Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences

NASA-Marshall Space Flight Center

ATLAS

of Microorganisms from Ancient Phosphorites of Khubsugul (Mongolia)

Elena A. Zhegallo, Alexei Yu. Rozanov,
Galina T. Ushatinskaya, Richard B. Hoover,
Ludmila M. Gerasimenko, Alla L. Ragozina

2000

Huntsville, Alabama, USA

NASA/TP—2000–209901

The NASA STI Program Office...in Profile

Since its founding, NASA has been dedicated to the advancement of aeronautics and space science. The NASA Scientific and Technical Information (STI) Program Office plays a key part in helping NASA maintain this important role.

The NASA STI Program Office is operated by Langley Research Center, the lead center for NASA's scientific and technical information. The NASA STI Program Office provides access to the NASA STI Database, the largest collection of aeronautical and space science STI in the world. The Program Office is also NASA's institutional mechanism for disseminating the results of its research and development activities. These results are published by NASA in the NASA STI Report Series, which includes the following report types:

- TECHNICAL PUBLICATION. Reports of completed research or a major significant phase of research that present the results of NASA programs and include extensive data or theoretical analysis. Includes compilations of significant scientific and technical data and information deemed to be of continuing reference value. NASA's counterpart of peer-reviewed formal professional papers but has less stringent limitations on manuscript length and extent of graphic presentations.

- TECHNICAL MEMORANDUM. Scientific and technical findings that are preliminary or of specialized interest, e.g., quick release reports, working papers, and bibliographies that contain minimal annotation. Does not contain extensive analysis.

- CONTRACTOR REPORT. Scientific and technical findings by NASA-sponsored contractors and grantees.

- CONFERENCE PUBLICATION. Collected papers from scientific and technical conferences, symposia, seminars, or other meetings sponsored or cosponsored by NASA.

- SPECIAL PUBLICATION. Scientific, technical, or historical information from NASA programs, projects, and mission, often concerned with subjects having substantial public interest.

- TECHNICAL TRANSLATION. English-language translations of foreign scientific and technical material pertinent to NASA's mission.

Specialized services that complement the STI Program Office's diverse offerings include creating custom thesauri, building customized databases, organizing and publishing research results...even providing videos.

For more information about the NASA STI Program Office, see the following:

- Access the NASA STI Program Home Page at ***http://www.sti.nasa.gov***

- E-mail your question via the Internet to help@sti.nasa.gov

- Fax your question to the NASA Access Help Desk at (301) 621–0134

- Telephone the NASA Access Help Desk at (301) 621–0390

- Write to:
  NASA Access Help Desk
  NASA Center for AeroSpace Information
  7121 Standard Drive
  Hanover, MD 21076–1320

Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences

NASA-Marshall Space Flight Center

ATLAS

of Microorganisms from Ancient Phosphorites of Khubsugul (Mongolia)

Elena A. Zhegallo*, Alexei Yu. Rozanov*,

Galina T. Ushatinskaya*, Richard B. Hoover*,**

Ludmila M. Gerasimenko, Alla L. Ragozina***

* Paleontological Institute of RAS, 123, Profsoyznaya, 117647, Moscow, Russia
** Institute of Microbiology of RAS, 7/2, Prosp. 60-letia Oktyabrya, 117812, Moscow, Russia
*** NASA-Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama 35812, USA

2000

Huntsville, Alabama, USA

NASA/TP—2000–209901

Available from:

NASA Center for AeroSpace Information
7121 Standard Drive
Hanover, MD 21076–1320
(301) 621–0390

National Technical Information Service
5285 Port Royal Road
Springfield, VA 22161
(703) 487–4650

TABLE OF CONTENTS

1. Introduction 1

2. Geological and Paleontological-Stratigraphical Data on the Khubsugul Phosphorite Basin 3

3. Paleogeography 9

4. The Features of the Khubsugul Biota 13

5. The Origin of the Phosphorites 14

6. The Characteristics of the Productive Member and the Selection of Samples 15

7. REFERENCES 18

Map of Mongolia 25

Stratigraphic Column 26

Geological Map of Khubsugul Basin 27

1. Введение 31

2. Геологические и палеонтолого-стратиграфические данные по Хубсугульскому фосфоритоносному бассейну 34

3. Палеогеография 40

4. Характеристика хубсугульской биоты 45

5. Генезис фосфоритов 46

6. Характеристика продуктивной толщи и отбор образцов 47

7. Литература 51

Photomicrographs 57

Introduction

The discovery of microstructures resembling nanobacteria in the Mars meteorite ALH84001 (in close association with an assemblage of biomarkers) led to the interpretation of these bodies as possible indigenous microfossils of Martian microorganisms (McKay *et al.*, 1996). These investigations and the resulting scientific debate highlighted the importance of recognizing the morphology and size distributions of nanofossils and microfossils, and of establishing indisputable biomarkers of the biochemical and geochemical evidence of extant or extinct life (see Westall *et al.*, 1998). The profound significance of this conclusion greatly stimulated scientific research in the newly emerging multidisciplinary field of Astrobiology. Research on carbonaceous meteorites carried out independently in Moscow, Russia (Zhmur *et al.*, 1997; Hoover *et al.*, 1998) and in Huntsville, Alabama USA (Hoover, 1997, Hoover *et al.*, 1998) resulted in the detection of diverse assemblages of far larger and more complex biomorphic microstructures with bacterial and fungal morphologies. The ability to recognize definitive biomarkers and microfossils and to distinguish them from possibly non-biogenic relics and microstructures that may mimic biology (such as the fibrous kerite crystals investigated by N. Yushkin (Yushkin, 1996; 1998) is of great importance. Space missions now being planned in several countries should return astromaterials from Mars, comets, or other solar system bodies within the next decade. Therefore, it is imperative that these techniques and methods of investigation be established before this material becomes available.

Great success has recently been obtained in a rapidly emerging new field that we have designated as "*Bacterial Paleontology*" (Rozanov, Zavarzin, 1997; 1998). The

recognition of bacterial microfossils has been significantly facilitated by studies of the artificial fossilization of recent bacterial communities (Lucas, Prevot, 1984; Krylov, Orleansky, 1988; Rozanov, Zhegallo, 1989; Briggs *et al.*, 1993; Goncharova *et al.*, 1993; Zhmur, 1993; Zhmur *et al.*, 1993, 1995; Gerasimenko *et al.*, 1994, 1996, 1998; Rozanov, Zavarzin, 1997; Jones, 1998; McKay *et al.*, 1998). These publications elucidate remarkable model analogues: ancient microfossils in phosphorites and high carbon rocks were described and compared with living and dead microorganisms in recent cyanobacterial mats. These investigations have made it possible to decipher some of the complex biomorphic microstructures that have been encountered in carbonaceous chondrites.

The paleontological study of phosphorites has greatly expanded over the past twenty years, extending beyond initial areas of research. In the 1970's-1980's there existed a need for the recognition of spatial and temporal relationships of the explosive appearance of hard skeletal organisms on the beginning of the Cambrian (Rozanov, Missarzhevsky, 1966; Rozanov, 1967; Rozanov *et al.*, 1969; Sokolov, *ed* 1984; Brasier, 1990, 1992; Repina, Rozanov, 1992; Rozanov, Zhuravlev, 1992; and many others) as well as the contemporary formation of the largest deposits of phosphorite in China, Mongolia, and Kazakhstan (Bushinsky, 1966; Cook, Shergold, 1979; Yanshin, Zharkov, 1986). These phosphorite deposits were initially thought to be of chemical origin. However, the discovery of cyanobacterial mats in the Early Cambrian phosphorites was a very important event. It led to the reinterpretation of the genesis of phosphorites, which had previously been considered as typically chemogenic deposits (Ilyin, 1973, 1990). The investigation of bacterial fossils from earliest phosphorites together with experiments on

the artificial phosphatization and research on highly carbonaceous and other sedimentary rocks has yielded information of relevance to the new field of Astrobiology.

Elena A. Zhegallo, A. Yu. Rozanov, G. T. Ushatinskaya, and A. L. Ragozina investigated the study of the microfossils from the phosphorites of the classical Khubsugul Basin. Later, Richard B. Hoover of the NASA Marshall Space Flight Center conducted collaborative studies with them. The rich material from the Khubsugul and Burenkhan deposits was used for that work. E. A. Zhegallo was in charge of the group, which collected this material during the 1979-1991 field seasons. The expedition team included N. A. Drozdova, V. D. Fonin, V. A. Luchinina, A. L. Ragozina, L. N. Repina, A. Yu. Rozanov, V. A. Sysoev, G. T. Ushatinskaya, Yu. I. Voronin. Geological and analytical materials were kindly provided by V. P. Arsent'ev, V. P. Karev, F. N. Lyudofun, P. V. Osokin and by E. A. Eganov. We are very grateful to our colleagues for their help and valuable information.

Geological and Paleontological-Stratigraphical Data on the Khubsugul Phosphorite Basin

N. A. Donov and E. V. Edemsky discovered the first phosphorite deposit in Mongolia in 1964 on the western coast of the Khubsugul Lake (fig.1). This discovery was followed in 1964-1967 by detailed investigations of the All-Union Air-Geological Trust and Zarubezhgeologia Institute. Besides the pioneer investigators, M. M. Muzylevsky, A. A. El'yanov and A. V. Ilyin took part in this work. They revealed that the Khubsugul Basin is among the largest phosphorite basins of the World. From 1968 to the present, the Khubsugul Phosphorite Basin was studied by

collaborators of the Geological and Paleontological Institutes, Institute of the Lithoshere (Russian Academy of Sciences), and Zarubezhgeologia Institute as well as the geological Institute of the Mongolian Academy of Sciences, which comprised the Joint Soviet-Mongolian Paleontological and Geological expeditions. Several other workers took part in the field work in this area during different years, including, Zh. Bjamba, I. S. Borovskaya, D. Dordzhnamzhaa, N. A. Drozdova, Mjagmar Dugaa, Ja. Erdenbilik, V. D. Fonin, T. N. Kheraskova, M. N. Korobov, A. V. Ilyin, B. Luvsandanzan, N. V. Pokrovskaya, A. L. Ragozina, G. I. Ratnikova, A. Yu. Rozanov, V. A. Sysoev, G. T. Ushatinskaya, Yu. I. Voronin, , N. S. Zaytsev, E. A. Zhegallo, and Z. A. Zhuravleva, as well as E. A. Eganov, V. A. Luchinina, and L. N. Repina representing the United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy (Siberian Branch, Russian Academy of Sciences). Special prospecting work was conducted by V. P. Arsent'ev, V. P. Karev, F. N. Lyudofun, P. V. Osokin, and I. N. Semeykin from the Soviet Geological Expedition of the Zarubezhgeologia Institute on the Khubsugul and Buren Khan deposits.

The first publication on the Khubsugul phosphorites appeared in the "Sovetskaya Geologiya" magazine (Donov et al., 1967). During the last thirty years several dozen monographs, papers, reports, and abstracts have been devoted to the Khubsugul Basin. The data on the Khubsugul deposit are included in numerous Russian and foreign summaries on phosphorites. The Khubsugul Basin is always listed among the large scale global phosphorite deposits (Cook, Shergold, *eds.*1979; Yanshin, Zharkov, 1986; Ilyin, 1990).

As a result of geological, lithological, stratigraphical, and paleontological investigations, the structure of the Khubsugul Basin and its rock succession have been determined, and the stratigraphic columns and geological maps scrutinized (figs. 2,3). The stratigraphic representation below is based on data by Ilyin (1973, 1990), Z.A.Zhuravleva (1974), Ilyin, Bjamba, (1980), Korobov (1980,1989), Nikiforov *et al.* (1995), Eganov (Shkolnik, Baturin, *eds.*, 1998), reports of the Buren Khan Prospecting Expedition (1981-1984), as well as the authors' observations.

The Khubsugul Phosphorite Basin is a syncline built by the Upper Riphean - Cambrian strata. Two thick groups are recognized here: the possible Upper Riphean Darkhat Group and Vendian - Lower Cambrian Khubsugul Group.

The Darkhat Group is represented by its uppermost Arasan Formation which consists predominantly of siliciclastics and volcanics-siliciclastics, namely, green, gray, brown, or rare violet siltstone, sandstone, tuffaceous sandstone, and gravestone with some layers of grayish-cream pelitomorphic dolomite and lenses (1-2 m) of gray thin-grained limestone with oncolites. The Arasan formation thickness is about 1500 m.

The Khubsugul Group lies unconformably on the Arasan Formation and is subdivided into three formations in the ascending order, Ongolik, phosphorite-bearing Khesen, and Erkhelnur formations.

The Ongolik Formation overlies the Darkhat Group with a washout and basal quartz-feldspathic sandstone and gravelstone of about 2 - 15 m in thickness. They pass upward to gray bedded and massive dolostone, silicified in places, with rare oncolites and algamorphic texture. The uppermost part of the Ongolik Formation consists of conglomerate-breccia slump features and erosional surface. The formation thickness is

300-400 m. From the dolostone, Z.A. Zhuravleva recorded *Ambigolamellatus horridus* Z. Zhur., *Volvatella vadosa* Z. Zhur., and *Vesicularites* sp. These fossils indicate the Yudoman (at the Siberian Platform scale) or Vendian age.

The Khesen Formation overlying the Ongolik Formation is subdivided into three members. The lower member consists of argillaceous limestones and calcareous shales with lenses of calcareous-dolomitic breccia and conglomerate-breccia. The middle member is the principal producing horizon of the formation and contains several phosphorite layers of the Khubsugul Basin. The phosphorite layers alternate with bedded and massive limestone and dolostone, in places with siliceous-aleuritic-argillaceous shale, and black chert. There are from one to five phosphorite horizons in the different parts of the member, which compose up to 10-15% of its thickness.

The upper member begins with black amorphous chert of thickness from several meters to 50 m, overlian by dolostone and limestone with a significant admixture of argillaceous and arenaceous particles. The total thickness of the Khesen Formation varies from 350 to 600 m. According to Z.A.Zhuravleva (1974), there are microphytolite assemblages in all three members of the formation, including *Nubecularites catagraphus* Reitl., *N. parvus* Z. Zhur., *N. densus* Z. Zhur., *N. angulatus* Z. Zhur., *Radiosus marginatus* Z. Zhur., *Osagia senta* Z. Zhur. From the middle part of the phosphorite member, we have distinguished *Archaeooides* sp., *A. granulatus* Qian, *Tasmanites tenellus* Volkova, *Obruchevella* sp., *Spirellus* sp., and filamentous cyanobacteria of *Microcoleus* group, belonging to genera, known from older rocks, namely, *Siphonophycus robustum* (Schopf) Knoll *et al.*1991, *S. typicum* (Hermann) Butterfield (1994), *S. solidum* (Golub) Butterfield (1994), *S.septatum* (Schopf) Knoll *et al.* 1991,

Oscillatoriopsis obtusa Schopf,1968 (Ragozina, 1993). The forms listed above mostly span both the Upper Precambrian and Lower Cambrian, but *Archaeooides, Tasmanites, Osagia senta*, and several catagraphia (*Nubecularites)* appear from the Lower Cambrian Tommotian Stage only. The overlaying Erkhelnur Formation contains Atdabanian trilobites. Thus, the Khesen Formation is considered to be as Tommotian, Lower Cambrian age.

The following Erkhelnur Formation overlies the Khesen Formation with a distinct washout. It begins from the basal member of 40 m thickness, which includes sandstone with gravelstone and breccia containing large clasts of sandstone consisting of redeposited phosphatic grains. A member overlaps the basal member, 200 m thick, of predominantly dolostone, argillaceous in places, with interbeds of dark gray chert. The uppermost member of the Erkhelnur Formation is over 1500 m in the thickness and contains a gray and dark gray limestone with interbeds of argillaceous shale and dark gray chert with breccia, in places, and scarce interbeds of dolostone. There are several levels with trilobites and archaeocyathids in the formation. Along the Khesen and Ongolik rivers Korobov (1980) found two levels with trilobites. The lower one is 400-550 m above the base of the formation and contains *Archaeaspis* sp., *Malykania ongolica* Korob., *Elganellus dilatatus* Korob., *E. pensus* Suv., *E. elegans* Suv., *E. probus* Suv., *E. elongatus* E. Rom., *Resserops kharganicus* Korob., *Pseudoresserops obesus* Korob., *Minusella priva* Korob. The upper level is 250 m above the lower one, spans about 250 m and contains *Bulaiaspis taseevica* Rep., *Fallotaspidella chesenica* Korob., and *Fallotaspis mongolicus* Korob. Archaeocyathids are not found in these sections, but in the Urundushi Ula section that is 16 km to the North-North-East from the Khesen and

Ongolik sections, Il'in collected archaeocyathids from four levels of the formation, and they were identified by I. T. Zhuravleva (Ilyin, Zhuravleva, 1968). The lower level approximately corresponds to the lower trilobite level and includes: *Archaeolynthus* sp., *Rotundocyathus* sp., *Nochoroicyathus howelli* (Vol.) The second level (250 m above) contains: *Rotundocyathus* ex gr. *khemtschikensis* (Vol.), *Nochoroicyathus* ex gr. *mariinskii* Zhur. 150 m above, at the third level, *Rotundocyathus* sp., *Kaltatocyathus* sp., *Tumuliolynthus* sp., *Nochoroicyathus* sp., *Capsulocyathus* sp., and *Dictyocyathus* sp. are distinguished. Four hundred meters above, at the fourth level, the assemblage includes *Nochoroicyathus* ex gr. *mariinskii* Zhur., *Rotundocyathus* ex gr. *salebrosus* (Vol.), *Tumuliolynthus* ex gr. *karakolensis* Zhur., *Dictyocyathus* sp., and *Dictyofavus bipartita* (Vol.). All these assemblages are of the upper Atdabanian age. However the uppermost Erkhelnur Formation can be even the early Botomian age.

At the Burenkhan deposit area, the upper Erkhelnur Formation contains numerous Botomian archaeocyathids: *Palaeoconularia baileyi* (Vol.), *Sibirecyathus naletovi* Vol., *Formosocyathus vermiculatus* (Vol.), *Tubericyathus clathratus* Vol., *Clathricoscinus vassilievi* (Vol.), *C. dentatus* (Vol.), *Claruscoscinus billingsi* (Vol.), *Archaeocyathus operosus* (Zhur.) (A.Yu. Zhuravlev's data).

The tuffaceous-siliciclastic Ukhutologoy Formation (500 m thick) overlies the Erkhelnur Formation with a break. At the southern border of the Khubsugul Lake, this formation contains archaeocyathids (I. T. Zhurvleva's data): *Irinaecyathus* ex gr. *ratus* (Vol.) and *Pycnoidocyathus* sp. (Ilyin, 1973), which are of the Botomian age.

The data on the Khubsugul area allow us to consider that the principal phase of the ancient phosphorite accumulation is restricted to the Tommotian epoch

(Luvsandanzan, Rozanov, 1984, Rozanov, 1992; Gerasimenko *et al.*, 1996), and not to a wider Vendian - Early Cambrian interval (Yanshin, 1964, 1982; Yanshin, Zharkov, 1986; Ilyin, 1990).

Paleogeography

All the authors ascribe the Khubsugul Basin phosphorites to the marine sedimentation type. However, much conflicting evidence is published on the contemporary paleogeography of this region (Ilyin, 1973,1990; Yanshin, 1982; Zaytsev, 1982, 1992; Bjamba, 1987). This picture probably resulted from the attempts of the authors to connect their data with changeable tectonic concepts of the 1970's and 1980's. Although the tectonic situation is still not clear enough, some data, which were ignored earlier, have allowed us to describe a probable paleogeography, where the Khubsugul phosphorite accumulation occurred.

Regional-geological data. (1) The region is located at the moderately active peripheral border of the Siberian craton. (2) The producing member is probably Tommotian Khesen Formation of thickness from 350 to 600 m. The Atdabanian strata are about 2000 m in thickness, and the Botoman and Toyonian strata have thickness of 500 m. Thus the total thickness of the Lower Cambrian strata in the Khubsugul Basin is about 3000 m, which is comparable with the Lower Cambrian thickness on the south-western Siberian Platform. (3) The width of the Lower Cambrian rocks is about 80 km, and because it is a simple synclinal structure with very steep angles, the width of the basin, where the phosphorite accumulation occurred, had to exceed 160 km. (4) According to the present conceptions, the Khubsugul Basin abutted upon the Murzin Uplift on the North-West and upon the East-Khubsugul Uplift on the North-East and communicated

with the Siberian Platform basin between them (Ilyin, 1973). On the South, the Khubsugul Basin could connect with basins of the Altay Sayan Foldbelt and China. (5) There are the quite correct paleomagnetic data for the south-eastern part of the Siberian Platform and for Dzabkhan zone of Mongolia (Kirschvink,Rozanov, 1979, 1984; Kirschvink *et al.*, 1987, 1991; Evans *et al.*, 1996). These data allow us to consider that both of the above mentioned regions were located probably within the equatorial zone and the distance between them may be more or less the same now as it was in the Lower Cambrian.

Biogeographic and paleontologic data. (1) The occurrence of abundant mat-building filamentous cyanobacteria in the phosphorite layers of the Khesen Formation suggests their formation within the photic zone (the first dozen meters of depth). The wide development of cyanobacterial mats also indicates low hydrodynamics. The absence of normal marine fauna is worth attention. (2) There are remains of acritarchs (phytoplankton), *Tasmanites, Leiosphaeridia* together with diverse *Archaeooides* species in several of the phosphorite layers. The latter ones are known from South China and South Australia and indicate episodic southern connections of the Khubsugul Basin. (3) The oldest (middle Atdabanian) trilobites include genera and even some species which are very typical of the "Western" facies basin of the Siberian Platform (Khomentovsky, Repina, 1965; Rozanov, Sokolov, 1984; Repina, Rozanov, *eds.*, 1992). In addition, the trilobites are restricted to shallow facies exclusively (Repina, 1982). (4) Late Atdabanian and Botomian archaeocyathids are typical Altay Sayan, and more exactly Tuvinian, species. Archaeocyathan-algal reefs are also shallow water indicators.

Lithological data. (1) Very fine bedding is typical of the producing member and the overlying and underlying strata. In the producing member the thin bedding combines with the microstromatolites. According to Ilyin (1990) and Eganov's (Shkolnik, Baturin,*eds*.,1998) data, there are desiccation cracks in the northern part of the basin. Futhermore, several beds contain authigenic breccia and bamboo conglomerate. All these indicate shallow water, with calm enough conditions, which were sometimes interrupted by storms or seismic events. (2) Many researchers noted the absence of glauconite, which together with other features (Sr/Ba ratio, see below) can indicate a salt imbalance. (3) An exclusively small proportion of siliciclastics in the phosphorite of the producing member is observed (Ilyin, 1990; Shkolnik, Baturin, *eds.*, 1998), and can be indicative of the peneplanation of the land adjacent to the northern part of the basin.

Geochemical data. The multiple studies of geochemical features of the Khubsugul Basin phosphorites is carried out, but mostly in the search of data related to the prospecting use of the phosphorites (S, Cu, Cr, Co, Ni, Pb, Ba, etc. content). The data on C_{org}, Sr, Ba, and Nd can be of interest for the examination of the Khubsugul phosphorites as the model object.

C_{org} (Organic matter). Commonly the C_{org} ratio in phosphorites seems to be low enough (0.34 - 1.5%), although in some cases, the value up to 1.65% is detected (Ilyin, Bjamba, 1980). The dolostone and limestone from the producing member bear about 1.04 - 1.44% C_{org} in average. On the whole, the C_{org} content of the Khubsugul phosphorites exceeds that of the Karatau Basin (Kazakhstan).

Strontium. According to Ilyin and Bjamba (1980) and Nikiforov *et al.* (1995) data, the Sr content is directly correlated with that of P_2O_5, meaning that increase of the Sr

content is connected to the increase of the P_2O_5 content. The average Sr content is about 0.05 - 0.06%.

Barium. The Ba content in the phosphorites is sufficiently high (1400 g/t in average) and is well correlated with the Sr content. The Ba and Sr ratio varies within fairly narrow limits; in the trenches, it ranges from 0.04 to 0.33 and in the boreholes, it is from 0.47 to 1.28. If the Sr/Ba ratio is significant, than these values are indicative of, to some extent, abnormal marine conditions.

Neodymium. Vinogradov and Lukanin (1994) obtained interesting (although not firm enough) data by the study of the neodymium isotopes from the Khubsugul and Burenkhan phosphorites. The authors argued that the isotopic composition of the neodymium differs strongly in these two deposits, which are separated by 100 km. In their opinion, the Khubsugul Basin (or its part) was supplied with sediments of the ancient sialic crust of 2.2 GY age while the Burenkhan Basin was supplied with sediments of a younger continental crust (0.8 GY) or of a mixture of destruction products of continental and oceanic crusts.

Thus, during phosphorite formation, the Khubsugul Basin was probably a basin of the gulf-type or the strait-type from time to time. It was a very shallow basin with low hydrodynamics and anoxic conditions at the bottom level. Sometimes seismic events occurred. Cyanobacterial mats were the main producers of the organic matter. Surrounding land was peneplaned. The continental crust composed the northern land while the oceanic crust seemed to spread in the South.

The Features of the Khubsugul Biota

The "Khubsugul" biota was probably mostly cyanobacterial. The cyanobacterial mat community was preserved in the phosphorites as microstromatolites, microoncolites, and micronodules. The micronodules are clearly predominant in our observations. The micronodule sizes usually vary from tens to several hundreds of microns.

As rule in the micronodules, the combination of filamentous fossils of different diameters and rounded, spindle-like and dumbbell-like habits is observed. It is possible to distinguish the phosphate crystals outside and inside the walls of cyanobacteria filaments from pseudomorphs of purple bacteria and other bacteria.

The pattern, observed in the Khubsugul phosphorites (cyanobacterial filaments surrounded by numerous bacterial cells) is typical of all recent cyanobacterial mats. For instance, in the Sivash halophilic mat community, where a thick layer of purple coccoid (*Thiocapsa*) and ovoid *Chromatium* bacteria adjoins to the lower surface of the upper cyanobacterial layer. These bacteria provide the protection of the community due to varied metabolic reactions including the capacity to grow in both aerobic and anaerobic conditions. Purple bacteria oxidize with photosynthetic oxygen the organic matter extracted by cyanobacteria during their life and post-mortem, and thus, they defend from oxygen subcommunities of lower mat layers, where obligate anaerobes, sulfur-reducing and methanogenic bacteria develop. During mineralization, globular structures are formed from the coccoid cells and dumbbell-like structures are developed from ovoid cells.

The Origin of the Phosphorites

Many different opinions exist concerning the formation of the phosphorites and the source of their origin. In Ilyin's opinion (1973, 1990), the formation of phosphorites occurred by the precipitation from near bottom waters, but not from pore waters. That means by chemical (orthochemical) processes. He connected the phosphorus supply with the weathering of rocks and following redeposition of the products of destruction. Ratnikova (1982) supported a similar point of view, by the petrographic study of the Khubsugul phosphorites, as Semeykin (1988) did. Later on, Ilyin (1997) concluded from the study of the distribution of rare Earth elements in phosphorites that phosphorites precipitated at the sediment-water interface.

Yanshin and Zharkov (1986) agreed that the main role in the phosphorite accumulation belonged to chemogenic precipitation and that the volcanic activity was the major source of phosphorous. Zaytsev (1982, 1992) supported this opinion and suggested that phosphorous and associated silica could enter into the basin from rivers and submarine volcanoes occurring in more or less distant regions (for instance, the Dzhida Province).

Bjamba (1987) wrote on biogenic-diagenetic genesis of phosphorites. He believed that the main source of phosphorus in the ocean was not the continental erosion but biogenic processes realized the formation of the Khubsugul phosphorites.

Finally, research carried out at the Paleontological Institute during the last several years, show that even the smallest grains of Khubsugul phosphorites represent micronodules (100-350 μm in diameter) and are formed with the participation of bacteria,

most probably cyanobacteria and purple bacteria. In places, rare planktonic forms occur (*Archaeooides, Tasmanites*). The preservation of planktonic species is astonishing. Each of them consists of calcium phosphate, that means that they are secondary phosphatized similar to cyanobacterial mats. This is likely since similar forms possessing organic walls are known from the Cambrian (Keller, Rozanov, *eds.*,1979; Rozanov, Zhegallo, 1989; Rozanov, Zhuravlev, 1992; Gerasimenko *et al.*, 1996). It is likely that all organisms were phosphatized at the bottom level. Thus, we can speak about the very important role of the biogenic factor in the genesis of the Khubsugul phosphorites. V.N.Kholodov (1987), Yu.N.Zanin (in Mirtov *et al.*, 1987), E.A. Eganov (in Shkolnic, Baturin, *eds.* 1998), came to a similar point of view on the origin of Khubsugul phosphorites.

The Characteristics of the Productive Member and the Selection of Samples.

The study samples were collected from the producing phosphorite member of the Khubsugul and Burenkhan deposits.

The Khubsugul deposit extents meridionally along the western cost of the Khubsugul Lake. The principal phosphorite is concentrated in the middle Khesen Formation, producing phosphorite member which is exposed on the slopes of the Khesen Syncline. According to data of Ilyin (1973), Ilyin and Bjamba (1980), Nikiforov *et al.*, (1995), the producing phosphorite member consists of several phosphorite layers, separated by phosphate-bearing and non-phosphatic limestone, dolostone, and cherty dolostone.

The greatest number of phosphorite layers (five) is revealed on the eastern slope of the Khesen Syncline. In the other areas, two or three layers are observed. The

lowermost layer (10 - 13 m thick) is the most continuous and is traced over 36 km. The fifth (uppermost) layer (with 18.5 m thickness) is traced over 18 km. The thickness of other layers varies from 1.5 m to 6 m. They are lens-shaped, their boundaries are gentle, and their correlation is hard even in neighboring trenches. The lower layer consists of black, black-gray, bedded and lens-bedded carbonate phosphorites. The phosphate is concentrated in the interbeds of 1 - 2 cm in thickness or form diverse in size and shape inclusions. Brecciated phosphorites, composed of phosphorite and chert fragments and blocks entombed in the dolomitic cement, dominate at higher levels. The uppermost phosphorite layer consists of the micrograin massive carbonate and carbonate-cherty phosphorites. Carbonates separating phosphorite layers are from 5 m to 30 m in thickness and possess a gray, yellow-gray, dark-gray, or black color and sometimes include thin interbeds of black chert. The thin, commonly uneven lamination is typical of limestone and dolostone, and some beds pinch out or swell on the short distance. Downcut of beds, washout surfaces, wavy interbeds, rolled fragments, as well as bamboo conglomerates, small syngenetic folds, and breccia composing by irregular fragments are observed.

The study samples are derived from the South Ongolik section, from trenches No. 7, 15, and 16, where the first and fifth phosphorite layers are well expressed. The samples are selected from both layers and from thin phosphorite interbeds of the carbonate layers. In all cases, paleontological specimens are of the same origin. The best preservation is observed in the carbonate phosphorites.

The Burenkhan deposit is located about 75 km southward of the Khubsugul Lake. This region is a wide complicated remnant of the Precambrian and Cambrian rocks at the roof of large intrusions. Strong folding and fracturing disrupt its structure. Numerous

outcrops of the phosphorite layers are commonly isolated one from another and oriented in different directions. Here, as well in the Khubsugul deposit, the Arasan, Khesen, and Erkhelnur formations are distinguished. The main phosphorites are concentrated in the Khesen Formation, at the level lying from 70 m to 170 m above its base where up to seven phosphorite-bearing horizons occur. The thickness of a single phosphorite layer achieves up to 55 m. Siliceous phosphorites dominate in the Burenkhan deposit, and carbonate-siliceous and especially carbonate varieties are met rarely. The samples were collected from the producing member in the quarry of plot 1 near the village of Burenkhan, Mongolia.

One hundred fifty samples were studied from the Khubsugul deposit and twenty-five samples - from the Burenkhan deposit.

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 96-04-48372, 96-05-64130, 96-05-64806, 97-05-65069 and 98-05-64765).

REFERENCES

Brasier M.D. Phosphogenic events and skeletal preservation across the Precambrian-Cambrian boundary interval. Phosphorite Research and Development, eds. Norholt, A.J.G & Garvis. J. Geol.Soc.Spec. Publ., No 52., p. 289-303, 1990.

Brasier M.D. Paleooceanography and changes in the Biological Cycling of Phosphorus across the Precambrian-Cambrian boundary. Origin and Early Evolution of the Metazoa. Eds. Lipps J.H. & Signor Ph.W. Plenum Press, New York, pp. 483-523, 1992.

Briggs D.E.G., Kear A. J., Martill D.M., Wilby P.R. Phosphatization of soft-tissue in experiments and fossils. Journ.of the Geol.Soc. London., Vol.150, No 6, pp. 1035-1038. 1993.

Byamba Z. Old phosphorites of Mongolia. Lithology and Mineral Resources, N 2, pp. 94-104. 1987. (in Russian)

Bushinsky G.I. Old phosphorites of Asia and their genesis. Moscow, Nauka, 266 p., 1966. (in Russian).

Cook J.R., Shergold J.H. (eds.) Proterozoic-Cambrian phosphorites. Australian National University Press. Canberra, 1-17, 1979.

Donov N.A., Edemsky E.V., Eljanov A.A., Ilyin A.V., Muzalevsky M.M. Cambrian phosphorites of Mongolia Popular Republic. Sovetskaya geologia. no 3, p.55-60, 1967. (in Russian).

Evans D.A., Zhuravlev A.Yu., Budney C.J., Kirschvink J.L. Paleomagnetism of the Bayan Gol Formation, western Mongolia. Geol. Mag. V.133, N 4., pp.487-496, 1996.

Gerasimenko L.M., Goncharova I.V., Zavarzin G.A., Zhegallo E.A., Pochtareva I.V., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G. T. Dynamics of release and absorbtion of phosphorus by cyanobacteria. Ecosystem restructures and the evolution of Biosphere. Issue 1, Moscow, Nedra, pp.348-353, 1994. (in Russian).

Gerasimenko L.M., Goncharova I.V., Zhegallo E.A., Zavarzin G.A., Zaitseva G. L., Orleanskii V.K., Rozanov A.Yu, Ushatinskaya G.T. The Processe of Mineralization

(Phosphatization) of Filamentous Cyanobacteriae. Litology and Mineral Resources, N.2, pp. 208-214, 1996. (in Russian).

Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. Cyanobacterial mats and mineralization of cyanobacteria. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.254-263, 1998.

Goncharova I.V., Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Ushatinskaya G.T. Formation of Mineral Phosphate Microtubes in the Presence of Halophilic Cyanobacterium *Microcoleus chthonoplastes*. Current Microbiology, V. 27, pp.187-190. 1993.11111111

Hoover R.B. Meteorites, Microfossils and Exobiology. Instruments, Methods, and Missions for Extraterrestrial Microorganisms. Proc. SPIE, 3111, pp. 115-136, 1997.

Hoover R.B., Rozanov A.Yu., Zhmur S.I., Gorlenko V.M. Further Evidence of Microfossils in Carbonaceous Chondrites. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.203-216, 1998.

Ilyin A.V. The Khubsugul Phosphorite Basin. Moscow, Nauka, 167 pp., 1973. (in Russian).

Ilyin A. B. Old Phosphorite Basins. Moscow, Nauka, 176p., 1990. (in Russian).

Ilyin A.V. Rare-earth geochemistry of "old" phosphorites and probablity of syngenetic precipitation and accumulation of phosphorite. Chemical geology. V. 144. Netherlands. 1997.

Ilyin A.B., Zhuravleva I.T. On the boundary between the Cambrian and the Precambrian at Prikhusugulie (Mongolian PR). Dokl. Acad. Nauk SSSR. vol.182. N 5, pp. 1164-1166. 1968. (in Russian).

Ilyin A.V., Byamba Zh. Handbook for the Excursion «Phosphorites of the Khubsugul Basin in the Mongolian People's Republic», Third Field Conference, Project 156, June 17-28, Geol. Inst. Akad. Nauk SSSR, Moscow, 120 p. 1980.

Jones B., Renaut R.W., Rosen M.R. Microbial biofacies in hot-spring sinters: a model based on Ohaaki Pool, North Island, New Zealand. Journal Sedimentary Research, V. 68, N 3, , pp. 413-443, 1998.

Keller B.M. and Rozanov A.Yu. (eds.) Pleontology of the Upper Cambrian and Cambrian Deposits of the East-European Platform. Moscow, Nauka, 210 p, 1979. (in Russian).

Kirschvink J.L., Rozanov A.Yu. Paleomagnetism of fossiliferous Lower Cambrian Sediments: new results from the Tommotian stage of the Siberian Platform. Internat. Union. of Geology and Geophysics XVII General Assembly, Abstracts, Canberrs, p.508, 1979.

Kirschvink J., Rozanov A.Yu. Magnetostratigraphy of Lower Cambrian strata from the Siberian platform: a paleomagnetic pole and a preliminary polarity time-scale. Geol. Mag. V. 121, No.3, pp. 189-203,1984.

Kirschvink J., Budney C., Zhuravlev A. Magnetostratigraphy of the Precambrian-Cambrian reference section near Salany-Gol, Western Mongolia: comparision with the Siberian Platform. CSA Abstract with programme, Vol. 19, No.1. 1987.

Kirschvink J., Magaritz M., Ripperdan R.L., Zhuravlev A.Yu., Rozanov A.Yu. The Precambrian-Cambrian boundary, Magnetostratigraphy and Carbon isotopes resolve correlation problems between Siberia, Marocco and South China. GSA Today. V. 1, pp.69-71, 87, 91. 1991.

Korobov M.N. Biostratigraphy and myomer trilobites of the Lower Cambrian of Mongolia. In.: Biostratigraphy of the Cambrian and Carboniferous in Mongolia. Moscow, Nauka, pp. 5-108, 1980. (in Russian).

Korobov M.N. Biostratigraphy and polymer trilobites of the Lower Cambrian of Mongolia. Moscow, Nauka, 202 p., 1989. (in Russian).

Khomentovsky V.V., Repina L.N. Lower Cambrian from the stratotypic section of the Siberia. Moscow, Nauka, 200 pp.,1965. (in Russian).

Kholodov V.N., Paul R.K. Phosphate Pellets from the Karatau Phosphorites as Genetic Indicators. Lithology and Mineral Resources. No 1, pp.61-75, 1995 (in Russian).

Krylov I.N., Orleansky V.K. Laboratory model of the formation of carbonate crusts in algae-bacterial films (artificial stromatolites and oncolites). Carbonate algae and stromatolites. Novosibirsk, Nauka, pp.4-12, 1988. (in Russian).

Luvsandanzan B. and Rozanov A.Yu. The age of the ancient phosphorites of Asia. Dokl. Akad. Nauk SSSR, Geol., 277, 1, pp.164-167, 1984. (in Russian).

Lucas J., Prevot L. Syntese de l'apatite par voie Bacterienne a partir, de matiere organique phosphatee et de divers carbonates de calcium dans des eaux douce et marine naturelles. Chemical Geol., No 42, pp.101-118, 1984. (in French).

Nikiforov K.A., Osokin P.N.,Amgalan J., Tologdor N. The Khubsugul Phosphorite Basin. Ulan-Ude, BNC SORAN, 65 p., 1995. (in Russian).

Mirtov Yu.V., Zanin N.A., Krasil'nikova, et al. The Ultramicrostructure of Phosphorites (An Atlas of Photographs). Moscow, Nauka, 223p, 1987. (in Russian).

McKay D.S., Gibson E.K., Thomas-Keprta Jr.K.L., Vali H., Romanek .S., Clemett S.J., Chillier X.D.F., Maechling C.R., Zare R.N., Searh for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH 84001. Science, 273, pp.924-930, 1996.

McKay D.S., Rozanov A.Yu., Hoover R.B., Westall F. Phosphate Biomineralization of Cambrian Microorganisms. Proceeding of SPIE, Vol.3441, pp.170-176, 1998.

Ragozina A.L. Cyanobacteriial mats in the ancient phosphorites of Mongolia. Fauna and ecosystems in the geological past. Moscow, Nauka, p.33-36,1993. (in Russian).

Ratnikova G. U. Petrography of the Khubsugul phosphorite: Geology of phosphorite deposits and problems of phosphoritegenesis. Novosibirsk, p.110-113. 1982. (in Russian).

Repina L. N., Rozanov A.Yu. (eds.) Cambrian of Siberia. Novosibirsk; All-Russian. Inc. Nauka, Siberian publishing firm, 135p., 1992. (in Russian).

Repina L.N. Ecotypes of Olenelloid trilobites and their distribution in the transitional type of section (Siberian platform). The Enviroment and life in the geological past. Paleolandscapes and biofacies. Novosibirsk, Nauka, p.46-60, 1982. (in Russian).

Rozanov A.Yu. The Cambrian Lower Boundary Problem. Geol. Mag., V. 104. N. 5, pp. 415-434, 1967.

Rozanov A.Yu. Once again on old phosphorites in Mongolia. Sovetskaya Geology. N 1, pp. 79-81, 1992. (in Russian).

Rozanov A.Yu., Missarzhevsky V.V. Biostratigraphy and fauna of Lower Cambrian horizons. Moscow, Nauka, 120p.,1966. (in Russian).

Rozanov A.Yu., Missarzhevsky V.V., Volkova N.A. et al. The Tommotian stage and the Cambrian lower boundary problem. Moscow, Nauka, 380 pp.,1969. (in Russian).

Rozanov A.Yu., Sokolov B.S. (eds.) Lower Cambrian stage subdivision. Stratigraphy. Moscow, Nauka, 184 pp., 1984. (in Russian).

Rozanov A.Yu., Zhegallo E.A. Problem of Origin of the Ancient Phosphorites of Asia. Lithology and Mineral Resources, N 3, pp.62-82, 1989. (in Russian).

Rozanov A.Yu., Zhuravlev A.Yu. The Lower Cambrian Fossil Record of the Soviet Union. Origin and Early Evolution of the Metazoa. Ed. J. Lipps and p. Signor. Plenum Press. N.York-London, pp. 205-281, 1992.

Rozanov A.Yu., Zavarzin G.A. Bacterial Paleontology. Herald of the Russian Academy of Sciences. V.67, no 2, pp.109-113, 1997. (in Russian).

Rozanov A.Yu., Zavarzin G.A. Bacterial Paleontology. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.218-224, 1998.

Semeikin I.N. Latest Precambrian phosphorite-bearing sequence of the Eastern Sayan ridge and its correlation with Khubsugul sequence. "Geology of phosphorite deposits and problems of phosphoritegenesis. Novosibirsk, pp. 99-110, 1982.(in Russian).

Shkolnik E.L., Baturin G.N. (eds.) Phosphate grains in the micrograine phosphorites from largest phosphate basins in the World. Vladivostok. 1998.(in press). (in Russian).

Sokolov B.S. (ed.) Phanerozoic of Siberia. V.1, Vend, Paleozoic. Novosibirsk, Nauka,190 pp., 1984. (in Russian).

Vinogradov V.I. Lukanin A.O. Isotopic composition of neodymium and strontium in phosphorites of Mongolia and Karatau. Ecosystem restructures and the evolution of Biosphere. Issue 1, Moscow, Nedra, pp. 300-305, 1994. (in Russian).

Westall F., Gobbyi P., Mazzotti G., Gerneke D. et al. Combined SEM (Secondary electrons, backscatter, cathodoluminescence) and atomic force microscope unvestigation of fracture surfaces in Martian meteorite ALH84001: prelimanary rusults. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.225-233, 1998

Yanshin A.L. The perspectives and scientific problems of search for potassium and phosphorate mineral products in Siberia. Bull. of Moscow Society of Naturalists. Geol. Ser., v.39, N 5, p.3-30, 1964. (in Russian).

Yanshin A.L. Evolution of geological processes and Latest Precambrian Phosphorites. Geology of phosphorite deposits and problems of phosphoritegenesis. Novosibirsk, pp.13-14, 1982. (in Russian).

Yanshin A.L., Zharkov M.A. Phosphorus and potassium in Nature. Novosibirsk, Nauka, 189 pp., 1986. (in Russian).

Yushkin N.P. Natural polymer crystals of hydrocarbons as models of prebiological organisms. Journ. of Crystal Growth, 167, pp.237-247, 1996.

Yushkin N.P. Hydrocarbon crystals as protoorganisms and biological systems predessors. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.234-246, 1998

Zaitsev N.S. The old phosphorite bearing formation in Mongolia. Sovetskaya Geology. N 1, pp. 71-79, 1992. (in Russian).

Zhmur S.I. Cyanobacterial benthic community is the main producer of the organic matter of marine biolithogenic rocks rich in carbonate. Problems of Pre-antropogenic evolution of the Biosphere. Moscow, Nauka, pp.294-303, 1993. (in Russian).

Zhmur S.I., Gorlenko V.M., Rozanov A.Yu., Zhegallo E.A., Lobzova R.V. Cyanobacterial Benthic System-Producent of Carbon Substance of Shungites of Early Proterozoic of Karelia. Lithology and Mineral Resources, N 3, pp. 122-126, 1993. (in Russian).

Zhmur S.I., Burzin M.B., Gorlenko V.M. Cyanobacterial mats and carbon rock formation on late precambrian. Lithology and Mineral Resources, N 2, pp.206-214, 1995. (in Russian).

Zhmur S.I., Rozanov A.Yu., Gorlenko V.M. Lithified Remnants of Microorganisms in Carbonaceous Chondrites. Geochemistry, N1, pp. 66-68, 1997. (in Russian).

Zhuravleva Z.A. Age and correlation of ancient deposits of Northwestern Mongolia. Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol., N 12, pp.73-76, 1975. (in Russian).

Explanations of text-figures

Fig.1 The Map of Mongolia.

Фиг.1 Карта Монголии.

Fig.2 Geological map of the Khubsugul basin with geological cross-section and legend.

Фиг.2 Геологическая карта Хубсугульского бассейна с геологическим профилем и легендой.

Fig.3 - Stratigraphic column of Khubsugul basin.

Фиг.3. Стратиграфическая колонка.

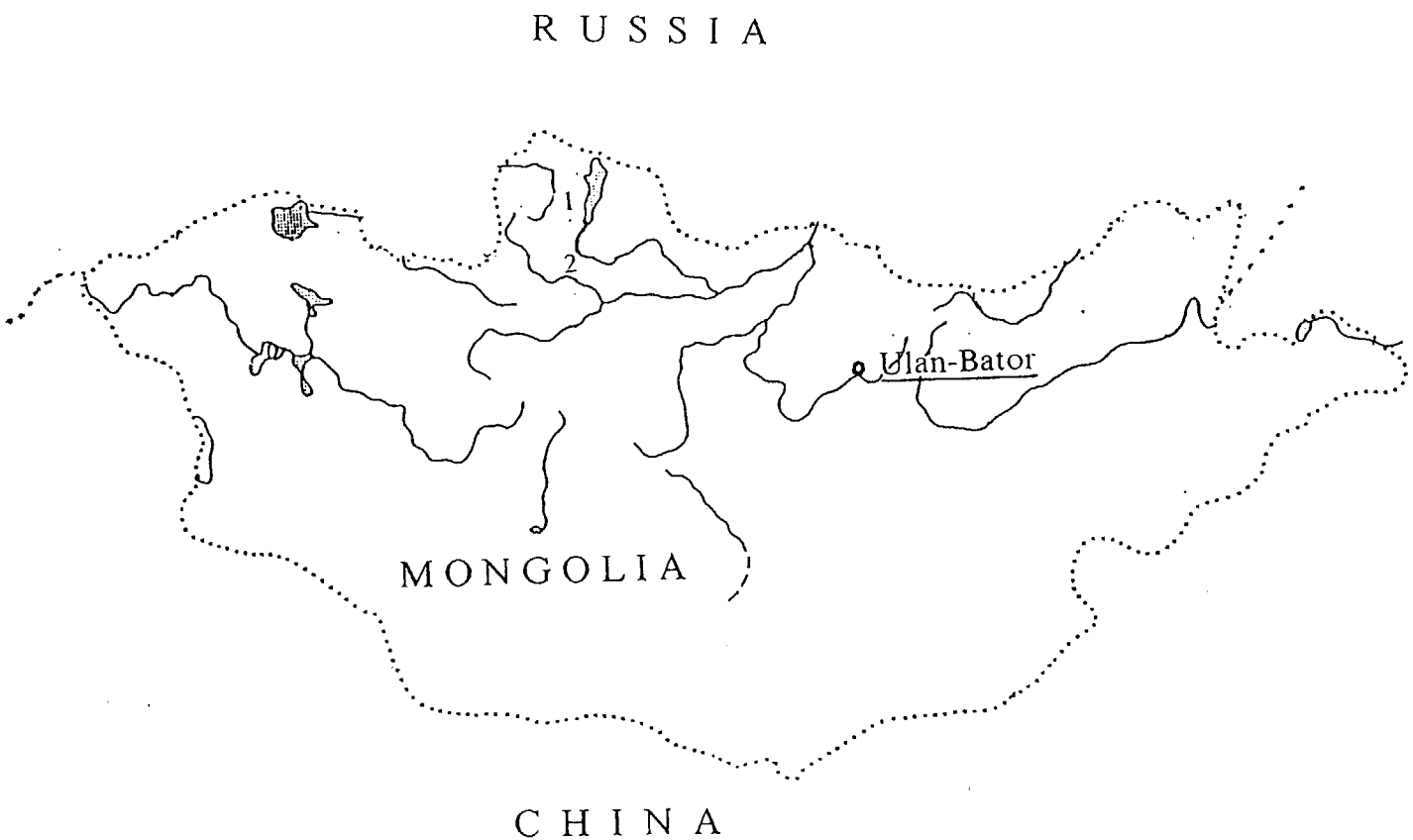
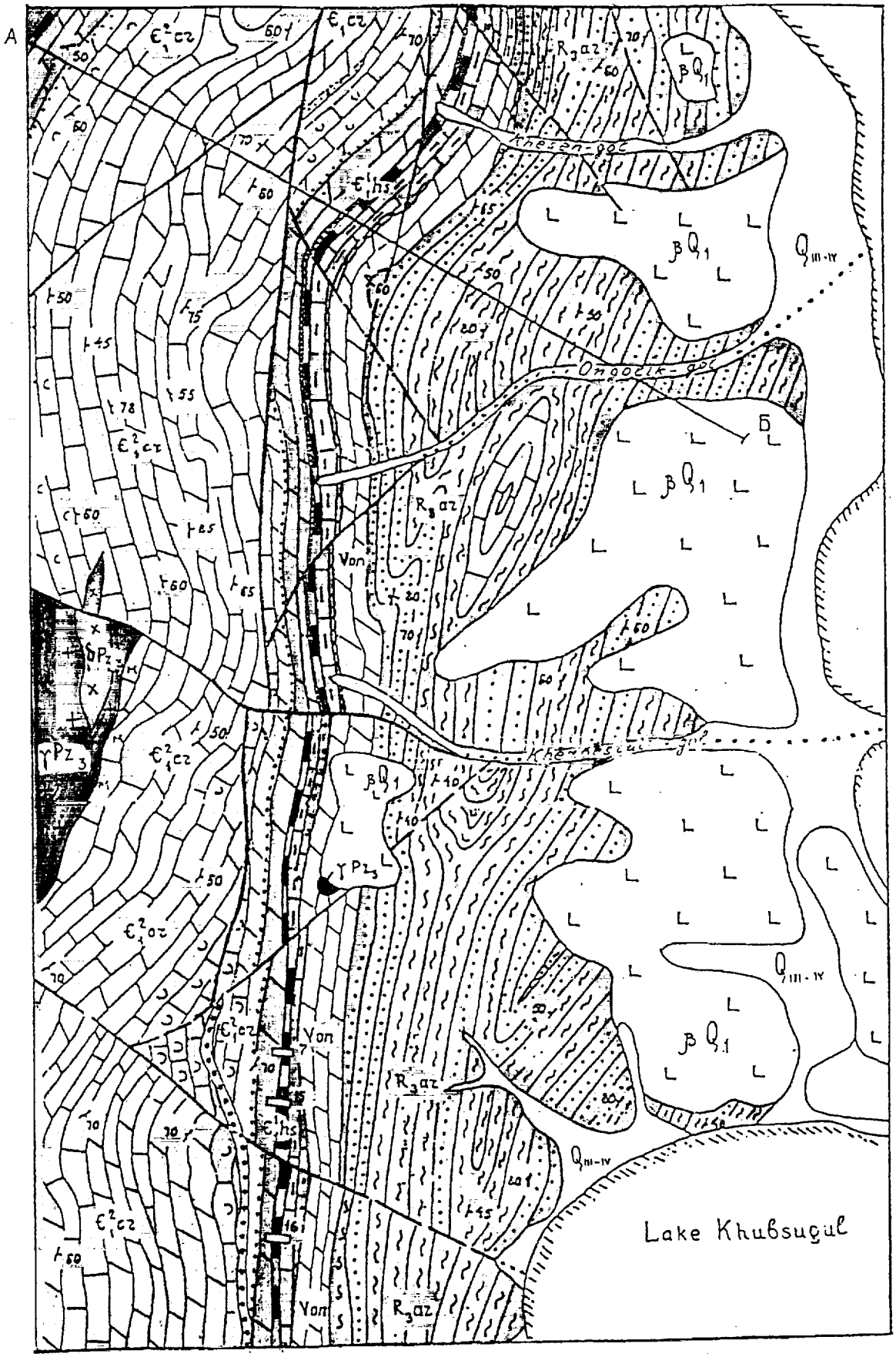


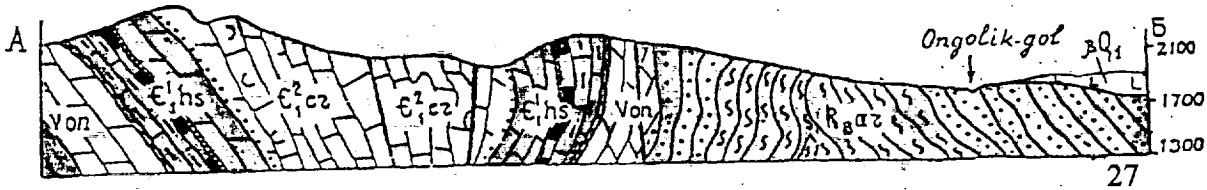
Fig. 1 1 - Khubsugul deposit

2 - Burenkhan deposit

Stratigraphic column

System	Series	Stage	Group	Formation	Index	Deposits	Thickness, m	Description
Quarternary	upper				QIII-IV		60	Alluvial and deluvial deposits
	lower				Q1		до 150	Basalt sheets
Neogen	upper				N2		до 100	Sheets of apical basalts
Cambrian	Lower	Botomian		Ukhutologoy	$Є_{1-2}$ uh		500	Interbedding of tufaceous sandstones, siltstones and shales green-grey. At the base-interbeds of gravelstones and tuffites
	Lower	Atdabanian	Khubsugul	Erkhelnur	$Є_1^2$ er		500	Limestones grey, dark grey to black with sparse oncolites and trilobites. At the base - breccia-like limestones
							50	Dolomites grey, massive.
							200	Limestones grey, dark -grey , breccia-like
							400	Limestones grey, dark grey, massive with lenses of dark-grey cherts.
							260	Dolomites light-grey and grey, sometimes breccia-like. Interbeds with archaeocyath and trilobite limestones.
							350	Limestones grey, dark-grey with interbeds of shales and phosphate cherts dark-grey and lenses of silicified rocks with ferromanganesian mineralization, sparse archaeocyaths.
							200	Dolomites grey, fine grained with lens-like interbeds of dark-grey cherts.
							10-100	Silicified phosphorite-dolomitic sandstones and gravelstones, greyish-brown cherts.
		Tommotian		Khesen	$Є_1^1$ hs		350-600	Dolomites grey, bedded, massive cream-coloured, weakly silicified, with lenses of phosphorites, interbeds of grey and dark-grey cherts. Limestones and dolomites phosphate-bearing bedded and massive, grey and dark-grey. The layers of phosphorites dolomitized and calcite-dolomitic (2-5). At the base - argillaceous limestones, calcareous shales with pinching out calcareous-dolomitic breccia and conglobreccia.
Vendian				Ongolik	Von		300-400	Dolomites grey, bedded and massive irregularly silicified with sparse stromatolites. Limestones grey to dark-grey, massive. Lenses of siltstones and shales with pebbles of pelitomorphic dolomites, sparse oncolites. Calcareous and polymictic gravelstones and sandstones.
Riphean	Upper		Darkhat	Arasan	R_3 ar		1500	Silstones, sandstones, tuffstones, gravelstones polymictic, green, greyish-brown, grey, in places purple. Interbeds of dolomites pelitomorphic grey, cream-coloured and lenses (1-2m) of grey fine-grained limestones with oncolites.


A
Khesen-gol
Ongolik-gol
Khenkesuul-gol
Von
Lake Khubsugul


A
Ongolik-gol
Б
2100
1700
1300
Von

L E G E N D

δPz_3	Diorites, granodiorites		Dolomites with lens of cherts
δPz_3	Syenites and granosyenites		Limestones breccia-like
γPz_3	Biotite granites		Calcareous breccia
	Tufaceous gravelstones		Argillaceous limestones
	Tufaceous sandstones		Main phosphate-horizon (unit)
	Silstones		Black chert horizon
	Shales		Lenes of silicified rocks with ferromagnesian mineralization
	Tuffs		Faults
	Conglomerates, gravelstones polymictic	50 60	Structural signs for bedding
	Calcareous conglomerates, gravelsnones, conglobreccia	15	Trenches and their numbers
	Limestones		Archaeocyaths
	Dolomites		Trilobites
	Sandstones		Oncolites

Палеонтологический институт Российской Академии наук

NASA-Marshall Space Flight Center

Атлас

микроорганизмов из древних фосфоритов

Хубсугула (Монголия)

Елена А. Жегалло, Алексей Ю. Розанов,

Галина Т. Ушатинская, Ричард Б. Хувер,

Людмила М. Герасименко, Алла Л. Рагозина

2000

Huntsville, Alabama, USA

Палеонтологический институт Российской Академии наук

NASA-Marshall Space Flight Center

Елена А. Жегалло*, Алексей Ю. Розанов*,

Галина Т. Ушатинская*, Ричард Б. Хувер*,**

Людмила М. Герасименко, Алла Л. Рагозина***

* Палеонтологический институт РАН, Россия, Москва, 117647, Профсоюзная 123
** Институт Микробиологии РАН, Россия, Москва, 117812, Проспект 60-летия Октября, 7/2
*** NASA-Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama 35812, USA

Атлас

микроорганизмов из древних фосфоритов

Хубсугула (Монголия)

2000

Huntsville, Alabama, USA

Введение

Открытие серии микроструктур, напоминающих нанобактерии, в тесной ассоциации с биомаркерами в метеорите ALN84001, который считается попавшим на Землю с Марса (McKay *et al.*,1996), привело к предположению, что обнаруженные тела могут являться микроорганизмами марсианского происхождения. Эти исследования (см. Westall *et al.*, 1998) и их обсуждение высветили необходимость изучения морфологии и размеров обнаруженных нанофоссилий и микрофоссилий и установления надежных биомаркеров, включая биохимические и геохимические доказательства существующей или исчезнувшей жизни. Такое заключение имело огромное значение в стимулировании научных исследований в недавно возникшем направлении - *Астробиологии.* Исследования метеоритов (углистых хондритов), осуществленные почти одновременно и независимо в Москве, Россия (Zhmur *et al.*, 1997; Hoover *et al.*, 1998) и Хэнтсвилле, Алабама, США (Hoover,1997, Hoover *et al.*, 1998) привели к обнаружению в них большого и разнообразного комплекса биоморфных микроструктур бактериального и грибного габитуса. Возможность определять различные биомаркеры и микрофоссилии и отличать их от предположительно небиогенных объектов и микроструктур, которые иногда весьма напоминают биогенные, такие, например, как фиброзные кристаллы керита, изученные Н.П.Юшкиным (Yushkin, 1996; 1998), чрезвычайно необходима. В результате осуществляемых в настоящее время космических исследований в разных странах на Землю в ближайшее десятилетие могут быть доставлены материалы (образцы) с Марса, комет или других тел солнечной системы. Это заставляет нас разрабатывать

методы и технику исследования внеземных объектов еще до того, как последние станут доступными нам.

Большие успехи были достигнуты в последнее время в быстро развивающемся новом направлении "*бактериальной палеонтологии*". (Rozanov, Zavarzin, 1997,1998). Определение микрофоссилий бактериального происхождения было сильно облегчено исследованиями по искусственной фоссилизации современных бактериальных сообществ (Lucas, Prevot, 1984; Крылов, Орлеанский, 1988; Розанов, Жегалло, 1989; Жмур, 1993; Жмур *и др.*, 1993; Briggs *et al.*, 1993; Герасименко *и др.*, 1994; Goncharova *et al.*, 1993; Жмур *и др.*, 1995; Герасименко *и др.*, 1996; 1998; Розанов, Заварзин, 1997; Jones *et al.*, 1998; McKay *et al.*, 1998), В этих публикациях отчетливо наметились замечательные модельные объекты: древние микрофоссилии в фосфоритах и высокоуглеродистых породах, которые описывались и сравнивались с микроорганизмами современных цианобактериальных матов. Исследования дали возможность расшифровать комплекс биоморфных микроструктур, которые встречаются в углистых хондритах.

Работа по палеонтологическому изучению фосфоритов продолжается уже более 20 лет и изначально преследовала совсем иные цели. В 70-80е годы важно было попытаться установить пространственные и временные взаимоотношения бурного взрыва появления скелетных организмов в начале кембрия (Розанов, Миссаржевский, 1966; Rozanov, 1967; Розанов, Миссаржевский *и др.*, 1969; Соколов, ред., т.1, 1984; Brasier, 1990; 1992; Rozanov, Zhuravlev, 1992; Репина, Розанов, ред., 1992 и многие другие) и одновременного с ним крупнейшего

фосфатонакопления в Китае, Монголии, Казахстане и др. (Бушинский, 1966; Cook, Shergold, eds., 1979; Яншин, Жарков, 1986). Эти фосфатные месторождения считались типично хемогенными (Ильин, 1973; 1990), но открытие в них цианобактериальных матов стало важным событием, так как привело к переинтерпретации их генезиса. Именно изучение бактериальной составляющей фосфоритов и эксперименты по искусственной фосфатизации наряду с исследованием высоко-углеродистых и других осадочных пород создали реальные предпосылки для формирования нового активного направления - *Астробиологии.*

В изучении микроорганизмов в фосфоритах классического объекта - Хубсугульского бассейна принимали участие прежде всего Е.А.Жегалло, А.Л.Рагозина, А.Ю.Розанов и Г.Т.Ушатинская. На последней стадии к ним активно присоединился Р.Хувер (Richard B. Hoover, NASA, MSFC). В данной работе использован богатый материал из Хубсугульского бассейна по разрезам Хубсугульского и Буренханского месторождений, который собирался в течение нескольких полевых сезонов (1979-1991) отрядом под руководством Е.А.Жегалло. В составе отряда в разное время принимали участие Ю.И.Воронин, Н.А.Дроздова, В.Д.Фонин, В.А.Лучинина, Л.Н.Репина, А.Ю.Розанов, В.А.Сысоев, Г.Т.Ушатинская. В ходе работ авторам были любезно предоставлены геологические и аналитические материалы сотрудниками Буренханской геолого-разведочной партии В.П. Каревым, В.П. Арсентьевым, П.В. Осокиным, Ф.Н.Людофуном, в работе также использовались материалы Э.А Еганова, за что им всем мы приносим свою искреннюю благодарность

Геологические и палеонтолого-стратиграфические данные по Хубсугульскому фосфоритоносному бассейну.

Первое месторождение фосфоритов в Монголии на западном берегу оз.Хубсугул было открыто в 1964 г. Н.А.Доновым и Е.В.Едемским (рис.1). Последовавшие за этим детальные исследования 1964-1967 гг, проводившиеся Всесоюзным аэрогеологическим трестом и Институтом "Зарубежгеология," в которых, кроме первооткрывателей, участвовали М.М.Музалевский, А.А.Ельянов и А.В.Ильин, показали, что Хубсугульский бассейн является одним из крупнейших фосфоритоносных бассейнов мира. Начиная с 1968 г и до настоящего времени изучением Хубсугульского фосфоритоносного бассейна занимались сотрудники Геологического и Палеонтологического институтов РАН, института литосферы РАН, Института "Зарубежгеология", работавшие в составе Совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской геологической и Совместной Советско-Монгольской Палеонтологической экспедиций. В разное годы в работах этих экспедиций принимали участие И.С.Боровская, Ю.И.Воронин, Н.А.Дроздова, Е.А.Жегалло, З.А.Журавлева, Н.С.Зайцев, А.В.Ильин, М.Н. Коробов, Н.В.Покровская, Г.И.Ратникова, А.Л.Рагозина. А.Ю.Розанов, В.А.Сысоев, Г.Т.Ушатинская, В.Д.Фонин, Т.Н.Хераскова, и монгольские геологи Ж.Бямба, Д.Доржнамжаа, Б.Лувсанданзан, Я.Эрденбилик, Мягмар Дугаа, а также сотрудники Института геологии и геофизики СО АН СССР Э.А.Еганов, В.А.Лучинина, Л.Н.Репина. Специальные разведочные работы на месторождениях Хубсугул и Буренхан в 1981-1989 гг осуществлялись геологами Советской

геологической экспедиции в МНР (Институт“Зарубежгеология”) - В.П. Арсентьевым, В.П. Каревым, Ф.Н.Людофуном, П.В.Осокиным, И.Н.Семейкиным.

Первая публикация о фосфоритах Хубсугульского бассейна появилась в журнале “Советская геология” (Донов, Едемский *и др.*, 1967). За истекшие после этого 30 лет число монографий, статей, докладов, тезисов, посвященных описанию Хубсугульского бассейна, насчитывает несколько десятков наименований. Сведения о хубсугульских фосфоритах вошли в большое число сводок, как российских так и зарубежных, он всегда упоминается при перечислении крупнейших фосфоритовых месторождений мира (Cook, Shergold, eds., 1979; Яншин, Жарков, 1986, Ильин,1990).

В результате геологических, литологических и стратиграфо-палеонтологических исследований была определена структура бассейна и последовательность слагающих его пород, построены стратиграфические колонки и детальные геологические карты(рис.2,3). Приводимый стратиграфический очерк основан на работах А.В.Ильина, 1973, 1990, З.А.Журавлевой (1974), М.Н.Коробова (1980,1989), К.А.Никифорова, П.В.Осокина, Ж.Амгалан, Н.Тоголдор (1995), Э.А.Еганова (Школьник, Батурин, ред., 1998), А.В.Ильина и Ж.Бямба (1980) , отчетах Бурэнханской геолого-разведочной партии (1981-1984гг) и на собственных наблюдениях авторов.

Хубсугульский фосфоритоносный бассейн в современной структуре представляет собой синклинорий, выполненный верхнерифейско-кембрийскими отложениям. В их составе выделяется две мощные серии: верхнерифейская (?) дархатская и венд-нижнекембрийская хубсугульская.

Дархатская серия представлена своей верхней - арасанской свитой, которая состоит преимущественно из терригенных и вулканогенно-терригенных пород - алевролитов, песчаников, туфопесчаников, гравелитов зеленого, серого, бурого, реже лилового цветов с отдельными прослоями серых с кремовым оттенком пелитоморфных доломитов и с линзами (1-2м) серых тонкозернистых известняков с онколитами. Мощность свиты - до 1500м.

Хубсугульская серия несогласно залегает на арасанской свите дархатской серии и подразделяется на три свиты: нижнюю онголикскую (дофосфоритовую), среднюю хэсэнскую (фосфоритоносную) и верхнюю эрхэлнурскую (карбонатную).

Онголикская свита отделена от дархатской серии размывом, в ее основании выделяется базальный горизонт из кварцево-полевошпатовых песчаников и гравелитов мощностью 2 - 15 м. Они сменяются серыми слоистыми и массивными доломитами, иногда окремненными, с редкими онколитами, с "водорослевыми" текстурами. Завершается разрез конгломерато-брекчией оползневого характера, в кровле которой имеются следы размыва. Мощность свиты колеблется от 300 до 400м.

З.А.Журавлева из отложений свиты определила *Ambigolamellatus horridus* Z.Zhur., *Volvatella vadosa* Z.Zhur., *Vesicularites* sp., на основании чего возраст ее определен как юдомский (по шкале Сибирской платформы) или вендский.

Залегающая выше хэсэнская свита подразделяется на три пачки. Нижняя пачка сложена глинистыми известняками и известковистыми сланцами с линзовидными телами известково-доломитовых брекчий и конгломератобрекчий. Собственно продуктивной - фосфоритоносной является средняя пачка, в которой

заключены все основные фосфоритовые горизонты Хубсугульского бассейна. Она сложена чередованием горизонтов фосфоритов со слоистыми и массивными известняками и доломитами, иногда с кремнисто-алеврито-глинистыми сланцами и кремнями. Всего на разных участках выделяется до пяти фосфоритовых пластов или горизонтов, которые суммарно составляют 10-15% мощности продуктивной пачки. Верхняя пачка начинается с горизонта черных бесфосфатных кремнистых пород мощностью от нескольких метров до 50м, которые сменяются доломитами и известняками с заметной примесью глинистого и песчаного материала. Мощность хэсэнской свиты в разных частях Хэсэнской синклинали колеблется от 350 до 600м. В породах всех трех частей свиты З.А.Журавлевой был обнаружен комплекс микрофитолитов *Nubecularites catagraphus* Reitl., *N.parvus* Z.Zhur., *N.densus* Z.Zhur., *N.angulatus* Z.Zhur., *Radiosus marginatus* Z.Zhur., *Osagia senta* Z.Zhur. Нами из средней фосфоритоносной части были выделены и определены *Archaeooides granulatus* Qian, *Tasmanites tenellus* Volkova, *Spirellus* sp. а также нитчатые цианобактерии подобные *Microcoleus*, и принадлежащие описанному из древних толщ роду *Siphonophycus*. Присутствуют следующие виды *S. robustum* (Schopf) Knoll *et al., 1991, S.typicum* (Hermann) Butterfield 1994, *S. solidum* (Golub) Butterfield 1994, *S. septatum* (Schopf) Knoll *et al.,* 1991 и *Oscillatoriopsis obtusa* Schopf, 1968. (Рагозина, 1993). Большинство перечисленных форм встречается как в докембрии так и в нижней части кембрия, но *Archaeooides, Tasmanites, Osagia senta* и ряд катаграфий (*Nubecularites*) известны, только начиная с томмотского яруса. С учетом того, что в вышележащих отложениях эрхэлнурской свиты

встречаются остатки атдабанских археоциат и трилобитов, возраст хэсэнской свиты считается нижнекембрийским - томмотским.

Выше хэсэнской свиты с четко выраженным размывом залегает эрхэлнурская, в основании которой выделяется базальная пачка мощностью до 40 м, сложенная песчаниками с гравелитами, брекчиями с крупными обломками, песчаниками, состоящими из переотложенных фосфатных зерен. Она сменяется пачкой мощностью до 200м преимущественно доломитов, иногда глинистых, с прослоями темно-серых кремней. Верхняя часть свиты сложена толщей мощностью более 1500 м в основном серых, темно-серых известняков с прослоями глинистых сланцев, темно-серых кремней, с участками брекчий и с отдельными прослоями доломитов. В этой толще присутствует несколько горизонтов с трилобитами и археоциатами. В разрезах по рекам Хэсэн и Онголик Коробов (1960) обнаружил два уровня с трилобитами. Нижний находится в 400-450 м выше основания свиты и содержит *Archaeaspis* sp., *Malykania ongoloca* Korob., *Elganellus dilatatus* Korob., *E. pensus* Suv.,*E.elegans* Suv., *E.probus* Suv., *E.elongatus* E.Rom., *Resserops kharganicus* Korob., *Pseudoresserops obesus* Korob., *Minusella priva* Korob. Второй уровень располагается в 250 м выше первого и охватывает интервал в 250м. В нем содержатся: *Bulaiaspis taseevica* Rep., *Fallotaspidella chesenica* Korob., *Fallotaspis mongolicus* Korob. Остатки археоциат в данных разрезах не обнаружены, но в районе Урундуши-Ула в 16 км к северо-северо-востоку от разрезов по рекам Хэсэн и Онголик в 60-х годах А.В.Ильин с четырех уровней эрхэлнурской свиты собрал археоциат, которые были определены И.Т.Журавлевой (Ильин, Журавлева, 1968). Первый уровень приблизительно соответствует

нижнему трилобитовому комплексу и заключает: *Archaeolynthus* sp., *Rotundocyathus* sp., *Nochoroicyathus howelli* (Vol.). Второй уровень находится в 250 м выше и содержит: *Rotundocyathus ex gr. kemtschikensis* (Vol.), *Nochoroicyathus* ex gr. *mariinskii* Zhur. В 150 м выше (третий уровень) встречены *Rotundocyathus* sp., *Kaltatocyathus* sp., *Tumuliolynthus* sp., *Nochoroicyathus* sp., *Capsulocyathus* sp., *Dictyocyathus* sp. И, наконец, еще в 400 м выше (четвертый уровень) находятся *Nochoroicyathus* ex gr. *mariinskii* Zhur., *Rotundocyathus* ex gr. *salebrosus* (Vol.), *Tumuliolynthus* ex gr. *karakolensis* Zhur., *Dictyocyathus* sp., *Dictyofavus bipartita* (Vol.). На основании анализа всей перечисленной фауны возраст элхэрнурской свиты определяется как поздне атдабанский. Самая верхняя часть, однако, может быть относится уже к ботомскому ярусу.

В районе Бурэнханского месторождения в отложениях верхней части элхэрнурской свиты также известны многочисленные находки археоциат: *Palaeoconularia baileyi* (Vol.), *Sibirecyathus naletovi* Vol., *Formosocyathus vermiculatus* (Vol.), *Tubericyathus clathratus* Vol., *Clathricoscinus vassilievi* (Vol.), *C.dentatus* (Vol.), *Claruscoscinus billingsi* (Vol.), *Archaeocyathus operosus* (Zhur.) (определения А.Ю.Журавлева), свидетельствующие о ботомском возрасте.

На элхэрнурской свите с перерывом залегают туфогенно-терригенные породы ухутологойской свиты мощностью до 500 м. В ней у южной оконечности оз.Хубсугул в разрезе Улгэн-Сайр присутствуют археоциаты (определения И.Т.Журавлевой): *Irinaecyathus* ex gr. *ratus* (Vol.) и *Pycnoidocyathus* sp. (Ильин, 1973). Возраст ухутологойской свиты на основании находок этой фауны определен как ботомский.

Полученные материалы позволили утверждать, что хотя главной эпохой древнего фосфатонакопления долгое время считалась венд-раннекембрийская (Яншин, 1964; Яншин, 1982; Яншин, Жарков, 1986; Ильин, 1990) , на самом деле, что хорошо видно и из региональных материалов по Хубсугулу, ее пик приходится на очень узкий интервал времени - томмотский век (Лувсандавзан, Розанов, 1984; Розанов, 1992; Герасименко *и др.*, 1996).

Палеогеография

Фосфориты Хубсугульского бассейна всеми исследователями ассоциируются с морскими отложениями. О палеогеографической обстановке времени их накопления были опубликованы достаточно противоречивые представления (Ильин, 1973; 1990; Зайцев, 1982; 1992; Яншин,1982; Бямба, 1987). Скорее всего это происходило от того, что авторы старались приноровиться к быстро менявшимся тогда тектоническим построениям. И хотя сегодня далеко не все ясно, все же набор фактов, значительная часть которых ранее вообще не принималась во внимание, позволяет описать достаточно вероятную картину бассейна, в котором происходило фосфатонакопление.

Регионально-геологические данные: (1) Район расположен в области достаточно активной периферической части Сибирского кратона. (2) Продуктивная толща (или хэсэнская свита) мощностью от 350 до 600 м вероятнее всего имеет томмотский возраст. Отложения, относимые к атдабанскому ярусу, имеют мощность около 2000м, к ботомскому и тойонскому - 500м. То-есть мощность осадков нижнего кембрия в Хубсугульском бассейне около 3000м; аналогичную

мощность имеют разрезы нижнего кембрия на юго-западе Сибирской платформы. (3) Ширина выходов нижнего кембрия в исследованном районе около 80 км, и поскольку это достаточно простая синклинальная структура с очень крутыми углами, то ширина той части бассейна, где происходило фосфатонакопление, не может быть менее 160 км. (4) По всем представлениям, существующим на сегодня, на северо-западе и северо-востоке Хубсугульский бассейн примыкал к двум поднятиям - Мурзинскому и Восточно-Хубсугульскому (Ильин, 1973) и сообщался между ними с бассейном Сибирской платформы. На юге он мог соединяться с другими бассейнами Алтае-Саянской складчатой области и Китая. (5) Палеомагнитные данные, степень корректности которых не вызывает сомнений, имеются по юго-востоку Сибирской платформы (Kirschvink, Rozanov, 1979; 1984; Kirschvink *et al.*, 1991; Evans *et al.*, 1996) и по Дзабханской зоне (Kirschvink *et al.*, 1987). Эти данные позволяют предполагать, что оба региона были расположены в пределах экваториальной зоны и расстояние между ними возможно были сегодня приблизительно те же, что и в раннем кембрии.

Биогеографические и палеонтологические данные. (1) На уровне продуктивной пачки встречены обильные нитчатые цианобактерии, образующие маты, что предопределяет образование осадков в фотической зоне (первые десятки метров глубины), а широкое развитие матов указывает на достаточно спокойные гидродинамические условия. Обращает на себя внимание отсутствие нормальной морской фауны. (2) В некоторых прослоях на этом уровне установлены акритархи (фитопланктон) *Tasmanites, Leosphaeridia* и одновременно с ними довольно специфические и разнообразные *Archaeooides.* Последние известны в Южном

Китае и Южной Австралии и скорее всего указывают на эпизодические южные связи бассейна. (3) Древнейшие трилобиты (середина атдабана) представлены родами и даже некоторыми видами, очень типичными для "западных" разрезов Сибирской платформы (Хоментовский, Репина, 1965, Розанов, Соколов, 1984, Репина, Розанов, ред., 1992). Кроме того, эти трилобиты связаны с исключительно мелководными фациями (Репина, 1982). (4) Археоциаты, обнаруженные в отложениях второй половины атдабана и ботомы - типично Алтае-Саянские (и даже более точно - тувинские). Археоциатово- водорослевые биогермы - также показатель мелководности.

Литологические данные. (1) Для многих пород, подстилающих продуктивную пачку, для самой продуктивной пачки и перекрывающих пород часто характерна тончайшая слоистость. В продуктивной пачке она сочетается иногда с микростроматолитами. По данным А.В. Ильина (1990) и Э.А.Еганова (Школьник, Батурин, *ред.*, 1998) на севере бассейна встречаются трещины усыхания. Вместе с тем на некоторых уровнях имеются небольшие прослои аутигенных брекчий или бамбуколистных конгломератов. Все это указывает на мелководный, довольно спокойный с гидродинамической точки зрения режим осадконакопления, иногда прерывавшийся либо штормовыми событиями, либо землетрясениями (моретрясениями). (2) Характерно отмечаемое всеми отсутствие глауконита, что в сочетании с другими признаками (Ba/Sr) может говорить о несколько нарушенном солевом режиме. (3) Многие исследователи отмечают исключительно малое количество терригенной фракции в породах фосфатоносной

толщи (Ильин, 1990; Школьник, Батурин, *ред.*, 1998), что может свидетельствовать о пенепленизации суши, примыкающей к северо-восточной части бассейна.

Геохимические данные . Изучение геохимических особенностей фосфоритов этого района проводилось неоднократно, но основной акцент был сделан на геохимические характеристики, связанные с промышленным использованием фосфоритов (содержание S, Cu, Cr, Co, Ni, Pb, Ba и т.д.). С точки зрения использования фосфоритов Хубсугульского фосфоритового бассейна в качестве "модельного объекта" могут, однако, представлять интерес некоторые данные по $C_{орг}$; Sr, Ba, Nd.

$C_{орг.}$ Обычные содержания $C_{орг.}$ в фосфоритах оказывается достаточно низкими (0,34-1,5 %), хотя в ряде случаев указываются значения до 1,65%. (Ильин, Бямба, 1980). В то время во вмещающих продуктивные горизонты доломитах и известняках содержится обычно 1,04 - 1,44 %. В целом, содержание $C_{орг}$ в хубсугульских фосфоритах значительно выше, чем в Каратауских (Казахстан), где сохранность бактериальных остатков значительно хуже.

Sr. Как указывают А.В. Ильин и Ж.Бямба (1980), К.А.Никифоров и др. (1995), содержания стронция хорошо коррелируется с содержанием P_2O_5, т.е повышение содержания Sr связано с повышением содержания P_2O_5. Средние содержания Sr - 0,05-0,06 %.

Ba. Содержание бария в фосфоритах достаточно высоко (среднее 1400 г/т) и в значительной мере коррелируется с содержанием Sr. Соотношение стронция и бария колеблется в канавах от 0,04 до 0,33, в скважинах - от 0,47 до1,28 и, если

верить рассуждениям о показателе Sr/Ba, характеризует не вполне нормальные (опресненные) морские условия.

Nd. Весьма интересные, хотя и не безусловные данные были получены В.И.Виноградовым и А.О. Луканиным (1994) при исследовании изотопного состава неодима в фосфоритах Хубсугула и Буренхана. Авторы утверждают, что изотопный состав неодима серьезно отличается на этих двух группах месторождений, расположенных друг от друга на расстоянии 100 км, и говорит о том, что Хубсугульский бассейн (или часть бассейна) питалась за счет древней сиалической коры с предположительным возрастом около 2,2 млрд. лет, а Буренханский бассейн - за счет молодой континентальной коры (~ 0,8 млрд лет) или смешанного вещества континентальной и океанической кор.

Таким образом, наиболее вероятным является предположение, что район Хубсугульского бассейна представлял собою в момент накопления фосфоритов некий бассейн типа залива, а временами пролива, очень мелководного, обычно с пассивной гидродинамикой, но временами нарушавшейся землетрясениями и моретрясениями. Основным продуцентом органического вещества были цианобактериальные маты. Окружающая суша была сильно пенепленезирована. Северные участки суши были сложены в основном породами континентальной коры, в то время как в южной части появляются элементы океанической коры.

Характеристика хубсугульской биоты

"Хубсугульская" биота была представлена вероятно в основном сообществом цианобактериального мата, который сохранился в фосфоритах в виде микростроматолитов, микрооолитов и микрожелваков. Последние, по нашим наблюдениям, резко преобладают. Размер микрожелваков обычно десятки или сотни микрон. Как правило в микрожелваках наблюдается сочетание нитчатых форм с разным диаметром нитей и форм округлого, веретеновидного и гантелевидного габитуса. Вероятно, уже сейчас можно отличить кристаллы фосфата (McKay, Rozanov, Hoover, 1998) в и на стенках цианобактерий от псевдоморфоз по пурпурным (?) и иным бактериям мата.

Картина, наблюдаемая в Хубсугульских фосфоритах (окружение нитчатых цианобактерий многочисленными бактериальными клетками), типична для современных цианобактериальных матов. Примером может служить галофильный мат, где к верхнему слою цианобактерий снизу непосредственно примыкает мощный слой пурпурных бактерий из родов *Thiocapsa* (коккоидные клетки) или *Chromatium* (овоидные клетки). При минерализации первых образуются глобулярные, а вторых - гантелевидные структуры. Эти бактерии в силу многогранности обмена (способности к росту в аэробных и анаэробных условиях) выполняют защитную функцию в мате. Окисляя фотосинтетическим кислородом органические вещества, которые выделяются цианобактериями как при жизни так и после смерти, пурпурные бактерии защищают от кислорода нижележащие слои мата, где развиваются строгие анаэробы, сульфатредукторы и метаногены.

Генезис фосфоритов

Много разногласий имеется и по поводу генезиса и источников фосфора в Хубсугульских фосфоритах.

По мнению А.В.Ильина (1973; 1990) формирование фосфоритов происходило посредством выпадения их в осадок из наддонных вод (а не поровых), то-есть химическим (ортохимическим) путем. Однако в последней работе Ильин (Ilyin, 1998) на основе изучения распространения редкоземельных элементов приходит к выводу, что фосфор в значительной степени выпадает на границе осадок/вода. Поступление фосфора он связывает с разрушением кор выветривания и последующим переотложением продуктов разрушения. Ту же точку зрения высказали Г.И.Ратникова (1982), изучившая петрографические особенности Хубсугульских фосфоритов, и И.Н.Семейкин (1988).

Близкого мнения придерживались А.Л. Яншин и М.А.Жарков (1986), в накоплении хубсугульских фосфоритов основную роль они отводили хемогенному осаждению, а основным источником фосфора считали вулканогенный.

Сторонником хемогенного (вулканогенно-хемогенного) способа осаждения хубсугульских фосфоритов выступал и Н.С.Зайцев (1982; 1992). Фосфор и сопутствующий ему кремнезем по его мнению могли поступать в морской бассейн с речными водами и вместе с подводными вулканическими продуктами из более или менее отдаленных областей (например, из Джидинской зоны).

Ж.Бямба (1987) писал о биогенно-диагенетическом генезисе фосфоритов. Он считал, что хотя главным источником фосфора в Мировом океане был

континентальный снос, но формирование хубсугульских фосфоритов осуществлялось биогенным способом.

И, наконец, работы, проведенные в последние годы в Палеонтологическом институте показали, что все мельчайшие зерна, из которых состоят хубсугульские фосфориты, представляют собою микрожелваки (100-350 мкм в диаметре), сформированные при участии организмов бактериальной организации, скорее всего цианобактерий и пурпурных водорослей. Среди них редко встречаются планктонные формы - уже упоминавшиеся Archaeooides, Tasmanites. Прекрасная их сохранность вызывает удивление. Все они, как и цианобактериальный мат, состоят из фосфата кальция и скорее всего тоже были вторично фосфатизированы. В кембрии известны аналогичные формы с органической стенкой (Келлер, Розанов, *ред.*, 1979, Розанов, Жегалло, 1989; Розанов, 1992; Rozanov, Zhuravlev, 1992, Герасименко *и др.*, 1996). Таким образом, достаточно вероятно, что в придонной части фосфатизировалась вся органика. Это позволило авторам говорить об определяющей роли биологического фактора в генезисе Хубсугульских фосфоритов.

Близкое мнение о происхождении хубсугульских фосфоритов высказывают В.Н.Холодов (1987), Ю.Н.Занин (Миртов *и др.*,1987) и Э.А.Еганов (Школьник,Батурин, *ред.*, 1998).

Характеристика продуктивной толщи и отбор образцов.

Изученные образцы фосфоритов были отобраны из продуктивной фосфоритовой пачки в двух месторождениях: Хубсугульском и Буренханском.

Хубсугульское месторождение протягивается с севера на юг вдоль западного берега оз.Хубсугул. Основное количество фосфорита в нем сосредоточено в средней - продуктивной - пачке хэсэнской свиты, обнажающейся по бортам Хэсэнской синклинали. Согласно данным Ильина (1973, Ильина и Бямбы (1980), Никифорова и др. (1996) она состоит из нескольких пластов фосфорита, разделенных фосфатсодержащими и бесфосфатными известняками, доломитами, кремнистыми доломитами. Наибольшее число фосфатных пластов - до пяти - выявлено на восточном крыле Хэсэнской синклинали. На остальной площади в отдельных пересечениях насчитывается два или три пласта. Наиболее выдержанным являются первый (нижний) пласт мощностью 10-13.0 м, который прослеживается по всей структуре на протяжении 36 км. Пятый (верхний) пласт мощностью 18,5 м протягивается на 18 км. Другие пласты, мощность которых колеблется от 1,5 до 6 м, построены линзовидно, границы пластов постепенные, пласты не выдержаны по простиранию и их корреляция даже по соседним канавам затруднительна. Нижний пласт сложен черными, черно-серыми слоистыми, линзовиднослоистыми карбонатными фосфоритами. Фосфат сконцентрирован в прослоях толщиной 1-2 см или образует различные по величине выделения неправильной или округлой формы. В пластах , лежащих выше, преобладают брекчиевые фосфориты, состящие из обломков и глыб фосфоритов и кремней, заключенных в доломитовом цементе. Верхний пласт пачки повсюду сложен мелкозернистыми фосфоритами карбонатного и карбонатно-кремнистого состава. Карбонатные породы, разделяющие фосфоритовые горизонты, мощностью от 5 до 30 м, имеют серый, желтовато-серый, темносерый или почти черный цвет, иногда

они заключают тонкие прослои черных кремней. Для известняков и доломитов характерна тонкая слоистость, часто неровная, отдельные слойки могут выклиниваться или наоборот раздуваться на небольшом расстоянии, наблюдается срезание слойков, горизонты размыва, волнистые серии, окатыши; встречаются участки бамбуколистных конгломератов, мелкие сингенетические складочки, брекчии из неправильной формы обломков.

Изученные образцы были отобраны на участке Южный Онголик из разведочных канав №№ 7, 15 и 16, где четко прослеживаются первый и пятый пласты фосфоритов. Были просмотрены образцы из обоих пластов и из тонких прослоев фосфоритов в межфосфоритовой пачке. Найденные палеонтологические объекты во всех случаях имеют одно и тоже происхождение. Наилучшая сохранность наблюдается в карбонатных фосфоритах.

Буренханское месторождение располагается в 75 км южнее оз. Хубсугул. Этот район повидимому является обширным сложно построенным останцом позднедокембрийских и кембрийских пород в кровле крупных интрузий, его структура нарушена сильной складчатостью и разломами. Многочисленные выходы пластов фосфоритов часто изолированы друг от друга и ориентированы в самых разнличных направлениях. Здесь, также как на Хубсугульском месторождении, выделяются арасанская, хэсэнская и эрхэлнурская свиты. Основные запасы фосфоритов сосредоточены в хэсэнской свите в горизонте, лежащем в 70-170 м выше ее основания, в нем имеется до семи пластов фосфоритов, мощность одного из них достигает 55 м. В отличие от Хубсугульского на Буренханском месторождении преобладают кремнистые

фосфориты, и гораздо меньше распространены кремнисто-карбонатные и карбонатные разности. Образцы взяты в районе пос.Буренхан из карьера 1-го участка из продуктивной пачки.

В общей сложности было исследовано 150 образцов из Хубсугульского месторождения и 25 образцов из Буренханского месторождения.

Данная работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований - РФФИ - (проекты 96-04-48372, 96-05-64130, 96-64806, 97-05-65069 и 98-05-64765).

Литература

Бушинский Г.В. Древние фосфориты Азии и их генезис. М.: Наука, 266с.,1966.

Бямба Ж. Древние фосфориты Монголии . Литология и полезн. ископаемые, № 1, с. 94-104, 1987.

Виноградов В.И., Луканин А.О. Изотопный состав неодима и стронция в фосфоритах Монголии и Каратау. В кн. Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 1. М.:Недра, с.300-305, 1994

Герасименко Л.М., Гончарова И.В.., Жегалло Е.А., Заварзин Г.А., Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Розанов А.Ю. Ушатинская Г.Т. Процесс минерализации (фосфатизации) нитчатых цианобактерий. Литология и полезные ископаемые, № 2, с.208-214, 1996.

Герасименко Л.М., Гончарова И.В., Заварзин Г.А., Жегалло Е.А., Почтарева И.В., Розанов А.Ю., Ушатинская Г. Т. Динамика высвобождения и поглощения фосфора цианобактериями. В сб. Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: Недра. Вып.1 с. 348-353, 1994.

Донов Н.А., Едемский Е.В., Ельянов А.А.,Ильин А.В., Музалевский М.М. Кембрийские фосфориты Монгольской народной республики. Советская геология. № 3, с.55-60, 1967.

Жмур С.И., Розанов А.Ю., Горленко В.М. Литифицированные остатки микроорганизмов в углистых хондритах. Геохимия, № 1 с. 66-68, 1997.

Жмур С.И., Горленко В.М., Розанов А.Ю., Жегалло Е.А., Лобзова Р.В. Цианобактериальная бентосная система-продуцент углеродистого вещества шунгитов нижнего протерозоя Карелии. Литология и полезные ископаемые, №2, с. 122-124, 1993.

Жмур С.И., Бурзин М.В., Горленко В.М. Цианобактериальные маты и формирование углеродистых пород докембрия. Литология и полезные ископаемые, № 2, с. 206-214, 1995.

Жмур С.И. Цианобактериальное бентосное сообщество- основной продуцент органического вещества морских высокоуглеродистых биолитогенных пород. В кн. Проблемы доантропогеновой эволюции биосферы. М.: Наука, с. 294-303, 1993.

Журавлева З.А. Возраст и корреляция древних отложений Северо-Западной Монголии. Изв. АН СССР. Сер.геол., № 12, с.73-76, 1974.

Зайцев Н.С. Хубсугульские фосфориты Монголии. Природа, № 3, с.92-101, 1982.

Зайцев Н.С. Древняя фосфоритоносная формация Монголии. Советская геология, № 1, с. 71-79, 1992.

Ильин А.В., Журавлева И.Т. О границе кембрия и докембрия в Прикосоголье (МНР). Доклады АН СССР. Т.182, № 5, с.1164-1166, 1968.

Ильин А.В. Хубсугульский фосфоритовый бассейн. М.: Наука, 167с., 1973.

Ильин А.В. Древние фосфоритоносные бассейны. М.: Наука, 175с., 1990.

Ильин А.В., Бямба Ж. Путеводитель экскурсии "Фосфориты Хубсугульского бассейна в МНР", 3-я полевая конф. проекта 156. 17-28 июня 1980. М.: Геологический институт АН СССР, 20 с., 1980.

Келлер Б.М., Розанов А.Ю. (отв.ред.) Палеонтология верхне-докембрийских и кембрийских отложений Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 209 с., 1979.

Коробов М.Н. Биостратиграфия и полимерные трилобиты нижнего кембрия Монголии. М.: Наука, 202 с., 1989.

Коробов М.Н. Биостратиграфия кембрия и миомерные трилобиты нижнего кембрия Монголии. В кн.: Биостратиграфия нижнего кембрия и карбона Монголии. М.: Наука, с. 5-108., 1980.

Крылов И.Н., Орлеанский В.К. Лабораторная модель образования карбонатных корок в водорослево-бактериальных пленках (искусственные строматолиты и онколиты). Известковые водоросли и строматолиты. Новосибирск, Наука, СО АН СССР, с.4-12б 1988.

Лувсанданзан Б., Розанов А.Ю. О возрасте древних фосфоритов Азии. Докл. АН СССР, Геология. Т.277, № 1, с.164-167, 1984.

Миртов Ю.Ф., Занин Ю.Н. и др. Ультрамикроструктура фосфоритов (атлас фотографий). М.: Наука, 223 с., 1987.

Никифоров К.А., Осокин П.В., Амгалан Ж., Тоголдор Н. Хубсугульский фосфоритоносный бассейн. Улан-Удэ, БНЦ СО АН РАН, 65 с., 1995.

Рагозина А.Л. Цианобактериальные маты в древних фосфоритах Монголии В кн.: Фауна и экосистемы геологического прошлого. М.: Наука, с.33-36, 1993.

Ратникова Г.И. Петрография Хубсугульских фосфоритов. В сб. Геология месторождений фосфоритов и проблемы фосфоритообразования. Новосибирск, Изд-во ИГиГ СО АН СССР, с. 110-113, 1982.

Репина Л.Н. Экотипы оленеллоидных трилобитов и их распространение в переходном типе разреза (Сибирская платформа). Сб. Среда и жизнь в геологическом прошлом. Палеоландшафты и биофации. Наука, СО, Новосибирск, с.46-60, 1982.

Репина Л.Н., Розанов А.Ю (отв. ред.). Кембрий Сибири. Новосибирск, ВО "Наука", 135 с., 1992.

Розанов А.Ю. Еще раз о древних фосфоритах Монголии. Советская геология, № 1, с. 79-81, 1992.

Розанов А.Ю., Миссаржевский В.В. Биостратиграфия и фауна нижних горизонтов кембрия. М.: Наука, 127 с., 1966.

Розанов А.Ю., Миссаржевский В.В., Волкова Н.А. и др. Томмотский ярус и проблемы нижней границы кембрия. М.: Наука, 380 с., 1969.

Розанов А.Ю., Соколов Б.С. (отв.ред.) Ярусное расчленение нижнего кембрия. Стратиграфия. М.: Наука, 184 с., 1984.

Розанов А.Ю., Жегалло Е.А. К проблеме генезиса древних фосфоритов Азии. Литология и полезные ископаемые, № 3, с. 67-82., 1989.

Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология. Вестник РАН, Т.67, № 2, с. 109-113, 1997.

Семейкин И.Н. Строение разрезов позднедокембрийской фосфоритоносной формации Восточного Саяна и их корреляция с разрезом Хубсугульского месторождения МНР. В сб. "Геология месторождений фосфоритов и проблемы фосфоритообразования. Новосибирск, Изд-во ИГиГ СО АН СССР, с.99-110, 1982.

Соколов Б.С. (отв.ред.) Фанерозой Сибири. Т.1, Венд, палеозой. Новосибирск , Наука, 190 с., 1984.

Хоментовский В.В., Репина Л.Н. Нижний кембрий стратотипического разреза Сибири. М.: Наука, 200с., 1965.

Школьник Э.Л., Батурин Г.Н.(отв.ред.) Фосфатные зерна зернистых фосфоритов крупнейших фосфоритоносных бассейнов мира. Владивосток, Наука, 1998, (в печати).

Яншин А.Л. Перспективы и научные проблемы поисков калийного и фосфатного сырья в Сибири. Бюлл. МОИП, Отд. геол. Т. 39, № 5, с. 3-30, 1964.

Яншин А.Л. Эволюция геологических процессов и фосфориты пограничных слоев докембрия-кембрия. В кн. Геология месторождений фосфоритов и проблемы фосфоритообразования. Новосибирск. изд-во ИГиГ СО АН СССР, с.13-14, 1982.

Яншин А.Л., Жарков М.А. Фосфор и калий в природе. Новосибирск, Наука, 189 с., 1986.

Brasier M.D. Phosphogenic events and skeletal preservation across the Precambrian-Cambrian boundary interval . Phosphorite Research and Development, eds. Norholt, A.J.G & Garvis J. Geol.Soc.Spec. Publ., No 52. p. 289-303, 1990.

Brasier M.D. Paleooceanography and changes in the Biological Cycling of Phosphorus across the Precambrian-Cambrian boundary. Origin and Early Evolution of the Metazoa. Eds. Lipps J.H. & Signor Ph.W. Plenum Press, New York, pp. 483-523, 1992.

Briggs D.E.G., Kear A. J., Martill D.M., Wilby P.R. Phosphatization of soft-tissue in experiments and fossils. Journ.of the Geol.Soc. London., Vol.150, No 6, pp. 1035-1038, 1993.

Cook J.R., Shergold J.H. (eds.) Proterozoic-Cambrian phosphorites. Australian National University Press. Canberra, 1-17, 1979.

Evans d.A., Zhuravlev A.Yu., Budney C.J., Kirschvink J.L. Paleomagnetism of the Bayan Gol Formation, western Mongolia. Geol. Mag. V.133, N 4, pp.487-496, 1996.

Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. Cyanobacterial mats and mineralization of cyanobacteria. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.254-263, 1998.

Goncharova I.V., Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Ushatinskaya G.T. Formation of Mineral Phosphate Microtubes in the Presence of Halophilic Cyanobacterium Microcoleus chthonoplastes. Current Microbiology, V. 27, pp.187-190. 1993.

Hoover R.B. Meteorites, Microfossils and Exobiology. Instruments, Methods, and Missions for Extraterrestrial Microorganisms. Proc. SPIE, 3111, pp. 115-136, 1997.

Hoover R.B., Rozanov A.Yu., Zhmur S.I., Gorlenko V.M. Further Evidence of Microfossils in Carbonaceous Chondrites. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.203-216, 1998.

Ilyin A.V. Rare-earth geochemistry of "old" phosphorites and probablity of syngenetic precipitation and accumulation of phosphorite. Chemical geology. V. 144. Netherlands. 1997.

Jones B., Renaut R.W., Rosen M.R. Microbial biofacies in hot-spring sinters: a model based on Ohaaki Pool, North Island, New Zealand. Journal Sedimentary Research, V. 68, N 3, , pp. 413-443, 1998.

Kirschvink J.L., Rozanov A.Yu. Paleomagnetism of fossiliferous Lower Cambrian Sediments: new results from the Tommotian stage of the Siberian Platform. Internat. Union. of Geology and Geophysics XVII General Assembly, Abstracts, Canberra, p.508, 1979.

Kirschvink J., Rozanov A.Yu. Magnetostratigraphy of Lower Cambrian strata from the Siberian platform: a paleomagnetic pole and a preliminary polarity time-scale. Geol. Mag. V. 121, No.3, pp. 189-203,1984.

Kirschvink J., Budney C., Zhuravlev A. Magnetostratigraphy of the Precambrian-Cambrian reference section near Salany-Gol, Western Mongolia: comparision with the Siberian Platform. CSA Abstract with programme, Vol. 19, No.1, 1987.

Kirschvink J., Magaritz M., Ripperdan R.L., Zhuravlev A.Yu., Rozanov A.Yu. The Precambrian- Cambrian boundary, Magnetostratigraphy and Carbon isotopes resolve correlation problems between Siberia. Morocco and South China. GSA Today. V. 1, pp.69-71, 87, 91, 1991.

Lucas, J., Prevot L. Syntese de l'apatite par voie Bacterienne a partir, de matiere organique phosphatee et de divers carbonates de calcium dans des eaux douce et marine naturelles. Chemical Geol., No 42, pp.101-118, 1984.

McKay D.S., Gibson E.K., Thomas-Keprta Jr. K.L., Vali H., Romanek S., Clemett S.J., Chillier X.D.F., Maechling C.R., Zare R.N. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH 84001. Science 273, pp.924-930, 1996.

McKay D.S., Rozanov A.Yu., Hoover R.B., Westall F. Phosphate Biomineralization of Cambrian Microorganisms. Proc. SPIE, Vol.3441, p.170-176, 1998.

Rozanov A.Yu. The Cambrian Lower Boundary Problem. Geol. Mag., V. 104. N. 5, pp. 415-434, 1967.

Rozanov A.Yu., Zhuravlev A.Yu. The Lower Cambrian Fossil Record of the Soviet Union. Origin and Early Evolution of the Metazoa. Ed. J. Lipps and p. Signor. Plenum Press. N.York-London, pp. 205-281, 1992.

Rozanov A.Yu., Zavarzin G.A. Bacterial Paleontology. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.218-224, 1998.

Westall F., Gobbyi P., Mazzotti G., Gerneke D. et al. Combined SEM (Secondary electrons, backscatter, cathodoluminescence) and atomic force microscope Investigation of fracture surfaces in Martian meteorite ALH84001: preliminary results. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.225-233, 1998.

Yushkin N.P. Natural polymer crystals of hydrocarbons as models of prebiological organisms. Journ. of Crystal Growth, 167, pp.237-247, 1996.

Yushkin N.P. Hydrocarbon crystals as protoorganisms and biological systems predecessors. Proceedings of SPIE, Vol.3441, pp.234-246, 1998.

Explanation of the Photomicrographs

Объяснения к фотографиям

Figs.1-13 - SEM photomicrographs of recent halophilic cyanobacterial mat consisting of filamentous, coccoidal and ovoidal cyanobacteria and purple bacteria forms and from the Cambrian Khubsugul phosphorites with phosphatized microorganisms that exhibit similar form and size to the recent cyanobacterial mat microorganisms.

Фиг.1-13 - Ниже приводятся фотографии, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа с одной стороны - современного галофильного цианобактериального мата, состоящего из нитевидных, коккоидных и овоидных форм цианобактерий и из пурпурных бактерий, а с другой - кембрийских Хубсугульских фосфоритов, в которых присутствуют образования по форме и по размерам очень похожие на организмы из современного цианобактериального мата.

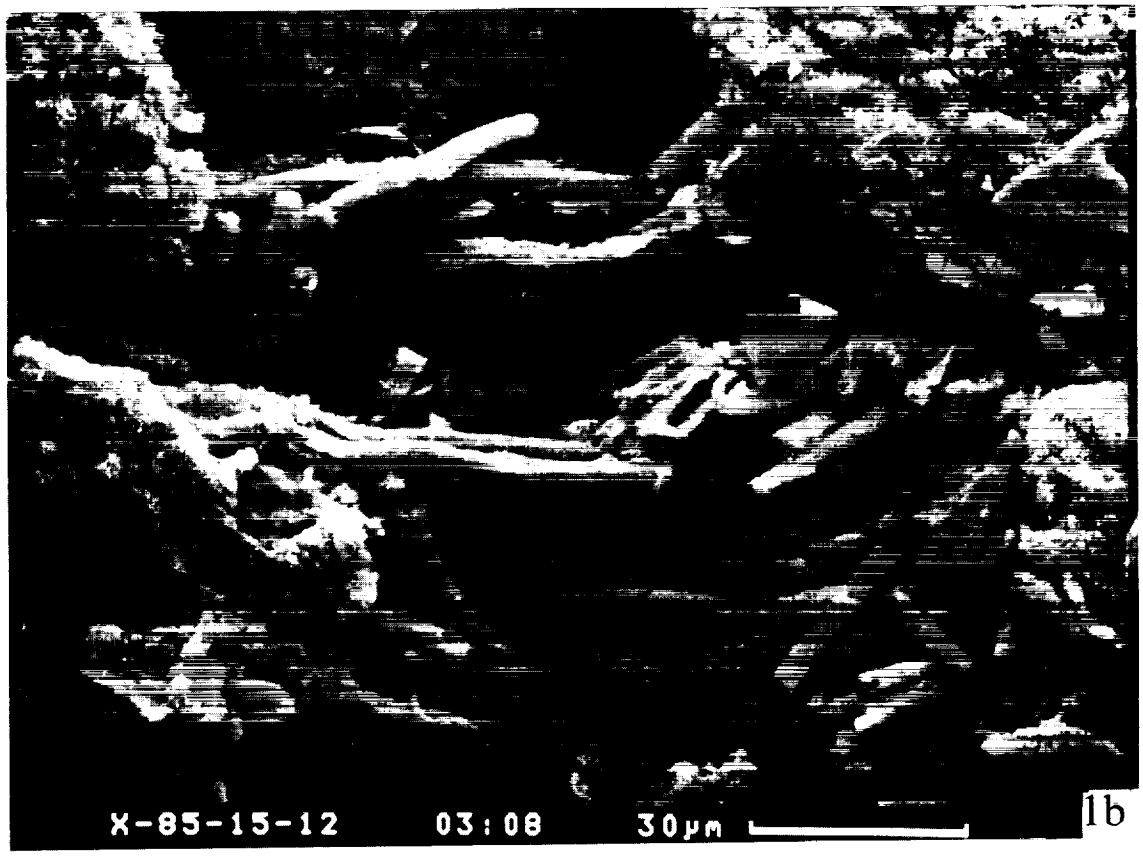
Fig.1a. Recent halophilic mat. The separate trichomes and trichome bundles of *Microcoleus chthonoplastes* (Fl. Dan.) Thur.

Фиг.1a. Современный галофильный мат. *Microcoleus chthonoplastes* (Fl.Dan.)Thur. представлен как отдельными нитями, так и в виде тесно переплетающихся жгутов.

Fig.1b. The fragments of phosphatized cyanobacterial filaments of *Syphonophycus* (possible ancient analog of *Microcoleus*) from Khubsugul phosphorite.

Фиг.1b. Фрагменты фосфатизированных нитей цианобактерий *Syphonophycus* (вероятно, древний аналог *Microcoleus*) из Хубсугульских фосфоритов .

1a



1b

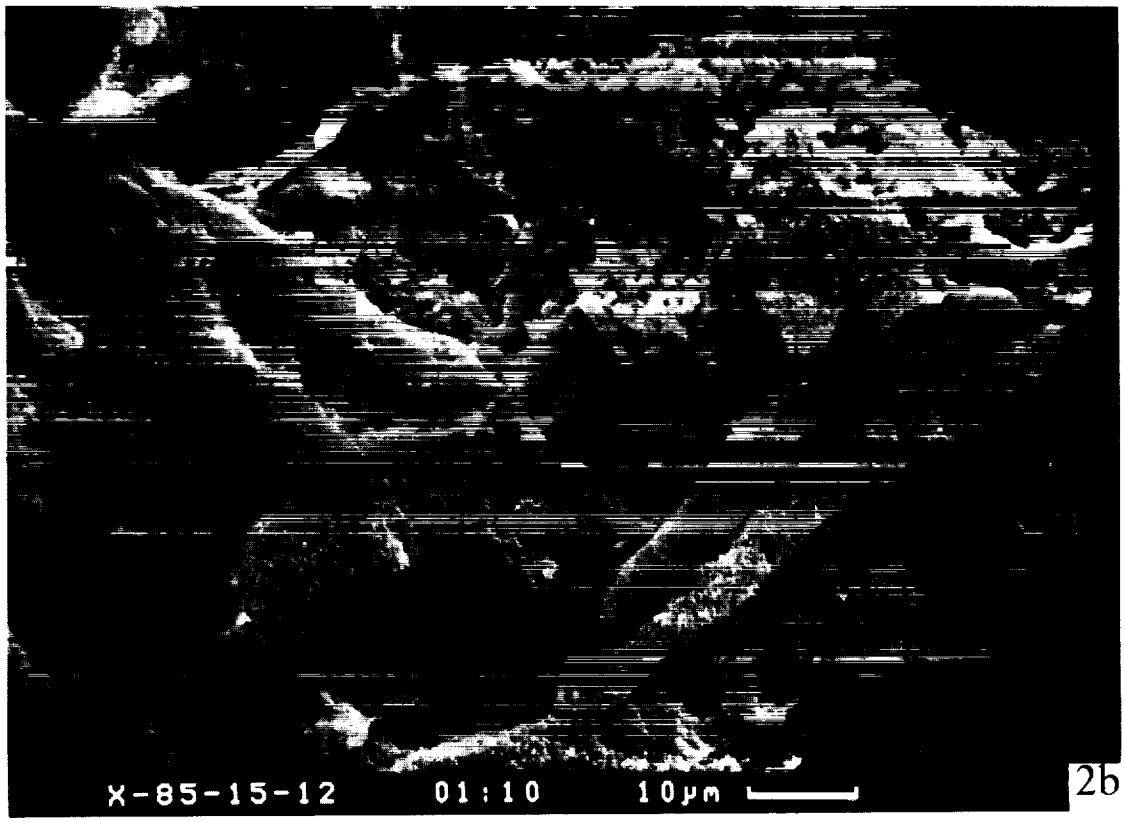
Fig.2a. Recent halophilic mat. The occurrence of many trichomes within a common sheath is characteristic of *Microcoleus spp.*

Фиг.2а. Современный галофильный мат. Несколько нитей одеты одним общим слизистым чехлом.

Fig.2b. Phosphatized cyanobacterial filaments of *Syphonophycus* from Khubsugul phosphorite.

Фиг.2b. Фосфатизированные нити цианобактерий *Syphonophycus* из Хубсугульских фосфоритов.

2a



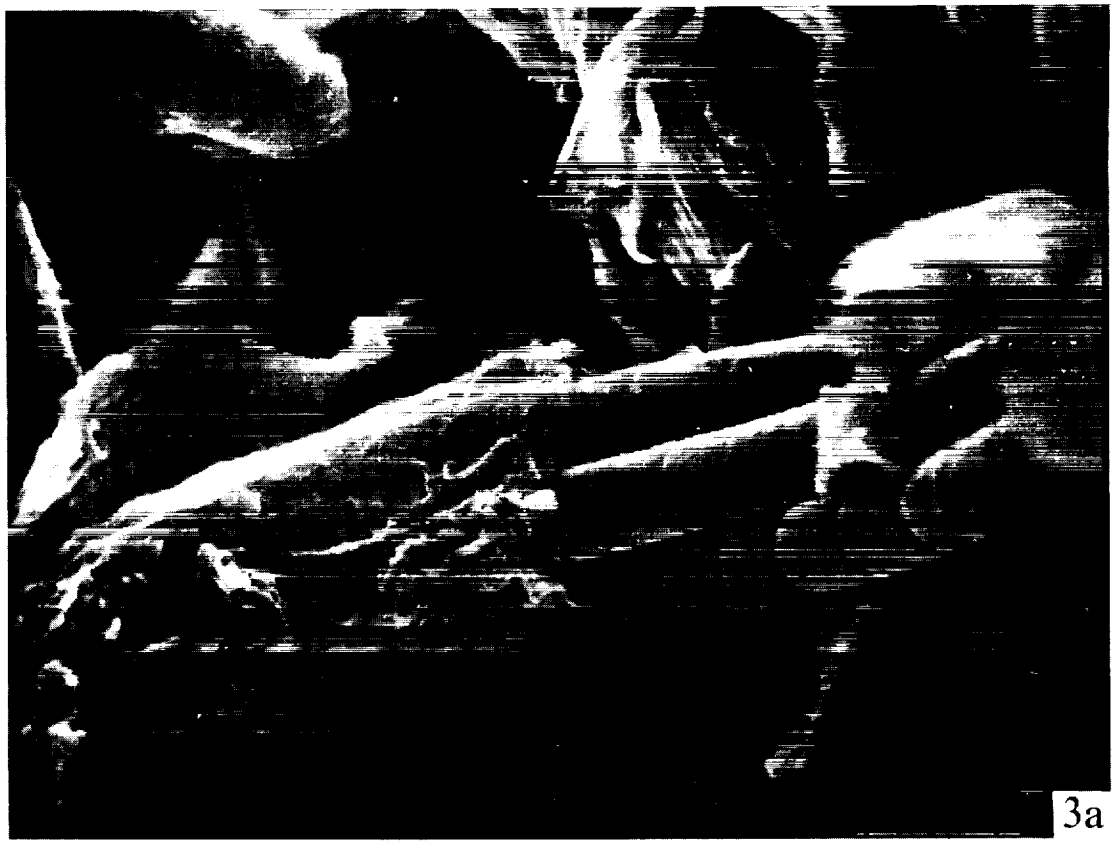
2b

Fig.3a. Recent halophilic mat. Trichomes of *Microcoleus chthonoplastes* crawl from sheath. Individual cells can be seen.

Фиг.3а. Современный галофильный мат .“Выползание” нитей (трихомов) *Microcoleus chthonoplsastes* из слизистого чехла. На трихомах различимы отдельные клетки.

Fig.3b. Possible remains of sheaths with several cyanobacterial trichomes in Khubsugul phosphorite.

Фиг.3b. Вероятно, остатки чехлов, заключавших по несколько нитей цианобактерий из Хубсугульских фосфоритов.



3a

3b

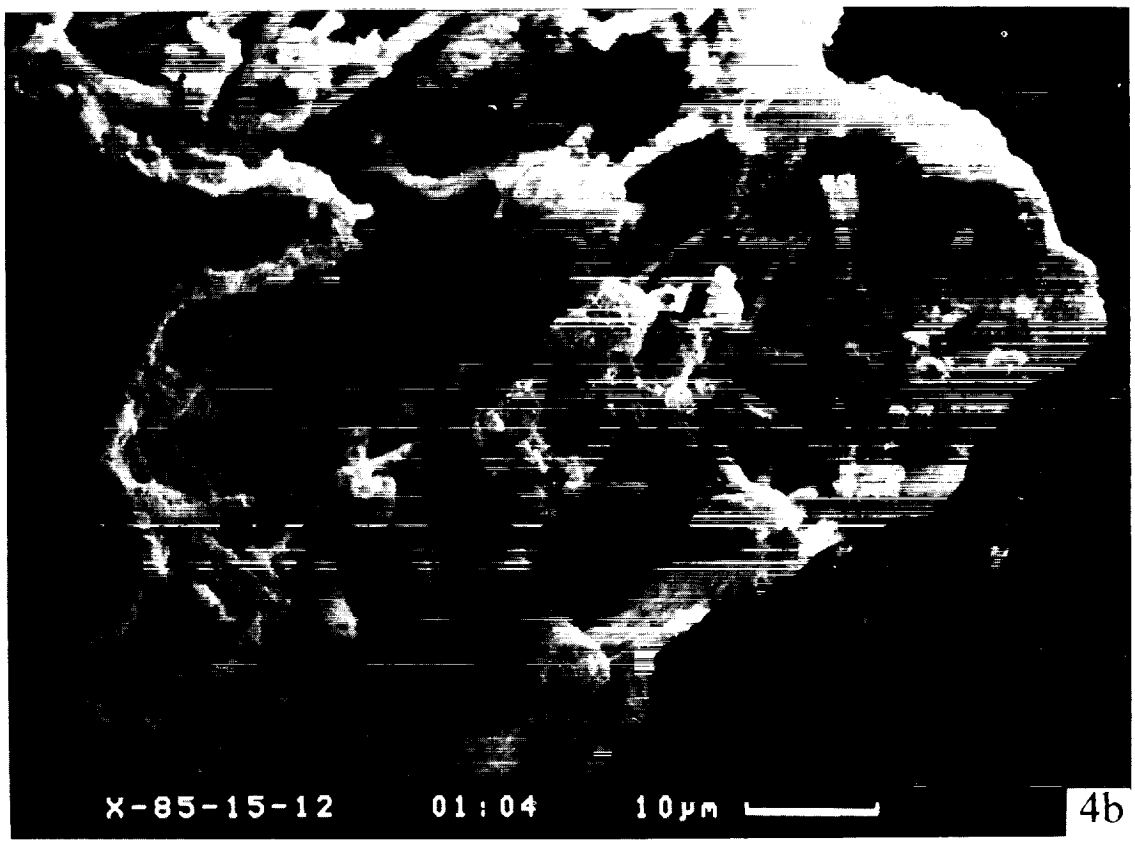
Fig.4a. Recent halophilic mat. Trichomes of *Microcoleus* and other cyanobacteria in the slime of cyanobacterial mat from Sivash lagoon, Crimea.

Фиг.4а. Современный галофильный мат . В слизи видны нити *Microcoleus* и другие цианобактерии из цианобактериального мата, лагуна Сиваш, Крым.

Fig.4b. Phosphatized cyanobacteria *Syphonophycus* with filaments of different diameters from Khubsugul phosphorite.

Фиг.4b. Фосфатизированные цианобактерии *Syphonophycus* с разным диаметром нитей из Хубсугульских фосфоритов.

4a



4b

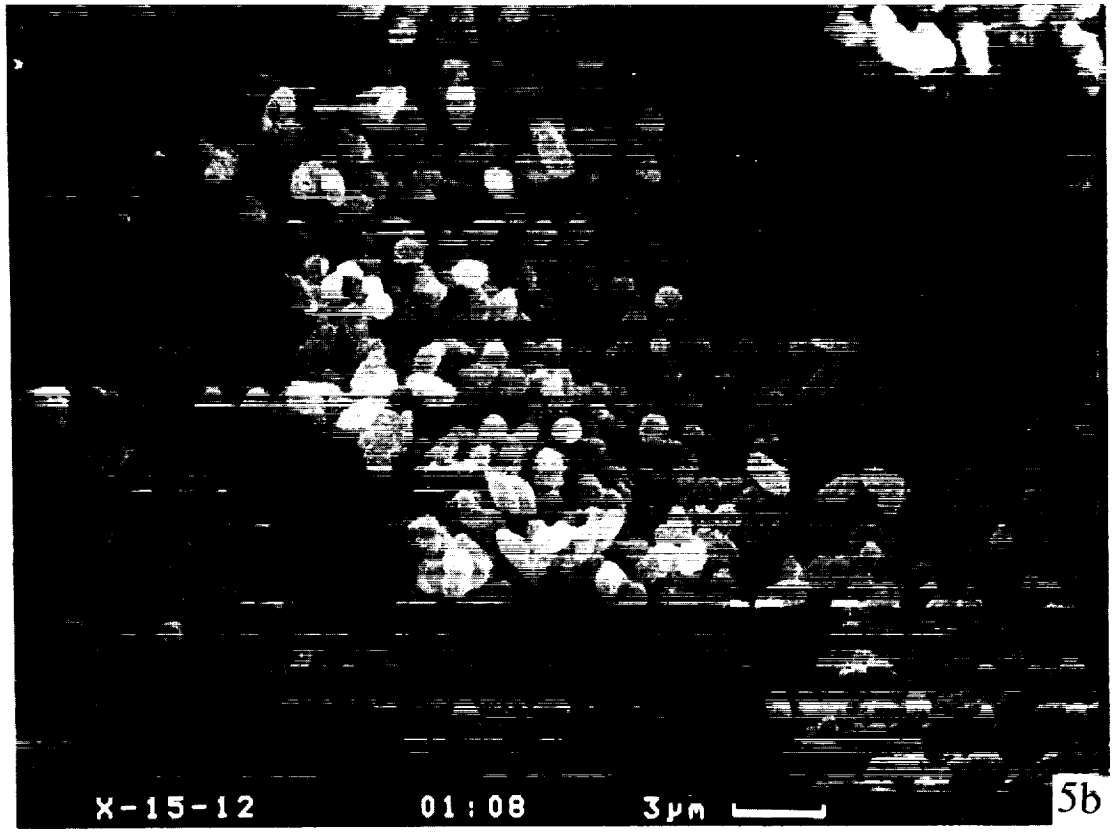
Fig.5a. Recent alkaliphilic mat. Cells of alkaliphilic cyanobacterium *Synechocystis salina* Wisl.

Фиг.5а. Современный щелочной мат. Клетки алкалофильной цианобактерии *Synechocystus salina* Wisl.

Fig.5b. Concentration of pseudomorphs of bacterial cells in Khubsuul phosphorite.

Фиг.5b. Скопление псевдоморфоз по бактериальным клеткам из Хубсугульских фосфоритов.

5a



5b

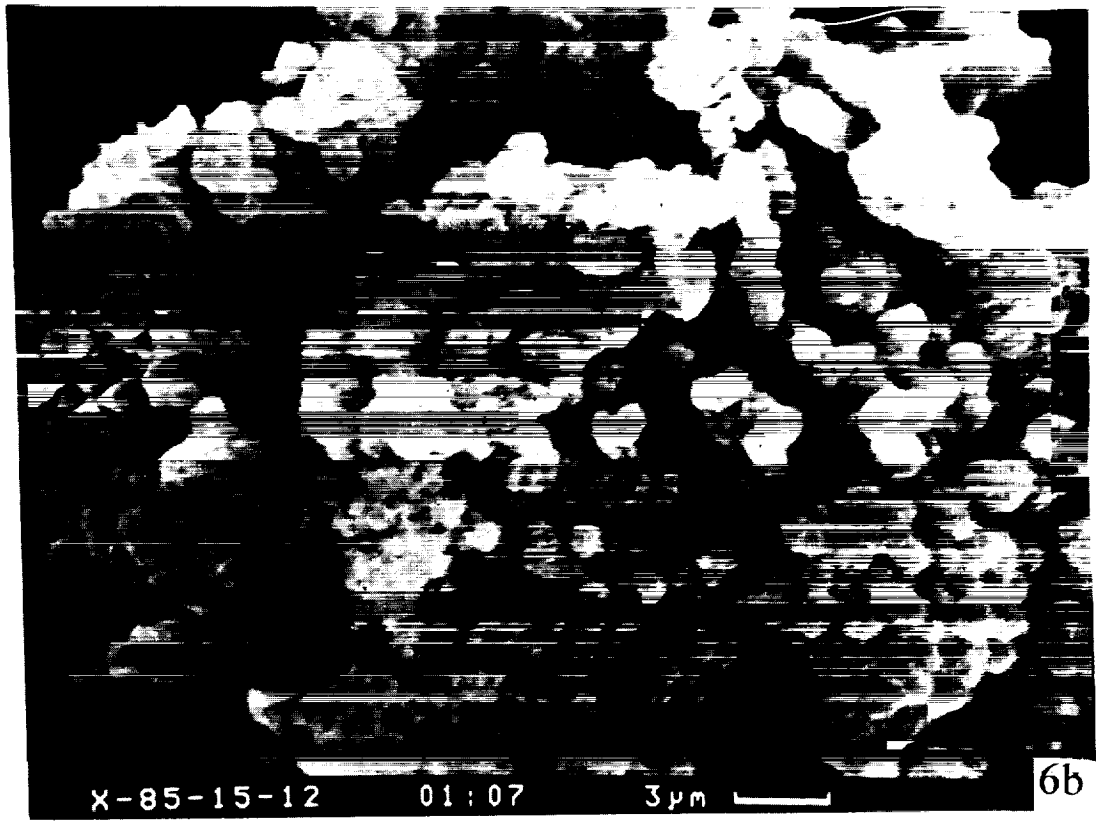
Fig.6a. Recent alkaliphilic mat (upper layer). Polymorphous cells of cyanobacterium *Rhabdoderma lineare* Schmidle et Laut., emend. Hollerb.

Фиг.6а. Верхний слой современного щелочного мата. Цианобактерия *Rhabdoderma lineare* Schmidle et Laut., emend., Hollerb. с характерным для рода полиморфизмом клеток.

Fig.6b. Concentration of pseudomorphs of phosphatized bacterial cells from Khubsugul phosphorite

Фиг.6b. Скопление псевдоморфоз по бактериальным клеткам из Хубсугульских фосфоритов.

6a



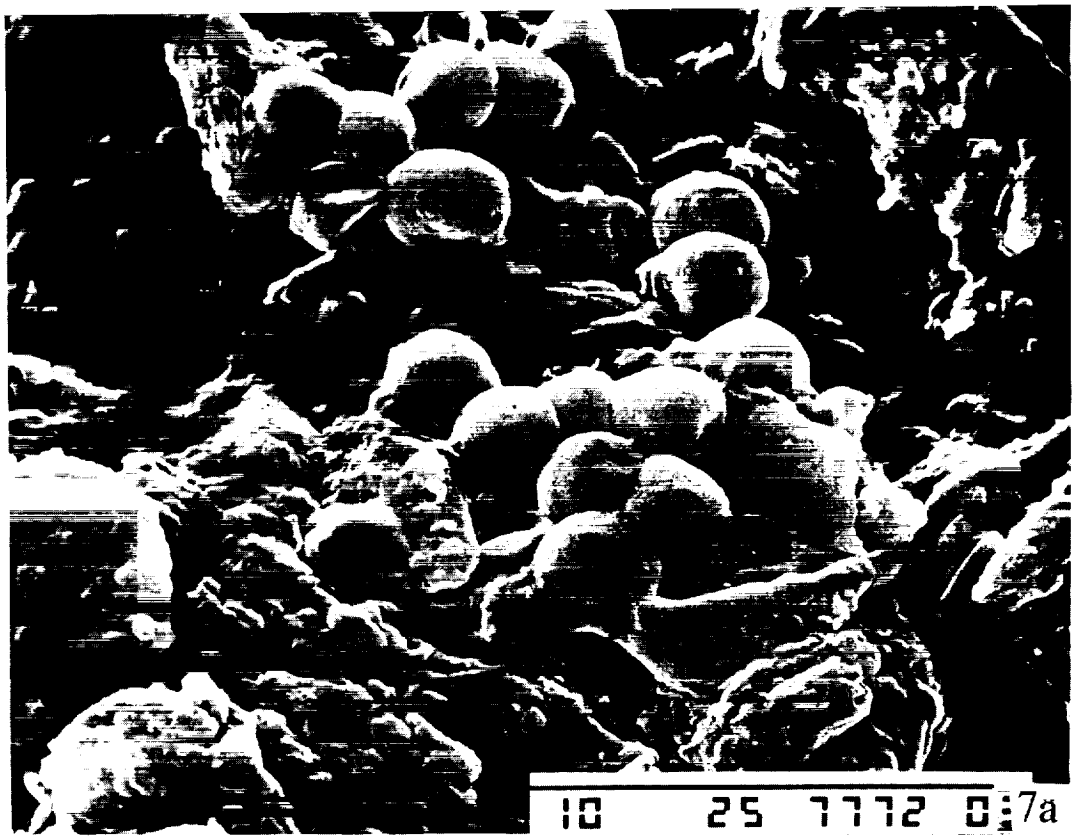
6b

Fig.7a. Recent halophilic mat. Purple bacteria *Thiocapsa.*

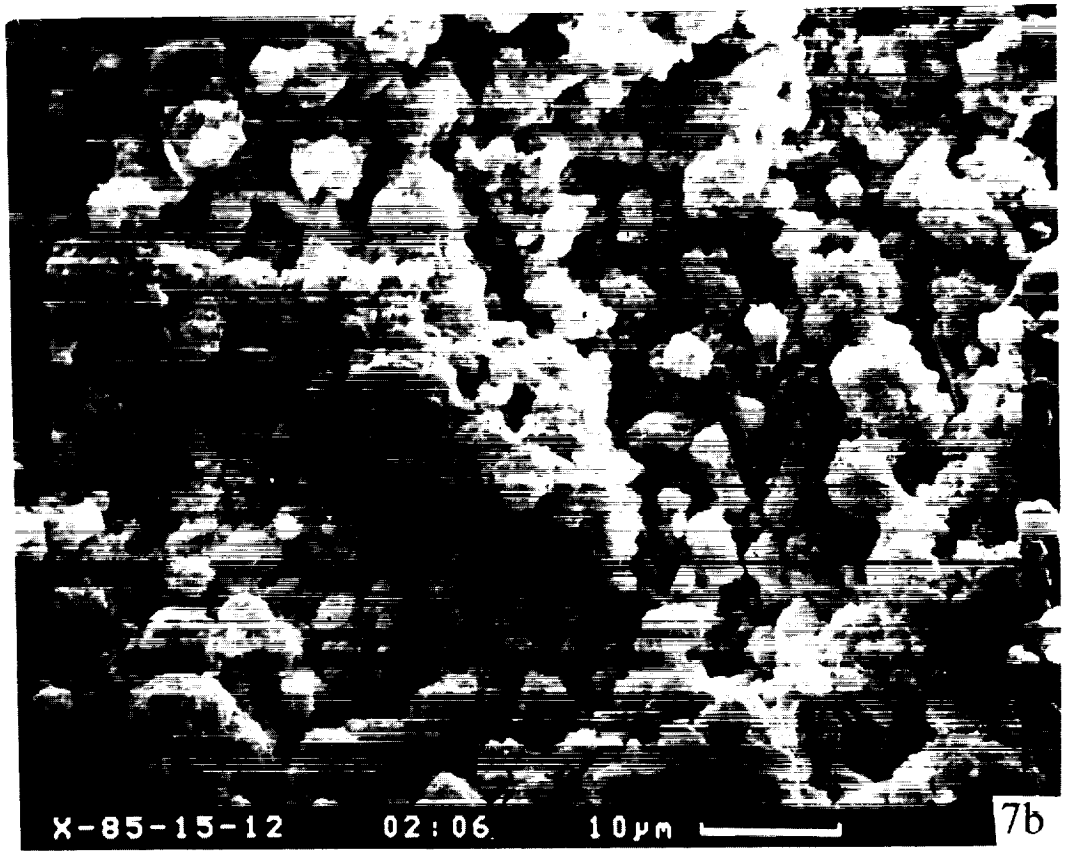
Фиг.7а. Современный галофильный мат. Слой пурпурных бактерий из рода *Thiocaspa.*

Fig.7b. Concentration of pseudomorphs of bacterial cells (probably purple bacteria) from Khubsugul phosphorite.

Фиг.7b. Скопление псевдоморфоз по бактериальным клеткам, возможно, пурпурных бактерий из Хубсугульских фосфоритов.



7a



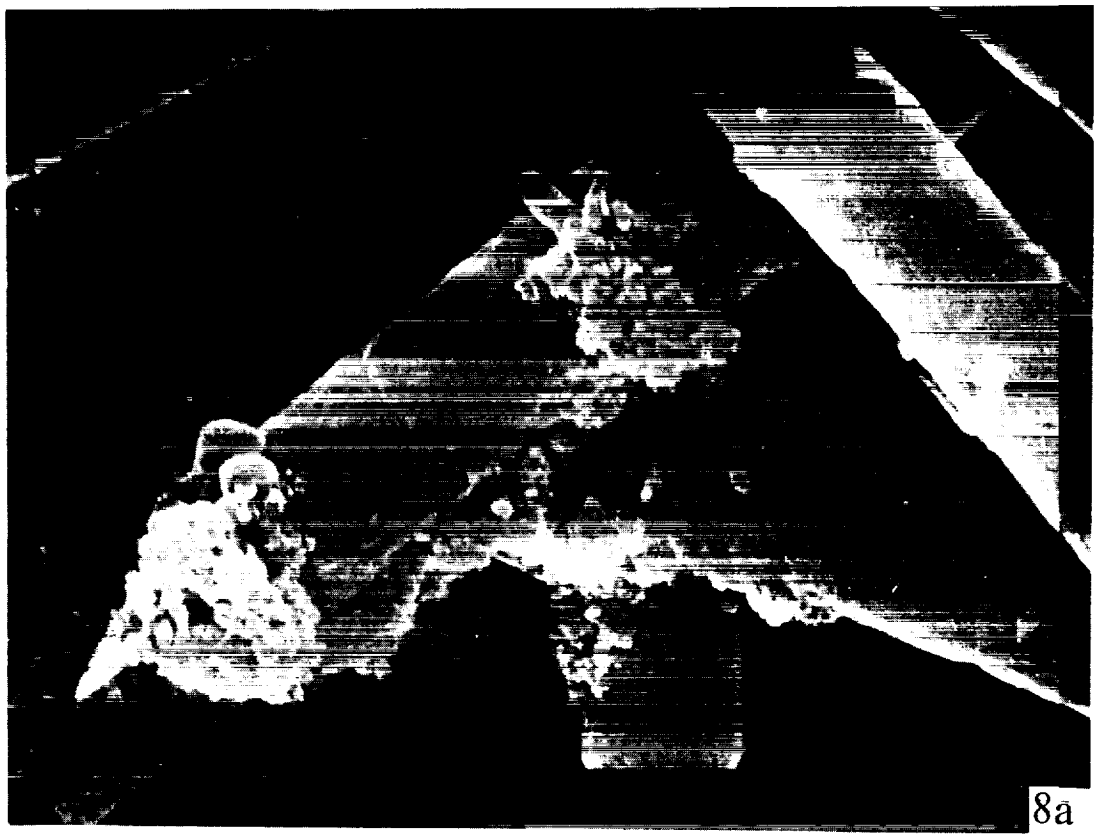
7b

Fig.8a. Beginning of mineralization of *Microcoleus chthonoplastes* in Laboratory. Some minerals and bacteria are seen near cell walls.

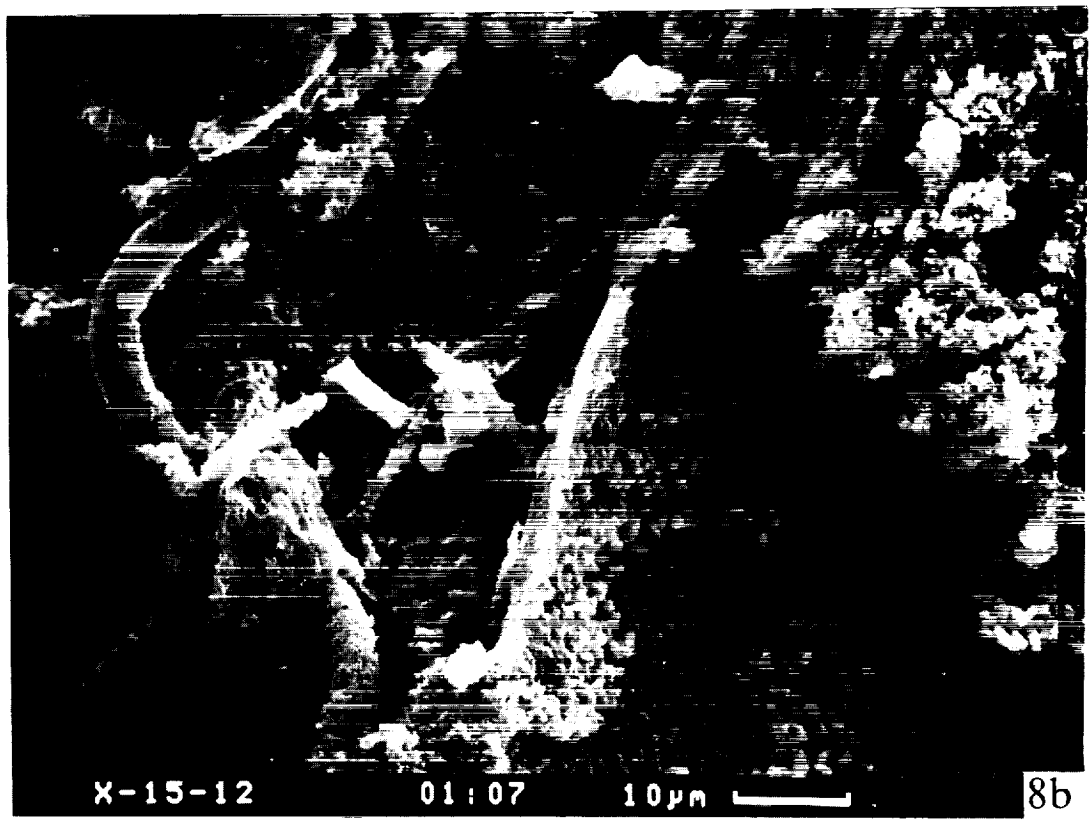
Фиг.8а. Фосфатизация нитей *Microcoleus chthonoplastes* в лабораторных условиях. Минерализация трихома начинается, как правило, около клеточных перегородок, где чаще всего происходит повреждение клеточных стенок. Здесь отмечено появление бактерий.

Fig.8b. Phosphatized cyanobacterial filaments (at the left) and concentration of pseudomorphs of purple bacteria (?) (at the right) in Khubsugul phosphorite..

Фиг.8b. Фосфатизированные нити цианобактерий (слева) и скопление псевдоморфоз по пурпурным бактериям (?) (справа) из Хубсугульских фосфоритов.



8a



8b

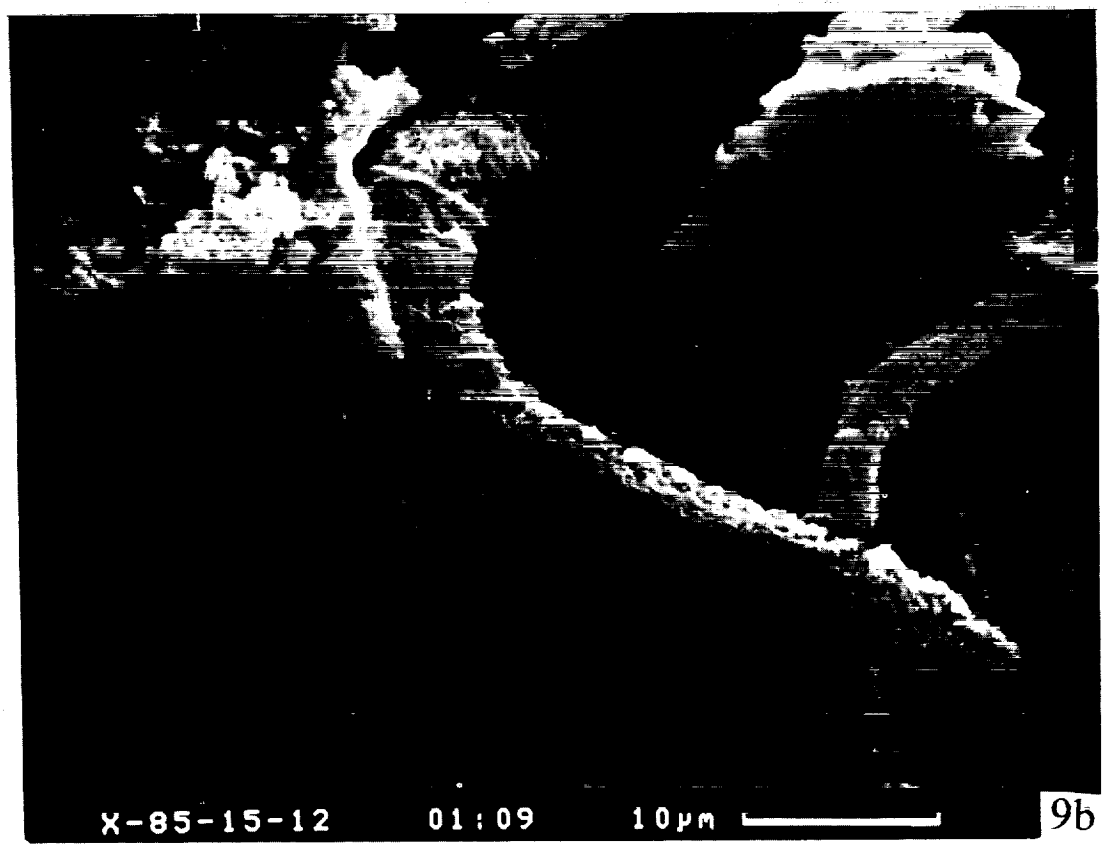
Fig.9a. Different stages of phosphatization of trichomes of *Microcoleus chthonoplastes*: separate spherulites (in center), spherulite concentration (at the right) at the trichome surface; phosphatized sheath (at the top).

Фиг.9а. Различные стадии фосфатизации нитей *Microcoleus chthonoplastes;* отдельные глобулы (в центре), скопление глобул фосфата (справа), фосфатизация слизистого чехла (вверху).

Fig.9b. Phosphatized cyanobacterial filaments from Khubsugul. Individual fossilized cells (?) can be seen.

Фиг.9b. Фосфатизированные нити цианобактерий из Хубсугульских фосфоритов. Можно различить отдельные фосфатизированные клетки (?).

9a



9b

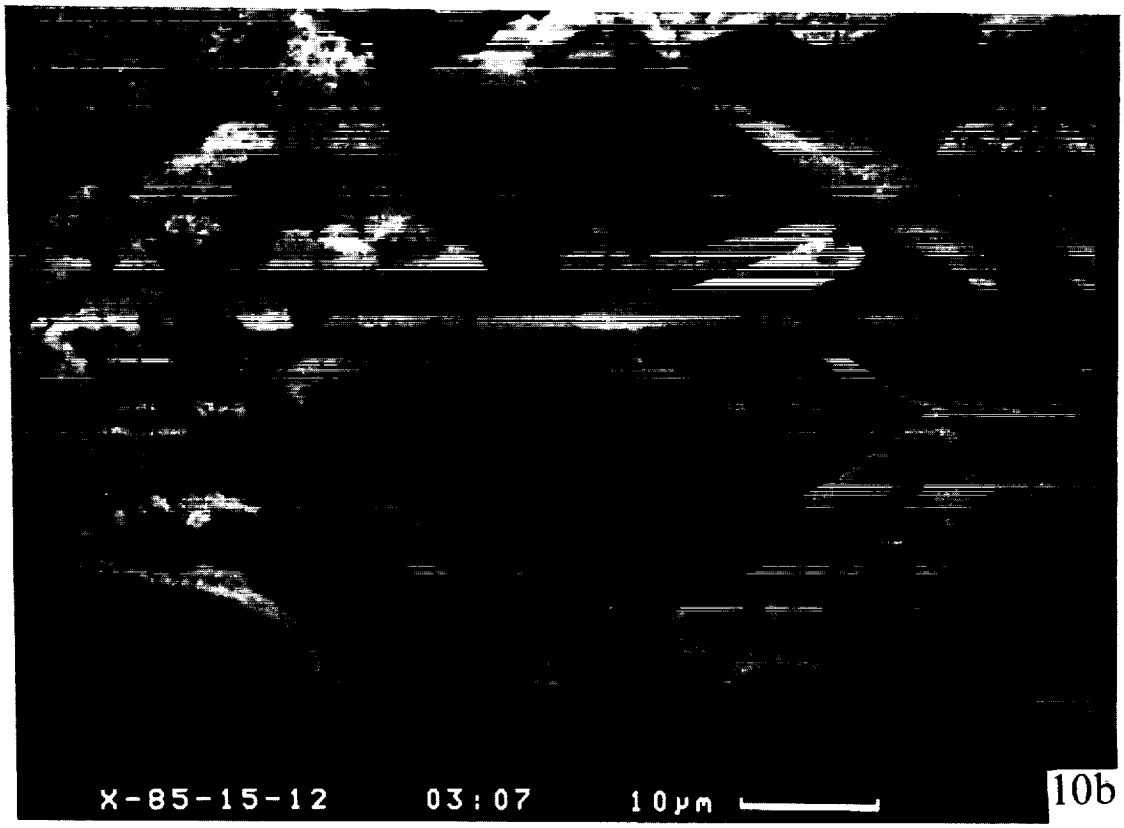
Fig.10a. Phosphatized sheaths of *Microcoleus chthonoplastes* without trichomes. There are some phosphate globules and microtubes at the surface of sheaths.

Фиг.10a. Минеральные чехлы (трубки) *Microcoleus chthonoplastes*, оставшиеся после выхода из них трихомов. На поверхности видны отдельные глобулы и микротрубочки фосфата кальция.

Fig.10b. Phosphatized tubes from cyanobacteria and concentration of pseudomorphs of purple (?) bacteria (at the left) from Khubsugul phosphorite.

Фиг.10b. Фосфатизированные трубки от цианобактерий и скопление псевдоморфоз по пурпурным (?) бактериям (слева) в Хубсугульских фосфоритов.

10a



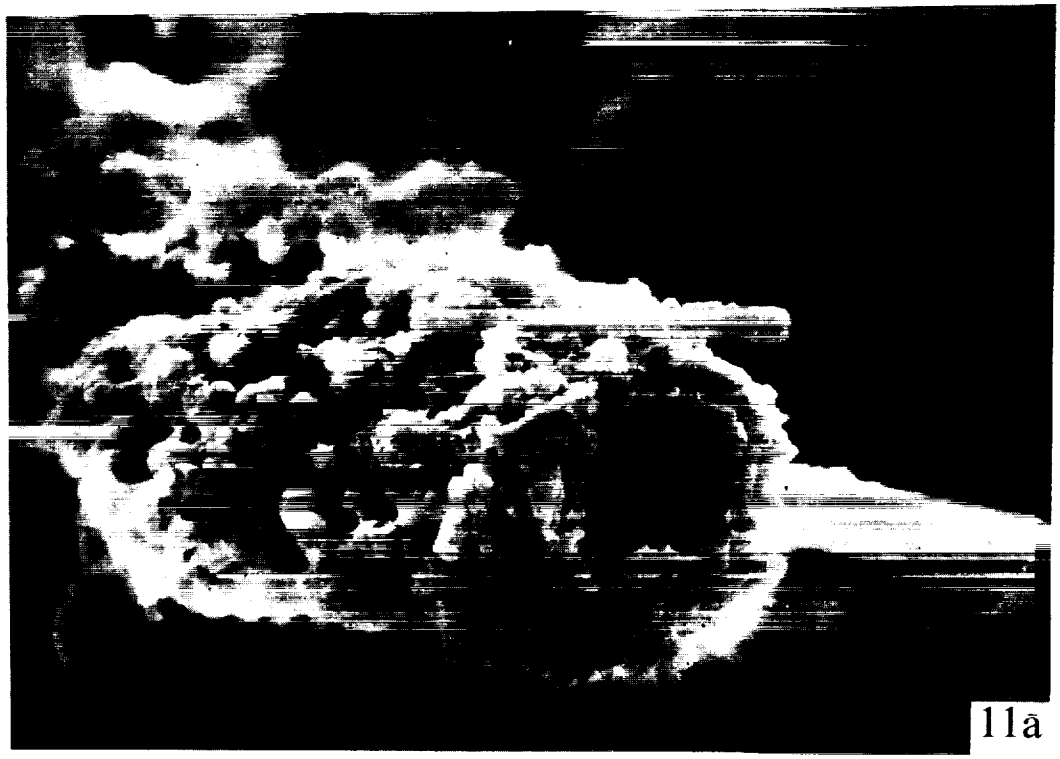
10b

Fig.11a. Mineralized trichome of *Microcoleus chthonoplastes* formed by phosphate globules and microtubes.

Фиг.11a. Фосфатизированный чехол *Microcoleus chthonoplastes*, состоящий из глобул и микротрубочек фосфата кальция.

Fig. 11b. Thin polysaccharide fibrous structure of mucilaginous sheaths of cyanobacteria appearing under unfovorable conditions.

Фиг.11b. Тончайшие полисахаридные фибриллы в слизи, возникающей вокруг нитей цианобактерий при неблагоприятных условиях.



11a

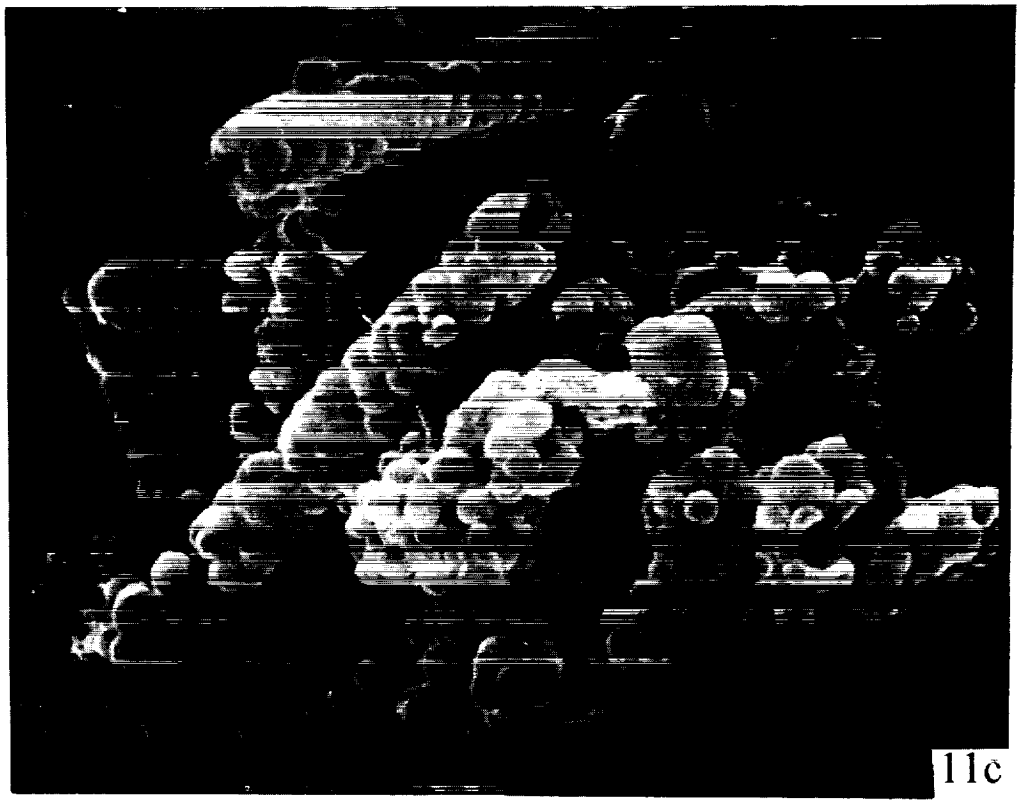
11b

Fig.11c. Microstructure of mineralized tubes: small mineral microtubes consist of spherulites in cross section with a hole in the center.

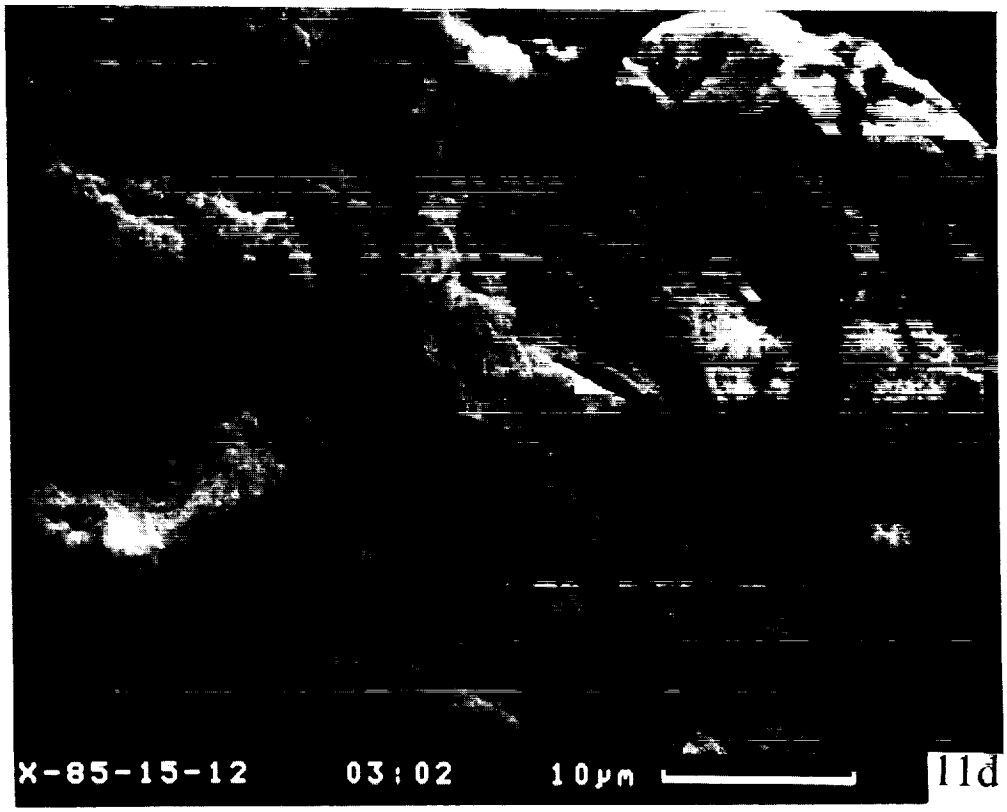
Фиг.11c. Микроструктура минеральной трубочки. Трубочки состоят из очень мелких глобул, окружающих полисахаридные фибриллы. По их центру проходит полая ось.

Fig.11d. Phosphatized tubes of cyanobacteria from Khubsugul phosphorite. It is possible to see very small tubes, possibly analogous to those in figs. 11a and 11c.

Фиг.11d. Фосфатизированные трубки от цианобактерий из Хубсугульских фосфоритов, на которых видны мекие трубочки, вероятно, аналогичные изображенным на фото 11a и 11c.



11c



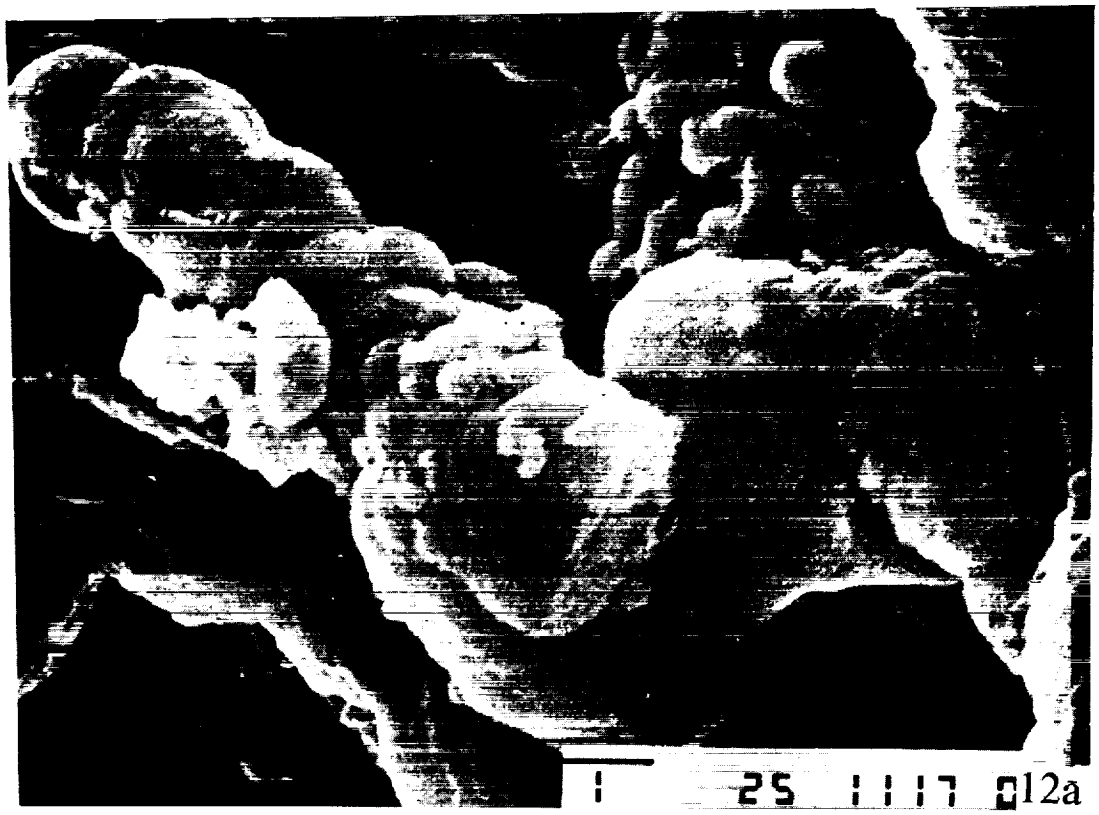
11d

Fig.12a. Phosphatized trichomes of thermophilic cyanobacterium *Mastigocladus laminosus* Cohn. Formation of phosphate macroglobules by small spherulites.

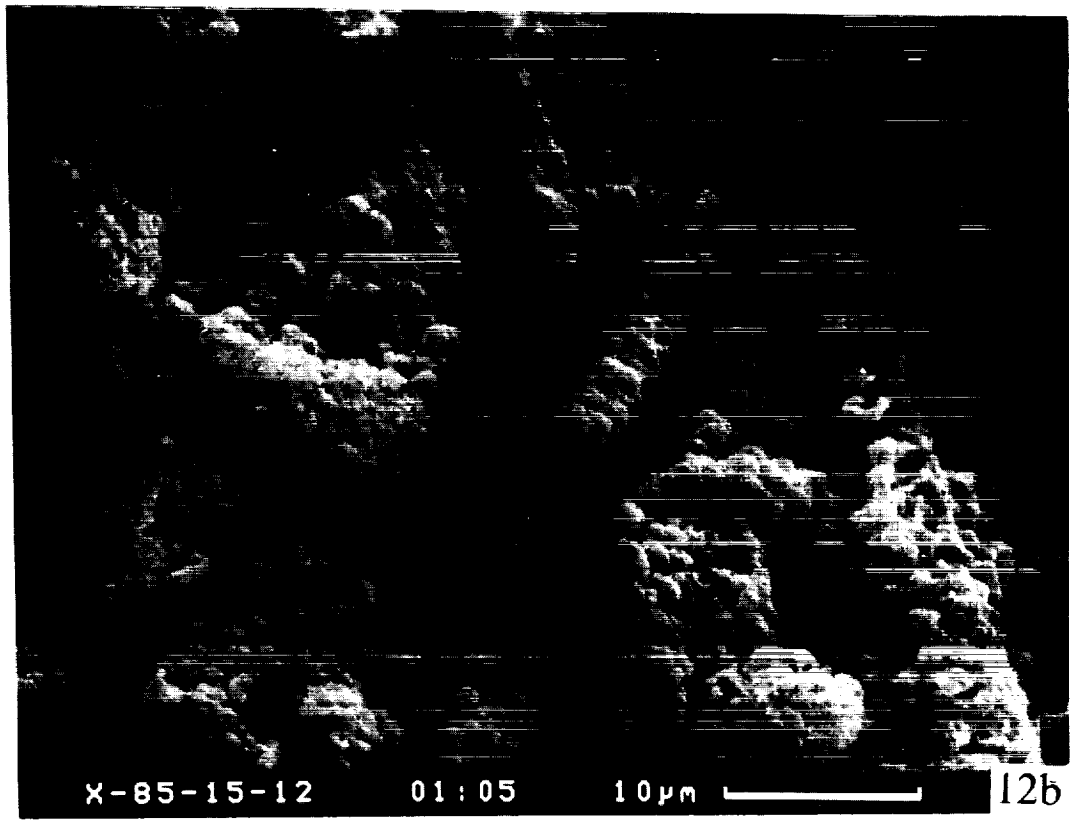
Фиг.12a. Фосфатизация нити термофильной цианобактерии *Mastigocladus laminosus* Cohn. Отдельные микроглобулы фосфата, разрастаясь, образуют глобулы больших размеров.

Fig.12b. Phosphatized bodies of cyanobacteria and bacteria from Khubsugul phosphorite.

Фиг.12b. Тела цианобактерий, замещенные псевдоморфозами по бактериям, возможно, пурпурным из Хубсугульских фосфоритов.



12a



12b

Fig.13a. Trichome bundles of *Microcoleus chthonoplastes* with a common sheath . There are some small trichome bacteria at the surface of sheath.

Фиг.13а. Жгут из нескольких нитей *Microcoleus chthonoplastes,* окруженный нитчатыми бактериями.

Fig.13b. Probable trichome bundles of *Siphonophycus* sp. in a common sheath from Khubsugul phosphorite. Other cyanobacterial filaments and possible hormogonia of cyanobacteria are seen.

Фиг.13b. Различные типы фосфатизированных микроорганизмов из Хубсугульских фосфоритов, среди которых различимы группы жгутов цианобактерий *Syphonophycus*, заключенные в общие чехлы и, возможно, гормогонии от цианобактерий.

13a

13b

Figs 14-18 - SEM photomicrographs of recent halophilic cyanobacterial mat.

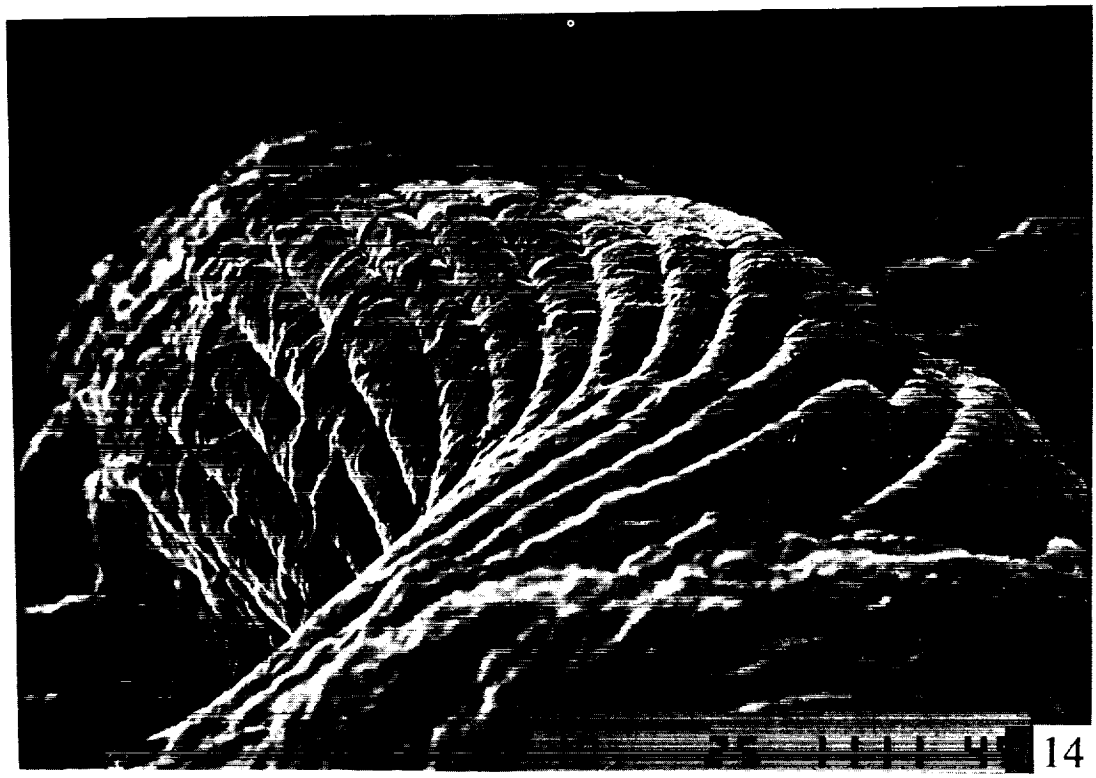
Фиг.14-18 - SEM фотографии современного галофильного цианобактериального мата

Fig.14. Upper cyanobacterial layer of recent halophilic mat. The bundle of *Microcoleus chthonoplastes* consists of more than twenty trichomes within a thin common sheath.

Фиг.14. Верхний цианобактериальный слой современного галофильного мата. Жгут *Microcoleus chthonoplastes*, состоящий из более, чем 20 трихомов, одетых одной тонкой слизистой местами складчатой оболочкой.

Fig.15. Recent halophilic mat. The buried layers of mat with the cysts of green algae *Dunaliella salina* Teod.

Фиг.15. Современный галофильный мат. Захороненные слои с цистами зеленой водоросли *Dunaliella salina* Teod., на поверхности которых видны характерные бугорки.



14

15

Fig.16. Thick bundles of *Microcoleus* can consist of different quantity of trichomes; a - many trichomes in sheath-on the outer part of the sheath several filamentous bacteria are seen; b - fewer quantity of trichomes in common sheath.

Фиг.16. Жгуты *Microcoleus*, состоящие из разного количества трихомов: a- до десятка трихомов в одной облочке; b - небольшое количество трихомов в одной оболочке.

16a

16b

Fig.17. Recent halophilic mat. The cysts of *Dunaliella salina* (at the right), and the crushed cells of purple bacteria *Thiocapsa* (at the left) near diatom cells.

Фиг.17. Современный галофильный мат. Цисты *Dunaniella salina* (справа) и смятые клетки пурпупной бактерии *Thiocapsa* (слева) среди створок диатомовых водорослей.

Fig.18. Mineralization of *Microcoleus chthonoplastes*. The formation of phosphate sediment. The mucilage at *Microcoleus* cells form mucilage crossspace.

Фиг.18. Фосфатизация *Microcoleus chthonoplastes.* Образование осадка фосфата кальция в виде глобул и микротрубочек. Слизь, покрывающая нити цианобактерий, часто образует своеобразные перемычки.

17

18

Figs. 19-27 - SEM photomicrographs of biomorph structures in Khubsugul phosphorites

Фиг.19-27 - SEM фотографии биоморфных структур в Хубсугульских фосфоритах.

The samples of Khubsugul phosphorites were studied both on broken and polished surfaces. The best results were obtained when the surfaces were treated with 3-7% acetic acid for 2-4 min. Treatment with 10% acetic acid for 24 h was used to isolate phosphate organic remains. The specimens remaining after the phosphorites dissolved were studied in addition to the treated or polished surfaces. The remains of plankton organisms were found. It is necessary to keep in mind, however, that the parameters of the treatment are averaged and an individual approach was required in each actual instance in order to obtain good results. In the treatment of samples calcium carbonate is removed from the surface as a rule and objects from calcium phosphate appear more convex in relief. As result they are white on the photographs, in contrast to the calcium carbonate objects, which are seen as black.

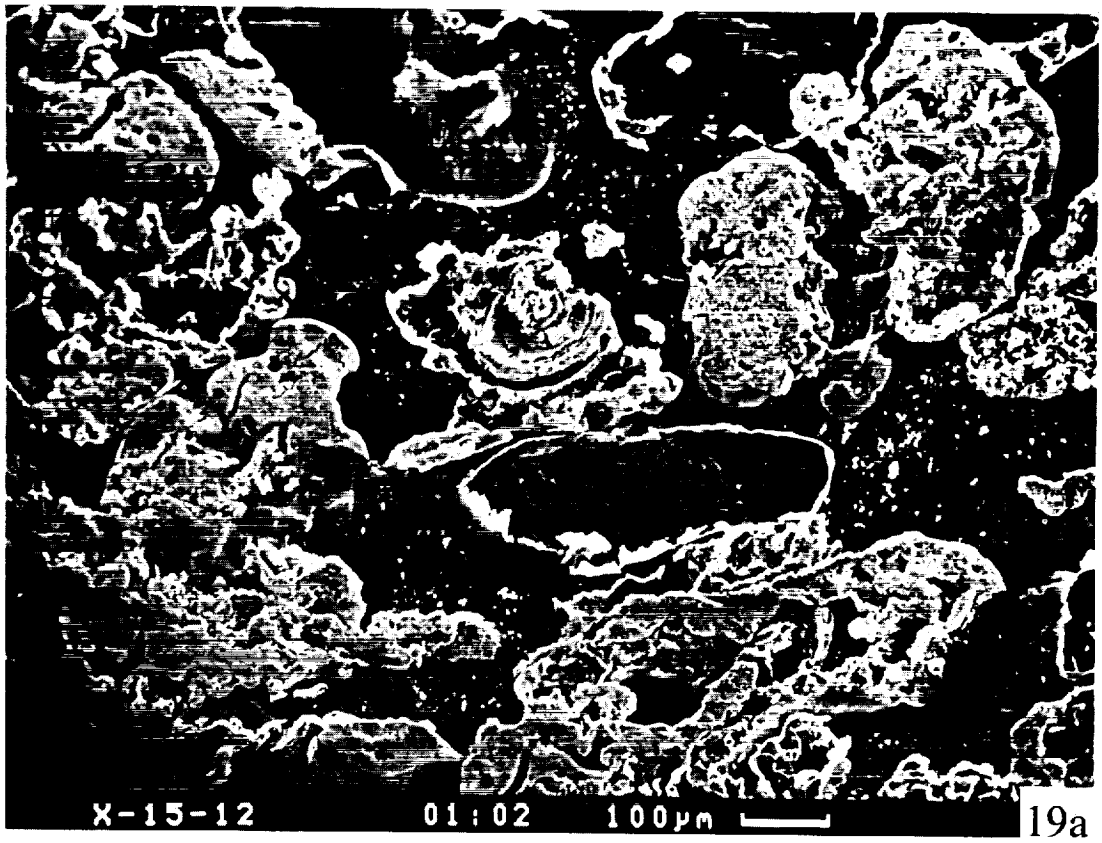
Хубсугульские фосфориты изучались на сколах, пришлифовках или в полировках. Наилучшие результаты были получены при дополнительном протравливании полированных поверхностей 3-7% соляной кислотой в течение 2-4 мин. Для выделения некоторых фосфатизированных объектов применялось протравливание в течение 1 сут. 10% уксусной кислотой. Кроме отполированных и протравленных поверхностей был изучен также осадок после растворения фосфоритов в 8-10% уксусной кислоте, в котором обнаружились остатки фосфатизированных планктонных организмов. Нужно иметь в виду, что параметры обработки усреднены и в каждом конкретном случае для получения хорошего результата необходим индивидуальный подход. При протравливании образцов фосфорита с поверхности карбонат кальция как правило удаляется, в результате объекты из фосфата кальция оказываются более выпуклыми и на фотографиях выглядят светлыми, а объекты из карбоната кальция, располагающиеся глубже, на фотографиях имеют темную окраску.

Fig.19a. Fragment of phosphorite consisting of several micronodules.

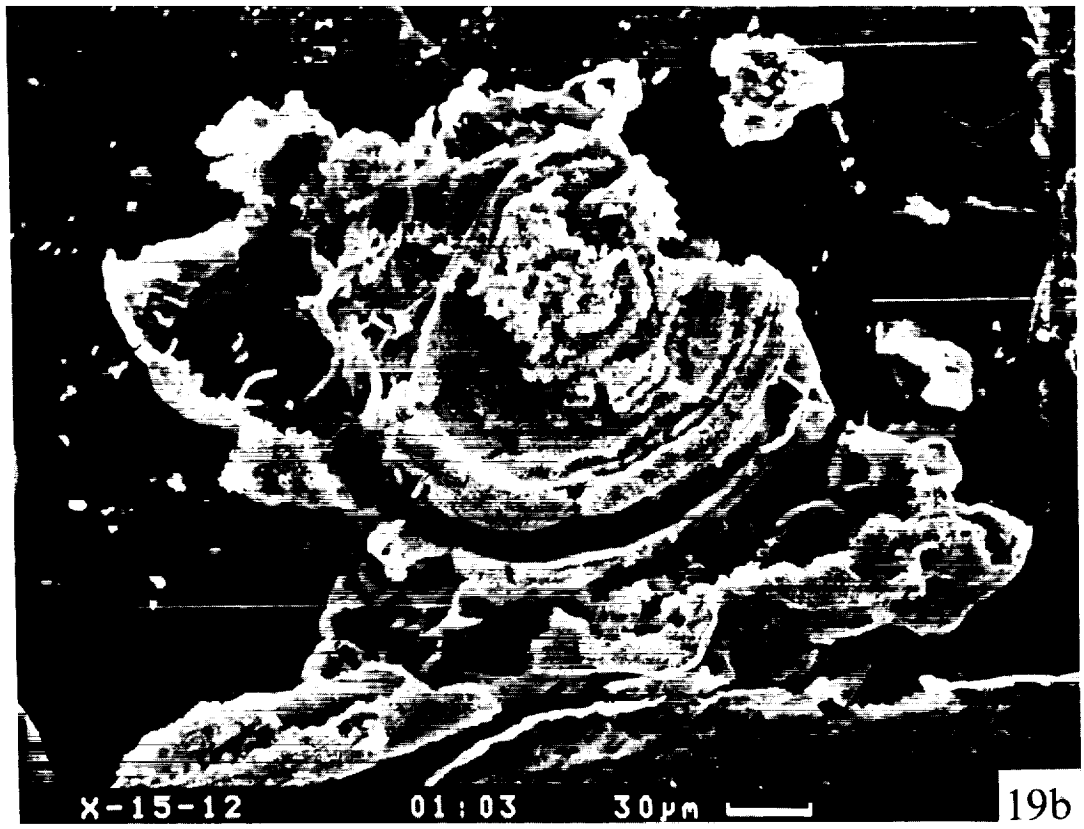
Фиг.19а. Участок фосфорита, состоящий из нескольких микрожелваков;

Fig.19b. One micronodule (microoncolite).

Фиг.19b. Один микрожелвак (микоонколит).



19a



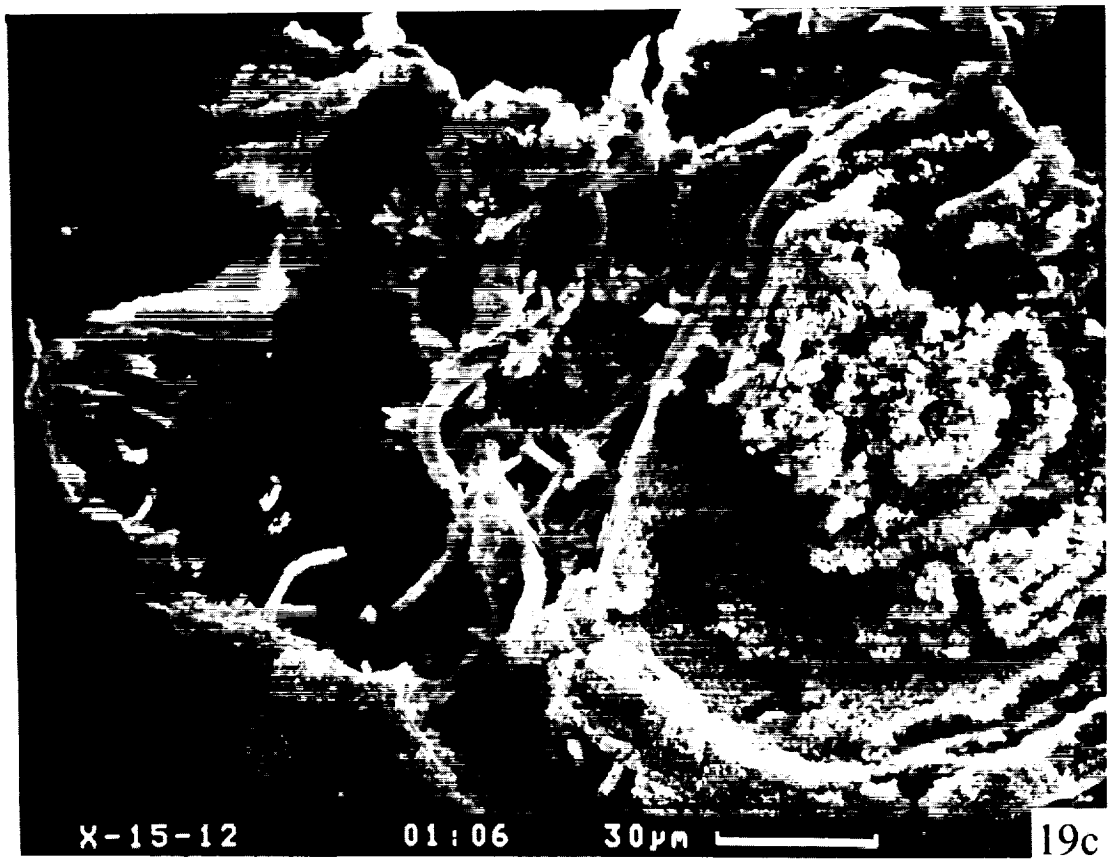
19b

Fig.19c. Fragment of one micronodule; central part of oncolite and concentric layers are made up of concentration of pseudomorphs of different types of bacteria, outlying at the left cyanobacterial filaments are seen between concentric layers;

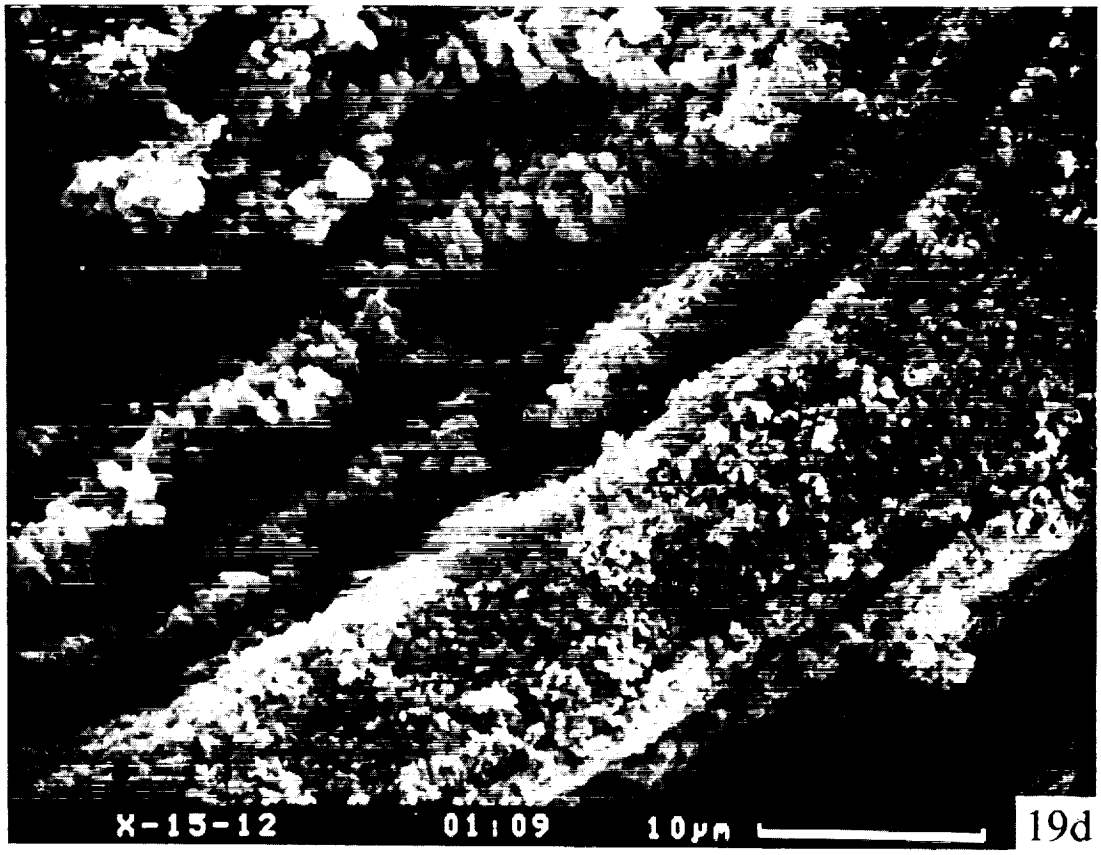
Фиг.19с. Участок микрожелвака; центральная часть онколита и концентрические слои сложены скоплением псевдоморфоз по разного типа бактериям, по периферии онколита слева между концентрическими слоями видны нити цианобактерий.

Fig.19d. Fragment of one micronodule; two different types, in form and size, of pseudomorphs of bacteria are shown.

Фиг.19d. Участок микрожелвака; видны две различных по форме и размерам модификации псевдоморфоз по бактериям.



19c



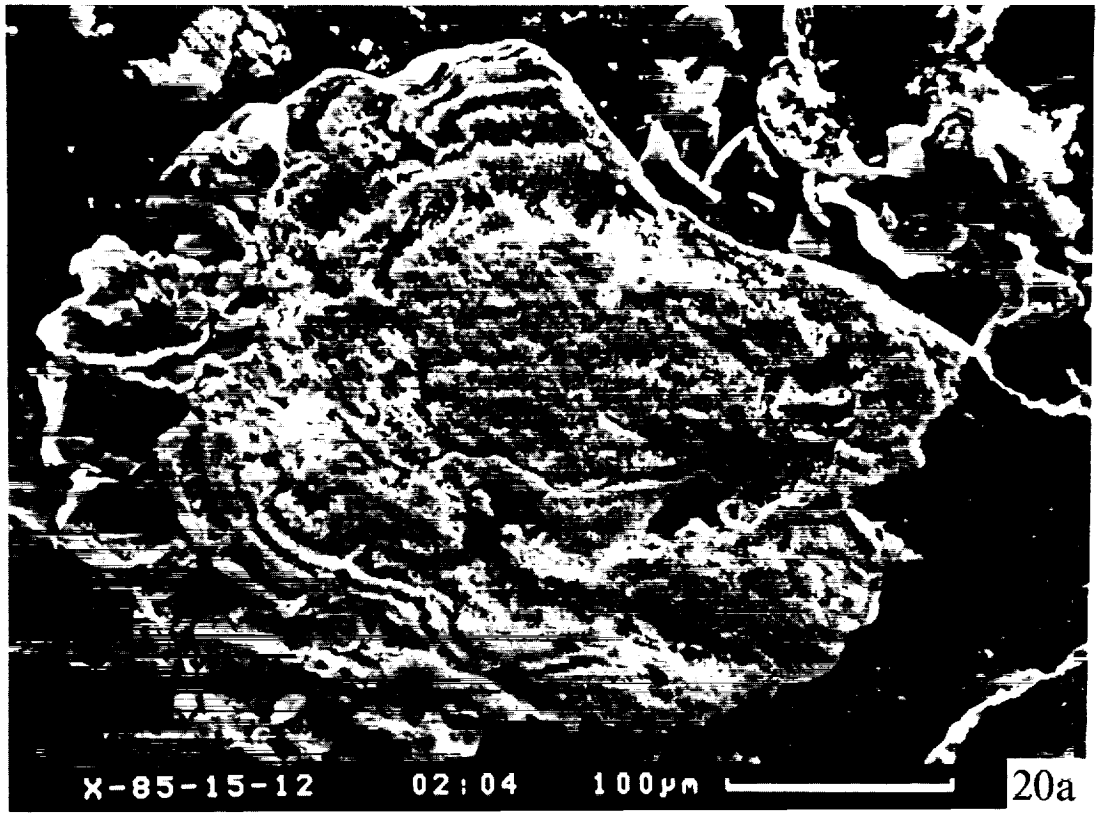
19d

Fig. 20a. Micronodule from phosphorite. In the center there are concentrations of pseudomorphs of bacteria, on outlying in the spaces between concentric layers the cyanobacterial filaments and pseudomorphs of bacteria are seen, concentric layers are made up of pseudomorphs after bacteria as well.

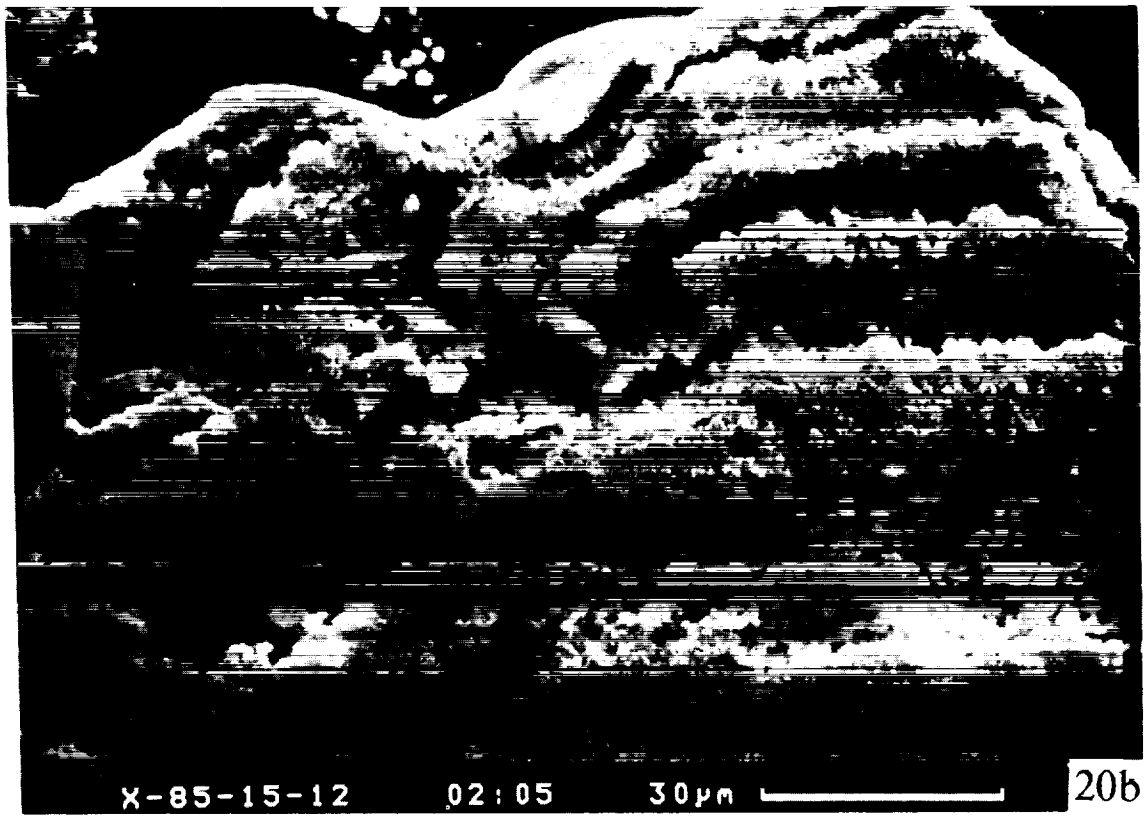
Фиг.20а. Микрожелвак из фосфорита. В центре находится скопление псевдоморфоз по бактериям, по периферии в пространствах между концентрическими слоями видны отдельные нити цианобактерий и скопления псевдоморфоз по бактериям, сами концентрические слои тоже сложены псевдоморфозами по бактериям.

Fig 20b. The same, enlarged, outlying part.

Фиг.20b. То же, увеличено, периферическая часть.



20a



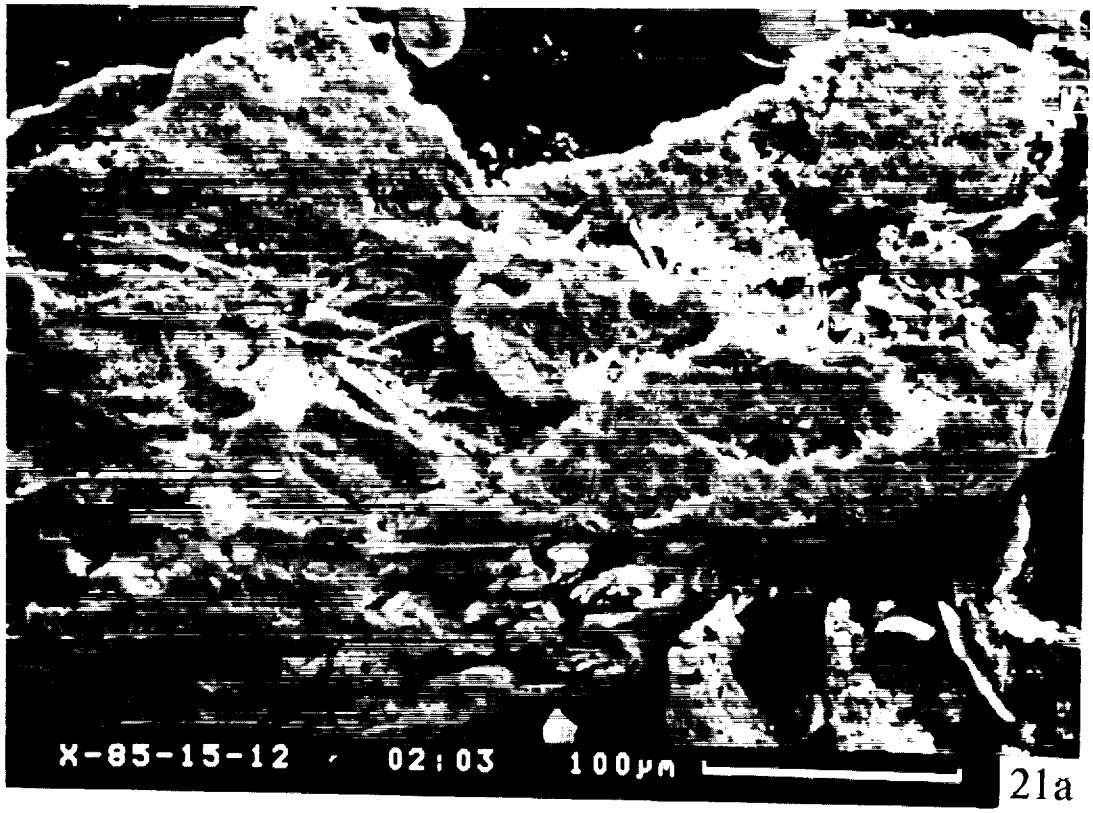
20b

Fig.21a. Fragment of cyanobacterial mat from phosphorite.

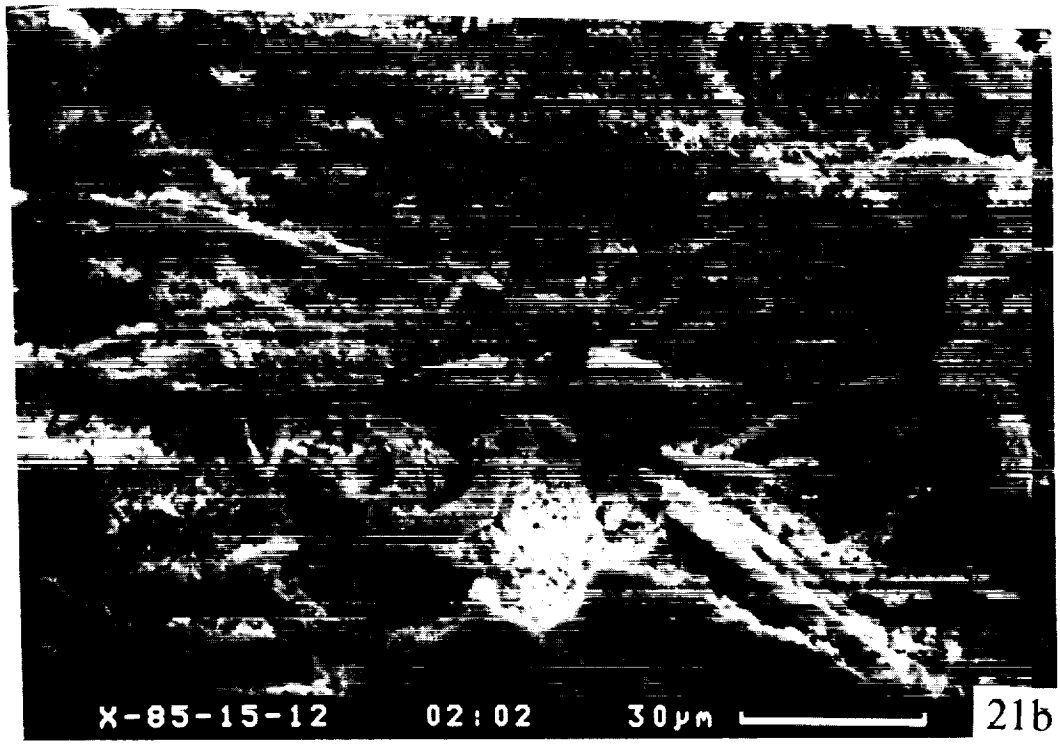
Фиг.21а. Участок цианобактериального мата из фосфорита;

Fig.21b. The same, enlarged. The tubes from two types cyanobacteria with different diameter and morphology; probably from purple bacteria are seen well.

Фиг.21b. То же, увеличено. Хорошо видны трубки цианобактерий двух видов с разным диаметром и скопления псевдоморфоз, возможно, по пурпурным бактериям.



21a



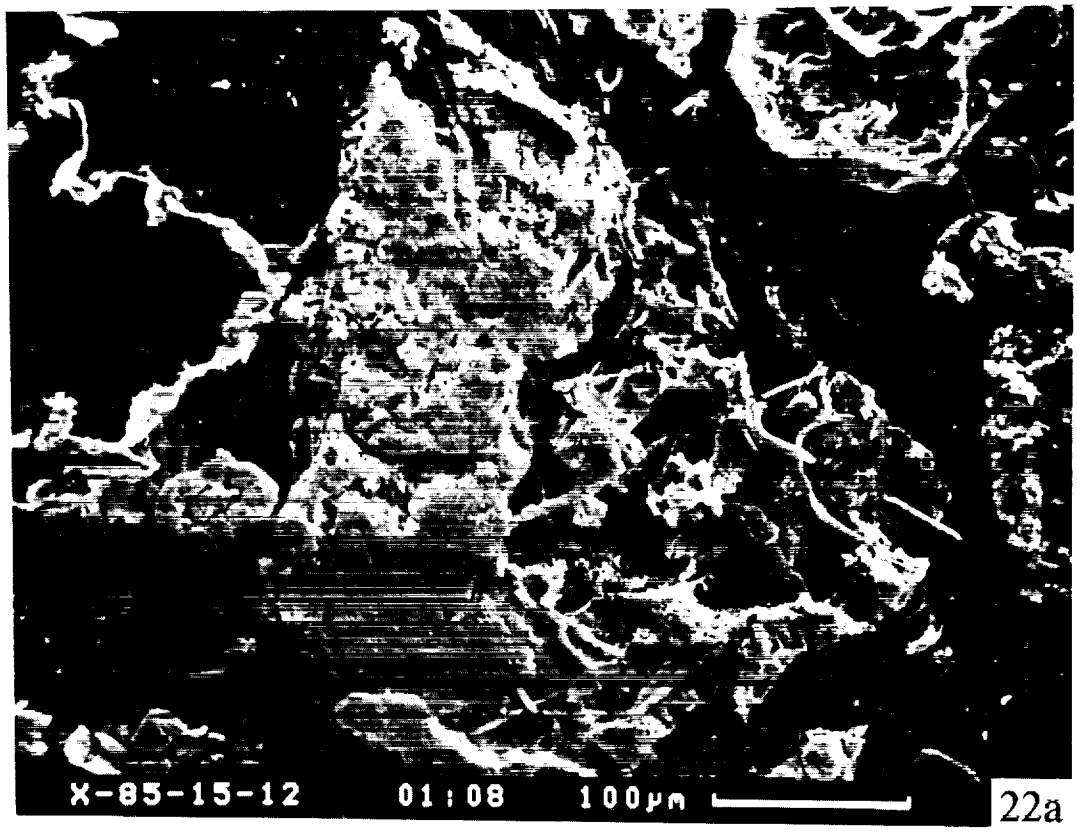
21b

Fig.22a. Fragment of cyanobacterial mat from phosphorite.

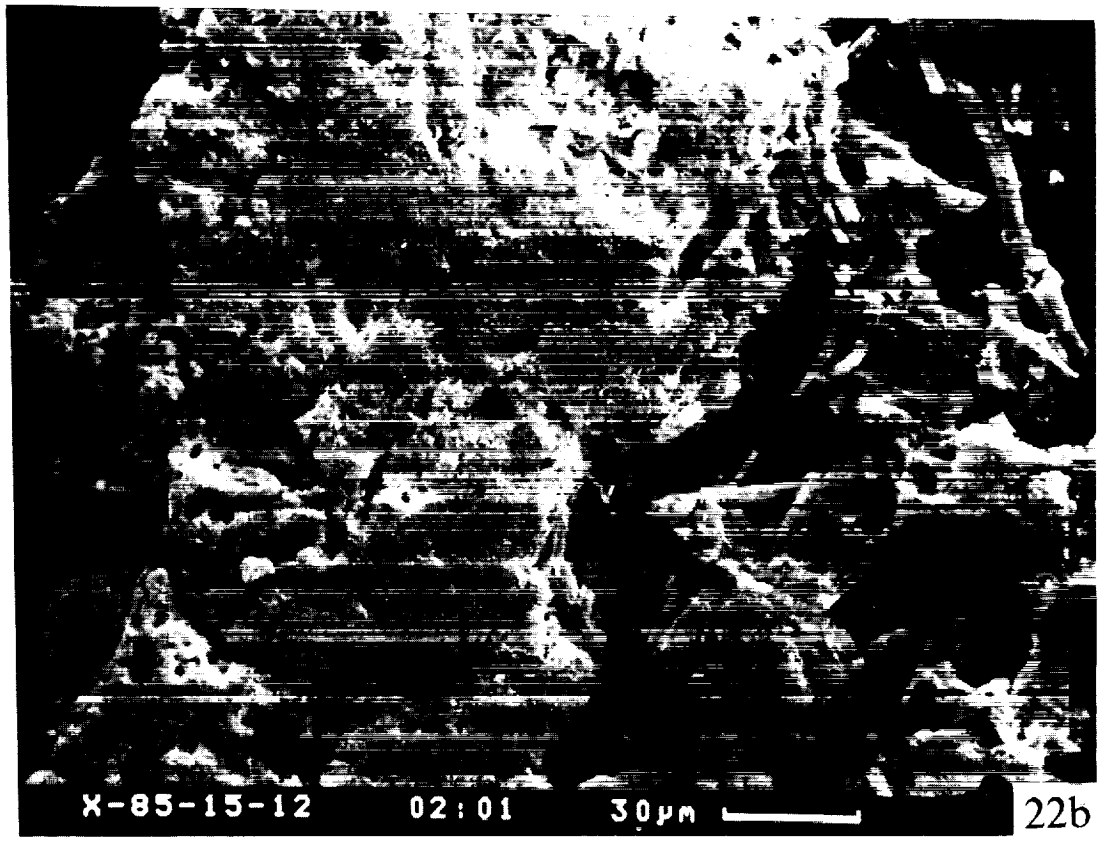
Фиг.22а. Участок цианобактериального мата из фосфорита.

Fig.22b. The same, enlarged; at the right cyanobacteria filaments with different diameter (two types) are clearly seen, at the centre - concentration of pseudomorphs probably of purple bacteria.

Фиг.22b. То же, увеличено. Справа хорошо видны трубки цианобактерий двух видов различающиеся по величине диаметра, в центре - скопления псевдоморфоз, возможно, по пурпурным бактериям.



22a



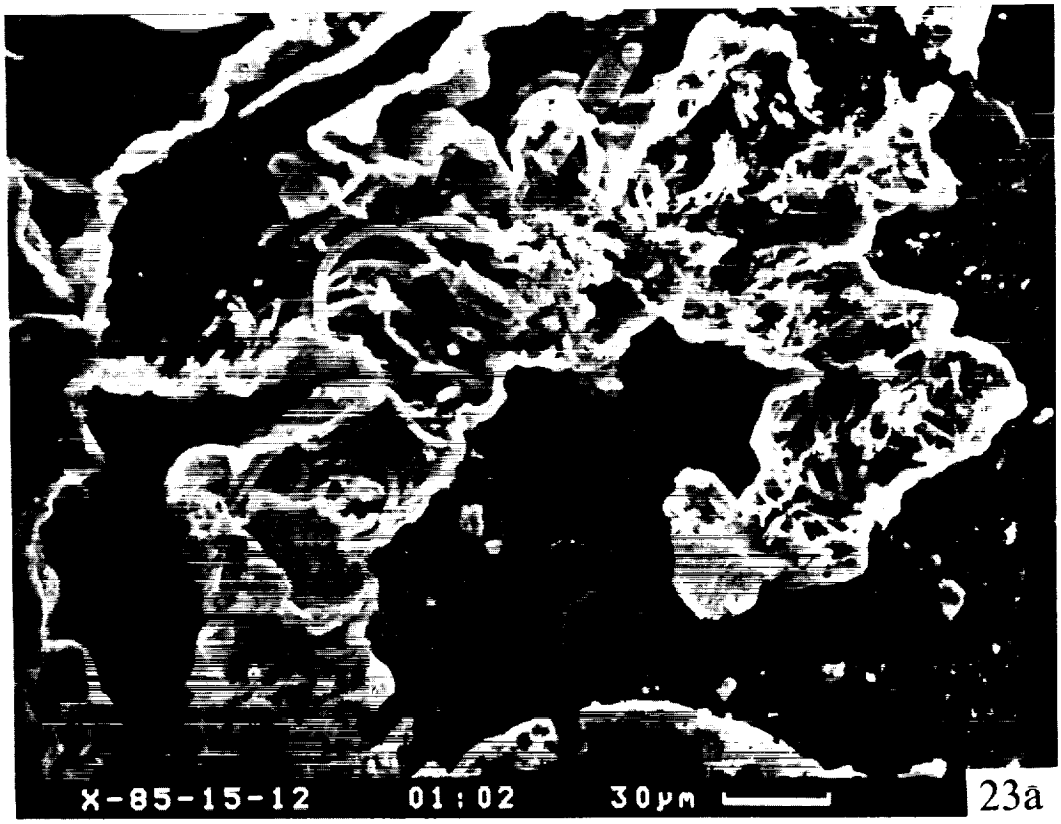
22b

Fig.23a. Fragment of cyanobacterial mat from phosphorite.

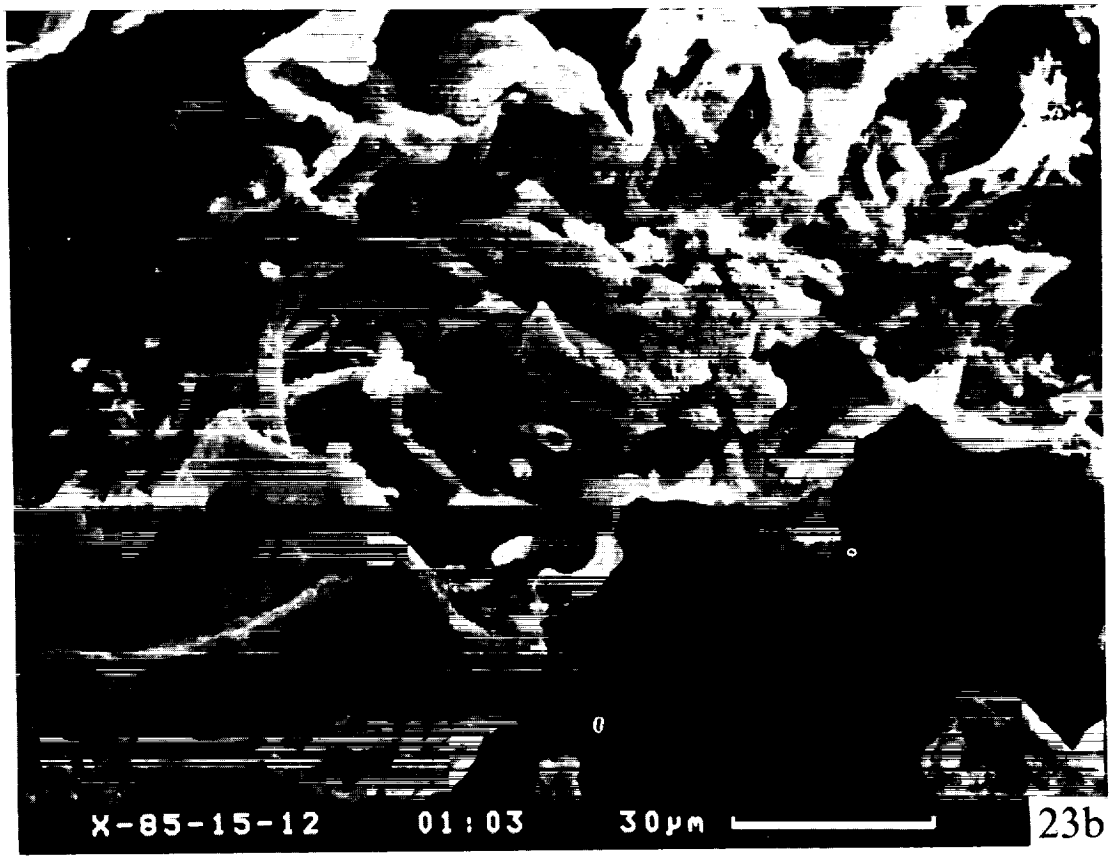
Фиг.23а. Участок цианобактериального мата из фосфорита.

Fig.23b. The same, enlarged.

Фиг.23b. То же, увеличено.



23a



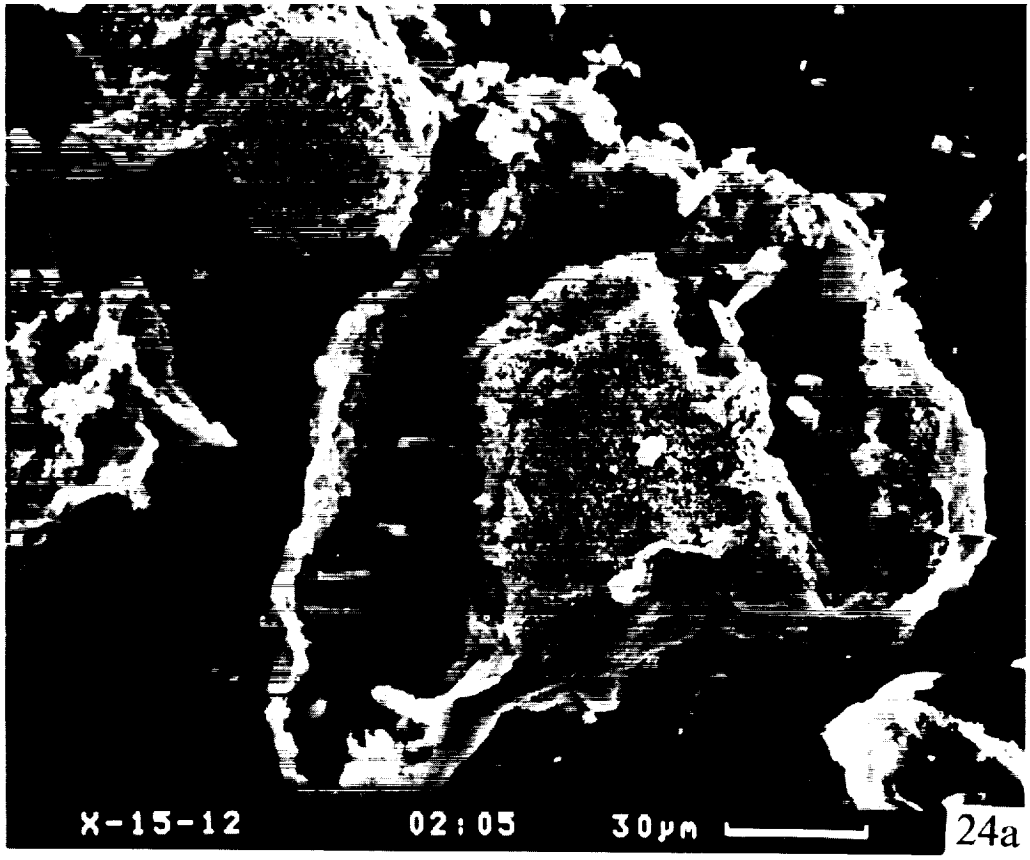
23b

Fig.24a. Micronodule from phosphorite. In the centre there are concentrations of pseudomorphs of possible purple bacteria; on outlying region the cyanobacterial filaments are seen. Hollow space between central and outer parts is connected with dissolution in time of sample preparation.

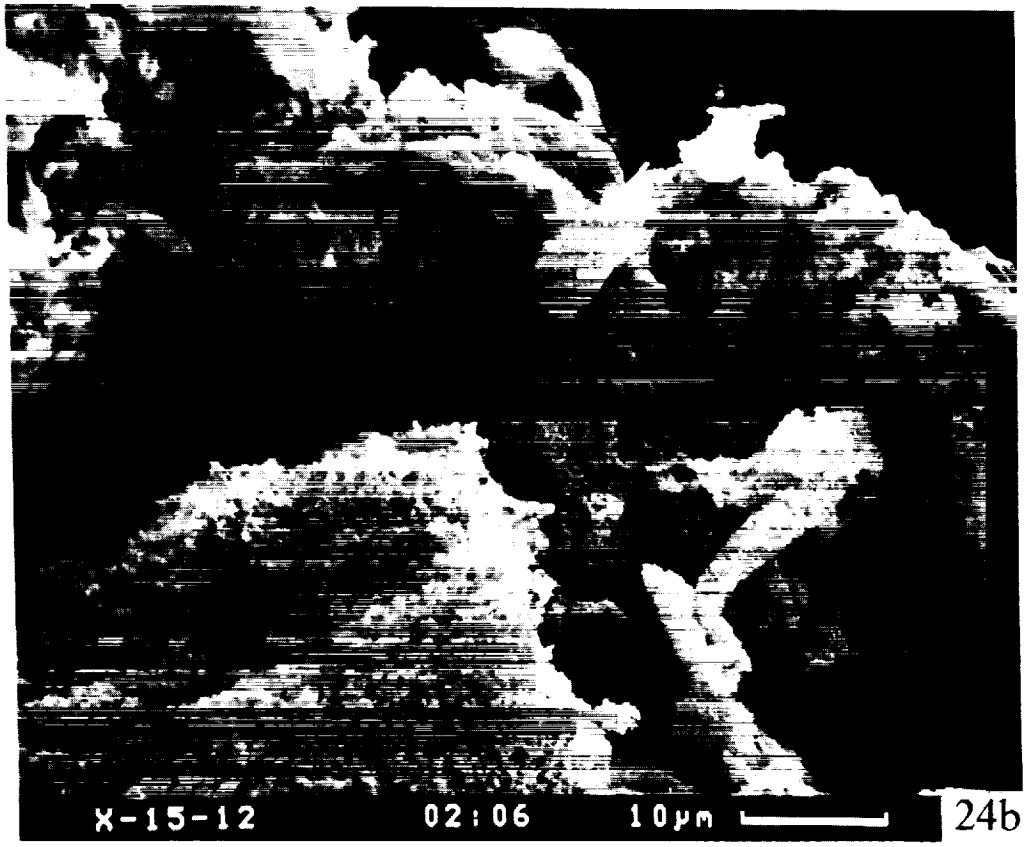
Фиг.24а. Микрожелвак из фосфорита. В центре находится скопление псевдоморфоз, возможно, по пурпурным бактериям; по периферии видны отдельные нити цианобактерий. Полое пространство между центральной частью и внешним краем связано с растворением карбоната в ходе подготовки препарата.

Fig.24b. The same, enlarged, outlying part.

Фиг.24b. То же, увеличено, периферическая часть.



24a



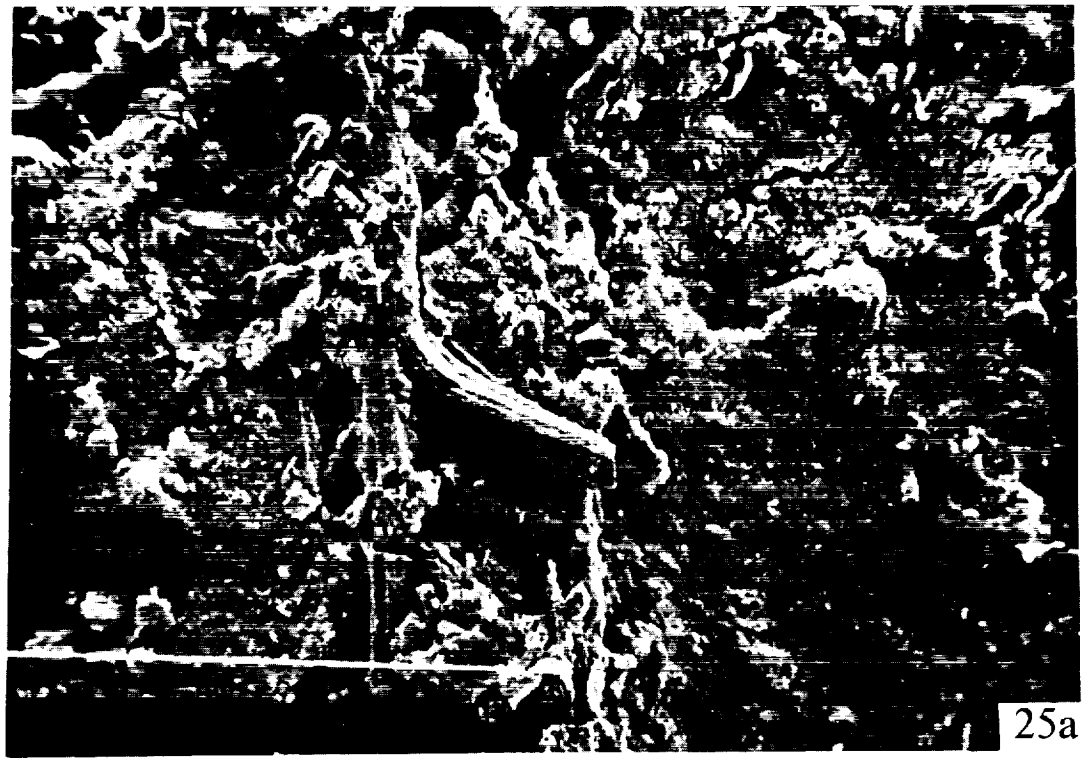
24b

Fig.25a. Fragment of phosphorite with cyanobacteria filaments probably in life been in one sheath, and with pseudomorphs after bacteria.

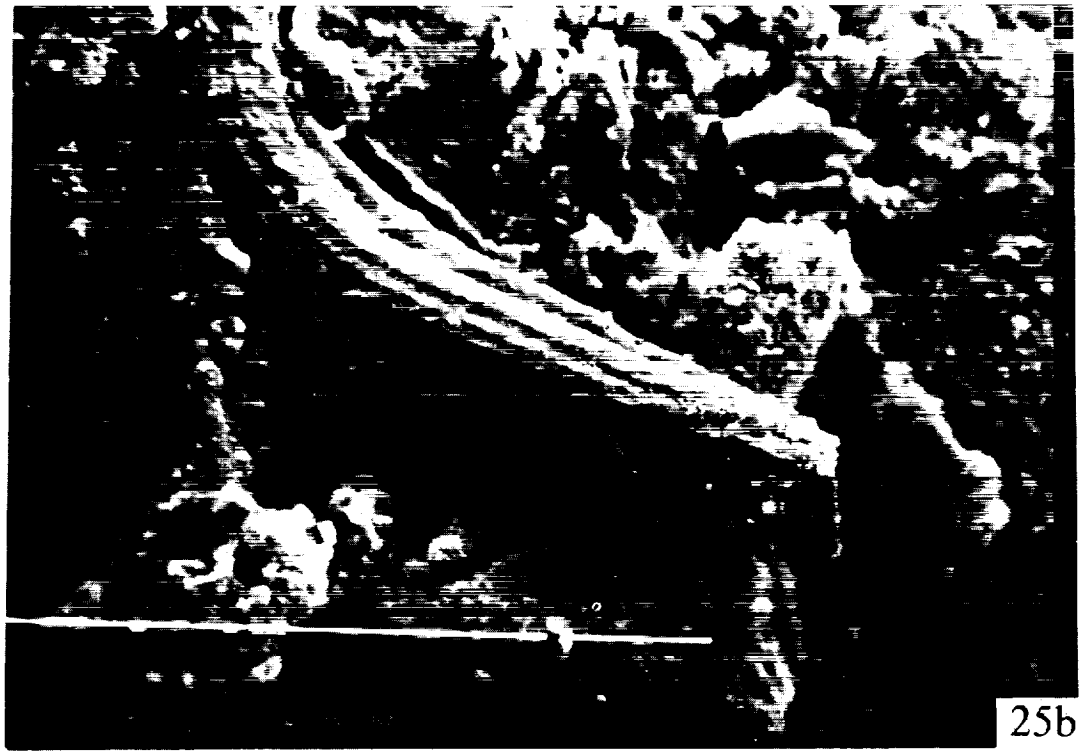
Фиг.25а. Участок фосфорита с трубками цианобактерий, возможно, находившимися в одном слизистом чехле, и скоплениями псевдоморфоз по бактериям.

Fig.25b. The same, enlarged.

Фиг.25b. То же, увеличено.



25a



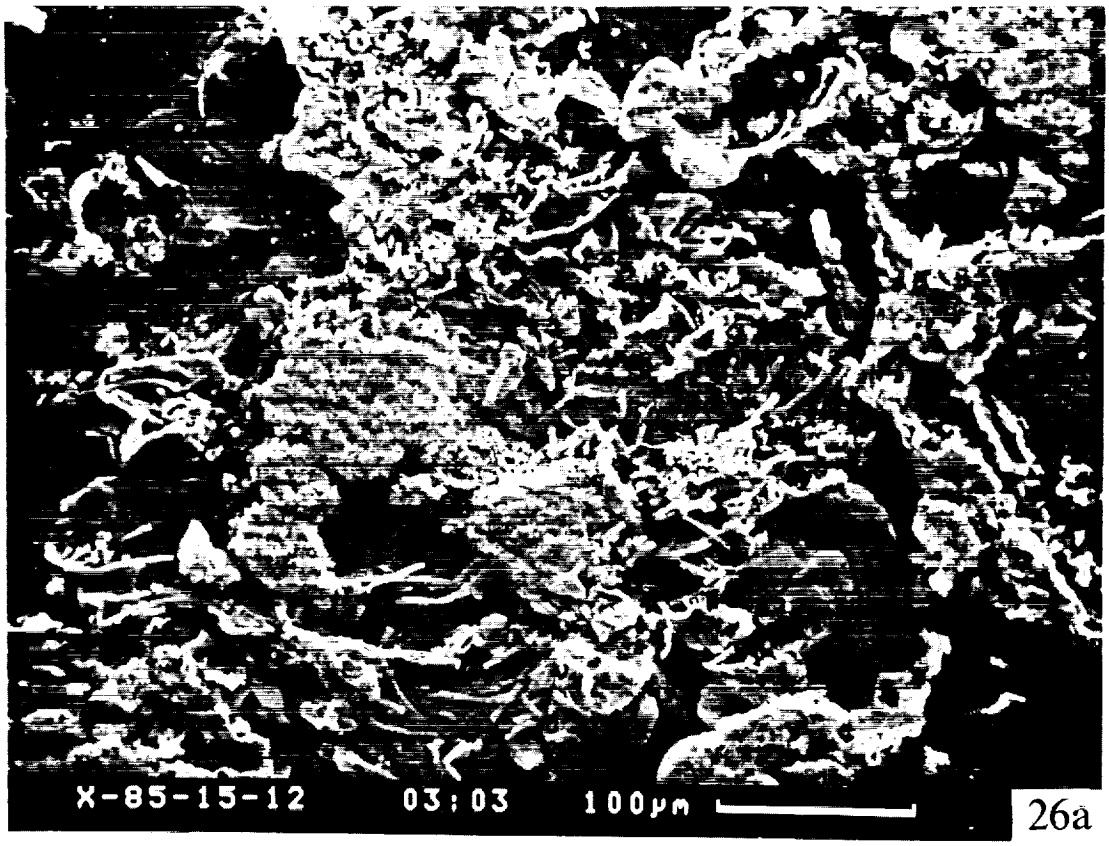
25b

Fig.26a. Fragment of cyanobacterial mat from phosphorite.

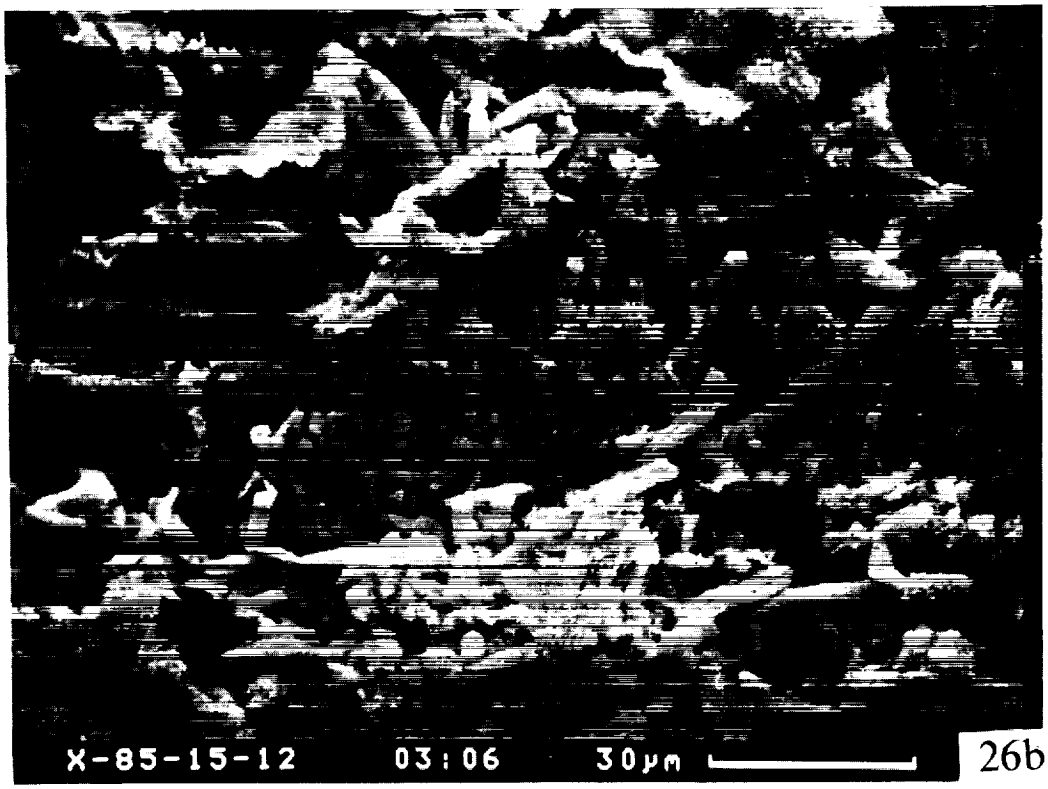
Фиг.26а. Участок цианобактериального мата из фосфорита.

Fig.26b. The same, enlarged; cyanobacteria filaments with different diameters (two types) are seen as well as possible hormogonia.

Фиг.26b. То же, увеличено; хорошо видны нити цианобактерий разного диаметра (два типа) и отдельные гормогонии (?).



26a



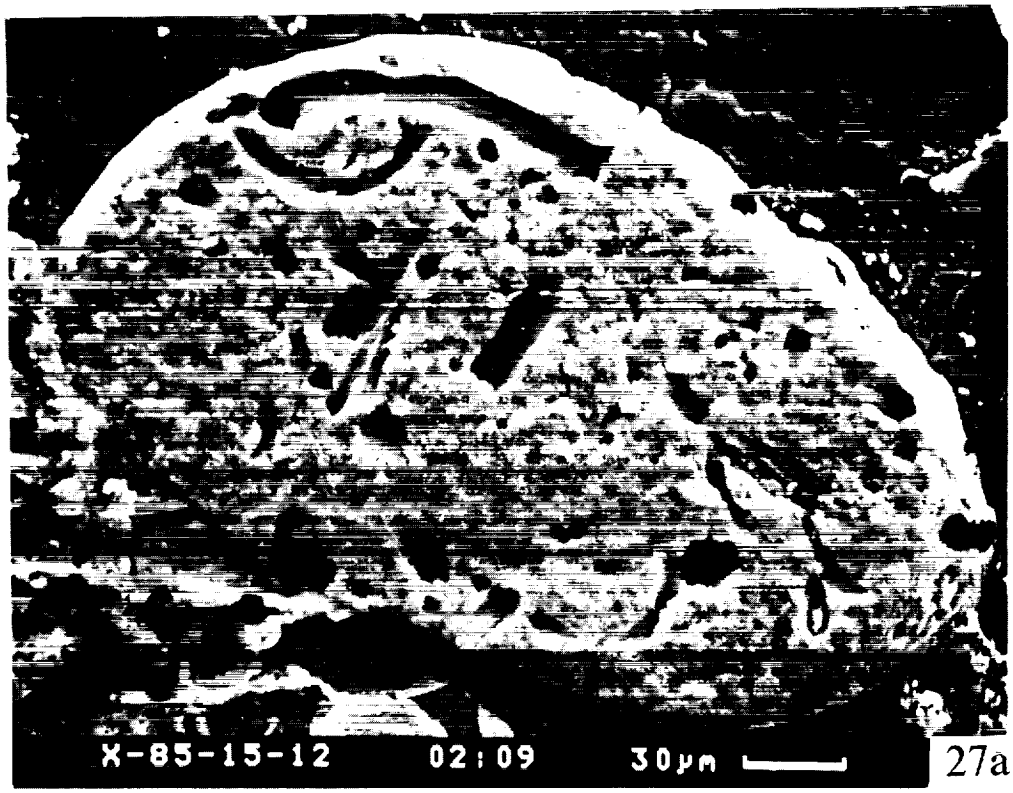
26b

Fig.27a. Micronodule from phosphorite with cavity from cyanobacteria filaments or from its concentrations. Matrix consists of pseudomorphs probably of purple bacteria.

Фиг.27а. Микрожелвак из фосфорита, с полостями от трубок цианобактерий или от их скоплений. Матрикс состоит из псевдоморфоз, возможно, по пурпурным бактериям.

Fig.27b. The same, enlarged.

Фиг.27b. То же, увеличено.



27a

27b

Figs. 28-52. - SEM photomicrographs with different types of preservation of cyanobacterial filaments and bacteriomorph bodies from Khubsugul phosphorites.

Фиг. 28-52 - SEM фотографии с различными типами сохранности нитчатых цианобактерий и бактериоморфных тел в Хубсугульских фосфоритах

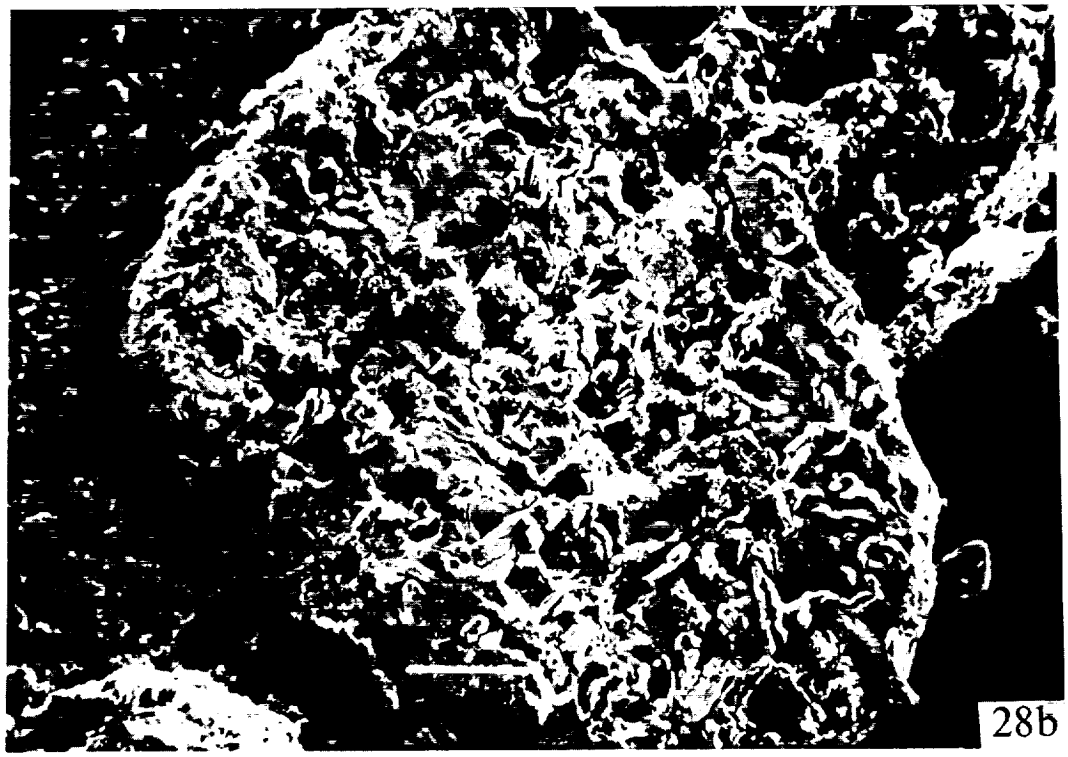
Fig.28a. Micronodules in phosphorite.

Фиг.28а. Микрожелваки в фосфорите.

Fig.28b. One micronodule

Фиг.28b. Один микрожелвак.

28a



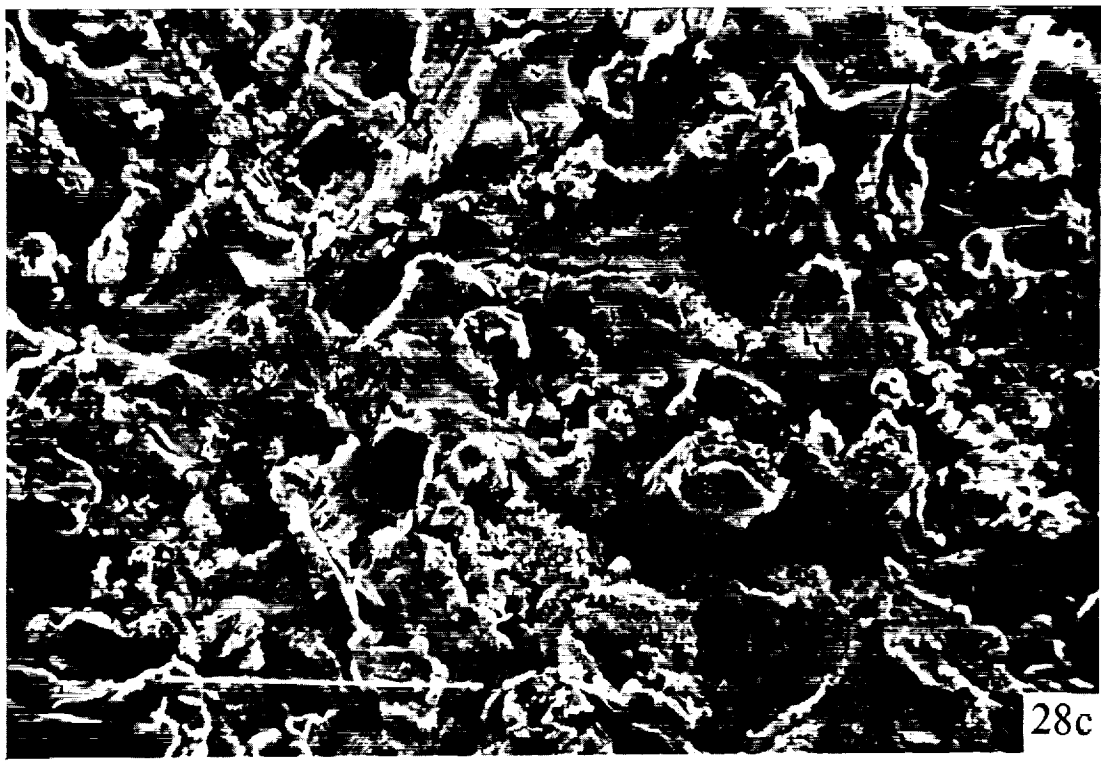
28b

Fig.28c. The same, enlarged, showing many hormogonia (?).

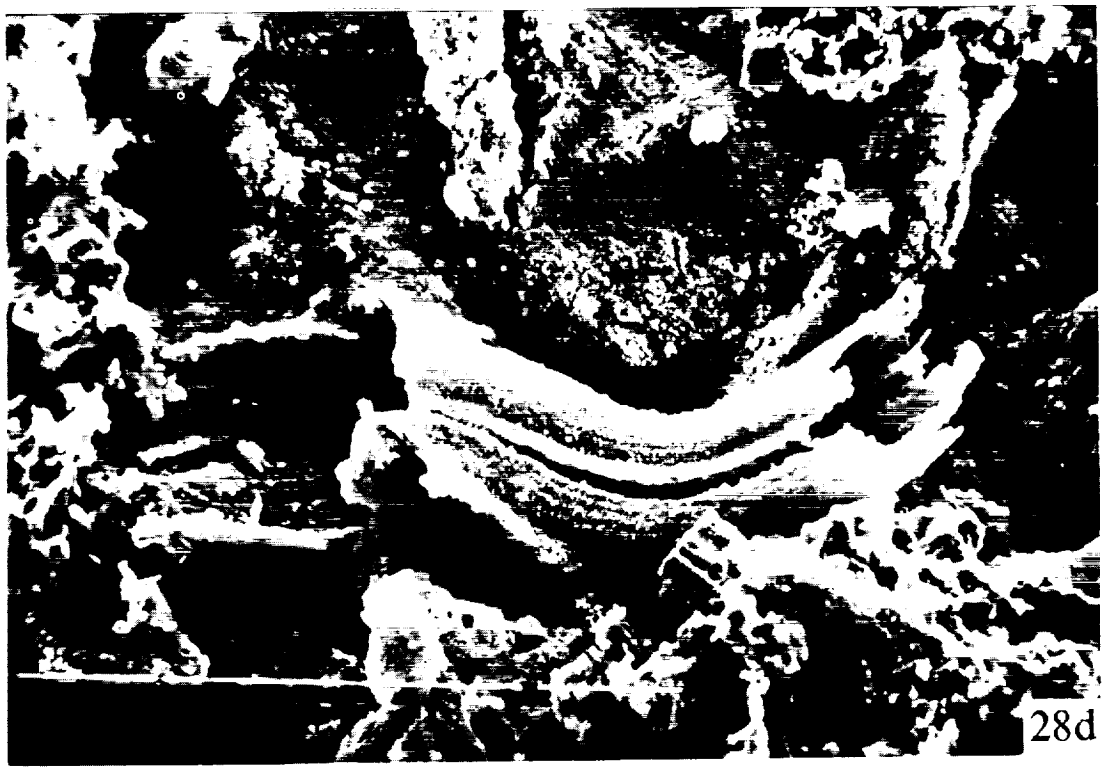
Фиг.28c. То же, увеличено, можно видеть скопление гормогоний (?).

Fig.28d. The same, enlarged, showing cyanobacteriaol filament.

Фиг.28d. То же, увеличено, видны фосфатизированные филаменты цианобактерий и общий чехол.



28c



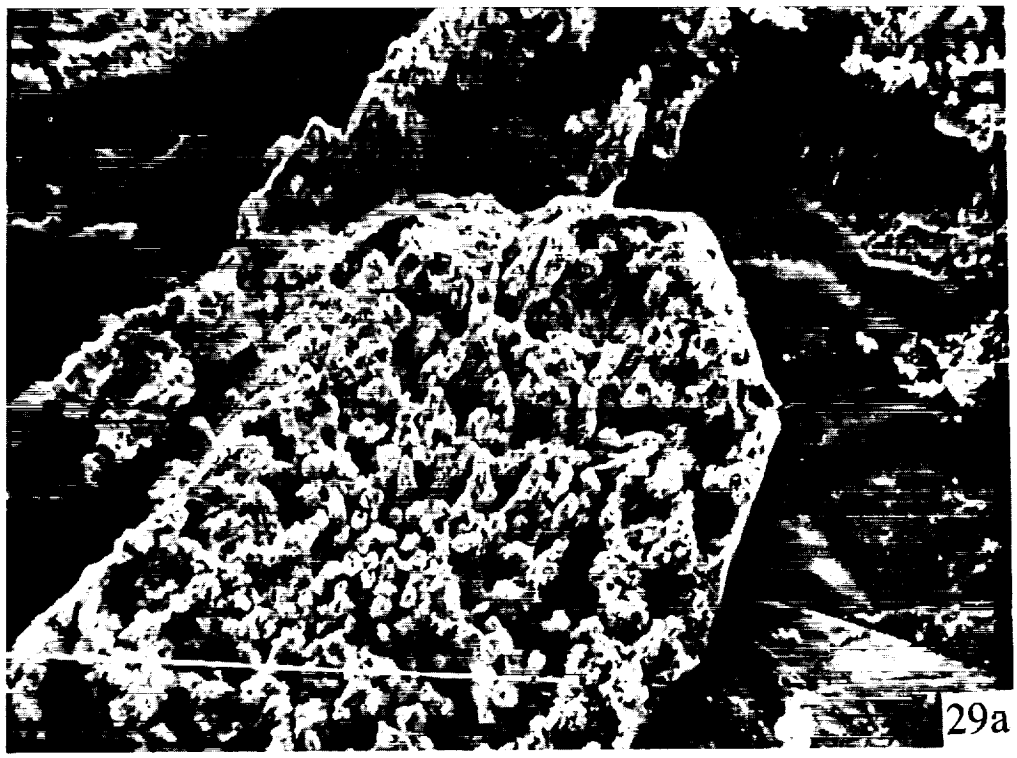
28d

Fig.29a. Micronodule consisting entirely of cyanobacteria filaments (?).

Фиг.29а. Микрожелвак из фосфорита, нацело сложенный фосфатизированными трубками цианобактерий (?).

Fig.29b. The same, enlarged.

Фиг.29b. То же, увеличено.



29a

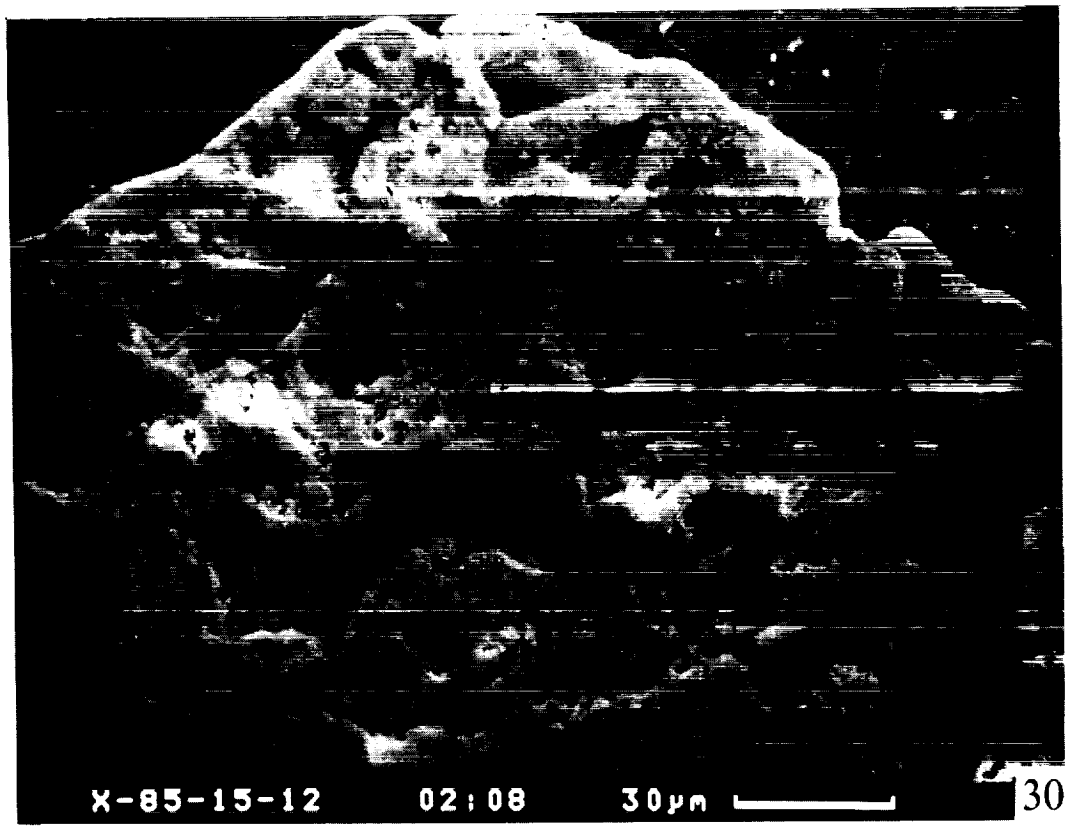
29b

Fig.30. Micronodule from phosphatized cyanobacterial mat with cyanobacteria tubes.

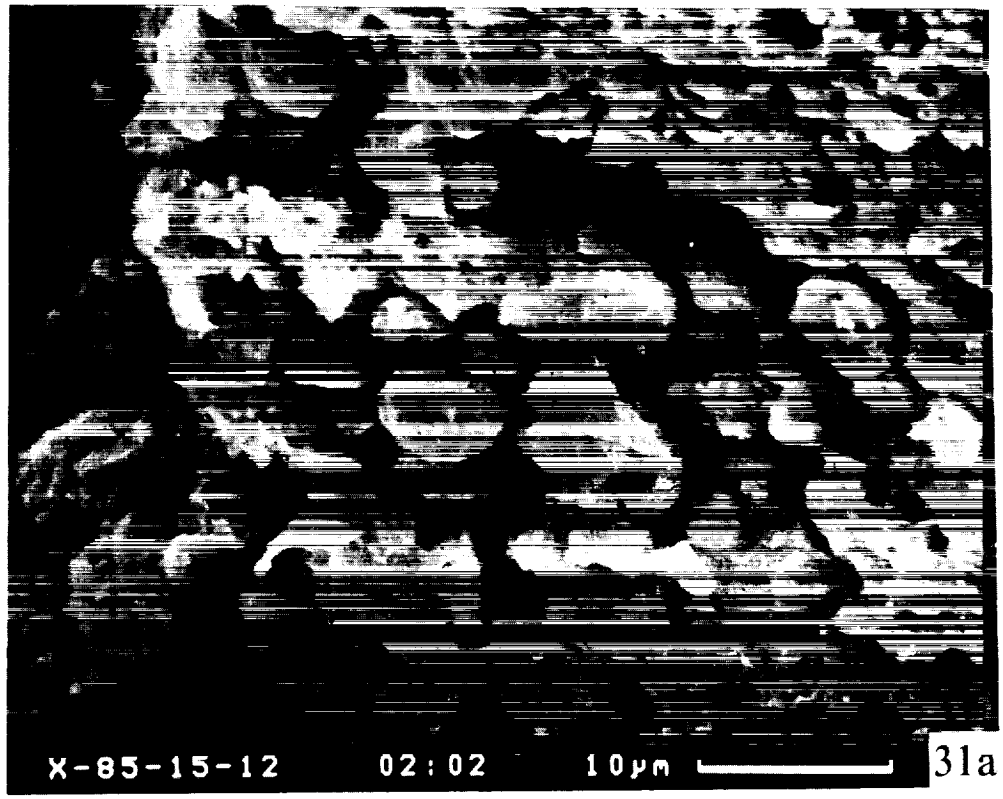
Фиг.30. Микрожелвак из фосфатизированного цианобактериального мата с трубками цианобактерий.

Fig.31a. Phosphatized coccoidal mat.

Фиг.31а. Фосфатизированный коккоидный мат.



30



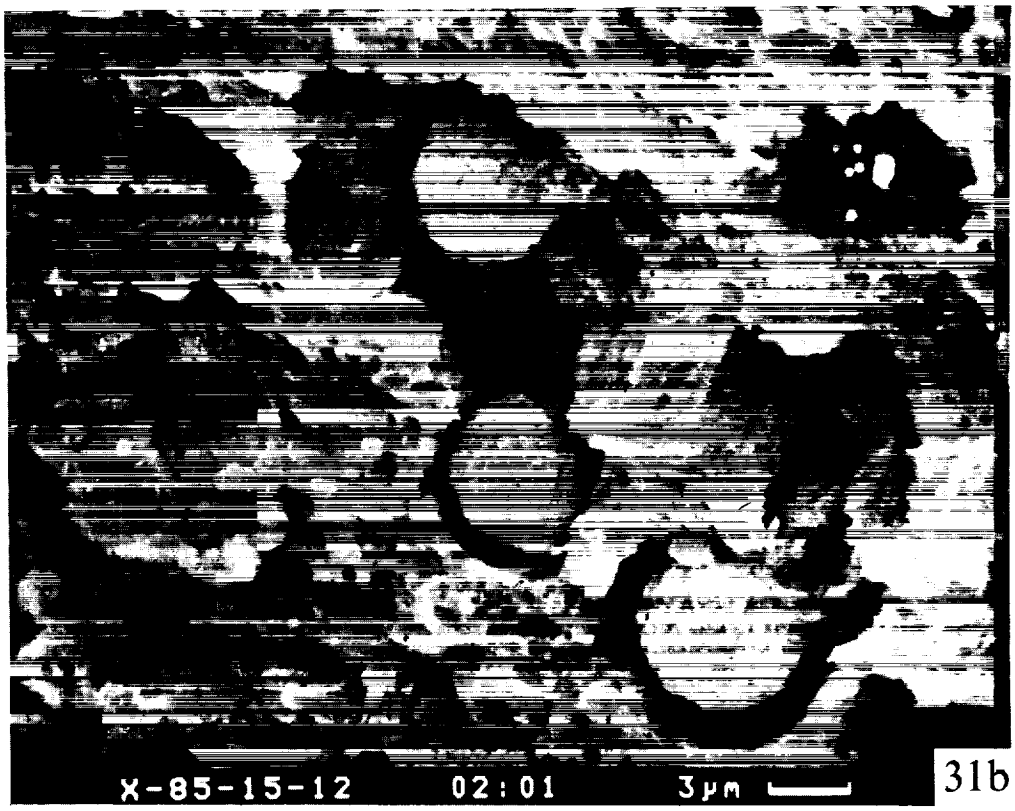
31a

Fig.31b. Phosphatized coccoidal mat, enlarged.

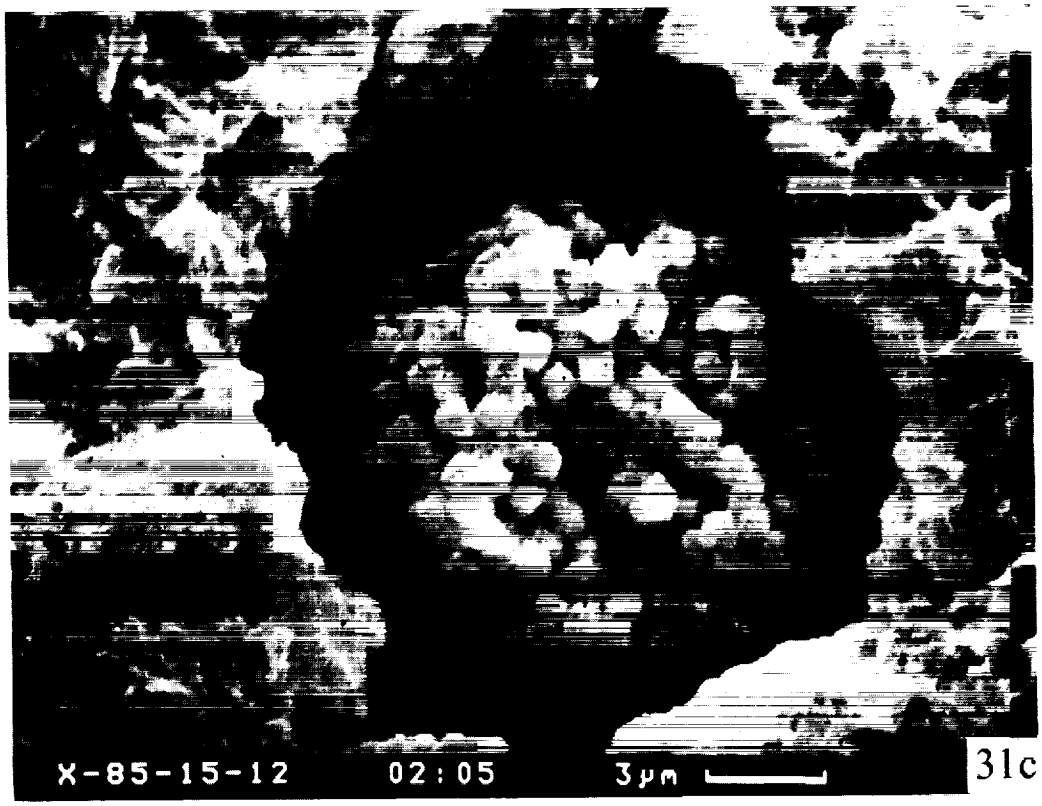
Фиг.31b. Фосфатизированный коккоидный мат, увеличено.

Fig.31c. The same, enlarged.

Фиг.31c. То же; увеличено.



31b



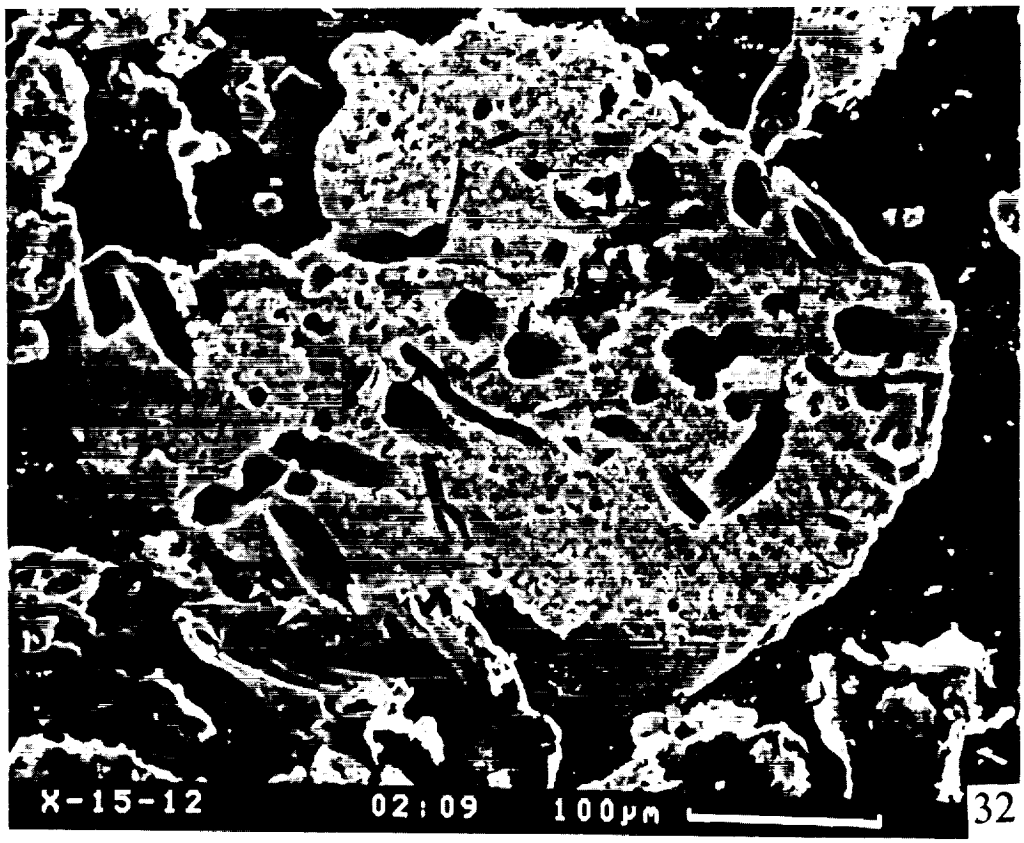
31c

Fig.32. Micronodule from concentration of pseudomorphs of bacteria and with cavities from cyanobacteria filaments.

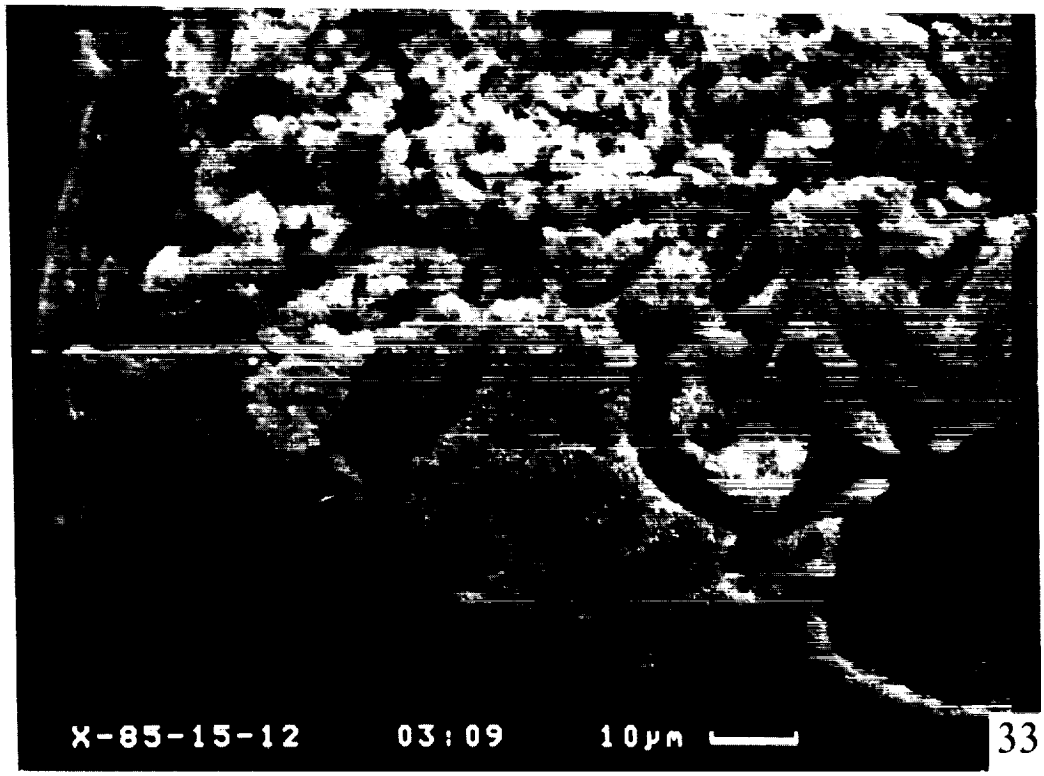
Фиг.32. Микрожелвак, сложенный скоплением псевдоморфоз по бактериям, видны полости от нитей цианобактерий.

Fig.33. Micronodule from pseudomorphs of bacteria and with cavities from cyanobacteria filaments.

Фиг.33. Микрожелвак, сложенный скоплением псевдоморфоз по бактериям, видны полости от нитей цианобактерий.



32



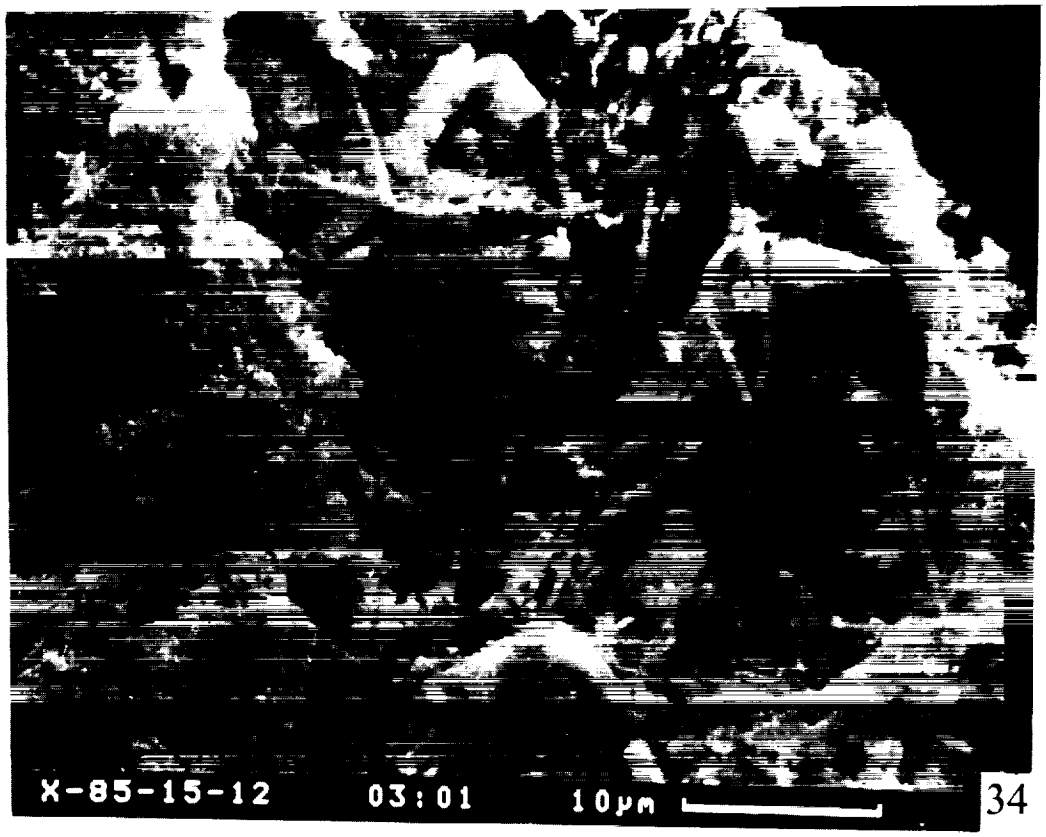
33

Fig.34. Different types preservation of cyanobacteria filaments and pseudomorphs of purple (?) bacteria.

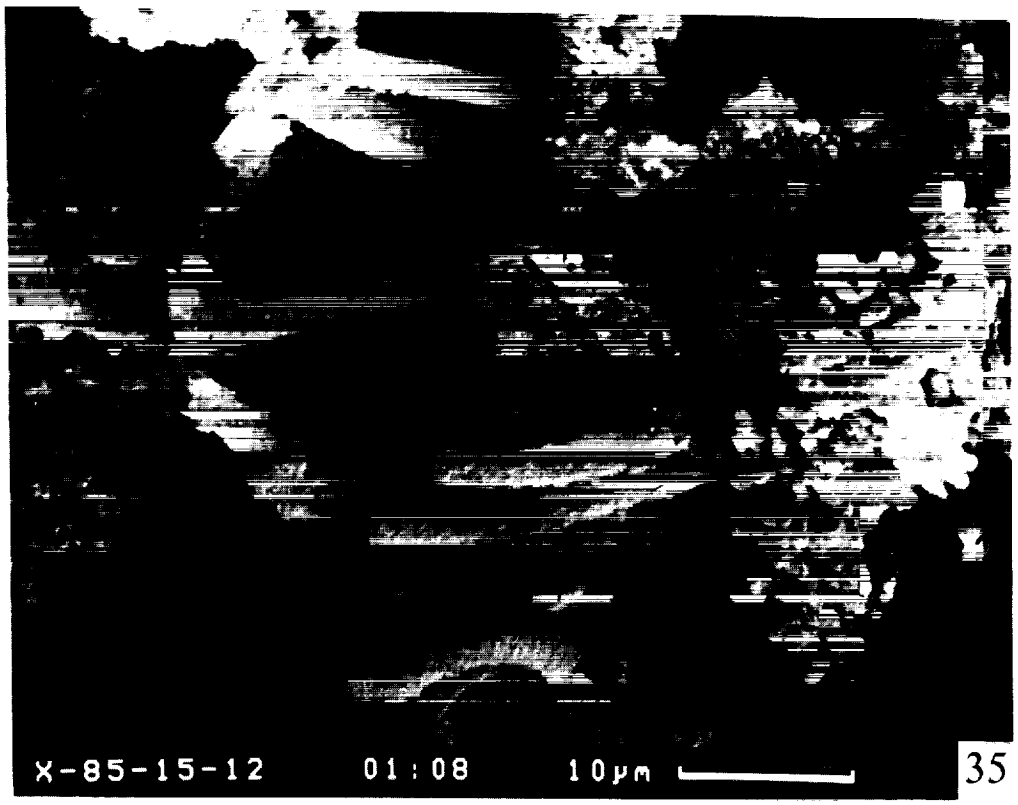
Фиг.34. Различные типы сохранности цианобактерий в виде отдельных нитей или их связок и псевдоморфозы по пурпурным (?) бактериям.

Fig.35. Preservation of cyanobacteria filaments and pseudomorphs of purple bacteria (at the right).

Фиг.35. Сохранность нитей цианобактерий и пурпурных бактерий (справа).



34



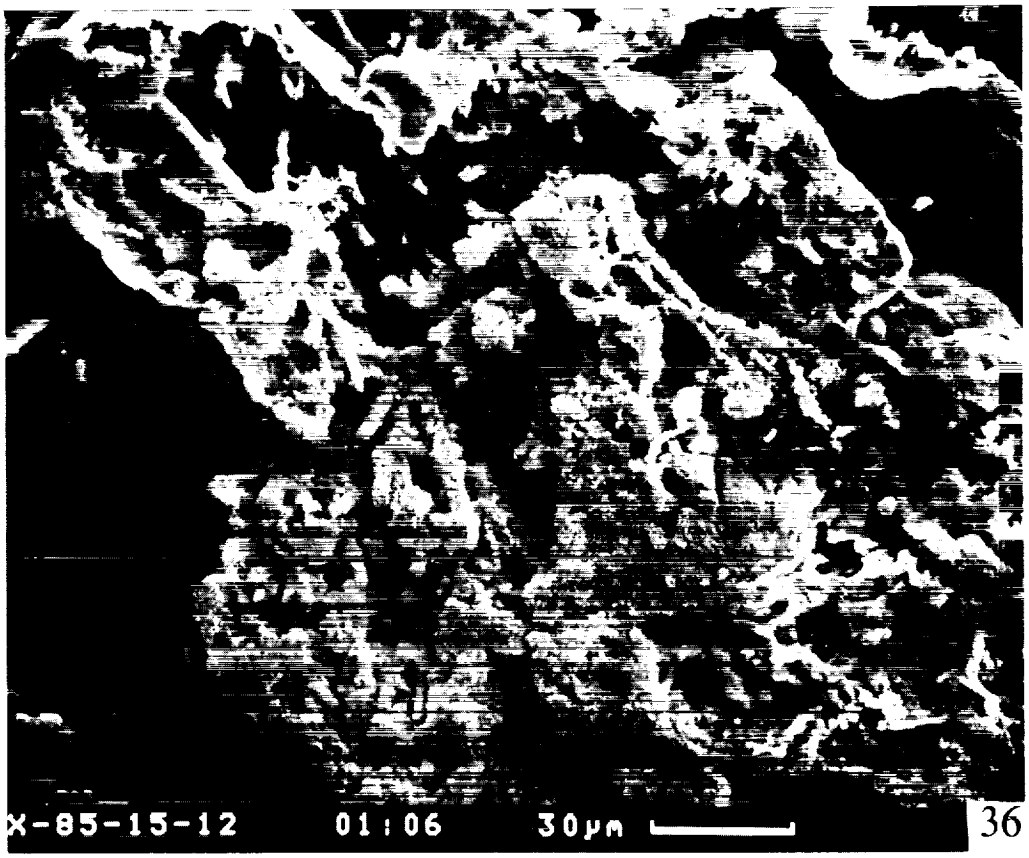
35

Fig.36. Fragment of cyanobacterial mat.

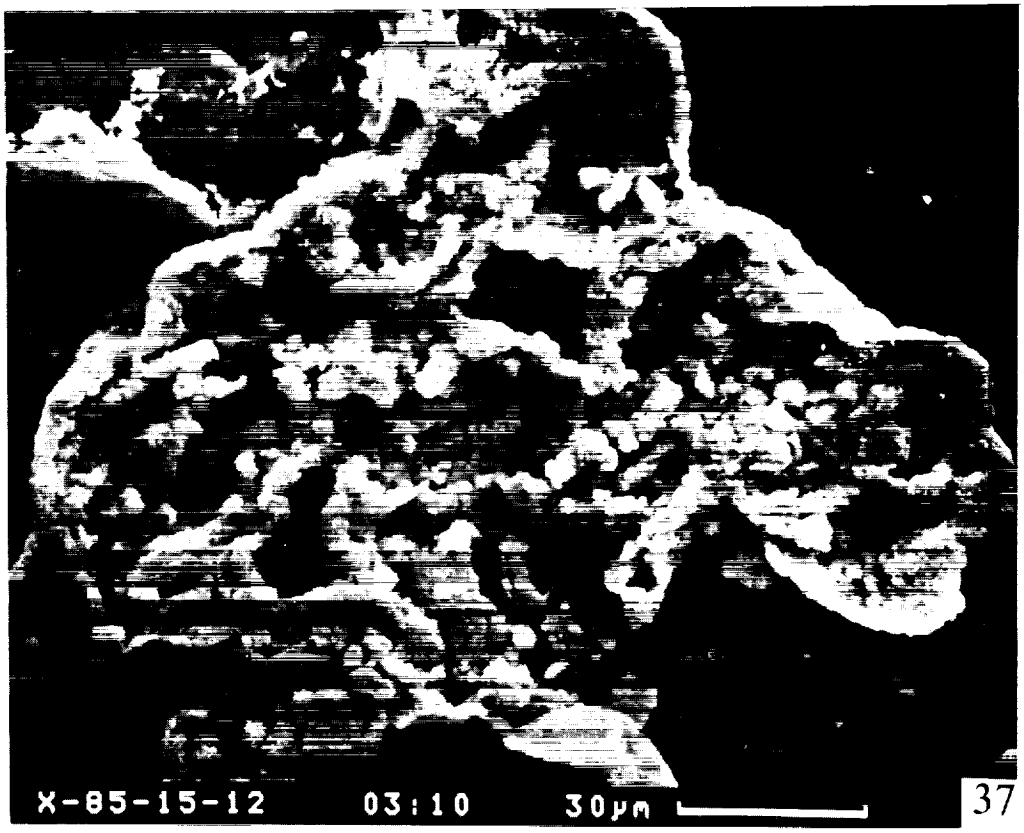
Фиг.36. Участок цианобактериального мата.

Fig. 37. Fragment of cyanobacterial mat.

Фиг.37. Участок цианобактериального мата.



36



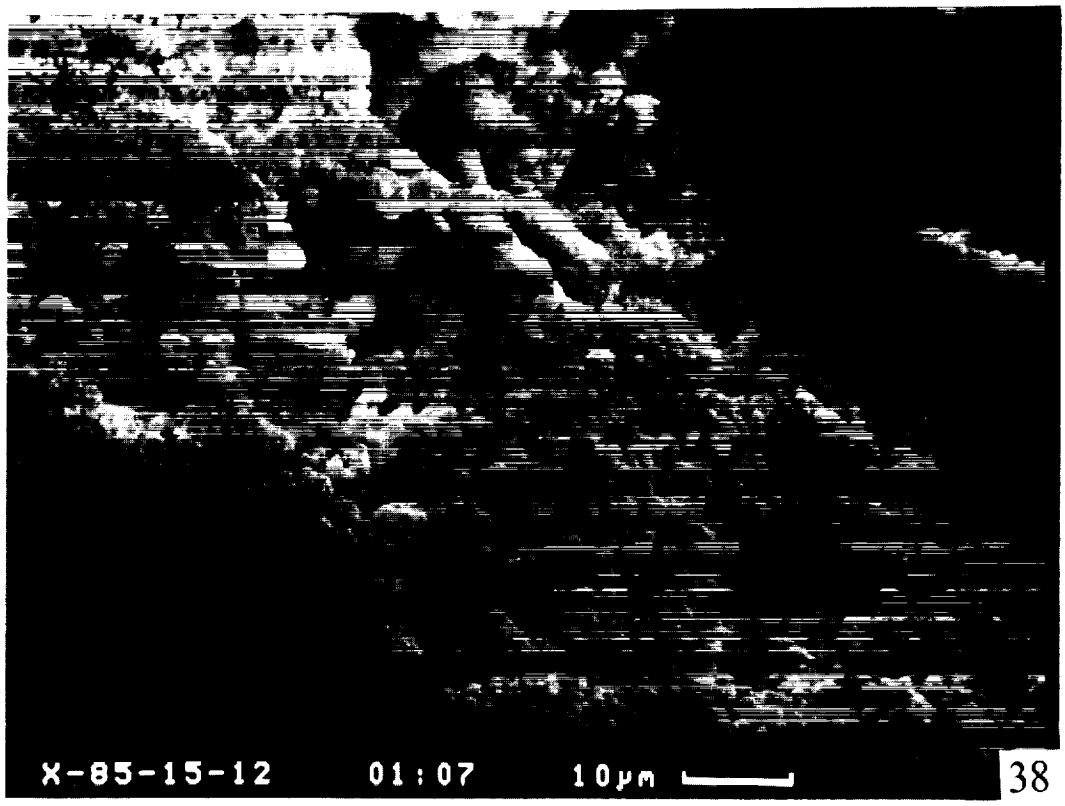
37

Fig.38. Pseudomorphs of purple bacteria and cyanobacteria filaments replaced by purple bacteria.

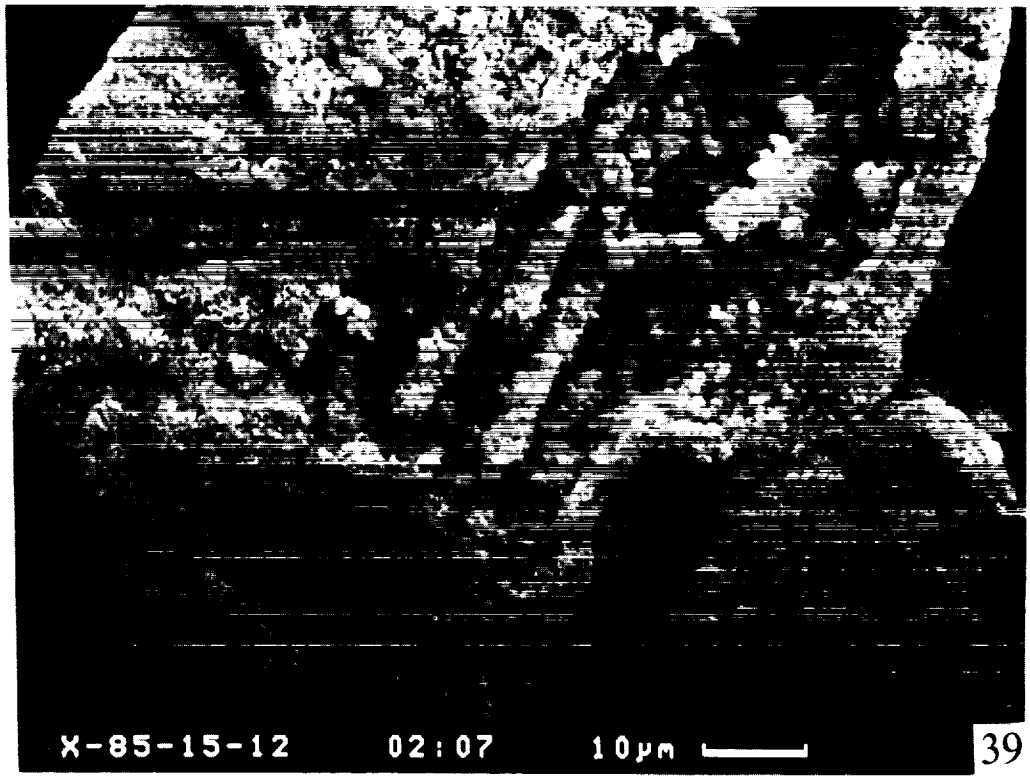
Фиг.38. Псевдоморфозы по пурпурным бактериям и нити цианобактерий, также замещенные пурпурными бактериями.

Fig.39. Pseudomorphs of purple bacteria and cyanobacteria filaments replaced by purple bacteria.

Фиг.39. Псевдоморфозы по пурпурным бактериям и нити цианобактерий, также замещенные пурпурными бактериями.



38



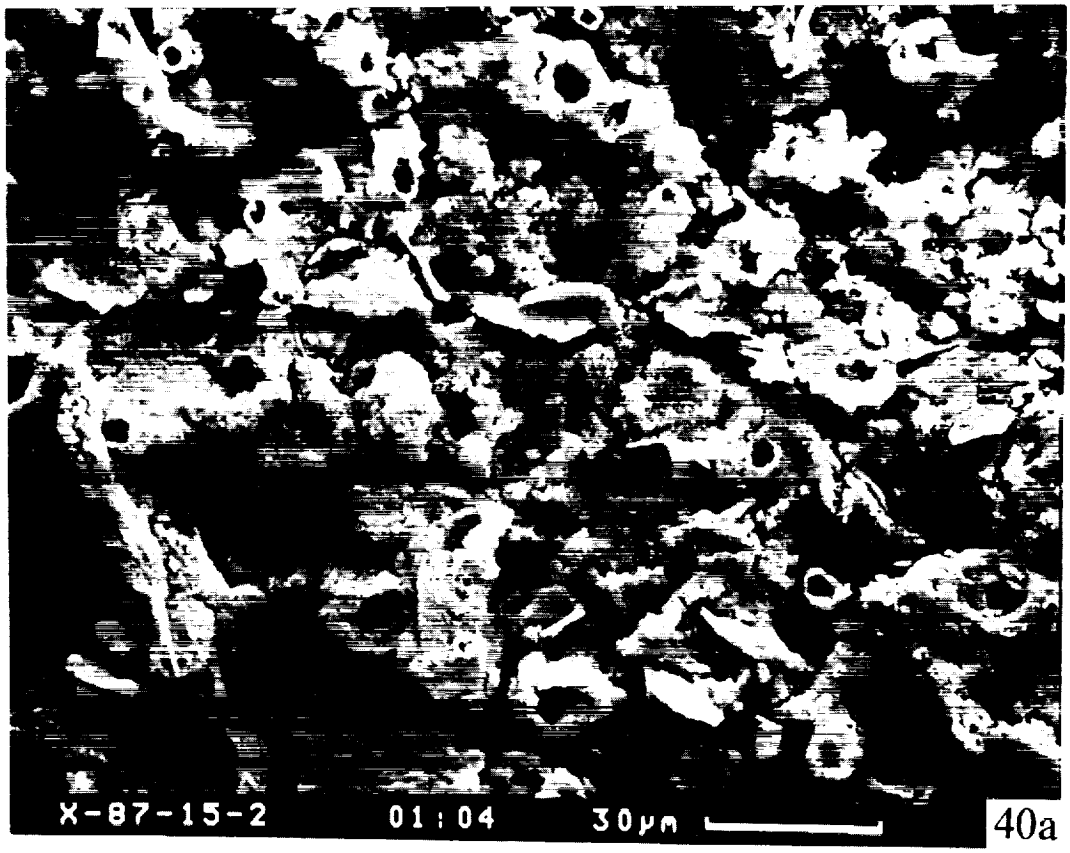
39

Fig.40a. Type of preservation of cyanobacterial mat.

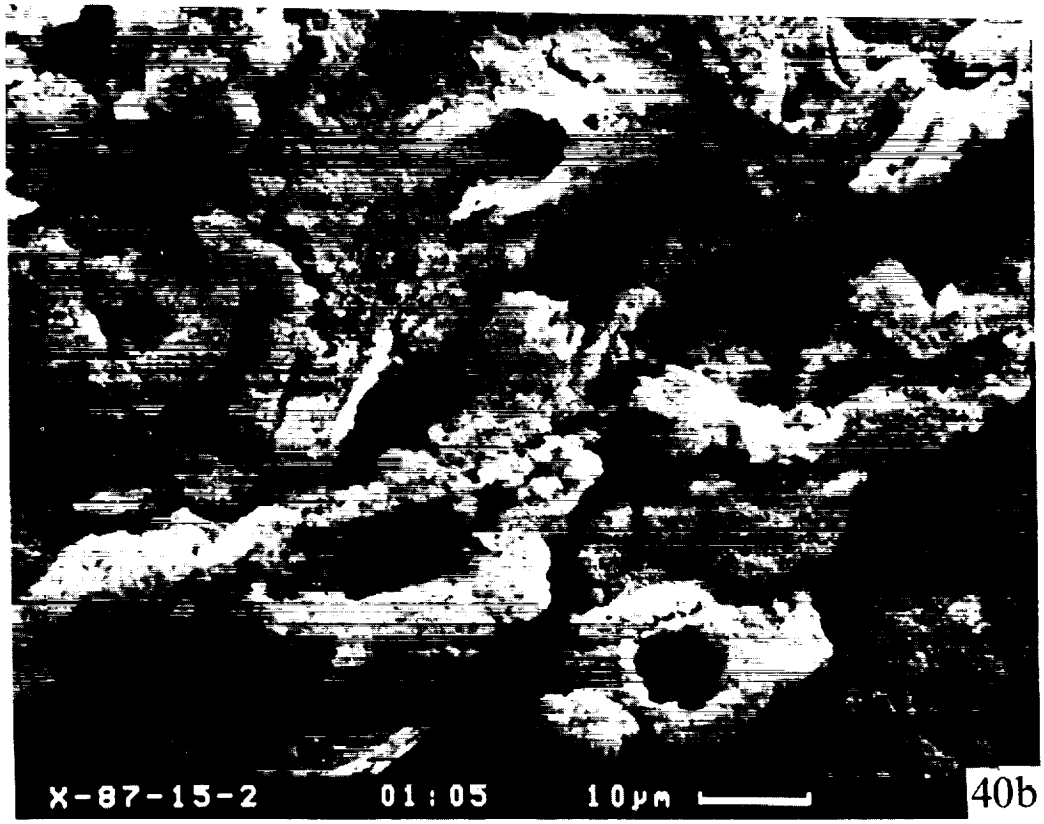
Фиг.40a. Тип сохранности цианобактериального мата.

Fig.40b. The same, enlarged.

Фиг.40b. То же, увеличено.



40a



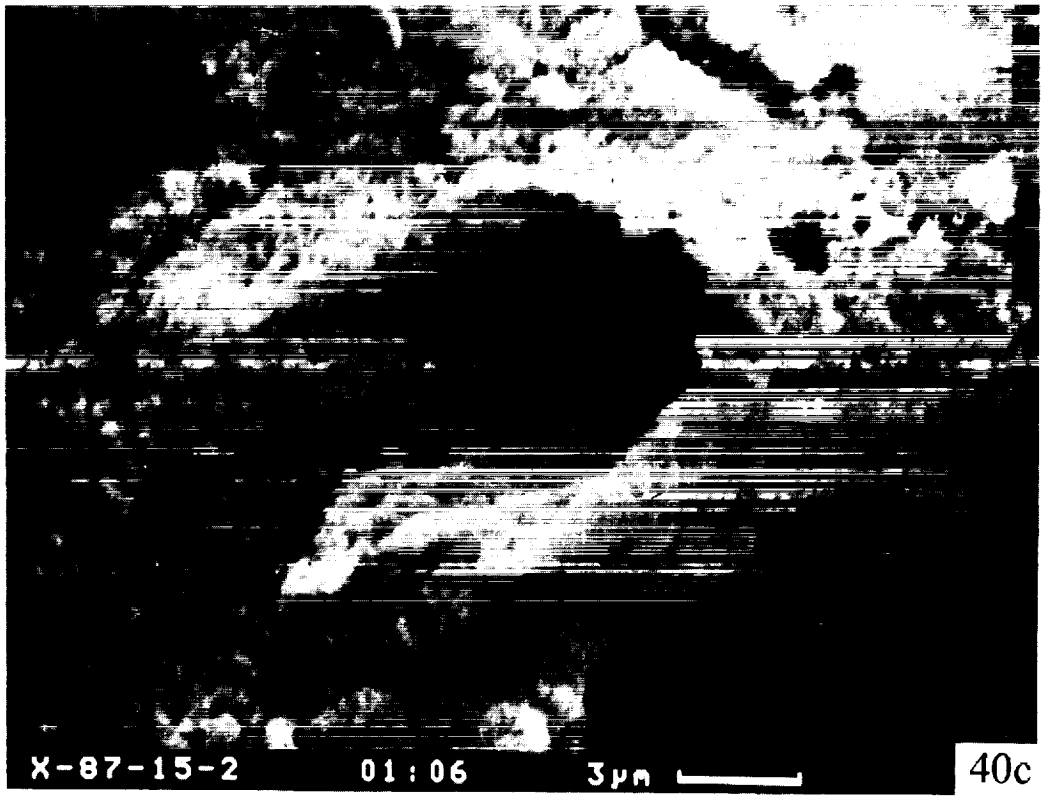
40b

Fig.40c. The same, enlarged.

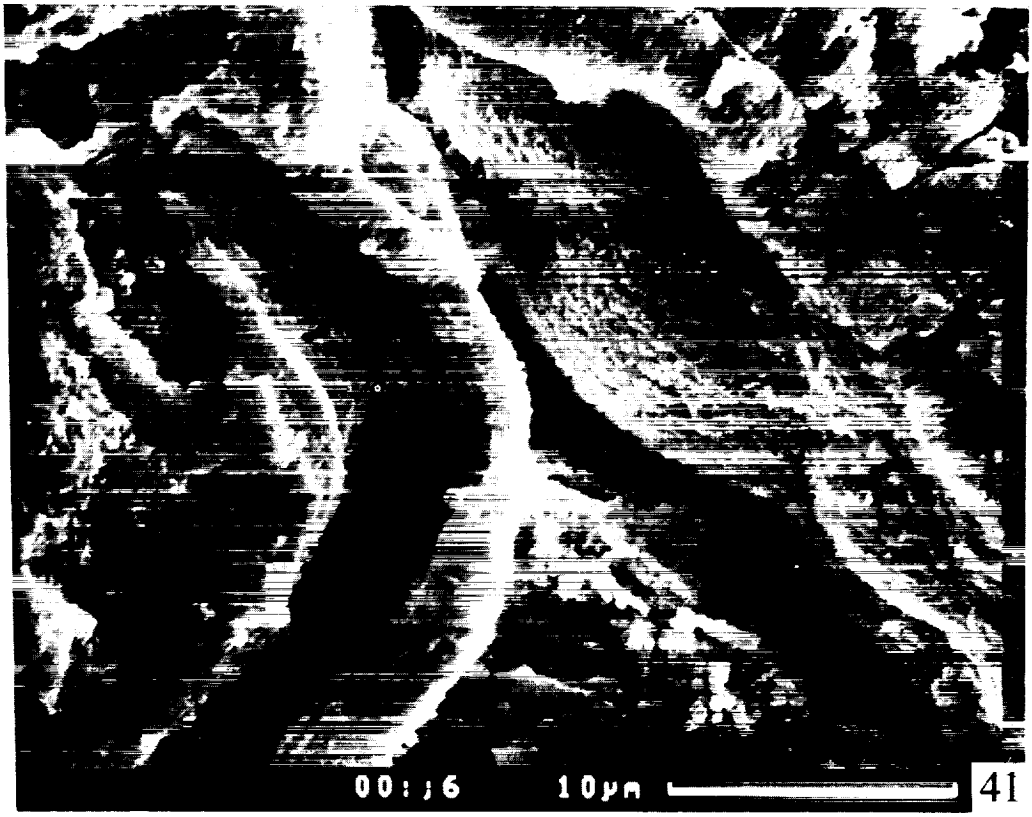
Фиг.40с. То же, увеличено.

Fig.41. Type of preservation of cyanobacterial filaments and purple bacteria.

Фиг.41. Тип сохранности нитей цианобактерий и пурпурных бактерий.



40c



41

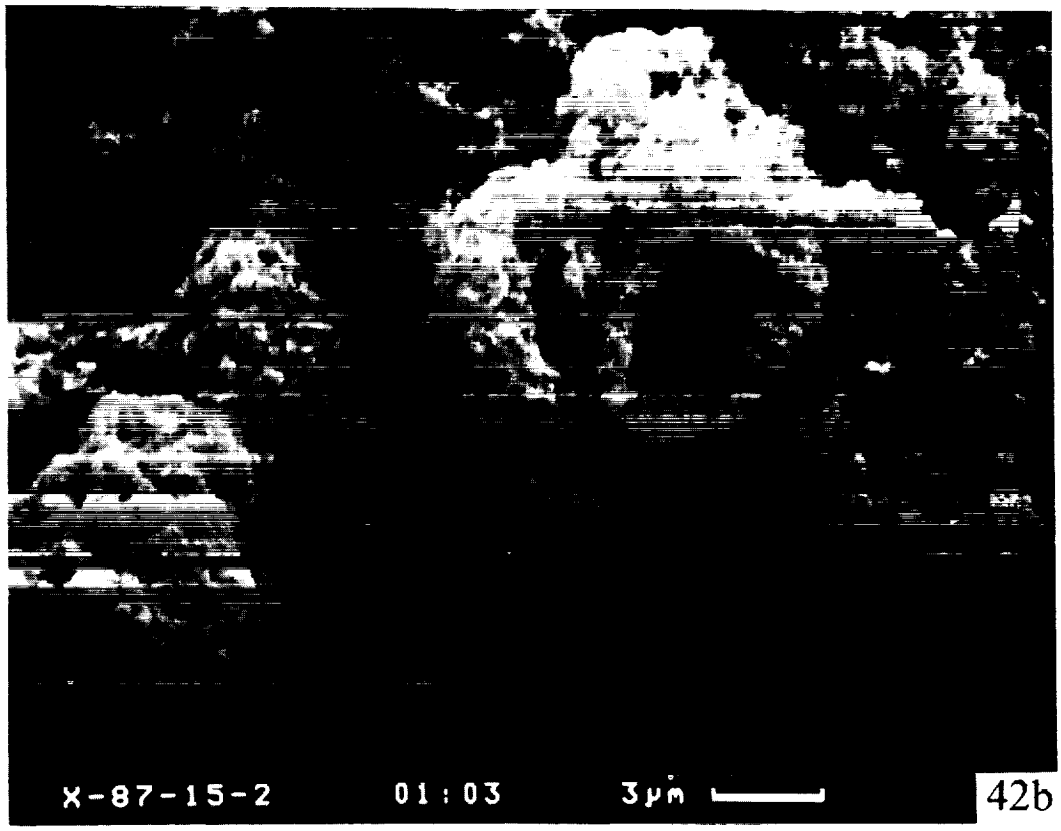
Fig. 42a. Type of preservation of cyanobacterial mat.

Фиг.42a. Тип сохранности цианобактериального мата.

Fig..42b. The same, enlarged.

Фиг.42b. То же, увеличено.

42a



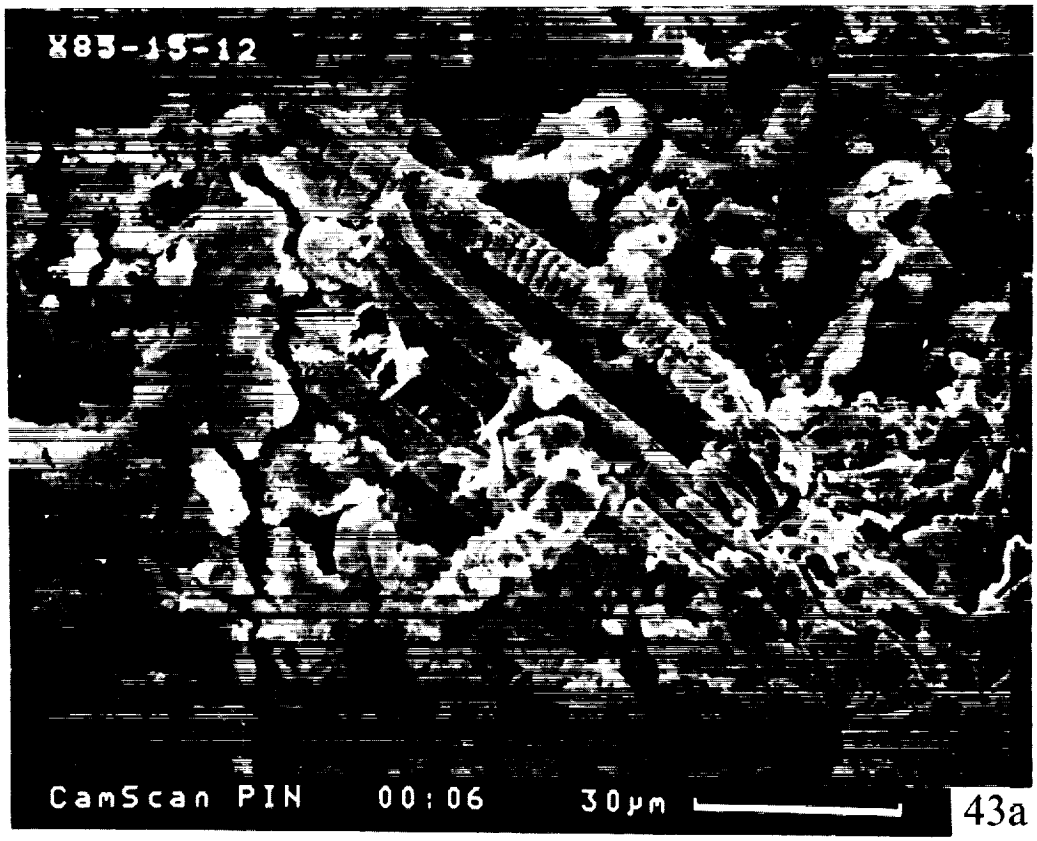
42b

Fig.43a. Type of preservation of cyanobacterial filaments.

Фиг.43а. Тип сохранности нитей цианобактерий.

Fig.43b. The same, enlarged.

Фиг.43b. То же, увеличено.


X85-15-12
CamScan PIN 00:06 30μm
43a

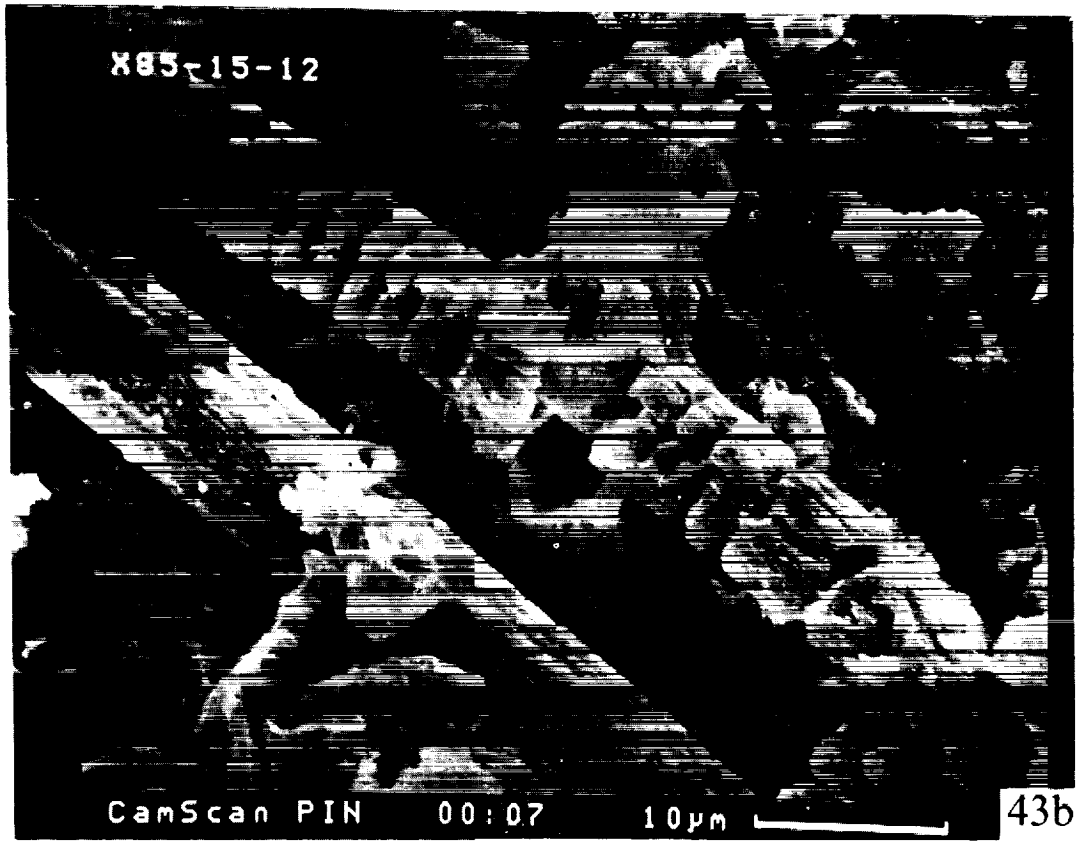
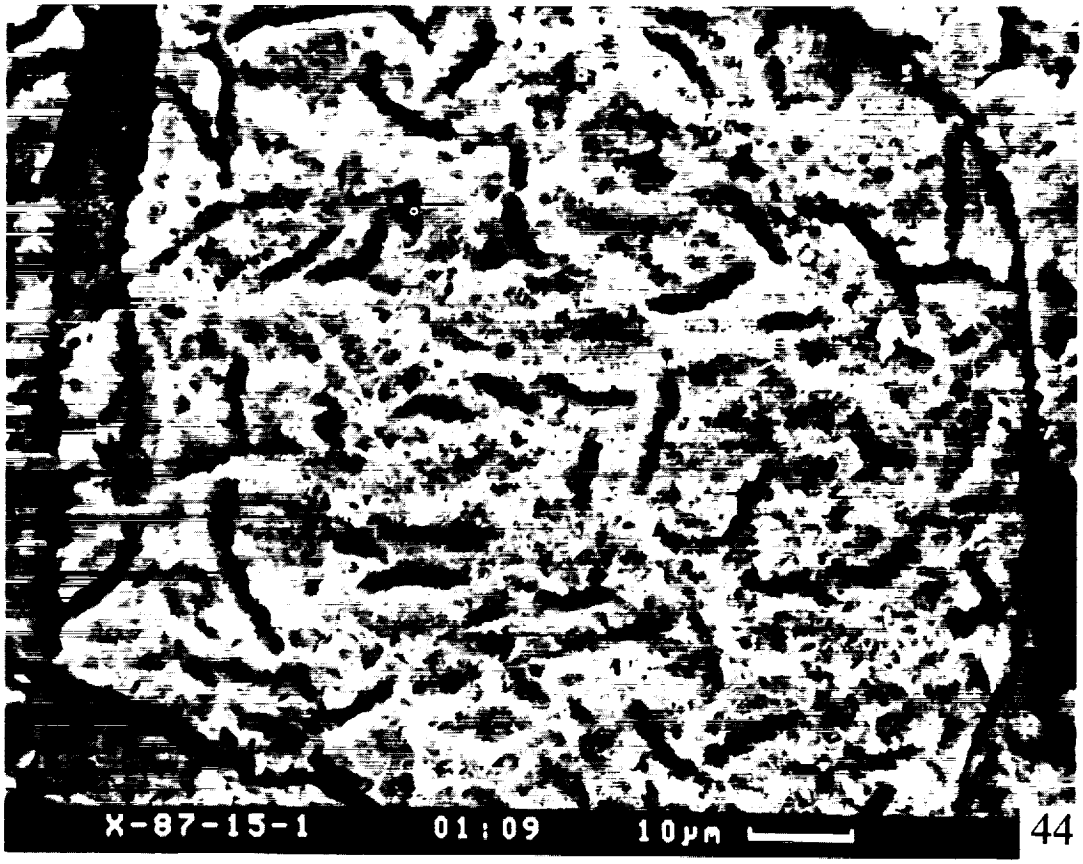

X85-15-12
CamScan PIN 00:07 10μm
43b

Fig.44. Type of preservation of cyanobacterial mat. The hollow tubes are from cyanobacteria.

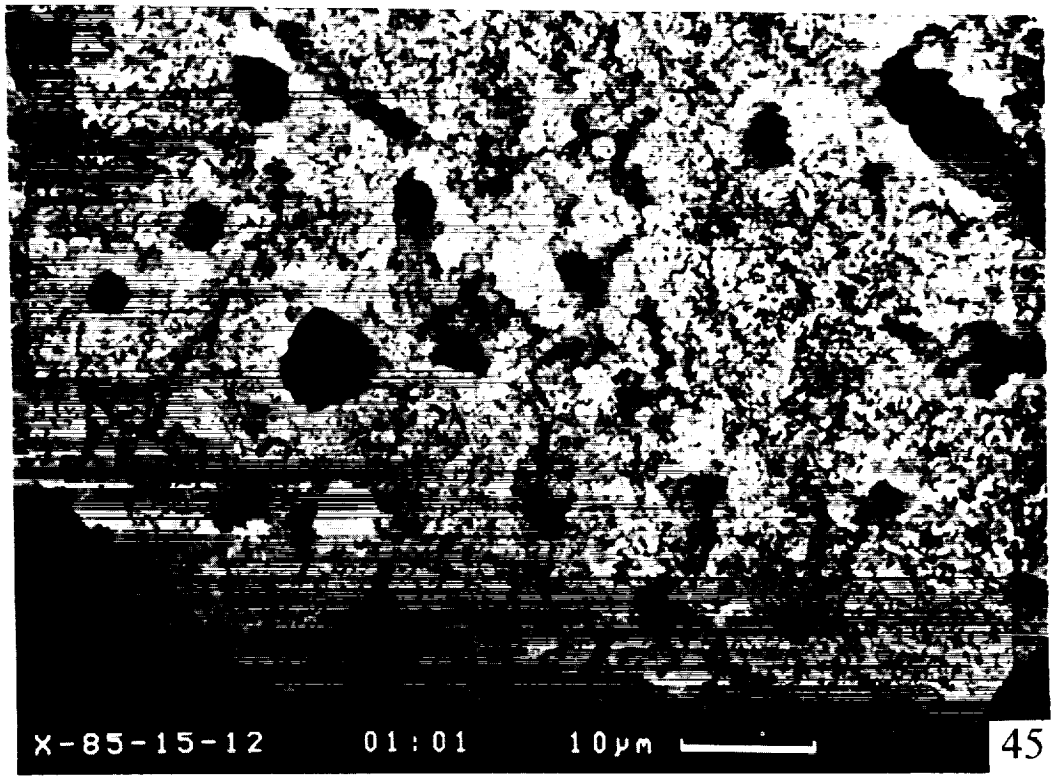
Фиг.44. Тип сохранности цианобактериального мата, полые трубки - полости от цианобактерий.

Fig.45. Type of preservation of cyanobacterial mat and pseudomorphs of purple(?) bacteria concentration.

Фиг.45. Тип сохранности цианобактериального мата и скопления псевдоморфоз пл пурпурным (?) бактериям.



44



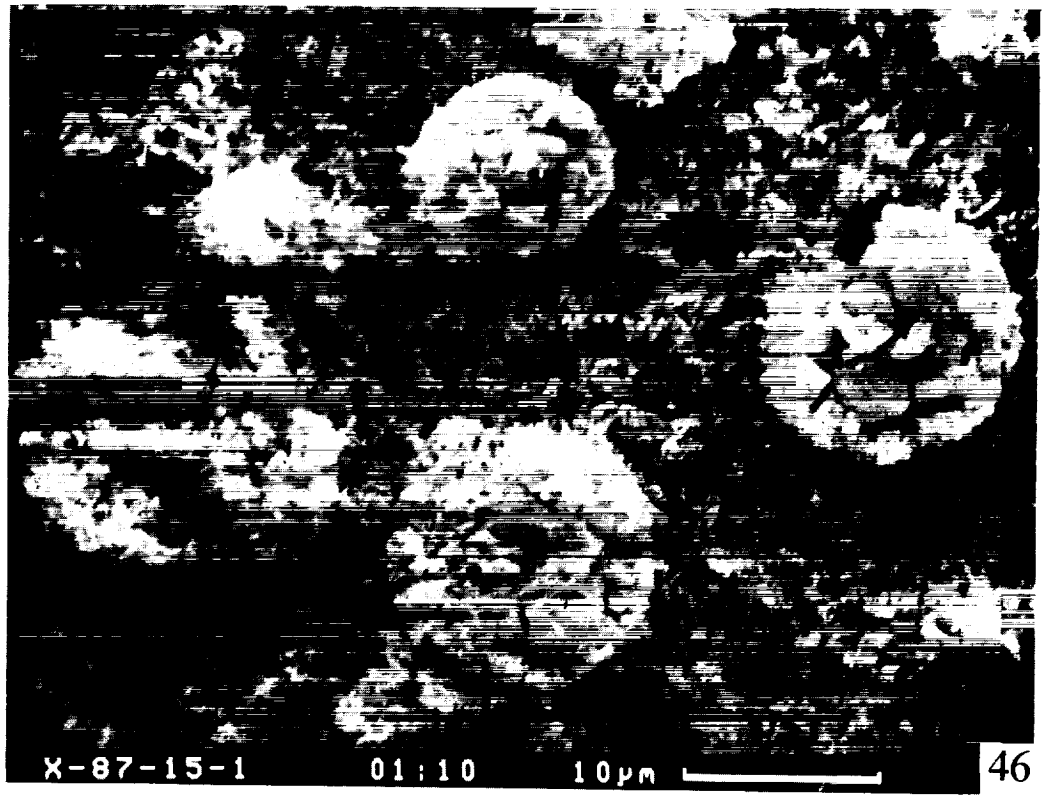
45

Fig.46. Type of preservation of coccoidal mat.

Фиг.46. Тип сохранности коккоидного мата.

Fig.47. Microstromatolite, thin section, (magnification 5x). In lower part - thin bedding phosphorite stromatolite.

Фиг.47. Микростроматолит, шлиф (увеличение 5х.). В нижней части фото - тонкослоистый фосфоритовый строматолит.



46

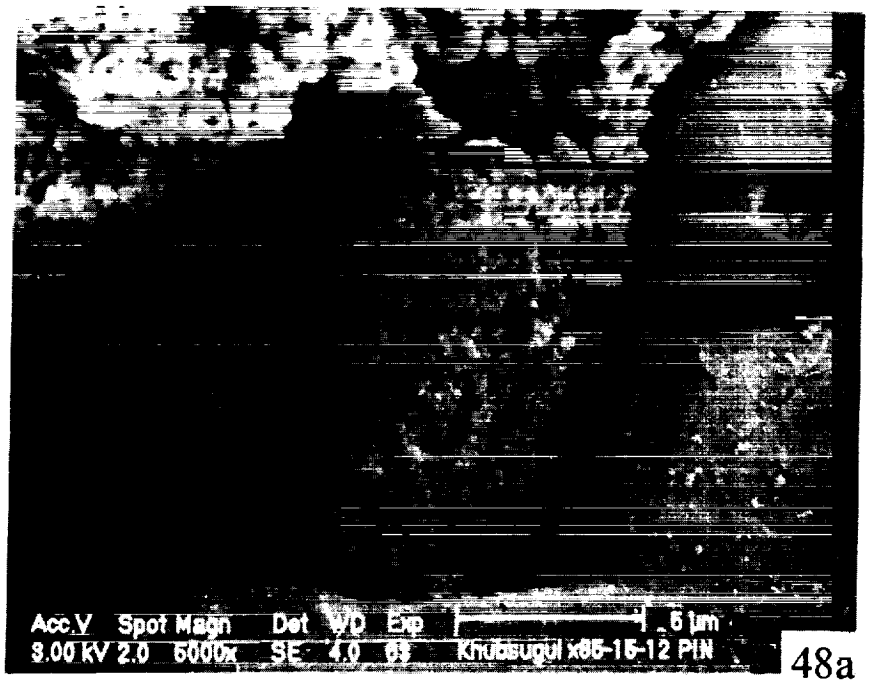
47

Fig.48a. Phosphatized tube from cyanobacteria.

Фиг.48а. Фосфатизированная трубка цианобактерии.

Fig.48b. Dumpbell-like pseudomorphs of bacteria in the upper part of the tube near it inner surface.

Фиг.48b. Гантелевидные псевдоморфозы по бактериями в верхней части трубки рядом с ее внутренней поверхностью;


Acc.V Spot Magn Det WD Exp
3.00 kV 2.0 5000x SE 4.0 63
5 µm
Khubsugul x85-15-12 PIN

48a

Acc.V Spot Magn Det WD Exp
3.00 kV 2.0 10000x SE 4.0 62
2 µm

48b

Fig.48c. Semi-amorphous calcium phosphate on the outer part of the tube.

Фиг.48c. Полуаморфный фосфат кальция, слагающий стенку трубки снаружи

Fig.48d. The same, enlarged.

Фиг.48d. То же, увеличено.

48c

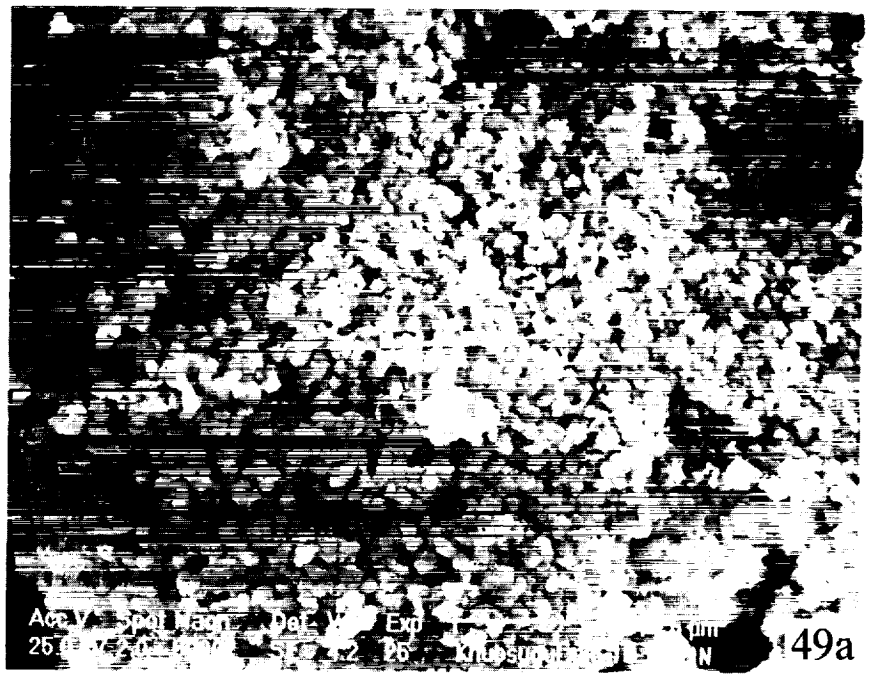
48d

Fig.49a. Fragment of micronodule with well crystalized calcium phosphate.

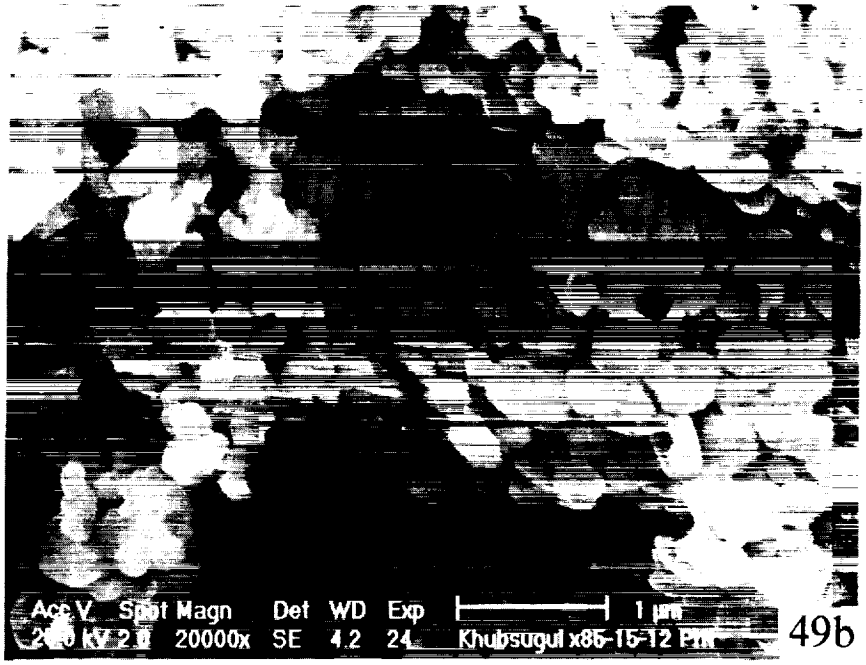
Фиг.49а. Участок микрожелвака с хорошо раскристаллизованным фосфатом кальция.

Fig.49b. The same, enlarged.

Фиг.49b. То же, увеличено.



49a


Acc.V Spot Magn Det WD Exp
1 µm
20000x SE 4.2 24
Khubsugul x86-15-12

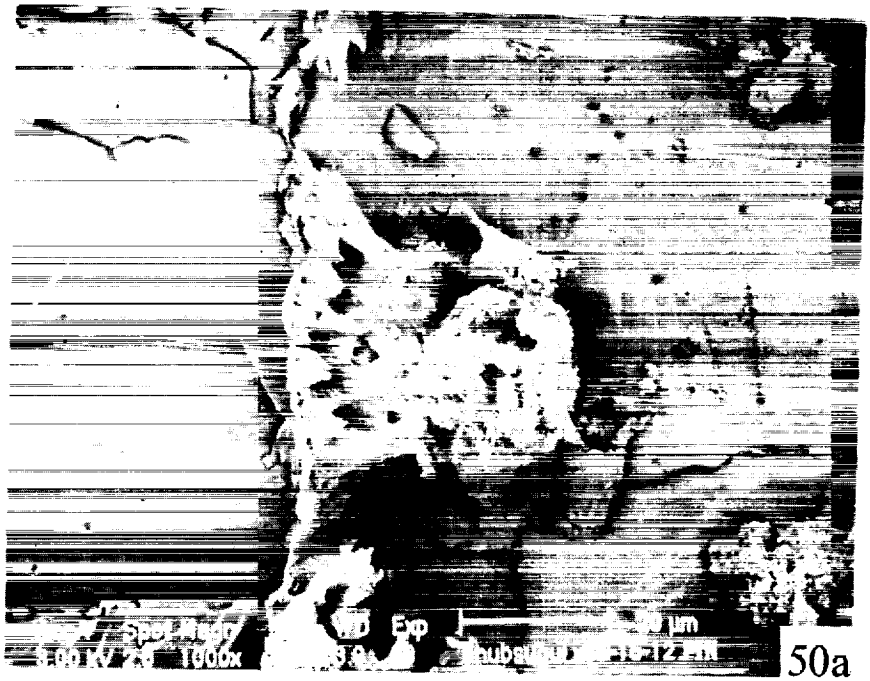
49b

Fig.50a. Fragment with radial placed cyanobacterial (?) filaments. Calcium carbonate crystals are around.

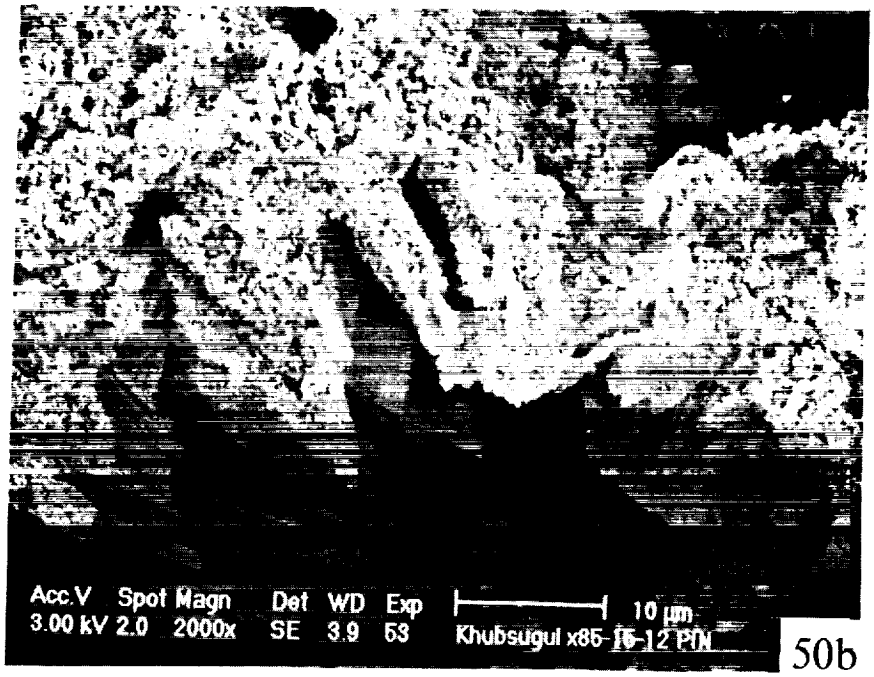
Фиг.50а. Участок с радиально располагающимися нитями (?) цианобактерий. Вокруг находятся кристаллы карбоната кальция.

Fig.50b. The same, enlarged; it is seen the replacement of cyanobacterial (?) filaments by purple bacteria.

Фиг.50b. То же, замещение нитей (?) цианобактерий псевдоморфозами по пурпурным бактериям.


Exp

50a


Acc.V Spot Magn Det WD Exp
3.00 kV 2.0 2000x SE 3.9 53
10 µm
Khubsugul x85-16-12 PIN

50b

Fig.51. Structure of cyanobacterial mat is seen on 10-15 microns of depth. Concentration of pseudomorphs of purple bacteria and cyanobacteria filaments, replaced by purple bacteria as well.

Фиг.51. Конструкция цианобактериального мата на глубину 10-15 микрон. Масса из псевдоморфоз по пурпурным бактериям, среди которой видны нити цианобактерий, замещенные пурпурными бактериями.

10μm 1500X

Fig.52. Concentration of pseudomorphs of purple bacteria with hollow tube from cyanobacteria filament. It is seen that the thickness of filament wall is equal to those of one layer of purple bacteria replaced it.

Фиг. 52. Масса из псевдоморфоз по пурпурным бактериям с полой трубкой от нити цианобактерии. Видно, что толщина стенки нити равна толщине одного слоя заместивших ее пурпурных бактерий.

10μm 2000X

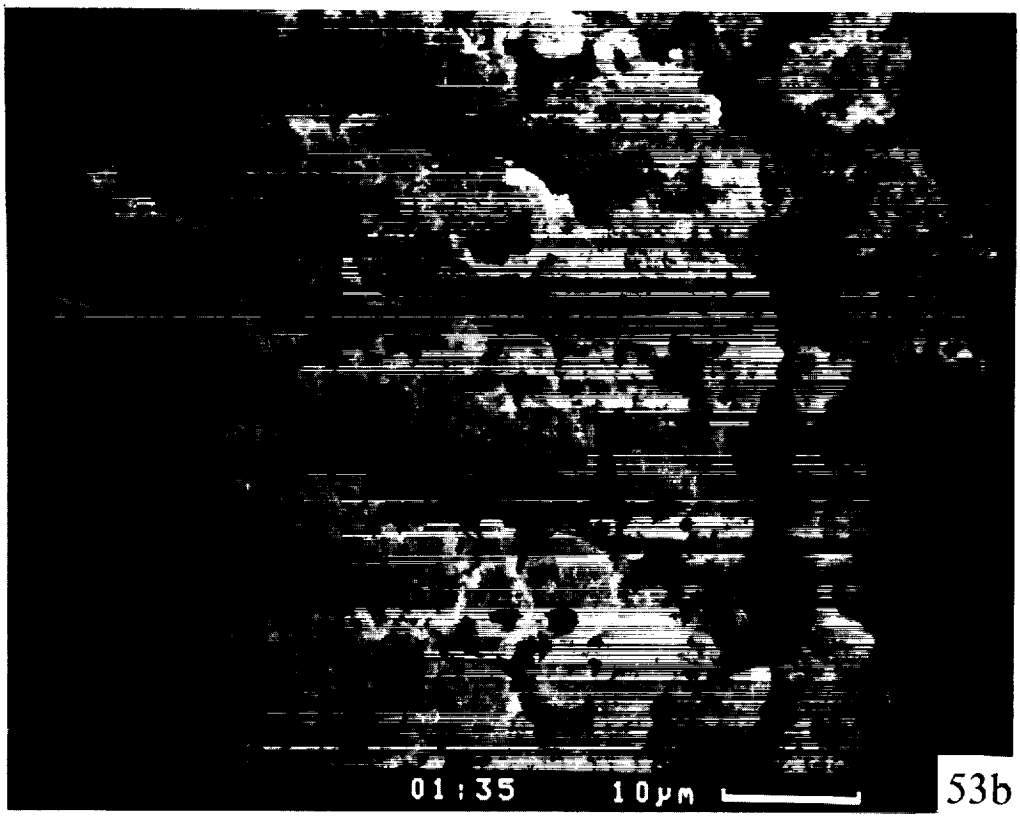
Figs. 53-55 - SEM photographs of organic remains from Khubsugul phosphorites

Фиг.53-55 - SEM фотографии органических остатков из Хубсугульских фосфоритов

Fig.53. *Obruchevella delicata* Reitlinger, 1948; (Burenkhan); a - entire specimen; b - fragment, enlarged; the replacement of the wall by pseudomorphs of coccoidal bacteria is seen.

Фиг.53. *Obruchevella delicata* Reitlinger, 1948; (Буренхан); a - полный экземпляр; b - фрагмент, увеличено; видно замещение стенки псевдоморфозами по коккоидным бактериям.

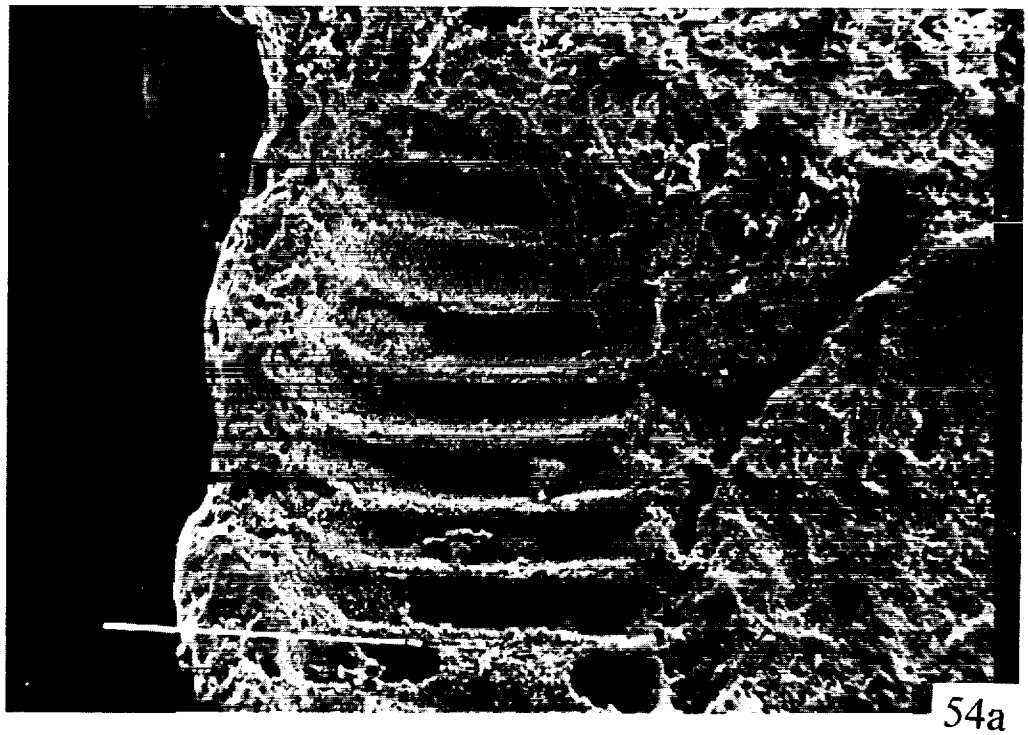
53a



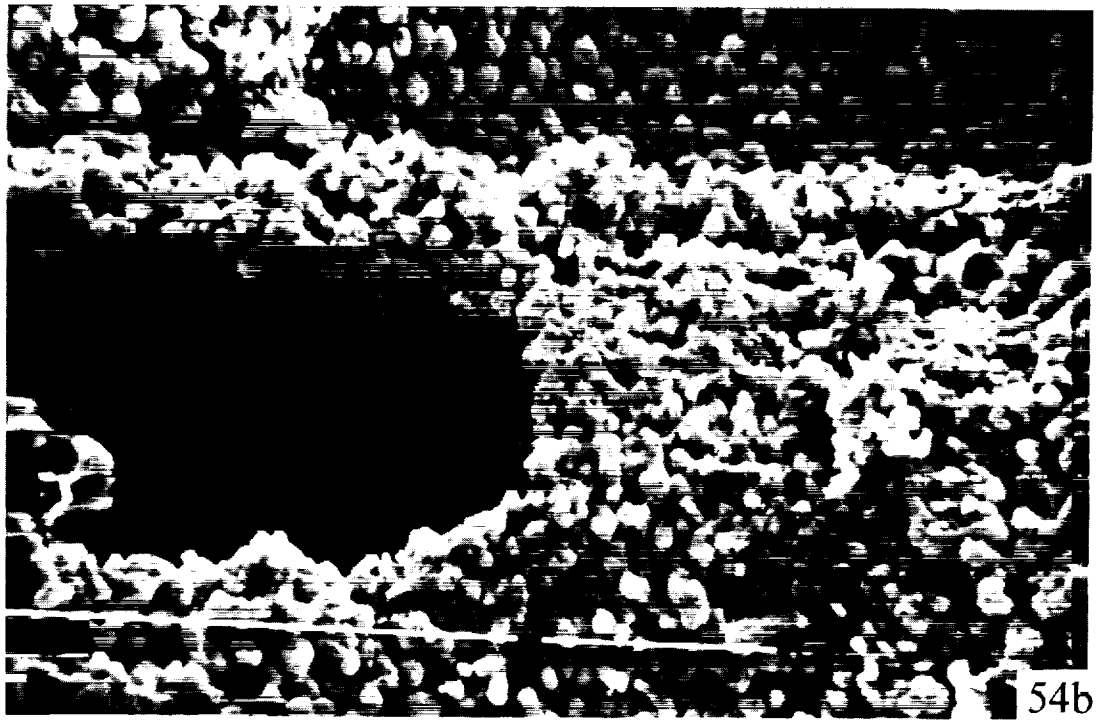
53b

Fig.54. *Obruchevella delicata* Reitlinger, 1948; (Khubsugul); a - entire specimen; b - fragment, enlarged; the replacement of the wall by pseudomorphs of purple bacteria is seen.

Фиг.54. *Obruchevella delicata* Reitlinger, 1948; (Хубсугул); a - полный экземпляр; b - фрагмент, увеличено; видно замещение стенки псевдоморфозами по пурпурным бактериям.



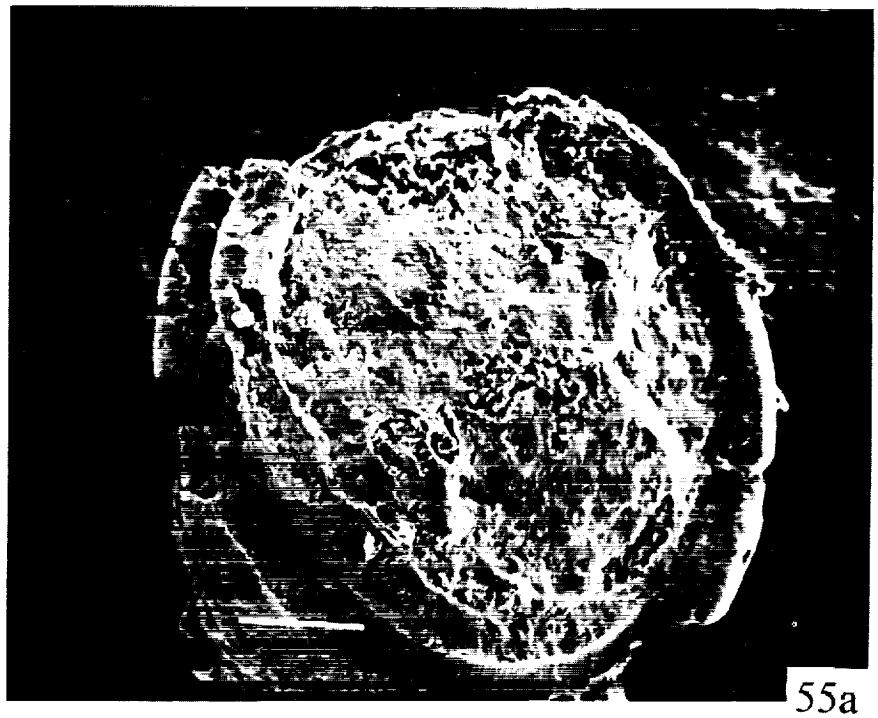
54a



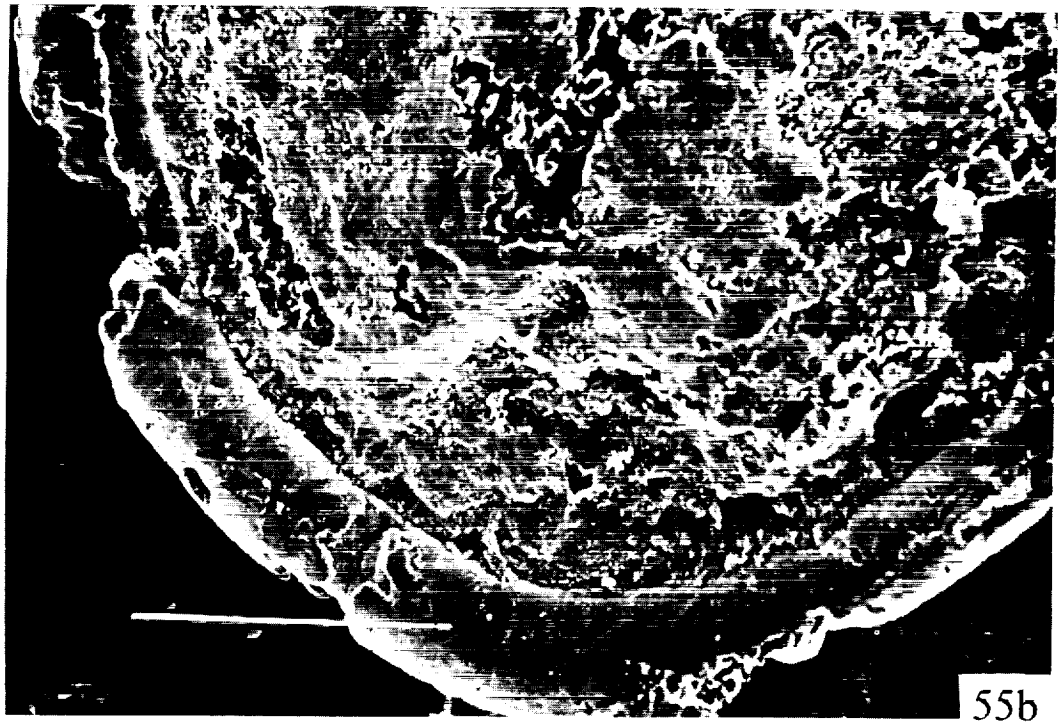
54b

Fig.55. *Spirellus columnaris* Jiang, 1982; (Khubsugul); a - entire specimen; b - fragment, enlarged.

Фиг.55. *Spirellus columnaris* Jiang, 1982 (Хубсугул); a - полный экземпляр; b - фрагмент, увеличено.



55a



55b

Figs. 56-61 - Photomicrographs of ancient cyanobacteria from Khubsugul phosphorites in thin sections.

Фиг. 56-61 - Фотографии древних цианобактерий из Хубсугульских фосфоритов в прозрачных шлифах

Figs. 56 & 57

a. - *Syphonophycus typicum* (Hermann, 1974) Butterfield, 1994;

b - *Syphonophycus robustum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991;

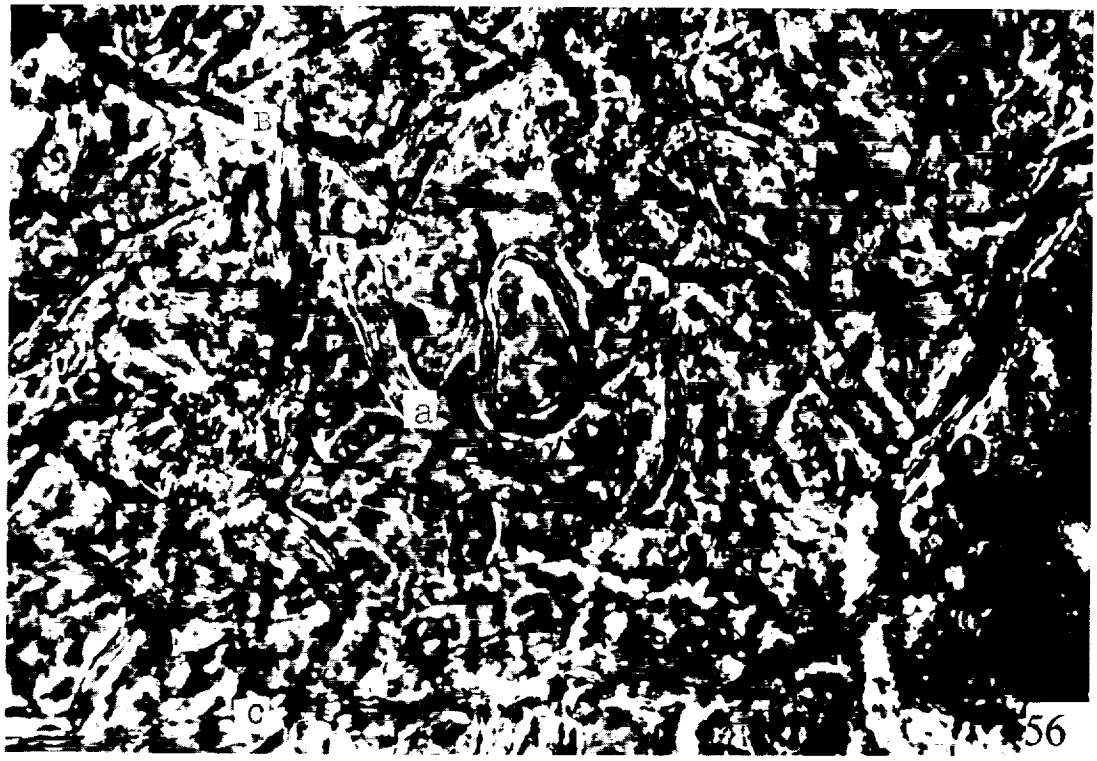
c - *Syphonophycus septatum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991. Magnification 1100x.

Фиг. 56 & 57. Буквы на фотографиях относятся к:

a- *Syphonophycus typicum* (Hermann, 1974) Butterfield, 1994;

b - *Syphonophycus robustum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991;

c - *Syphonophycus septatum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991. Увеличение 1100 x.



56

57

Figs.58 & 59

a. - *Syphonophycus typicum* (Hermann, 1974) Butterfield, 1994;

b - *Syphonophycus robustum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991;

c - *Syphonophycus septatum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991. Magnification 1100x.

Фиг. 58 & 59. Буквы на фотографиях относятся к:

a- *Syphonophycus typicum* (Hermann, 1974) Butterfield, 1994;

b - *Syphonophycus robustum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991;

c - *Syphonophycus septatum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991. Увеличение 1100 x.

58

59

Figs. 60 & 61

a. - *Syphonophycus typicum* (Hermann, 1974) Butterfield, 1994;

b - *Syphonophycus robustum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991;

c - *Syphonophycus septatum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991. Magnification 1100x.

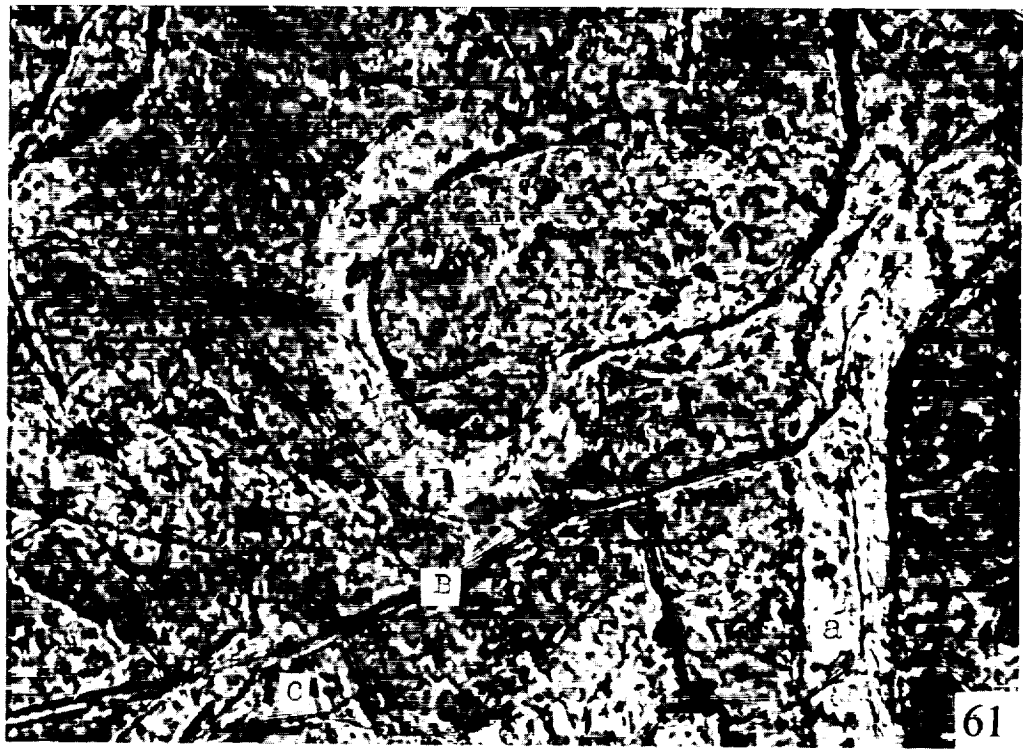
Фиг. 60 & 61 Буквы на фотографиях относятся к:

a- *Syphonophycus typicum* (Hermann, 1974) Butterfield, 1994;

b - *Syphonophycus robustum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991;

c - *Syphonophycus septatum* (Schopf, 1968) Knoll *et al.*, 1991. Увеличение 1100 x.

60



61

REPORT DOCUMENTATION PAGE

Form Approved
OMB No. 0704-0188

Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden, to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operation and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503

1. AGENCY USE ONLY *(Leave Blank)*

2. REPORT DATE
February 2000

3. REPORT TYPE AND DATES COVERED
Technical Publication

4. TITLE AND SUBTITLE
Atlas of Microorganisms from Ancient Phosphorites of Khubsugul (Mongolia)

5. FUNDING NUMBERS
Russian Foundation for Basic Research Projects 96–04–48372, 96–05–64130, 96–05–64806, 97–05-65069, 98–05–64765

6. AUTHORS
Elena A. Zhegallo, Alexei Yu. Rozanov, Galina T. Ushatinskaya, Richard B. Hoover, Ludmila M. Gerasimenko, and Alla L. Ragozina

7. PERFORMING ORGANIZATION NAMES(S) AND ADDRESS(ES)
George C. Marshall Space Flight Center
Marshall Space Flight Center, AL 35812

Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia

8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER
M–957

9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)
National Aeronautics and Space Administration
Washington, DC 20546–0001

10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER
NASA/TP—2000–209901

11. SUPPLEMENTARY NOTES
Prepared for Space Science Department, Science Directorate

12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT
Unclassified-Unlimited
Subject Category 55
Standard Distribution

12b. DISTRIBUTION CODE

13. ABSTRACT *(Maximum 200 words)*

A photographic atlas of scanning electron microscope (SEM) images of Cambrian (Tommotian) microfossils from the phosphorites of Khubsugul Mongolia is presented. SEM images of modern cyanobacteria and bacteria are provided for comparison. The importance of bacterial fossils and morphological biomarkers to astrobiology and the understanding of the origin of phosphorites is considered.

14. SUBJECT TERMS
phosphorites, microfossils, morphological biomarkers, cyanobacteria, Khubsugul, bacterial paleontology, astrobiology

15. NUMBER OF PAGES
171

16. PRICE CODE
A08

17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT
Unclassified

18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
Unclassified

19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT
Unclassified

20. LIMITATION OF ABSTRACT
Unlimited

National Aeronautics and
Space Administration
AD33
George C. Marshall Space Flight Center
Marshall Space Flight Center, Alabama
35812