490-460 Ma: high sedimentation rates continue, but drop suddenly at ~460 Ma**



**Fig. 3.** A schematic reconstruction showing how oblique East-West Gondwana convergence resulted in generation of the Transgondwanan Supermountains and Gondwana Super-fan System between ~650 and 515 Ma. The present-day areal extent of the Bengal and Nicobar fans are shown in black for scale. From Squire *et al.* (2006)

Brasier M.D. & Lindsay J.F. 2001. Did supercontinental amalgamation trigger the "Cambrian explosion"? In A.Y. Zhuravlev and R.Riding [eds.], *The ecology of Cambrian radiation*, 69–89. Columbia University Press, New York.

Brennan S.T., Lowenstein T.K. & Horita J. 2004. Seawater chemistry and the advent of biocalcification. *Geology* 32, 473–476.

Canfield D.D., Poulton S.W. & Narbonne G.M. 2007. Late-Neoproterozoic Deep-Ocean Oxygenation and the Rise of Animal Life. *Science* 315, 92–95.

Fike D.A., Grotzinger J.P., Pratt L.M. & Summons R.E. 2006. Oxidation of the Ediacaran Ocean. *Nature* 444, 744–747.

Grey K., Walter M.R. & Calver C.R. 2003. Neoproterozoic biotic diversification; snowball Earth or aftermath of the Acraman impact? *Geology* 31, 459–462.

Halverson G.P., Hoffman P.F., Schrag D.P., Maloof A.C. & Rice A.H.N. 2005. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *Geological Society of America Bulletin* 117, 1181–1207.

Hoffman P.F., Kaufman A.J., Halverson G.P. & Schrag D.P. 1998. A Neoproterozoic snowball earth. *Science* 281, 1342–1346.

Hoffmann K.H., Condon D.J., Bowring S.A. & Crowley J.L. 2004. U-Pb zircon date from the Neoproterozoic Ghaub Formation, Namibia; constraints on Marinoan glaciation. *Geology* 32, 817–820.

Jacobs J. & Thomas R.J. 2004. Himalayan-type indenter-escape tectonics model for the southern part of the late Neoproterozoic-early Paleozoic East African-Antarctic orogen. *Geology* 32, 721–724.

Kirschvink J.L. & Raub T.D. 2003. A Methane Fuse for the Cambrian Explosion: True Polar Wander. *Comptes Rendus Geosciences* 335, 71–83.

Martin M.W., Grazhdankin D.V., Bowring S.A., Evans D.A.D., Fedonkin M.A. & Kirschvink J.L. 2000. Age of Neopro-

terozoic bilaterian body and trace fossils, White Sea, Russia: implications for metazoan evolution. *Science* 288, 841–845.

Narbonne G.M. & Gehling J.G. 2003. Life after snowball: the oldest complex Ediacaran fossils. *Geology* 31, 27–30.

Riding R. 1982. Cyanophyte calcification and changes in ocean chemistry. *Nature* 299, 814–815.

Shields G.A. & Veizer J. 2002. Precambrian marine carbonate isotope database: version 1.1. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 3, 1031.

Squire R.J., Campbell I.H., Allen C.M. & Wilson C.J.L. 2006. Did the Transgondwanan Supermountain trigger the explosive radiation of animals on Earth? *Earth and Planetary Science Letters* 250, 116–133.

Williams G.E. 1993. History of the Earth's obliquity. *Earth-Science Reviews* 34, 1–49.

## THE TRANSGONDWANAN SUPERMOUNTAIN, OCEAN “SWEETNERS,” AND THE MARINE PLAYGROUNDS OF NEOPROTEROZOIC EARTH: THE GLOBALIZATION OF ANIMALIA

*P. Vickers-Rich*

School of Geosciences, Monash University, Melbourne, Australia,  
email: pat.rich@sci.monash.edu.au

### **Introduction**

For much of Earth history, beginning around 2.5 billion years ago, the planet has had a rather mild climate, despite its rather “toasty” beginnings and its current glacial leanings. Thus, the rule of thumb which palaeontologists use to interpret the past, uniformitarianism (the present is the key to the past), may not always be appropriate. However, during one period of time, from around 700 million to at least 580 million, perhaps it is appropriate – or is it? This was a period of numerous glacial events, some of which were of a global nature, and likely much more severe than the glacials of the past 2 million years on Earth, the Pleistocene. Such severely cold conditions, even at the Equator, and the variability of climate, from cold to warm and back to cold again over more than 180 million years, was the time in Earth history when the first undoubted metazoans appear in the fossil record. They initially appear as tiny embryos and adults recorded in China (Doushantuo) (Xiao *et al.*, 1998; Li, 2006) and somewhat later as macrofossils known from many places around the globe, most notably from Newfoundland, Russia, Australia and Namibia.

### **Cold Cradles, Giant Mountain Ranges, Sweet Waters and Weedy Environments**

What was so special about this time which fostered such advances in complexity – leading from a world dominated by microbes to one resplendent in complex, often mobile macro-animals and eventually shelled and skeletonized forms that began to appear in

the latest Neoproterozoic (*Cloudina*, fig. 1)? “Weedy environments” are often sites of innovation – those environments that are new and variable. Neoproterozoic environments were certainly such weedy places – variable in salinity, oxygen content, temperature and likely saturation of certain minerals needed for construction of hard parts. Knauth (2005) has noted that ocean water salinity could have played a major role in controlling accessibility to global oceans for complex metazoan metabolism. Sometime during the period from about 625 to around 500 million years ago giant salt deposits formed. This would certainly indicate massive removal of salts from the oceans. Such lowered salinity could well have favored metazoan metabolism and also enhanced oxygen saturation. Add to that significantly colder temperatures during glacial events, which would have further enhanced oxygen concentrations, and global oceans may have been most inviting to the expansion of metazoans – veritable “global playgrounds.”

Metazoans may well have developed elsewhere than in the global hypersaline oceans (perhaps as high as 1.6 to 2 times modern salinities (Knauth, 2005; Land, 1995), prior to massive halite deposition in the late Neoproterozoic and early Phanerozoic, which changed the world’s seas profoundly. Major salt deposition (reflected by “saline giants”) is known to have occurred on Earth only a few times in its history, two of those occurring between 500 and 700 million years, with major deposits preserved today in Australia, Oman, Saudi Arabia, Iran and Pakistan. These signal





Fig. 1. *Cloudina*, late Neoproterozoic, Namibia. Some of the first CaCO<sub>3</sub>-shelled metazoans (photo by Fedonkin & Vickers-Rich)

the sequestering of halite on the growing continents, thus significantly lowering salinity in the global oceans. Knauth (2005) has suggested that metazoans could have first developed in fresher, sweeter waters because of their lower salinity (which would have been accompanied by higher oxygen saturation) during times when the global oceans were too saturated with salts to favor a metazoan presence (fig. 2).

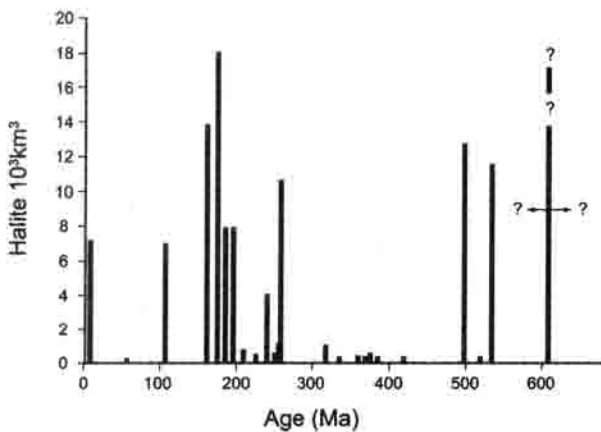


Fig. 2. Times of massive salt deposition (“Saline Giants”) in Earth history (Knauth, 2005)

Fedonkin (1996) noted that metazoans could have developed in “cold cradles” during the lowered temperatures of the Neoproterozoic glaciations. This could have happened in cold, freshwater cradles or in deltaic areas where incurrent fresh waters lowered the salinity

of the open oceans of the time and in places where lowered temperatures also enhanced oxygen solubility. Then, with deposition of the “salt giants” later sequestered on the growing continents, the floodgates to global oceans may have been opened as salinity dropped, oxygen saturation escalated in oceanic “playgrounds” that would have been widespread. Within 4 million years of the meltdown, the Gaskiers Glaciation dated at around 581–579 million years BP (Bowring & Condon, pers. com. 2006; Halverson, *et al.*, 2005) fully developed, complex metazoans appeared. The degree of complexity of these organisms, despite the uncertainty of their relationships with crown groups of today, and the data provided by molecular studies (Hedges, *et al.*, 2004, Blair & Hedges, 2004 and many others), clearly indicates that complex metazoans were present BEFORE 581–579 million years BP.

And further, add to that the rise of an 8000 km long mountain chain (the great Transgondwanan Supermountain of Squire, *et al.*, 2006), which, when eroded, could have significantly altered seawater composition. Such dynamic conditions would have greatly altered global marine environments, providing a new, “weedy” set of opportunities for the further development and expansion of metazoans.

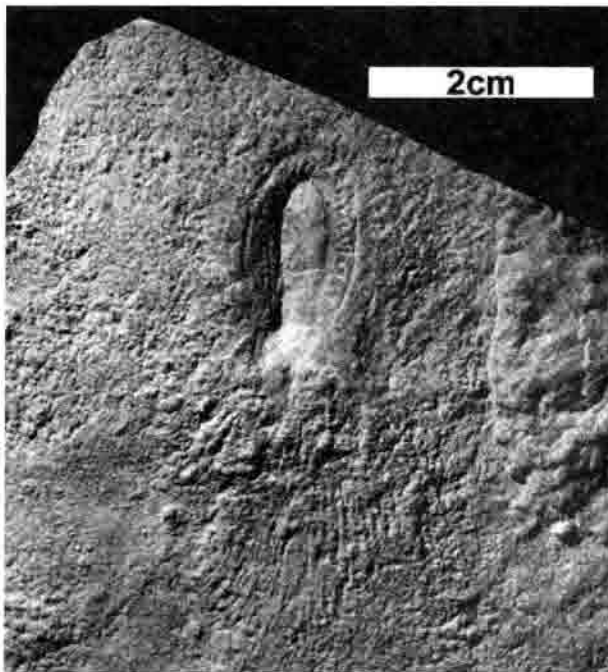
#### Where to look for the older Ediacarans?

Where might one look for the older fossils of the Ediacarans? As mentioned above, Knauth (2005) has echoed a suggestion made before that perhaps metazoans were living in environments not frequently preserved, such as in fresher waters, e.g. estuaries – sediments which need intensive investigation in the future. Such less saline environments would certainly have provided a more “pleasant” abode for most metazoans and with or without the cold, a place with more oxygen needed to nurture metazoan metabolism. Despite the oceans of the Phanerozoic being ideal environments for the most diverse metazoan communities, this may not have been the case in the Neoproterozoic. Knauth noted that the acquisition of shells in the Early and Middle Cambrian may have been the result of changing ocean saturation in calcite, silica and phosphate. Perhaps also related to changing salinity is the erosion of continental shelf sediments exposed during lowered glacial sea levels or the erosion of a lengthy mountain chain in the early Phanerozoic brought about by plate tectonics. Degradation of these highlands would not only have introduced nutrients and new environments (Brasier & Lindsay, 2001; Squire *et al.*, 2006) but also would have supersaturated the global oceans with the building blocks of hard parts.

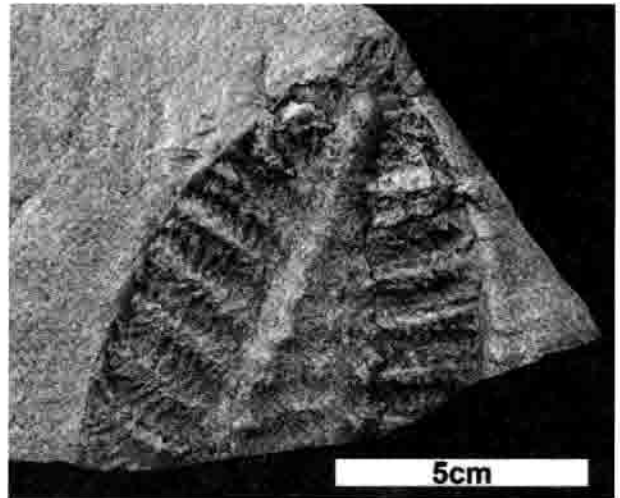
#### Where Did the Ediacarans Go?

And where did the Ediacarans go? Some clearly were stem groups which have relationships to crown

groups – *Kimberella* (fig. 3) to the Mollusca (snails, bivalves, etc.), as an example. Others may simply have disappeared because their way of life came to an end (e.g. the rangeomorphs, fig. 4). With the demise of the vast microbial mats, which so characterized the Neoproterozoic and before, the “jobs” of such organisms as *Yorgia* and *Dickinsonia* came to an end. These likely “vacuum cleaners” or “cleaning sponges,” which may well have absorbed their way into the microbial mats as a way of “feeding,” then moved on to the next “delicious” spot leaving their long-lasting absorption patterns (“footprints”) behind, may simply have run out of food widespread enough to maintain their lifestyle. Just what brought about the demise of the microbial mats and the beginning of deep burrowing and bioturbation disrupting these mats forever? It may have been a change in ocean chemistry and the development of more efficient feeding styles, greater mobility of the newly evolved organisms, including an ability to burrow, at first shallowly and then deeper - changing the seabeds forever.



**Fig 3.** *Kimberella* (with feeding traces) Russia, some of the Neoproterozoic metazoans (photo by Vickers-Rich & Fedonkin)



**Fig 4.** *Rangea* from Namibia, some of the Neoproterozoic metazoans (photo by Vickers-Rich & Fedonkin)

### References

- Blair J.E. & Hedges S.B., 2004. Molecular clocks do not support the Cambrian explosion. *Molecular Biology and Evolution*, 22: 387–390.
- Brasier M.D. & Lindsay J.F., 2001. Did supercontinental amalgamation trigger the “Cambrian Explosion?” In: Zhuravlev, A. Yu. & Riding, R., eds. *The Ecology of the Cambrian Radiation*, Columbia University Press, New York: 69–89.
- Fedonkin M.A., 1996. Cold-water cradle of animal life. *Palaeontologicheskii Zhurnal* (English version), 30: 669–673.
- Halverson G.P., Hoffman P.F., Schrag D.P., Maloof A. c. & Rice A.H.N., 2005. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *Geological Society of America Bulletin*, 117: 1181–1207.
- Hedges S.G., Glair J.E., Venturi M.L. & Shoe J.L., 2004. A molecular timescale of eukaryote evolution and the rise of complex multicellular life. *BMC Evolutionary Biology*, 4. <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/4/2>
- Knauth L.P., 2005. Temperature and salinity history of the Precambrian ocean: Implications for the course of microbial evolution. In: Noffke, N., ed. *Geobiology: Objectives, Concepts, Perspectives*. Elsevier, New York: 53–69.
- Land L.S., 1995. The role of saline formation water in crustal cycling. *Aquatic Chemistry*, 1: 137–145.
- Li C.-W., 2006. Diversity and taphonomy of early metazoan embryos. IGCP 493 Abstract Volume, IGCP493 Meeting, Kyoto University Museum, Kyoto, 27–31 January 2006.
- Squire R.J., Campbell A.H., Allen C.M. & Wilson C.J.L., 2006. Did the Transgondwanan Supermountain trigger the explosive radiation of animals on Earth. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 250 (1–2): 116–133.
- Xiao S., Zhang Y. & Knoll A., 1998. Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite. *Nature*, 391: 553–558.

**PART 5**  
**PROSPECTIVES AND TASKS**  
**ЧАСТЬ 5**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ**

**UNIQUE LOCALITIES FOR IMPRESSIONS OF VENDIAN METAZOANS  
IN THE ARKHANGELSK REGION ARE IN DANGER**

*Andrey Yu. Ivantsov<sup>1</sup>, Mikhail A. Fedonkin<sup>1</sup>, Maxim V. Leonov<sup>1</sup>,  
Ekaterina A. Serezhnikova<sup>1</sup>, Eugeny I. Malyutin<sup>2</sup>, and Yuriy V. Khan<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Department of Natural Resources, Administration of Arkhangelsk Region, Russia;  
email: ivantsov@paleo.ru

The localities for the earliest metazoans situated in the Arkhangelsk Region (AR) are unique in Russia and the finest in the world. These localities were only recently discovered, and are still poorly studied. However there is a danger that they could be destroyed by illegal collectors.

The first wide expansion of metazoans in the history of the Earth was in the Vendian (650–540 Ma). In the Late Vendian, diverse organisms occupied the seas of all continents from the tropics to the boreal regions. However, these were peculiar organisms that differed considerably not only from modern animals, but also from those of the Cambrian (that immediately followed the Vendian). To some extent their study can be compared to a study of extinct life of some other planet. Only through studying fossil remains it is possible to understand how this life was organized, which factors determined its global expansion and evolution, and what caused its disappearance (if that has occurred).

The largest localities for the remains of the Vendian metazoans are found in South Australia, Namibia, Canada, and European Russia. However, the best are those in the Arkhangelsk Region, Russia. There are many reasons for that. A particular fine-grained structure of rocks in this area and high proportion of clay allow the preservation of the finest detail of the fossils. The rock is so soft that the impressions and casts can easily be prepared or even taken apart manually enabling the study of the internal structure of these ancient fossils. A high diversity of the fossils, the presence of species known from localities in Australia, Namibia, Canada, England, Northern Yakutia, and endemic species (only found from the localities in the Arkhangelsk Region) facilitates paleontological, biostratigraphic, and other studies impossible to perform

based on fossils from elsewhere in the world. The distribution of fossils in the entire thickness of the Upper Vendian rocks (this thickness reaches 1 km in the Arkhangelsk Region) and the latest isotope dating allow the study of trends and rates of evolution of organisms in the Late Vendian and suggest that biostratigraphic subdivision of these beds is possible. These topics are priority tasks for science both in Russia and abroad. In Arkhangelsk Region, Late Vendian rocks are exposed on the surface in an area about 350 km long and 250 km wide bordered to the north and west by the southeast coast of the White Sea, from the south by the middle reaches of the Onega River, and from the east by the mouth of the Pinega River. The Upper Vendian beds are mainly represented here by green silt, shale, and sandstone, all weakly lithified. The remains of the metazoans are preserved as impressions on the bedding planes of sandstone or siltstone, or inside the more or less thick lenses of massive or slightly bedded sandstone. The presence of biogenic surfaces, i.e. surfaces produced by microbial mats covering large areas of the bottom of the Vendian sea is an important searching tool. The first localities of the Vendian fossils in the Arkhangelsk Region were found in 1972–1977 by a group geologists from the Geological Institute, Russian Academy of Sciences led by B.M. Keller (Keller *et al.*, 1974; Keller and Fedonkin, 1976; Fedonkin, 1978). Most subsequent research in this region was conducted by the Laboratory of Precambrian Paleontology (currently Laboratory of Precambrian Organisms) organized by Academician B.S. Sokolov in the Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences. In the last thirty years, the following localities were recorded in the Arkhangelsk Region: Lyamtsa, Agma, Syuzma, Karakhta, Solza, Zimmie Gory, and Yarnema

(Stankovsky, 1997; Stankovsky & Fedonkin, 2000; Ivantsov *et al.*, 2005). Each of these localities provided material for world-class discoveries. Among the most interesting recent discoveries are large, even huge specimens of Vendian animals (0.5 m and longer), and the traces of feeding and movement of these animals, the latter being a landmark in the study of the nature of the Vendian animals; it revealed that these animals were capable of fast movement, and could collect food particles, i.e. they belonged to the kingdom Animalia (Ivantsov and Fedonkin, 2001; Ivantsov and Malakhovskaya, 2002). The results of the study of the Vendian metazoans from the Arkhangelsk Region are published in numerous scientific and semi-popular papers, monographs (see <http://www.vend.paleo.ru>), and have been repeatedly reported in the newspapers (e.g., see the newspaper "Izvestiya" for 10.01.02, 20.05.03, 17.06.03). Some of these finds are exhibited in the geological, paleontological and natural history museums in Moscow, St. Petersburg, Arkhangelsk, etc., whereas some material was displayed in temporary exhibitions such as "Dawn of Life" and "Conquerors of the Earth" that were displayed in many Russian towns. However, the wide distribution of scientific and semi-popular publications, the appearance of newspaper articles about the paleontological research, and traveling exhibitions sure enough caused an increase in the activity of private fossil collectors. The potential value of their activity (discovery of new outcrops, or previously unrecorded occurrences of impressions) is greatly outweighed by the cost (impoverishment of localities, finishing of small occurrences, destruction of host rocks, loss of valuable geological data, and a great decrease in the probability of discoveries of rare fossils species). There were reports of impressions of organisms unknown to science from Zimnie Gory and Suzma localities being sold at geological fairs in Germany and America, and reported from the collections of geological museums in Europe (Fendonkin, 2001). Scientific papers are published based on illegal material from the Arkhangelsk Region (Steiner and Reitner, 2001; Reitner and Worheide, 2002; Zhang and Reitner, 2006). These fossils are sold by at least one US company advertising itself on the web (see <http://www.thenaturalcanvas.com/Softbodied/index.html>). Apparently, nothing stops private salesmen from taking illegally collected impressions of the Vendian organisms outside Russia.

The general abundance of the impressions of Vendian metazoans is extremely low. These beds are in most cases paleontologically barren (contain no soft-bodied remains). The remains are usually concentrated in relatively dense, but very infrequent accumulations. Each of these are unique, always containing several species that are restricted to the accumulation. Such accumulations are not more than several tens of meters long along the

strike of an outcrop and can be finished during one field season. However, arguments about the uniqueness of the localities, each one often the only one of its kind on the whole of the Earth, do not stop private collectors.

In 2005–2006, illicit digging of Vendian metazoans in the Arkhangelsk Region became massive. The scale of one-time diggings by paleontological poachers in the Solza locality is striking. On one of the outcrops of this locality the diggers made excavations of 200 m<sup>3</sup>, whereas the total area of the excavated surface with impressions exceeded 100 m<sup>2</sup> (for details see "Severnyi komsomolets", 06 October, 2006, issue 57). Excavation on a similar scale in the Yarnema, Syuzma, and Karakhta localities would lead to complete destruction of these localities during one season. The damage is not only being done to Russian science and the national prestige of the country which is allowed to be robbed unpunished, but also irreparable damage is done to world science, as the possibility of studying whole groups of the earliest fossils, which can be found only in these unique localities, can be lost forever. It is time to for unhesitant and constructive measures to stop illicit excavations. The world precedent in this respect is very clear. All countries that have large sites containing impressions of Vendian metazoans (Australia, Namibia, and Canada) have forbidden commercial collecting and export of the impressions (see <http://www.spnhc.org/documents/fossilprotection.htm>), and the localities were given the status of national nature reserves, geological, or paleontological landmarks, or parks. UNESCO coordinates and directs this work in the framework of the Program of Geoparks (see <http://www.unesco.org/science/earth/geoparks.shtml>).

The geological community has for a long time been attempting to preserve the localities of the Vendian animals in the Arkhangelsk Region (Karpunin *et al.*, 1998; Ozhigina, 1999; Stankovsky, 2000; Stankovsky and Fedonkin, 2000; Ivantsov, 2001). Some steps in this direction have already been made. The Administration of the Arkhangelsk Region and Northern Committee of Natural Reserves of the Ministry of Natural Resources of Russian Federation adopted a decree prohibiting paleontological collecting on the territory of the region (Decision of the Administration of the Arkhangelsk Region and Northern Committee of Natural Resources at the Ministry of Natural Resources of 14 February, 2000, no. 461 (Galimzyanov and Malyutin, 2001)). On the initiative of the above institutions, the Paleontological Institute produced a catalogue of the localities of the Vendian metazoans in the Arkhangelsk Region, with a detailed description of the most important accumulations of fossils, and proposed recommendations for their preservation (Ivantsov *et al.*, 2005). Regional organizations of Ministry of Internal Affairs and Federal Security Service are prepared to join forces to help protecting the

localities of the Vendian animals (“Severnyi komso-molets”, no. 59 of 20 October, 2006), thereby setting a precedent for the preservation of Vendian metazoans in the Arkhangelsk Region. However, this is only the beginning. The next step, in our opinion, should be in granting the localities of the Late Vendian metazoan impressions the status of the Paleontological Landmark of a regional, and later of a federal level. This action is long awaited by the world scientific community, because only after the above official status is received by the localities of the Vendian fauna, UNESCO can begin the procedure of transferring them from the candidates for World Natural Landmark Sites (where they have been listed for over 20 years) to the actual members. This status should not exclude the possibility of scientific studies for the leading Academic institutions in Russia and of other human activities that would not harm the localities (Fedonkin et al., 2007). This includes education (field trips for university students), and ever growing popular scientific tourism.

The work is supported by the Russian Foundation of Basic Research, project 05-05-64825, President Grant of the NSH-28899.2006.5 and the Program 18 P of Presidium of RAS “The Origin and Evolution of the Biosphere”.

### References

Fedonkin M.A. 1978. New occurrence of soft-bodied Metazoa in the Vendian of the Winter Coast. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 2399(6): 1423–1426 [In Russian].

Fedonkin M.A. 2001. A well to the past 600 million years deep. *Nauka v Rossii*, 6: 5–15 [In Russian].

Fedonkin M.A., Ivantsov A.Yu., Leonov M.V., and Serezhnikova E.A. 2007. Vendian occurrence of the White Sea Region. Prospects of conservation as geological landmarks. P. 28 in Alekseev, A.S. (Ed.), *Paleostrat-2007. Program and Abstracts*. Moscow [In Russian].

Galimzyanov R.M. and Malyutin E.I. 2000. State and major trends of the regional geological studies in the Arkhangelsk Regions. Pp. 5–9 in Galimzyanov, R.M. (Ed.), *Ocherki po geologii i poleznym iskopaemym Arkhangelskoi oblasti*. Pomorskii Universitet, Arkhangelsk [In Russian].

Ivantsov A.Yu. 2001. Paleontological Fossils in the Vensian of the White Sea Region and Ordovician Trilobites of the Leningrad Region as export objects, *Razvedka i okhrana nedr*, 6: 73–76 [In Russian].

Ivantsov A.Yu., Leonov M.V., Serezhnikova E.A., and Malakhovskaya Ya.E. 2005. Localities of Late Vendian metazoans in the southeastern White Sea Region (Arkhangelsk Region), *Otchet po dogovoru no. 5*, May 11, 2005. 19 pp. Moscow (manuscript).

Ivantsov A.Yu. & Malakhovskaya Ya.E. 2002. Giant impressions of Vendian animals, *Doklady Akademii nauk*, 385(3): 382–386 [In Russian].

Ivantsov A.Yu. & Fedonkin M.A. 2001. Movement traces is the final evidence of the animal origin of Ediacaran organisms. Pp. 133–137 in Podobina, V.M. (Ed.), *Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma “Evolutsiya zhizni na zemle”*, NTL, Tomsk [In Russian].

Karpunin A.M., Mamonov S.V., Mironenko O.A., and Sokolov A.R. 1998. *Geologicheskie pamyatniki prirody Rossii* [Geological Landmarks of Nature in Russia], 200 pp., St-Petersburg [In Russian].

Keller B.M., Menner V.V., Stepanov V.A., and Chumakov V.N. 1974. New occurrences of Metazoa in the Vendomian of the Russian Platform, *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Geologicheskaya*, 1974(12): 130–134 [In Russian].

Keller B.M. and Fedonkin M.A. 1976. New Fossil Occurrences in the Valdai Series (Precambrian) on the Syuz'ma River // *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Geologicheskaya*, 1976(3): 38–44.

Ozhigina O.S. 1999. Geological landmarks and their conservation in the Arkhnagelsk Region. Pp. 278–280 in: *Geodinamika i geoekologiya. Materialy mezhdunarodnoi konferentsii. Arkhnagelsk, 1999* [In Russian].

Stankovsky A.F. 1997. The Vendian of the southeastern White Sea Region. *Razvedka i okhrana nedr*, 1997(5): 4–9 [In Russian].

Stankovsky A.F. 2000. Geological landmarks in the north-western Arkhangelsk Region. *Razvedka i okhrana nedr*, 2000(3-4): 43–45 [In Russian].

Stankovsky A.F. and Fedonkin M.A. 2000. Localities of the Vendian Soft-Bodied Fauna of the Southeastern White Region. Pp. 142–154 in Galimzyanov, R.M. (Ed.), *Ocherki po geologii i poleznym iskopaemym Arkhangelskoi oblasti*. Pomorskii Universitet, Arkhangelsk [In Russian].

Reitner J. and Worheide G. 2002. Non-Lithistid Fossil Demospongia – Origins of their Palaeobiodiversity and Highlights in History of Preservation. Pp. 52–68 in Hooper, J.N.A. and Van Soest, R.W.M. (Eds.), *Systema Porifera*, vol. 1. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.

Steiner M. and Reitner J. 2001. Evidence of organic structures in Ediacara-type fossils and associated microbial mats. *Geology*, 29(12): 1119–1122.

Zhang X. and Reitner J. 2006. A Fresh Look at *Dickinsonia*: Removing it from Vendobionta // *Acta geologica Sinica*, 80(5): 636–642.

## LOOKING BACK IN TIME: SCIENTIFIC ART OF THE PRECAMBRIAN

Peter Trusler & Patricia Vickers-Rich

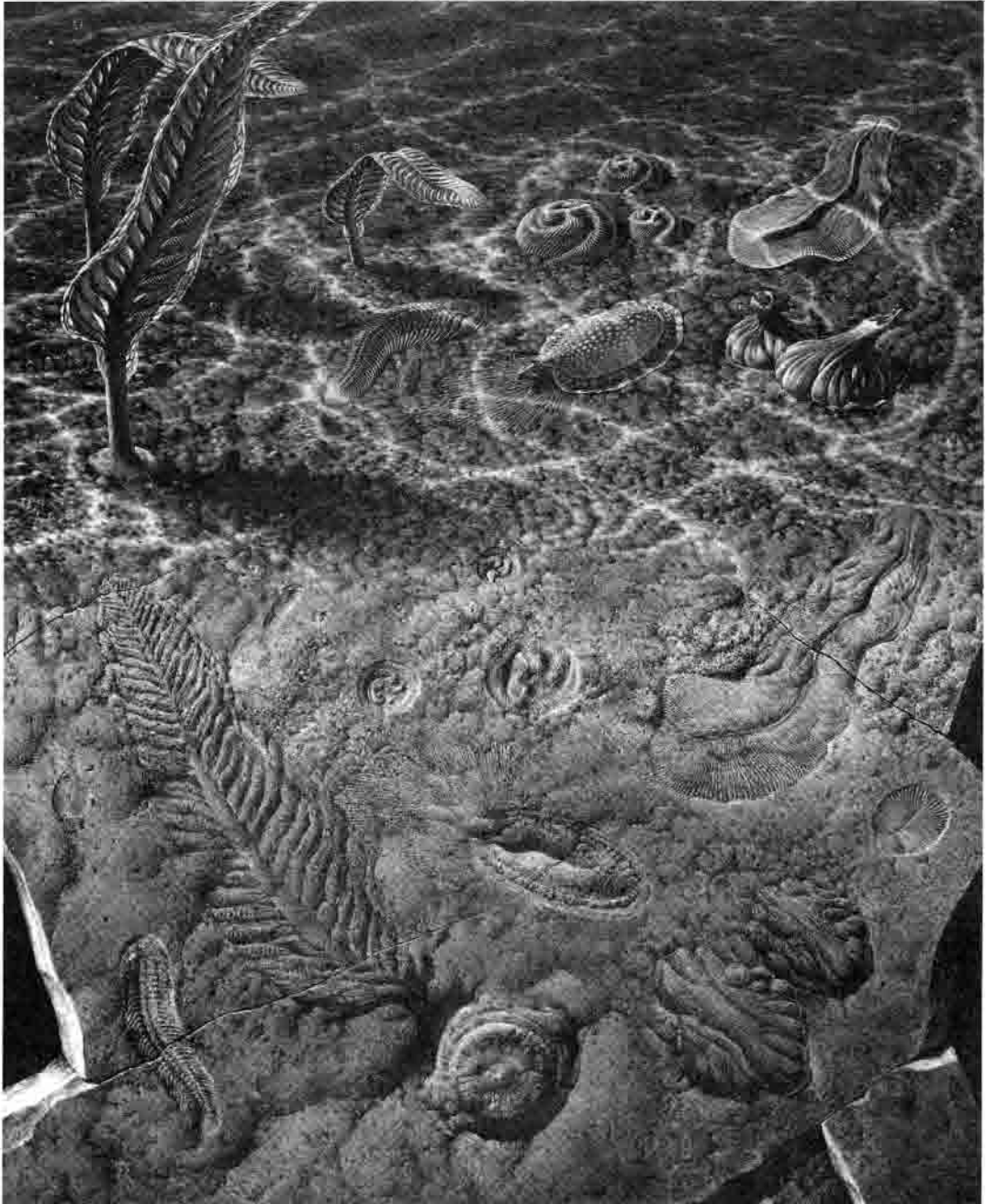
School of Geosciences, Monash University, Melbourne, Australia;  
email: pat.rich@sci.monash.edu.au

Understanding the physical and biological conditions and how they interfaced over time, particularly during times of change, requires the interaction of re-

searchers with diverse backgrounds. Sometimes the differences of detail and terminology between disciplines can be confusing or even unrecognized because

of the lack of awareness and access. Excellent “in-depth” overviews, such as those by Eriksson *et al.*, 2004; Valentine, 2004; Schopf & Klein, 1992) on events in the Precambrian help to alleviate this and bring together masses of information accumulated over recent decades. They serve to bring a better understanding of the

Earth’s history, from its beginnings over 4405 million years ago to the present, to a wider scientific audience. In this respect, “art” can also be a critical “Esperanto” or “Lingua Franca” allowing cross-disciplinary communication, encouraging discussion, generating new ideas and new approaches to solving old enigmas.



**Fig. 1.** “Creatures of the Slime”: the metazoans of the late Neoproterozoic – fossils and reconstructions (*Charniodiscus*, *Spriggina*, *Kimberella*, *Tribrachidium*, *Dickinsonia* and *Inaria*). Courtesy of the Australian Postal Corporation, the art for a stamp issue in 2005. Artist Peter Trusler working together with palaeontologists Jim Gehling, Patricia Vickers-Rich and Mikhail Fedonkin

Intense interest has been focused on times of major change, such as tectonic Super-events, examples being those at 2800–2700, 2200–1800 and 800–600 million years when major tectonic activity, such as superplumes, were underway. Other times under intense scientific scrutiny are those when Earth was gripped by cold from 2400–2200 Ma and again from 750 Ma to perhaps as little ago as 560 million years. This last major series of glacial events in the Precambrian is of special interest to paleontologists attempting to understand the driving forces behind the appearance and diversification of early metazoans. The conditions of this time certainly led to dynamic, “weedy” environments (ones that favor evolutionary novelty), but the preservation of the early metazoans in these environments is so unusual that the exact detail of just what happened and when have been difficult to define. Furthermore, the identification of the specific driving forces that led to the origin and radiation of metazoans, their ultimate fate and the outcomes of the Early Cambrian, are still far from being understood.

Detailed, thoughtful art that interfaces scientist and artist, genuinely encourages cross-disciplinary communication – and this is not illustration that follows in the wake of scientific discovery, dictated by the researchers

only. Over the past 30 years one artist, Peter Trusler, himself with a Bachelor's Degree in Science, has worked closely with a number of geoscientists and neontologists to render reconstructions. His illustrations are rendered in intricate detail and both capture and promote current scientific research. This “cooperative” art requires both scientist and artist to work in close association, and in the end provides a highly accurate summary of the current understanding of physical environments, climate and the biological entities that inhabited such a prehistoric mélange. Current interactions will lead to a series of reconstructions through the Ediacaran (fig. 1); from the cold depths of the Mistaken Point and Fermeuse biotas of Newfoundland (in cooperation with Guy Narbonne) dated at around 580 Ma, the White Sea Vendian biota from northern Russia (and other northern locales in Siberia, the Urals and the Ukraine) (with Mikhail Fedonkin, Andrey Ivantsov, Maxim Leonov, Ekaterina Serezhnikova and Dima Grazhdankin), the assemblages from the type section of the Ediacaran in Australia (with Jim Gehling and Richard Jenkins) to the Nama Group of Namibia (with Patricia Vickers-Rich, Mikhail Fedonkin, Andrey Ivantsov, Charlie Hoffmann and Maxim Leonov) dated at 541 Ma; times that skirt the last of the “Snowball Earth” glaciations, ending with the Moelv at 560 Ma.

## VENDIAN *VERSUS* EDIACARAN: PRIORITIES, CONTENTS, PROSPECTIVES

*M.A. Fedonkin*<sup>1</sup>, *B.S. Sokolov*<sup>1</sup>, *M.A. Semikhatov*<sup>2</sup>, *N.M. Chumakov*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia, e-mail: [mfedon@paleo.ru](mailto:mfedon@paleo.ru);

<sup>2</sup> Geological Institute RAS, Moscow, Russia, e-mail: [semikhatov@ginras.ru](mailto:semikhatov@ginras.ru), [chumakov@ginras.ru](mailto:chumakov@ginras.ru)

Philosophy and methodology of stratigraphy is based on a long-term experience of the Phanerozoic research and on the essentially European tradition. Immense length of the Achaean and Proterozoic geological record, the duration of which was particularly realized after introduction of the radiometric dating of the rocks, became the major challenge for the stratigraphers and the earth scientists in general. Long lasting and seemingly poor fossil record, domination of the problematic organic remains of uncertain nature, loose bases for a stable systematics and nomenclature of the fossils made a strong contrast to rich fossiliferous strata of the Phanerozoic deposits. This contrast compelled the geologists to rely upon the non-biological stratigraphic approaches to the Precambrian sequences.

Methods of historical geology, for example, lithostratigraphy, tectonics and climatostratigraphy, added later by the radiometric dating and supported later on by the Hi-Tech chemostratigraphy and magnetostratigraphy, formed the base for the Precambrian chronostratigraphic chart. However, being effective at the

scale of regional geology, the whole set of the methods mentioned above can not help to overcome the complex of inferiority, every experienced stratigrapher (we mean the Phanerozoic experience) should feel: none of these methods gives something even distantly similar to the biostratigraphy at the global scale. The fundamental, quality difference between the biostratigraphy and all other abiotic approaches to the periodization of the geological record is the uniqueness of a signal the biostratigraphy deals with. This unique signal is a biological species with its recognizable image, specific environment, limited time range of existence, and its place in the evolutionary or phylogenetic succession.

Classical biostratigraphy has proved its effectiveness and reliability during two centuries of practical work in the Phanerozoic interval of the geological record. Irreversible process of the biological evolution marked by a succession of the fossil species makes a solid frame for the stratigraphy and opens enormous possibilities for more detailed elaboration of the scales

and high precision of the correlation with the help of all other methods available at present. So, the key rule of the classical stratigraphy is to establish a succession of unique signals (biological species) and then to trace it laterally using all possible characters, methods and techniques according to the Principle of the Chronological Interchangeability of the Characters formulated by S.V. Meyen).

The Precambrian stratigraphy in many cases could not follow this principle in the absence of the fossils. But the non-biological stratigraphic methods alone, including the modern ones with their topmost precision, could not replace the biostratigraphy: neither the geochemical signals (such as a carbon isotope ratio) nor the geophysical ones (such as paleomagnetic orientation) are time-specific or time-relevant. The sets of these signals have much in common with the borehole logging in regards of bitumen, gas, magnetic susceptibility, electrical conductivity, redox potential etc. But the borehole logs can not be, and are not used as the geochronometric instrument. Nevertheless, recent practice of the Precambrian stratigraphy demonstrates growing role of the non-biostratigraphic methods that built some sort of the logging traces without much care of the pitfalls of these methods, for example, their inability to detect the hidden time-gaps in the sedimentary sequence or the actual magnitude of the signal distortion by the postgenetic processes.

But is the biostratigraphy hopeless indeed in the realm of the Proterozoic? Modern paleobiology shows that duration of life on Earth exceeds the time span of the preserved geological record and that most of the geological record is actually fossiliferous (Schopf, 1992; Sergeev *et al.*, 2007). Even the prokaryotic fossil microorganisms demonstrate some trends such as an increasing cell size, diversity, and morphological complexity through the Achaean and Proterozoic (Schopf, 1999; Knoll, 2003). As to the eukaryotic fossil record that seemed to start in the late Achaean, it is becoming a recognizable stratigraphic instrument only Mezoproterozoic and later on (Yakshin, Nagovitsin, Faizullin, 2004; Butterfield, 2000, 2004). Particularly fast evolution is demonstrated by the planktonic unicellular microorganisms that inhabited the open marine environments (Sergeev, 2005 and references therein). Even the megascopic eukaryotic fossils are becoming the noticeable time markers from 1.9 Ga (Hofmann, 1994; Fedonkin and Yochelson, 2002) and later, particularly, after 850 Ma ago (Fedonkin, 2003; Porter, 2004).

The late Neoproterozoic, especially the time interval corresponding to the Vendian/Ediacaran, was a period of dramatic change in biota related to the fast growing importance of the eukaryotic organisms, global expansion of the megascopic life forms, increasing biodiversity in terms of morphology, physiology and life style, and

growing complexity of the ecosystems. All these events have been accompanied by the contrast climatic changes, increasing oxygenation of the atmosphere and ocean, fast paleogeographic changes etc.

The Vendian biota with its very special characteristics represents its transitional nature. It was transition from the archaic ecosystems dominated by the prokaryotic organisms to the modern style ecosystems in which a key role belong to the eukaryotes. The further strategy of the Proterozoic stratigraphy depends very much now on our choice: 1) shall we continue the study of diverse and abundant fossils in order to understand their nature, ecology, systematics so that this rich and invaluable information could serve as an instrument for the division and correlation of the sedimentary sequences; or 2) we neglect these data accumulated by the generations of paleontologists and will continue our exercises with non-biological techniques and methods. One should not forget though that the latter techniques and methods are becoming meaningful and effective indeed in the well-defined biostratigraphic framework.

Representatives of the Russian geological school develop for decades the Phanerozoic (chronostratigraphic) approach to the division of the Proterozoic. They were the first who applied the biostratigraphic methods to the division and correlation of the Riphean and Vendian deposits on the basis of the organic-walled microfossils (papers by Timofeev, Volkova, Yankauskas and other) and stromatolites (see the papers by Krylov, Komar, Serebryakov, Raaben, Semikhatov and other). This approach was accepted and developed in a number of other countries. At present the paleontological study combined with that from sedimentology, lithochemistry, chemostratigraphy and radiometric dating are forming a basis for the system approach to the geological record. This multidisciplinary approach is documenting the changes both in biota and in the environment during the extended time intervals thus creating the most powerful instrument of the Proterozoic stratigraphy.

The late Neoproterozoic, in particular, the time interval that is equivalent to the Sinian, Vendian or Ediacaran, makes a strong and happy contrast to the most of the Proterozoic fossil record. On the background of the dramatic decline of the stromatolites one can see the growing domination of the eukaryotic organisms among the primary (photosynthesizing) producers, acceleration of the evolutionary processes and of the species renewal, global expansion of the megascopic multicellular animals and algae in marine environments, increasing heterotrophy, biofiltering, bioturbation, and biomineralization. All these processes exerted tremendous influence upon the global biogeochemical cycles, sedimentogenesis, ocean and atmosphere chemistry and climate. The Vendian was a culmination period in



the process of transition from the archaic biosphere to the modern one. Long term paleontological studies of the Vendian of the Eastern-European Platform (Sokolov, 1997), for instance, the successions in Ukraine, White Sea, and more recently, in the Urals revealed a uniquely rich fossil record. This record includes abundant microfossils, megascopic algae, metazoan fossils, and ichnofossils. Every fossil group demonstrates its space-time distribution pattern which, in addition to the evolutionary factor, is controlled by a number of factors related to the paleogeography, paleoecology, taphonomy and paleoclimate. These factors being under the systematic multidisciplinary study reveal the fossil record as interplay of biotic and abiotic processes and create a causal determinacy of the Vendian stratigraphy at the regional and global scale. The Vendian in its type area consists of large subdivisions such as Laplandian, Redkino, Kotlin and Rovno Regional stages (Sokolov and Fedonkin, 1984; The Vendian System, 1990). Three latter stages have distinct paleontological characteristics which were essentially enriched during a couple of last decades. The data accumulated up to now lets us establish the lower rank biostratigraphic subdivisions that can be traced globally. The task of the stratotype selection for the Vendian subdivisions and their boundaries can be put now on the agenda on the Ediacaran Subcommission of the ICS. Following the principle that the subdivision boundaries make the boundaries of the geological system, the problems of the upper and lower boundaries of the Vendian can be considered as well.

The Vendian concept was formed stratigraphically top-down, and the lower boundary of the Cambrian became the upper boundary of the Vendian (Sokolov, 1952, 1956, 1997). Paleontological substantiation of this boundary was worked out separately for the siliclastic basin (base of the Baltic Stage of the Eastern-European Platform, Sokolov, 1965) and for the carbonate basin (base of the Tommotian Stage of the Siberian Platform, Rozanov et al., 1969). The body fossils only were involved into the boundary definition. The GSSP of the lower boundary of the Cambrian on the SE Newfoundland approved by the International Commission on Stratigraphy as a preferred alternative to the base of the Tommotian Stage in Siberia was selected on the basis of the ichnofossils. In the history of stratigraphy it was the first case of usage of the bioturbations for the System boundary definition. This decision has created enormous difficulties for the stratigraphers (Rozanov et al., 1997). The point is that the ethological (behavioral) and paleoecological variations of the bioturbations make their systematics difficult and loose (Jensen et al., 2000). Beside, in the most cases an ichnological taxon can not be assigned to any of the known body fossil. Organisms that belong to different taxa often

produce similar or identical bioturbations related to their basic functions. Most of ichno-taxa have a long time span and the highest degree of the paleoenvironmental control. As to the *Treptichnus pedum*, a reference ichnofossil for the lower boundary of the Cambrian, its usage for the stratigraphic detection of this boundary is always risky because of occurrence of very similar trace fossils belonging to the Treptichnids group well below the *T. pedum* in Namibia, Spain and Newfoundland (Gehling et al. 2001), and possibly, in the west of USA. The stratigraphic range of *T. pedum* overlaps the range of the Ediacaran fossils in Namibia, and probably in Spain. The return back to the Siberian standard of the Vendian/Cambrian Boundary based on the stratigraphic succession of the distinct assemblages of the mineralized skeletal remains (small shelly fossils) seems necessary and inevitable (see Khomentovskiy and Karlova, 2005).

Lower boundary of the Vendian was suggested to be defined at the base of the Varanger (Laplandian) tillites (for references see Sokolov, 1997). Here below we would like to consider the correlation of the Vendian and Ediacaran, in what degree their geobiological contents overlap or coincide. This comparison may help to develop the strategy planning in terms of research and international collaboration. However, there are some obstacles related to the Ediacaran concept.

The formal recognition of the Ediacaran System and Period and designation of the Lower boundary GSSP for this system at the base of the cap carbonate (Nuccaleena Formation), immediately above the *Elatina* diamictite in the Enorama Creek section, Flinders Ranges, South Australia was approved on February 16th, 2004 by the International Commission on Stratigraphy and ratified by I.U.G.S. on 19 March (IUGS E-Bulletin, March 2004). However, in spite of the democratic vote, this decision contradicts to the fundamental principles and clauses of the International Stratigraphic Guide, to the recommendations of the International Geological Congress in respect of the stratigraphy (Montreal, 1972), as well as to the stratigraphic tradition that has proven to be effective for more than two centuries of the practical work.

1) The definitions of the lower and upper boundaries of the Ediacaran are based on different principles: biostratigraphic (though non-classical, paleoichnological) substantiation of the upper boundary, and non-biological (basically, lithostratigraphic!) approach to the lower boundary.

2) The Ediacaran does not have a hierarchical structure of its internal subdivision (series, stage, zone) of which any Geological System must consist.

3) The procedure of the Ediacaran substantiation was right the opposite to the recommendation of the International Stratigraphic Guide (1994, Second Edi-

tion, p. 82): "A primary step in refining the definition of a system is to decide just what stages and series are to be included into in the system. The definition of these component stages and series then automatically defines the system and its boundaries". The reason why the proponents of the Ediacaran did not follow this rule may be explained by the fact that the reference section of the Ediacaran is not subdivided into stages and, probably, does not have a prospective for that so far.

4) The substantiation of the Ediacaran System via GSSP of its lower boundary based on non-biostratigraphic approach, contradicts the recommendations made by the International Geological Congress in Montreal, 1972. The IGC recommended the biostratigraphic principle of definition of the stratigraphic boundaries between and within the Geological Systems (see Martinsson A. (Ed.). The Silurian-Devonian boundary. IUGS, Series A, No. 3. 1977).

5) International Stratigraphic Guide strongly recommends that the boundary stratotypes of standard global chronostratigraphic units should be located within marine homofacial fossiliferous sections where the faunal or floristic elements are as diverse as possible (Murphy & Salvatore, 1999). From that widely accepted point of view, the sharp facial change at the contact between Elatina diamictite and Nuccaleena cap carbonates makes this level a "worst possible choice" for any stratigraphic boundary as it is indicated in the International Stratigraphic Guide (Salvador 1994, pp. 90–91). The base of the Nuccaleena cap carbonate is a bad choice for a number of other reasons.

6) Like any kinds of rock, cap carbonates cannot serve as a time marker for it is not unique in the geological record. The number of Neoproterozoic glacial events is in question, and there is always a danger of misidentifying the base of Ediacaran in other regions.

7) Cap carbonates generally have a restricted geographic distribution (due to specific conditions of their precipitation) and usually the siliciclastic sediments replace laterally the cap carbonates in a rather short distance.

8) Cap carbonates do not occur above every tillite elsewhere in the world. Very often the same kind of carbonates occur inside the glacial deposits (like the beds of dolomite inside the marino-glacial Tanin Formation, Middle Urals, according to Chumakov, 1992) so the presence of the cap carbonates does not necessarily mean the end of the glacial period.

9) Intercalation of dolomites with the marino-glacial deposits (such as Koiva Formation) indicates a few episodes of the carbonate precipitation in the cold-water basins, not a single-act event during and after glaciation (Chumakov, 1992).

10) Cap carbonates are normally non-fossiliferous and, thus, unsuitable object for biostratigraphic dating and correlation.

11) Any of the geochemical markers such as an isotope ratio can not be considered a reliable and time-relevant signal. The Sr- and C-isotope chemostratigraphic characteristics obtained for contemporaneous cap carbonates in different parts of the world may be variable in a wide range owing to different degree of secondary alteration of carbonates, dissimilar criteria used for selection of the least altered samples, and, as far as the C-isotope data are concerned, due to primary lateral variations of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$  in the upper layer of the ocean.

12) There are not any prospective for the radiometric dating of the Nuccaleena cap carbonates because of absence of suitable minerals such as the zircon from the volcanic ash beds. Without a direct radiometric dating on the Nuccaleena cap carbonate, no real certainty as to which of the several Neoproterozoic glacial events the Marinoan represents.

The time interval for the Marinoan glaciation is determined so far very loosely between 660 and 600 Ma (Kendall *et al.*, 2004; Calver *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2004). The radiometric age of zircons from the lower part of the Doushantuo (628.3±5.8 Ma) in Southern China is often considered as the end time of Marinoan glaciation (Yin Chongyu *et al.*, 2005), however this opinion is hard to prove. Global correlation of the Neoproterozoic glacial periods (MacGabhann, 2005) shows four distinct glaciations but their duration is determined with a wide range of uncertainty (RU indicated in Ma): Gaskiers – 585–582 Ma (RU 3), Marinoan – 660–635 Ma (RU 25), Sturtian – 715–680 Ma (RU 35), Kaigas – 770–735 Ma (RU 35). In the same paper the author suggests to consider the Vendian as the Upper Ediacaran, and the lower boundary of the Vendian to be put at the level that marks the end of the Gaskiers glaciations. However, the precise time correlation of the Gaskiers tillites and the Waranger (Laplandian) glacial deposits is yet to be established.

Neither International Stratigraphic Guide nor the scientific traditions require the global stratotype for a System. And there are no such stratotypes for the Phanerozoic systems. Nevertheless, the type section for the Ediacaran in the Flinders Range, South Australia is considered now to be the standard section (or the major reference succession) for the Terminal Proterozoic System (Period). From the point of view of the global stratigraphy it is the worst of any possible choices.

The type section of the Ediacaran consists of about three kilometers of practically non-fossiliferous quartzite between the cap carbonate below and the base of the famous Ediacara Member (about 100 meters thick) at the very top of the section. So the most part of the

Ediacaran type section is non-informative in terms of biostratigraphy, but not only in this respect. This section doesn't contain extensive carbonate succession or ash beds that would provide additional means for C-isotope correlation and radiometric dating.

The Ediacara Member, rich in the soft-bodied metazoans, represents very short time interval of a long history of animal life. This is contrasting to the extensive fossiliferous sections in Russia, Ukraine, Canada and even Namibia. Long experience of the detailed sedimentological, stratigraphic and paleontological research of the Ediacaran, made by prominent Australian geologists and by many foreign specialists leaves no much hope that the situation may be improved in terms of new fossiliferous levels and biostratigraphy in the future. Thus, the Ediacaran succession in Flinders Ranges has no distinct time-markers (except the topmost Ediacara Member) and has no prospective for detailed subdivision of the Ediacara System, for the dating and correlation. The section seems to be hopeless in terms of further progress in the Neoproterozoic stratigraphy.

### **Conclusions**

All the above suggests that it was premature to approve the Ediacaran as a new Geological System and Period. Formally the Ediacaran does not fit to any of the stratigraphic categories recommended by the International Stratigraphic Guide in terms of the stratigraphic nomenclature. The Ediacaran has no internal structure of the subordinate unites. Its upper boundary (defined paleoichnologically) is blurred or, rather, uncertain. The identification and correlation of the Ediacaran lower boundary beyond its GCCP can not be realized because of absence of the time-relevant characters in the Nuccaleena cap carbonates. The approval Ediacaran puts the Proterozoic stratigraphy in the state of crisis that directly affects many areas of activity in Earth sciences and applied geology (from the stratigraphy and geological mapping to the paleotectonic and paleogeographic reconstructions).

Type section of the Ediacaran makes sharp contrast to the extensively fossiliferous successions of the same age in Newfoundland, Namibia, Russia etc. These sections being extremely rich in diverse and uniformly distributed fossils provide opportunities for the biostratigraphic substantiation of the Terminal Proterozoic System via its subordinate units (subdivisions). Progress in the multidisciplinary study of the Neoproterozoic during past few decades demonstrates that principles of the Phanerozoic chronostratigraphy can be effectively applied to the late Neoproterozoic marine deposits, and this experience has to be considered in the substantiation and definition of Terminal Proterozoic System and its subdivisions. Extensive paleobiological data from the Terminal Proterozoic that were

obtained in Russia, Namibia, Australia, Canada and elsewhere opened a possibility to expand the realm of the biostratigraphic method down to the uppermost Proterozoic. It is at least non-practical that these data have been ignored in the process of the Ediacaran substantiation. In part it may be related to the characteristics of the type section of the Ediacaran.

Over two decades ago, the Redkino, Kotlin and Rovno regional stages have been substantiated in the type area of the Vendian on the basis of the abundant organic-walled microfossils, megascopic algae, metazoan body fossils and ichnofossils (see English version of 2-volume monograph "The Vendian System" edited by Sokolov, Iwanowski, and Fedonkin, 1990). Since then abundant paleontological and stratigraphic data has been collected and a series of radiometric dating has been obtained (some are presented in this volume). These data let us put on agenda the substantiation of the detailed biostratigraphy of the Vendian (Fedonkin *et al.*, 2003, 2007 and this volume) with the globally traceable subdivisions and their boundaries, including its lower one. The lower boundary of the Vendian could have a biostratigraphic substantiation as well taking into consideration the worldwide occurrence of the Pertatataka assemblage of giant acantomorph acritarchs (some of which can be metazoan eggs or egg cases) documented in Central Australia, north-east parts of the Eastern-European Platform, central Siberia, in China and other regions (see the papers in this volume). The time range of the Pertatataka microfossil assemblage as well as the age of the Doushantuo phosphatised metazoan embryos and eukaryotic algae certainly predate the typical Ediacara fauna and associated microfossils.

We suggest that the study of the geobiohistorical content of the Upper Proterozoic should be further developed on the international basis, including the IGCP and ICS, in order to identify the globally recognizable hierarchy of the biostratigraphic unites. Results of this work will make a firm ground for definition of the time range and the boundaries of the system. The Vendian sequences of the Eastern-European Platform (purely siliciclastic paleobasin) and of the Siberian Platform (carbonate paleobasin) offer the best possibility for characterizing biochronologically, chemostratigraphically (C- and Sr isotope methods) and radiometrically the terminal part of the Proterozoic record, thus providing a framework for global correlation and further detailed elaboration of the Neoproterozoic chronostratigraphic scale with the growing arsenal of other methods.

The study is supported by the Russian Fund for Basic Research (Grant № 05-05-64825), The President Program "Scientific Schools of the Russian Federation" Grant № 2899.2006.5), Program 18 of the RAS Presidium and IGCP Project 493 (UNESCO).

## CONTENTS

Introduction .....	5
<b>Part 1. The Vendian/Ediacaran Biota</b>	
<i>Fedonkin M.A., Ivantsov A.Yu., Leonov M.V., Serezhnikova E.A.</i> Dynamics of evolution and biodiversity in Late Vendian: A view from The White Sea .....	6
<i>Gámez Vintaned J.A., Liñan E., &amp; Zhuravlev A.Yu.</i> Neoproterozoic shelly fossils of Spain .....	10
<i>Hofmann H.J., O'Brien S.J. and King A.F.</i> Ediacaran fossils on Bonavista Peninsula, Avalon zone, Newfoundland, Canada.....	11
<i>Ivantsov A.Yu.</i> Trilobozoa and Coelenterata: parallels in evolution of life forms .....	12
<i>Ivantsov A.Yu., Naimark E.B.</i> Ontogenetic variability of the Late Vendian problematic <i>Parvancorina</i> Glaessner, 1958.....	13
<i>MacGabhann B.A., Murray J., Ryan P.D., Nicholas C.</i> Palaeontology of the Booley Bay Formation, Co. Wexford, Ireland: implications for the Fall Of The Ediacaran biota.....	18
<i>Rozhnov S.V., Ivantsov A.Yu.</i> Problems of identification of the Vendian echinoderms.....	21
<i>Serezhnikova E.A.</i> Vendian attachment disks as symbiotrophic structures .....	28
<i>Sovetov Yu.K.</i> A new locality for soft-bodied Metazoa of Vendian-Ediacaran type from Oselkovaya Formation, Biryusa area of Sayan Mountains, Southwestern Siberia.....	33
<b>Part 2. Precambrian microfossils</b>	
<i>Herman T.N., Podkovyrov V.N.</i> Notes on the new body plan of the Late Riphean microfossil of genus <i>Cypandinia</i> .....	38
<i>Golubkova E.Yu., Raevskaya E.G.</i> Lower Vendian complex of microfossils from the interior part of the Siberian platform.....	39
<i>Vorob'eva N.G., Sergeev V.N., Knoll A.H.</i> Microfossil assemblages from the Vychegda formation of the East European platform passive margin – a biostratigraphical model for the Upper Riphean (Cryogenian)/Vendian (Ediacaran) boundary.....	42
<b>Part 3. The Vendian/Late Proterozoic Glaciations</b>	
<i>Chumakov N.M., Pokrovsky B.G.</i> Vendian glacial deposits of the North and Middle Urals: depositional environments and stratigraphical position.....	47
<i>Linnemann U., Drost K., Ulrich J., Gerdes A., Jeffries T.</i> Traces of a Late Neoproterozoic glaciation in the Cadomian basement of Central and Western Europe: constraints by basin development and laser ablation-ICP-MS U/Pb dating of detrital zircon grains .....	53
<b>Part 4. Paleoecology, geochronology and stratigraphy of Late Precambrian</b>	
<i>Gámez Vintaned J.A., Liñan E.</i> The Precambrian/Cambrian boundary in Spain: Ichnofossil Palaeobiology and Zonation.....	54
<i>Ragozina A.L., Dorjnamjaa D., Krayushkin A.V., Serezhnikova E.A.</i> Body fossils and trace fossils from the Vendian-Cambrian of Dzabkhan Zone, Western Mongolia .....	57
<i>Simonetta A.M.</i> A reliable absolute molecular clock, is it possible? .....	64
<i>Squire R.J., Campbell I.H., Allen Ch.M., Wilson Ch.J.L.</i> The Transgondwanan Supermountains: the environmental catastrophe that spawned animals .....	66
<i>Vickers-Rich P.</i> The Transgondwanan Supermountain, ocean “sweetners,” and the marine playgrounds of Neoproterozoic Earth: the globalization of Animalia.....	71
<b>Part 5. Prospectives and tasks</b>	
<i>Ivantsov A.Yu., Fedonkin M.A., Leonov M.V., Serezhnikova E.A., Malyutin E.I., and Khan Yu.V.</i> Unique localities for impressions of Vendian metazoans in the Arkhangelsk region are in danger.....	74
<i>Trusler P., Vickers-Rich P.</i> Looking back in time: scientific art of the Precambrian.....	76
<i>Fedonkin M.A., Sokolov B.S., Semikhatov M.A., Chumakov N.M.</i> Vendian versus Ediacaran: Priorities, Contents, Prospectives.....	78

## СОДЕРЖАНИЕ

<p>Введение..... 5</p> <p><b>Часть 1. Вендская/Эдиакарская биота</b>  <i>Федонкин М.А., Иванцов А.Ю., Леонов М.В., Серезникова Е.А.</i> Динамика эволюции и биоразнообразия в позднем венде: взгляд с Белого моря..... 6</p> <p><i>Гамез Винтанед Дж.А., Линан Э., Журавлев А.Ю.</i> Неопротерозойские раковинные ископаемые Испании ..... 10</p> <p><i>Хофманн Г.Дж., О'Брайен С.Дж., Кинг А.Ф.</i> Эдиакарские ископаемые полуострова Бонависта, Авалонская зона, Ньюфаундленд, Канада..... 11</p> <p><i>Иванцов А.Ю.</i> Trilobozoa и Coelenterata: параллели в эволюции жизненных форм ..... 12</p> <p><i>Иванцов А.Ю., Наймарк Е.Б.</i> Возрастная изменчивость поздневендских проблематик <i>Parvancorina Glaessner, 1958</i> ..... 13</p> <p><i>МакГаббан Б.А., Мюррей Дж., Райан П.Д., Николас К.</i> Палеонтология формации Булей Бэй, Вексфорд, Ирландия: последствия заката вендской биоты ..... 18</p> <p><i>Рожнов С.В., Иванцов А.Ю.</i> Проблемы идентификации вендских иглокожих ..... 21</p> <p><i>Серезникова Е.А.</i> Прикрепительные диски вендских организмов как симбиотрофные структуры ..... 28</p> <p><i>Советов Ю.К.</i> Новое местонахождение бесскелетных Metazoa вендо-эдиакарского типа на юго-западе Сибирской платформы: Оселковая серия, Бирюсинское Присяянье..... 33</p> <p><b>Часть 2. Докембрийские микрофоссилии</b>  <i>Герман Т.Н., Подковыров В.Н.</i> Заметки о новом плане строения позднерифейских микрофоссилий <i>Suwandinia</i> ..... 38</p> <p><i>Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г.</i> Нижневендский комплекс микрофоссилий внутренних районов Сибирской платформы..... 39</p> <p><i>Воробьева Н.Г., Сергеев В.Н., Нолл А.Х.</i> Ассоциации микрофоссилий Вычегодской свиты пассивной окраины востока Европейской платформы – биостратиграфическая модель границы верхнего рифея (криогения) и венда (эдиакария)..... 42</p>	<p><b>Часть 3. Вендские/Позднепротерозойские оледенения</b>  <i>Чумаков Н.М., Покровский Б.Г.</i> Вендские ледниковые отложения Северного и Среднего Урала: условия образования и стратиграфическое положение..... 47</p> <p><i>Линнеман У., Дрост К., Ульрих Дж., Гердес А., Джеффрис Т.</i> Следы позднепротерозойского оледенения в основании кадомия в Центральной и Западной Европе: ограничения в развитии бассейна и ICP-MS U/Pb датировки по обломочным зернам циркона..... 53</p> <p><b>Часть 4. Палеоэкология, геохронология и стратиграфия позднего докембрия</b>  <i>Гамез Винтанед Дж.А., Линан Э.</i> Граница докембрия и кембрия в Испании: палеобиология ихнофоссилий и зональное расчленение..... 54</p> <p><i>Рагозина А.Л., Доржнамжаа Д., Краюшкин А.В., Серезникова Е.А.</i> Органические остатки и ихнофоссилии в вендо-кембрийских отложениях Дзабханской структурной зоны Западной Монголии..... 57</p> <p><i>Симонетта А.М.</i> Абсолютно надежные молекулярные часы: возможно ли это?..... 64</p> <p><i>Сквайр Р.Дж., Кэмпбелл И.Х., Аллен К.М., Уилсон К.Дж.Л.</i> Трансгондванские «супергоры»: экологическая катастрофа, породившая животных..... 66</p> <p><i>Викерс-Рич П.</i> Трансгондванские «супергоры», океанические «подсластители» и морские «игровые поля» неопротерозойской земли: глобализация животных ..... 71</p> <p><b>Часть 5. Перспективы и задачи</b>  <i>Иванцов А.Ю., Федонкин М.А., Леонов М.В., Серезникова Е.А., Малютин Е.И., Хан Ю.В.</i> Уникальные местонахождения отпечатков вендских многоклеточных в Архангельской области – в опасности ..... 74</p> <p><i>Траслер П., Викерс-Рич П.</i> Взгляд сквозь время: научная живопись докембрия ..... 76</p> <p><i>Федонкин М.А., Соколов Б.С., Семихатов М.А., Чумаков Н.М.</i> Венд или эдиакарий: приоритеты, содержание, перспективы..... 78</p>
---	--

Научное издание

**Рассвет и закат вендской  
(эдиакарской) биоты  
Происхождение  
современной биосферы**

**Труды Международной конференции  
по проекту 493 МПГК**

Макет *М. Старшова*

Подписано к печати 06.08.2007.  
Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 11,0.  
Тираж 200 экз.  
Тип. ВТИИ. Москва. Зак. № 1840.

Издательство ПК ГЕОС  
125315, Москва, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.  
Тел.: (095) 152-19-14, 230-80-92  
Факс: (095) 951-04-43  
E-mail: geos@ginras.ru

