

Литосфера и глубинная биосфера

Беляев А.М.

Действительный член Палеонтологического общества при РАН,

Paleovirology group, С.-Петербург,

paleovirology@mail.ru, <http://www.paleovirology.ru/>

Тезисы доклада на Восьмой международной научно-практической конференции «*Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы*» 10-13 октября 2023 г. Воронеж, с.19-23.

Аннотация

Геологическое пространство литосферы служит вместилищем для значительной части биосферы планеты, и участвует в круговороте микробиологического вещества между поверхностными, глубинными и океаническими областями Земли. Глубинные воды, содержащие подземные микроорганизмы, могут выходить наружу на континентальных склонах, обогащая органическим веществом зоны апвеллинга и океанические течения. При этом, минерализованные подземные воды имеют возможность постоянного движения, за счет ритмичного изменения внутрипородного давления при ежесуточных земных приливах и отливах. Наиболее благоприятные условия для обитания колониальных микроорганизмов древней глубинной биосферы существовали внутри горных пород в полостях агатовых камер, до заполнения их кремнистым веществом. Подземные организмы образовывали на стенках агатовых полостей слоистые, пузырчатые, ветвистые и почковидные структуры, подобные бактериальным матам, впоследствии замещенные кремнистым веществом. Впервые получены данные о значительном обогащении легким изотопом ^{12}C органического вещества в халцедонах агатовых жезд из месторождений Северного Тимана и Казахстана. Эти факты однозначно указывают на тесные связи между поверхностной и глубинной областями древней биосферы.

Ключевые слова: глубинная биосфера, земные приливы, микроритмы халцедона, моховые агаты, биогенные маты, окремнение, микрофоссилии, изотопы углерода.

Lithosphere and Depths Biosphere

Anatoly. M. Belyaev

Full member of the Paleontological Society of the RAS

Paleovirusology group, St. Petersburg, Russia,

paleovirusology@mail.ru, <http://www.paleovirusology.ru/>

Abstract.

The geological space of the lithosphere serves as a receptacle for a significant part of the planet's biosphere, and participates in the circulation of microbiological matter between the surface, deep and oceanic regions of the Earth. Deep waters containing underground microorganisms can come out on the continental slopes, enriching the upwelling zones and ocean currents with organic matter. At the same time, mineralized groundwater has the possibility of constant movement, due to the rhythmic change in intra-breed pressure at daily earth tides. The most favorable conditions for the habitation of colonial microorganisms of the ancient deep biosphere existed inside rocks in the cavities of agate chambers, before filling them with siliceous matter. Underground organisms formed layered, bubbly, branched and kidney-shaped structures on the walls of agate cavities, similar to bacterial mats, subsequently replaced by siliceous matter. For the first time, data were obtained on significant enrichment of organic matter with a light isotope ^{12}C at the level of biogenic parameters in chalcedony agate geodes from the deposits of Northern Timan and Kazakhstan. These facts clearly indicate close connections between the surface and deep regions of the ancient biosphere.

Keywords: deep biosphere, earth tides, chalcedony microrhythms, moss agates, biogenic mats, silification, microfossils, carbon isotopes.

Экологическая функция литосферы отражает роль и значение литосферы в жизнеобеспечении биоты. В последние годы установлено, что геологическое пространство литосферы служит вместилищем для значительной части биосферы планеты. Современная глубинная биосфера представляет собой часть биосферы планеты, которая, локализована в горных породах до глубины в 5 километров [5]. Под уровнем морского дна микробная жизнь найдена на глубине 1626 м [10,11]. Современные обитатели глубинной биосферы составляют 90% биомассы всего мира прокариот и архей на планете и 15 % массы от всей биосферы. При этом, глубинная биосфера представлена всеми тремя доменами живых организмов: бактериями, археями, эукариотами, а также вирусами [6]. Изучение геномов подземных обитателей показало их генетическое разнообразие, такое же, как и у микроорганизмов на поверхности [7]. Микроорганизмы могут существовать в горных породах при температурах от 40° до 120°С [12], и получать энергию в процессах окислительно-восстановительных реакций, используя хемолитоавтотрофный тип питания, вместо фотосинтеза [8].

Для жизни в глубинных условиях необходима не только вода, но и ее движение. Постоянное движение растворов в межзерновом пространстве, и в полостях горных пород может быть вызвано ежесуточными земными приливами (с периодами около 12 часов), вызванными силами притяжения Луны и Солнца [1]. Наибольшее вертикальное смещение твердой поверхности происходит, когда Земля, Луна и Солнце находятся в пространстве приблизительно на одной линии (новолуние и полнолуние). Полусуточная амплитуда современных каменных приливов на экваторе может достигать 55 см [3].

Периодическое воздымание и опускание земной тверди приводит к изменению плотности и, соответственно, пористости горных пород, которое сопровождается изменением давления в межзерновом пространстве. При этом, подземные воды, получают возможность постоянного пульсирующего приливного движения, обеспечивая «глубинное дыхание Земли», с амплитудой «вдоха и выдоха» в двенадцать часов. Ежесуточные земные приливы могут прокачивать межпоровые и трещинные воды сквозь толщи горных пород подобно насосу. Сток

глубинных вод, содержащих микроорганизмы и их остатки происходит на склонах пассивных и активных окраин континентов, так как давление поровых и трещинных вод в 2-3 раза выше, чем давление морской воды на той же глубине. Подземные воды, содержащие микроорганизмы, обогащают биогенным органическим веществом зоны апвеллинга и глубинные океанические течения. Так может осуществляться глобальный круговорот живого вещества в литосфере между поверхностными, глубинными и океаническими водами (Рис.1).

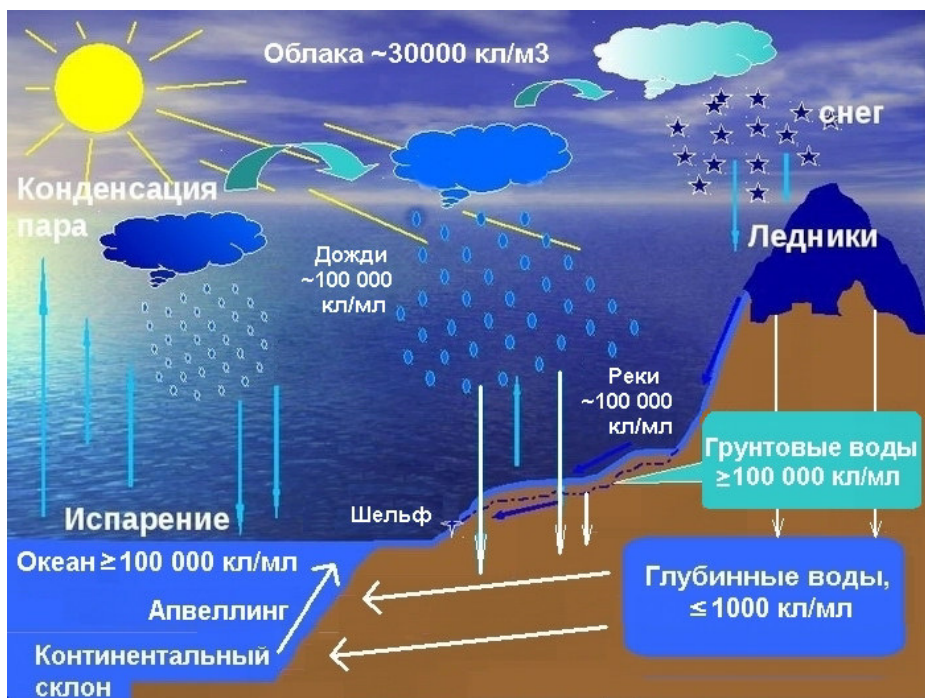


Рис. 1. Поверхностный и глубинный круговороты воды и микробиологического вещества биосферы [1]. Содержание клеток в облаках – кл/м³ (клетки в метре кубическом); в воде – кл/мл (клетки в 1 миллилитре) [9].

Несомненно, что глубинная подземная биосфера существовала на планете и в древние геологические периоды, возможно, с самого начала зарождения жизни на Земле.

Обитатели глубинной биосферы могли быть представлены археями, прокариотами, эукариотами и вирусами. Древние подземные микроорганизмы, могли жить в межзерновом пространстве, однако обнаружить их микрофоссилии в породах горных пород, которые впоследствии заполнились твердым веществом, в настоящее время технически довольно сложно. Вместе с тем, древние трещины или полости внутри горных пород могли обеспечивать возможность объемного роста не только для одиночных бактерий, но и значительных сообществ микроорганизмов, в том числе и колониальных. Наиболее благоприятные условия для древней подземной жизни могли существовать в агатовых камерах, до заполнения их кремнистым веществом, в котором могли сохраниться и псевдоморфозы окремненных организмов. Со временем эти полости так же заполнились твердыми минеральными образованиями кремнезема.

Агатовые жеоды встречаются среди изверженных магматических и осадочных горных пород, сформировавшихся в «зоне жизни» – подземных областях доступных для проникновения поверхностных вод и жизнедеятельности организмов глубинной биосферы. Наиболее широко распространены ритмично-слоистые агатовые структуры, среди которых иногда встречаются разновидности, содержащие моховидные, сферолитовые, пузырчатые и другие включения характерной формы, получившие названия моховых и дендритных агатов.

Изучение ритмично-слоистых агатовых структур Северного Тимана показало, что внутри видимых невооруженным глазом макроритмов (толщиной 1-2 мм), обнаруживаются пакеты, образованные 30-ю тончайшими микроритмами. При этом в пакетах наблюдается симметричная зональность в распределении толщины микроритмов – в краях пакетов они отчетливо толще, чем в центральных частях. Возможно, микроритмы были отложены из движущихся кремнийсодержащих растворов в результате полусуточного пульсационного изменения давления, во время каменных приливов и отливов, а макроритмы – представляют собой отложения халцедона за период лунного месяца. В некотором роде, такая зональность подобна годовым

кольцам в деревьях [1]. Симметричное ритмично-зональное строение пакетов микроритмов в макроритмах в агатовых жеодах различных месторождений было отмечено и ранее [2].

Агаты, содержащие древовидные ветвящиеся образования называли «моховыми» естествоиспытатели в XVIII веке, так как считали, что эти структуры представляют собой минерализованные включения мхов. В настоящее время все «моховики» считают минеральными образованиями в студне кремнезема» [2]. Среди моховых агатов выделяются разновидности, называемые «кахолонгами». Они сложены сплошным халцедоном или опалом без видимой зональности и часто содержат дендритные вростки гидроксидов и оксидов марганца и железа. Примером могут служить моховые кахолонги Казахстана.

Периферийные части большинства агатовых жеод из различных месторождений мира образованы сферолитовыми корками – полусферическими выделениями халцедона и опала, внутри которых присутствуют ветвистые, пузырчатые или сферолитовые структуры. Такие структуры на стенках агатовых камер имеют явные признаки одновременного роста совместно с включающим их слоем.

Анализ структур моховых агатов и сферолитовых корок позволяет предположить участие биогенного вещества в их происхождения. Рост ветвистых и сферолитовых структур происходил в слое жидкого вещества, которое синхронно с ними увеличивалась в объеме. При этом часто наблюдаются несколько чередующихся слоев, подобных бактериальным матам. Поэтому, такие структуры в агатовых камерах могли сформироваться в результате биогенных процессов, и представлять собой остатки жизнедеятельности глубоководных колониальных организмов, замещенных кремнистым веществом.

В ритмично-зональных агатах Северного Тиммана (Рис.2) на стенках агатовых камер присутствуют агрегаты пузырчатых и структур, которые окаймляются слоистыми почковидными образованиями. Эти структуры имеют признаки одновременного образования и роста совместно с включающим их слоем, что указывает рост пузырчатых структур в слое жидкого вещества, которое синхронно с ними увеличивалась в объеме. К

почковидным образованиям примыкают, или находятся в непосредственной близости, сферические глобулы, которые возможно, представляют собой окремненные микрофоссилии глубинных микроорганизмов [1].

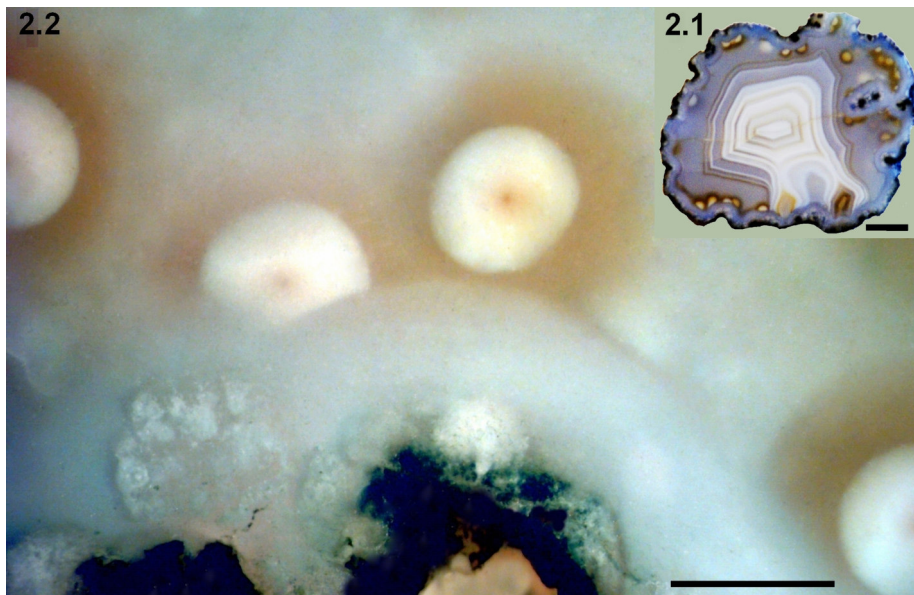


Рис.2. Сферические глобулы, пузырьчатые структуры и почковидные образования на стенках агатовой жеоды в зональном агате из месторождения в базальтах Северного Тимана. 2.1. Полированный образец. Масштабная линейка 1 см; 2.2. Фрагмент образца 1 в месте взятия пробы халцедона на изотопный анализ углерода ($\delta^{13}\text{C} = -27.9\text{‰}$). Полированный образец. Масштабная линейка 1 мм. Коллекция А.М. Беляева.

Изучение соотношения стабильных изотопов углерода в горных породах является надежным методом, позволяющим выявить следы древней жизни на Земле. Природный углерод состоит из двух стабильных изотопов ^{12}C и ^{13}C . В поверхностной части биосферы в процессах фотосинтеза, происходит обогащение легким изотопом ^{12}C органического вещества растительного и животного происхождения. Изотопный состав углерода выражается отношением $\delta^{13}\text{C} = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}$ (‰). Знак

«минус» показывает, что образец содержит меньше C^{13} , чем стандарт. Известным свидетельством существования древнейшей жизни на Земле является изотопный состав углерода в глубокометаморфизованных графитовых сланцах Гренландии с возрастом 3.7 миллиарда лет, графит в которых имеет $\delta^{13}C$ от -12% до -24% [13]. Характерные значения величины $\delta^{13}C$ для углей и нефти составляют от -23% до -27% . Современный биогенный углерод имеет $\delta^{13}C$ от -25 до -30% .

Было проведено исследование изотопного состава углерода органического вещества агатовых жезд из месторождений Северного Тимана и Казахстана. Для исключения возможного загрязнения проб современной биогенной органикой, производилась отмывка растертых до пудры образцов халцедона в кислотах HCl и HF при температурах $100 - 180^{\circ}C$. Измерения изотопного состава углерода керогена – нерастворимого в кислотах фоссилизованного органического вещества, были выполнены во ВСЕГЕИ на масс-спектрометрическом комплексе Flash EA 1112, DELTA^{Plus}-XL с газовым коммуникатором ConFlo III, по методике, охарактеризованной ранее [4]. Установлено значительное обогащение керогена в халцедонах легким изотопом ^{12}C , $\delta^{13}C = -26.2\%$ до -27.9% . Эти факты однозначно указывают на тесные связи между поверхностной и глубинной областями древней биосферы.

Список литературы

1. Беляев А.М., Юхалин П.В. Глубинная биосфера Земли, современная и древняя. 2022, PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112589>.
2. Годовиков А.А., Рипинен О. И., Моторин С. Г. Агаты.— М.: Недра, 1987, 368 с.
3. Приливы твердой Земли, Астрономический институт Бернского университета. Раздел 10.1.2, 2015.
4. Belyaev A.M. Paleoproterozoic Underwater Volcanism and Microfossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks (Hogland Island, Russia) // Journal of Earth Science, 2018; Vol. 29, No. 6, pp. 1431–1442, doi.org/10.1007/s12583-018-0883-4.

5. Bar-On Y. et al., 2018. The biomass distribution on Earth. PNAS, <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>.
6. Collins Terry, Pratt Katie. Life in deep Earth totals 15 to 23 billion tonnes of carbon—hundreds of times more than humans". Deep Carbon Observatory. Meeting, 2018.
7. Colwell, F. S.; [D'Hondt, S.](#) (13 February 2013). "Nature and Extent of the Deep Biosphere". *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 75 (1): 547–574, [doi:10.2138/rmg.2013.75.17](#).
8. Fernando Puente-Sánchez et al., Viable cyanobacteria in the deep continental subsurface // PNAS, 2018, vol. 115, no. 42, p.10702–10707, DOI:10.1073/pnas.1808176115.
9. Kaushik R, Balasubramanian R, Dunstan H. Microbial quality and phylogenetic diversity of fresh rainwater and tropical freshwater reservoir//PLoS One, 2014, DOI: 10.1371/journal.pone.0100737.
10. Orcutt, B. N., Sylvan, J. B., Knab, N. J., et al., Microbial Ecology of the Dark Ocean above, at, and below the Seafloor. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2011, 75 (2): 361–422. doi:10.1128/MMBR.00039-10. PMC 3122624. PMID 21646433.
11. Roussel E.G., et al. Extending the Sub-Sea-Floor Biosphere // *Science*. 2008. V. 320. P. 1046.
12. Verena B. Heuer, et al. Temperature limits to deep seafloor life in the Nankai Trough subduction zone // *Science*. 2020. DOI: 10.1126/science.abd7934.
13. Yoko Ohtomo, Takeshi Kakegawa, Akizumi Ishida, et al. Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks // *Nature Geoscience*, 2013, doi:10.1038/ngeo2025.