

УДК 551.8:56.017

© Д. чл. УАГН А.А. Баренбаум¹, Т.В. Литвинова², В.Е. Хаин²

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ВЛИЯНИЯ КОСМОСА НА ЭВОЛЮЦИЮ ЖИЗНИ. ВЕНДСКО-КЕМБРИЙСКОЕ БИОТИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ

¹ Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, ² Геологический институт РАН, Москва
(Представлена д. чл. УАГН Я.Э. Юдовичем)

A.A. Barenbaum, T.V. Litvinova, V.E. Khain

THE GEOLOGICAL CERTIFICATIOS OF SPACE EFFECT ON LIFE EVOLUTION THE BIOTIC EVENT ON VEND-CAMBRIAN EDGE

Автореферат

Проблема эволюции жизни на Земле рассматривается с космических позиций. С привлечением известных геологических фактов обоснована точка зрения, что одной из главных причин развития на нашей планете живых организмов являются циклические бомбардировки Солнечной системы галактическими кометами. На основе ранее разработанной модели обсуждается кометная гипотеза вендско-кембрийского «взрыва жизни». Это крупнейшее в истории Земли биотическое событие, как и следующие крупные перестройки биосферы в мезозое и кайнозое, связаны с эволюцией нашей звездной системы. Показано, что вследствие данного процесса солнечная орбита впервые достигла радиуса коротации около 600 млн лет назад, что повлекло за собой падения на Землю галактических комет с повышенным содержанием фосфора, кальция и других важных для жизни химических элементов. С кометной водой они поступали в Мировой океан, который и стал на рубеже венда и кембрия главной ареной эволюции живых организмов.

Ключевые слова: Живые организмы, Мировой океан, фосфаты и соли, космические воздействия, галактические кометы.

Введение

Вопросы возникновения и эволюции жизни (Эйген, 1973), несомненно, относятся к крупнейшим проблемам современного естествознания, которые к тому же допускают многовариантность путей решения. Сегодня сложились два основных подхода к их изучению (Хоровиц, 1988). Первый предполагает (Хорган, 1991; Галимов, 2001; Федонкин, 2003; Dobretsov et al., 2006), что жизнь зародилась непосредственно на нашей планете в ранний период ее геологической истории (Опарин, 1936). Второй, основанный на гипотезе панспермии (Argenius, 1908), допускает, что жизнь на Земле – это общее космическое явление (Хойл, Викрамасингх, 1984; Гольданский, Кузьмин, 1989; Nisbet, Sleep, 2001; Снытников, 2006; Hoover, 2006): микроорганизмы были занесены на Землю кометами и метеоритной пылью (Кометы, 1984) и теперь на нашей планете успешно развиваются.

По эмпирическим данным известно, что важные для жизни аминокислоты и белки вполне могли возникнуть на Земле на ранних стадиях ее эволюции при воздействии ультрафиолетового излучения, электрических разрядов и падений крупных астероидов (Галимов, 2001; Спиринов, 2003; Добрецов, 2005 и др.). Те же аминокислоты обнаружены в метеоритах

(Хоровиц, 1988), причем в углистом хондрите Мурчисон у аминокислот заметно преобладают L-изомеры (Engol et al., 1990), что свойственно живому веществу. Возможность возникновения жизни в характерных для комет условиях подтверждается и экспериментально (Каймаков, 1999).

Согласно современным представлениям, жизнь на Земле существует, по крайней мере, 3.5 млрд лет (Заварзин, 2003), хотя имеются свидетельства и более раннего ~3.8-4 млрд лет ее присутствия на планете (Весталл, Велш, 2002; Schidlowski, 1988; Walsh, 1992; Schopf, 1993; Mojzsis, et al. 1996). Первыми появились бактерии, причем сначала получили развитие анаэробные, а затем, несколько позднее, распространились и аэробные бактерии. Цианобактерии возникли около 3,5–3,8 млрд лет (Schopf, 1992); 2.7 млрд лет назад – одноклеточные эвкариоты (Розанов, 2004), не позднее 2.4 млрд лет назад – грибы (Тимофеев, 1982; Тимофеев, Герман, 1982). Предполагают, что возраст многоклеточных водорослей и низших Metazoa (ацеломатов) древнее 2.1 млрд лет (Гниловская и др., 2000; Fedonkin, 2003), а целомат – древнее 1.5-1.6 млрд лет назад. И, наконец, в фанерозое биосфера приобретает современный вид, когда решающую роль уже играют эвкариоты (Розанов, 2003).

Таким образом, в истории развития жизни на нашей планете выделяются три крупных этапа формирования биосферы: прокариотный, затем переходный, в котором появляются эвкариоты грибной организации, водоросли, бесскелетные Metazoa и, наконец, в фанерозое – эвкариотный (Розанов, 2004).

Однако на рубеже венда и раннего кембрия произошли события, значительно изменившие геологическую летопись планеты (Розанов, Миссаржевский, 1984; Розанов, 2004). Если на первых двух этапах жизнь на нашей планете была представлена микроорганизмами и сравнительно примитивными существами, то на третьем этапе, в самом его начале, получившем название «вендско-кембрийского биотического взрыва», на Земле появляются практически все основные группы многоклеточных организмов, просуществовавшие, видоизменяясь, до наших дней.

Вопрос о причинах этих трех этапов изменения биоты сегодня остается открытым. В настоящей статье представлены геологические факты, свидетельствующие о тесной связи развития жизни на Земле, в целом, и вендско-кембрийского биосферного события, в частности, с космическими процессами в Галактике.

Ключом к решению этой проблемы является анализ важнейших биотических и абиотических процессов, происходивших на нашей планете на рубеже венда и кембрия, с позиций ранее разработанной космической модели (Баренбаум, 2002).

Вендско-кембрийское биотическое событие

Уже отмечалось, что первые 3 млрд лет существования биосферы жизнь на планете была представлена весьма простыми формами: прокариотными микроорганизмами, в том числе зубактериями и археобактериями, а также цианобактериями (сине-зелеными водорослями), которые «стоят особняком среди царства бактерий» (Герасименко, Ушатинская, 2002). Появление эвкариот – одноклеточных протист – датируется 2.7 млрд лет назад, а не позднее 1 млрд лет широко распространяется эвкариотный планктон (акригархи). Прокариотное сообщество, судя по ископаемым микрофоссилиям цианобактерий (Бактериальная палеонтология, 2002), существенно не изменялось на протяжении миллиардов лет.

Однако все же приходится констатировать, что даже спустя почти 4 млрд лет после

возникновения Земли жизнь на ней оставалась крайне примитивной (Заварзин, 2003). И вдруг, в конце венда – начале кембрия, наша планета переживает бурное развитие биосферы, которое она никогда не знала ранее. В этот сравнительно короткий интервал времени на Земле появляются основные типы фауны, существующие сегодня. Все это дало основание назвать последний почти полумиллиардный период фанерозоем, т.е. эрой «явной» жизни.

Вендско-кембрийская биотическая революция носила двухступенчатый характер (Соколов, 1997). На первой стадии – с середины по конец венда, то есть 620÷570 млн лет назад, распространяются нетканевые организмы и появляется бесскелетная тканевые многоклеточные (Федонкин, 2000). В это время возникают первые организмы, имеющие кремневый скелет, – радиолярии, а также отмечается появление так называемой эдиакарской фауны (Cloud, Glaessner, 1982), значительная часть которой в конце венда вымирает. На второй стадии 540÷500 млн лет назад ей на смену приходит более разнообразная кембрийская фауна. Она представлена брахиоподами, червями, членистоногими, в том числе вымершими сегодня трилобитами, а также археоциатами.

Возникновению этой фауны предшествует сравнительно короткий переходный период (томмотский век раннего кембрия), когда повсеместное развитие получают организмы, имевшие раковины из фосфата кальция, разнообразие которых в дальнейшем быстро увеличивается. В венде органогенные постройки представлены строматолитами, возникшими в результате жизнедеятельности цианобактерий. Однако с томмотского времени строматолиты теряют свое значение, органогенные постройки конструируются и различными известковыми водорослями, и животными – археоциатами (Розанов, 1985). В это время животные получили возможность строить скелет. Во второй половине кембрия их фосфатно-кальциевые панцири заметно усложняются, а также появляются новые типы морских животных, защищенные от хищников уже более надежными раковинами и скелетами.

Одновременно, как полагает А.В. Сочава (1992), меняется и способ дыхания живых существ. Кожный дыхательный аппарат уступает место у моллюсков, брахиопод, аннелид и других животных жаберному дыханию. Предполагается, что переход к этому типу дыхания

был вызван изменениями содержания кислорода в воде и в земной атмосфере. Он основан на использовании животными кровеносной системы, что сделало их организмы менее зависимыми от влияния меняющейся внешней среды.

Начиная с этого времени бурные изменения животного мира, хотя и не такие грандиозные, как на рубеже венда и кембрия, повторяются не раз. Это крупные перестройки биосферы, следовавшие за сильнейшими вымираниями биоты в конце перми, а также на границе мела и палеогена. Данные события позволили подразделить фанерозой на три части, получившие название соответственно палеозойской, мезозойской и кайнозойской эр. т.е. этапов «древней», «средней» и «новой» жизни.

Гипотезы вендско-кембрийского биотического события

Существует множество гипотез, объясняющих возможные причины вендско-кембрийского взрыва жизни. В большинстве из них это событие связывается с земными факторами: потеплением климата после лапландского оледенения и колебаниями вулканотектонической активности нашей планеты (Хаин, 2003); утонением океанической коры (Mooges, 1993), приведшей к увеличению площади эпиконтинентальных морей – мест обитания мелководной эдиакарской фауны; увеличением содержания кислорода в атмосфере (Knoll, 1991; Brasier, 1992; Canfield, Tesse, 1996) и в поверхностном слое вод океана (Logan et al., 1995), а также обогащением этих вод углеродом и другими питательными веществами (Kimura et al., 1997).

Отмечается также изменение химизма морских вод в целом, что нашло отражение в резком увеличении на границе венда и кембрия объемов отложения кальциево-магниевых карбонатов, фосфоритов и солей (Розанов, 1985). Указываются и собственно биологические причины, связанные с существованием на Земле в тот период незанятых экологических ниш (Федонкин, 2000).

Не обделены вниманием и возможные космические воздействия, вызванные изменением солнечной активности (Резанов, 2003), уменьшением вклада удаляющейся Луны в механический разогрев земных недр (Сорохтин, Ушаков, 2002), а также условиями образования Земли в Солнечной системе (Снытников, 2006).

Тем не менее, несмотря на приведенные объяснения, причина взрыва жизни в вендско-кембрии все же не может считаться окончательно установленной (Хаин, 2003, 2004). В связи с этим была высказана мысль, что данный период времени не является каким-то особенным в истории развития жизни на Земле. С учетом новейших палеонтологических находок, сторонники этой гипотезы придерживаются мнения (Федонкин, 2003), что крупные многоклеточные организмы, хотя и не в таких количествах, стали появляться на нашей планете гораздо раньше вендского периода, но останки этих мягкотелых животных сегодня почти не сохранились.

С данным мнением вполне можно согласиться. Однако остается открытым вопрос, почему костные скелеты из кальция и фосфора получили широкое распространение у высокоразвитых живых организмов, начиная именно с рубежа венда и кембрия.

Несколько лет назад была предложена кометная гипотеза вендско-кембрийского биотического события (Баренбаум, 2004), позволяющая ответить на данный вопрос. Основанием для этой гипотезы послужили результаты наших последних исследований по проблеме происхождения фосфоритов и солей (Баренбаум, Литвинова, 2002, 2003, 2005). Эти полезные ископаемые, как известно, циклически отлагались на Земле в огромных количествах лишь с начала фанерозоя, и именно с этого рубежа живые существа стали активно использовать входящие в состав фосфатов и солей химические элементы для своего развития и жизнедеятельности.

В свете предлагаемой гипотезы, причиной палеозойской, а также более поздних биотических перестроек в мезозое и кайнозое является значительное увеличение содержания в морской воде фосфора, кальция, серы, натрия, хлора, а также других необходимых для жизни химических элементов, которые приносят на Землю галактические кометы (Баренбаум, Литвинова, 2005).

Ниже рассмотрены известные факты, а также результаты наших собственных исследований, положенные в основу этой идеи. Обсуждение проводится с привлечением физической модели (Баренбаум, 2002), связывающей причины важнейших глобальных событий прошлого Земли с явлением струйного истечения вещества из центра Галактики.

Одним из центральных положений данной гипотезы является учет того важного обстоятельства, что развитие жизни на Земле,

да и геологическое развитие самой нашей планеты происходит в условиях периодического поступления в Солнечную систему больших порций космического вещества и энергии из Галактики (Баренбаум, Гладенков, Ясаманов, 2002; Баренбаум, Хаин, Ясаманов, 2004).

Модель

В основе модели лежат представления о Галактике как эволюционирующей звездной системе, устойчивость которой обеспечивается взрывным разрушением звезд в ее ядре (Баренбаум, 2002). Возникающее в результате

распада звезд газопылевое вещество постоянно выбрасывается из быстро вращающегося ядерного диска системы и в виде двух струйных потоков распространяется в галактической плоскости, конденсируясь в плотные облака, кометы и звезды. Часть газопылевого вещества при этом захватывается и увлекается четырьмя спиральными галактическими рукавами (рис.1). В зонах пересечения рукавов со струйными потоками и происходят процессы образования комет и звезд. При дифференциальном вращении Галактики эти зоны перемещаются по спиральным ветвям.

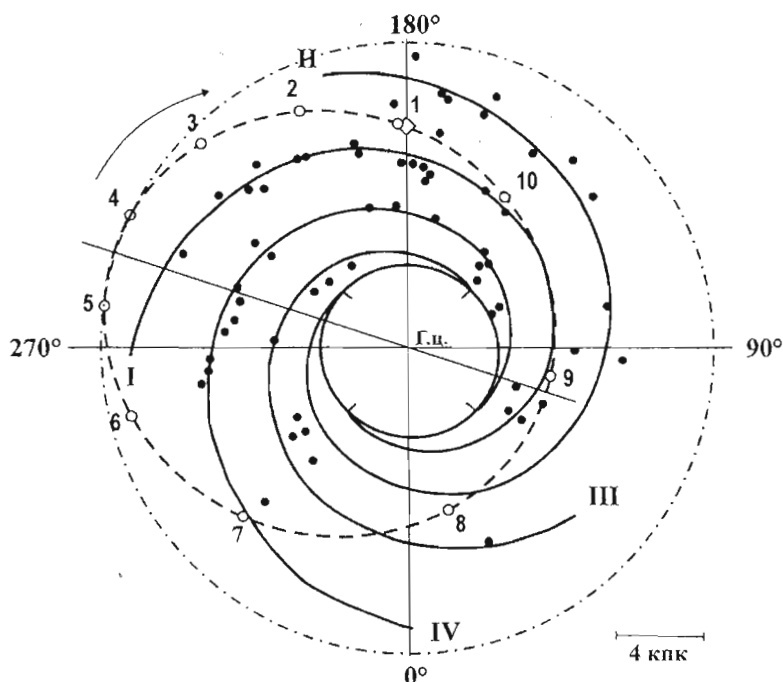


Рис. 1. Совмещение расчетной орбиты Солнца (пунктир) с положением спиральных ветвей Галактики. 1–10 – вычисленные моменты попадания Солнца в струйные потоки Галактики; ромб – современное положение Солнца; Г.ц. – галактический центр; римские цифры – номера спиральных ветвей Галактики, выявляемые на основании положений гигантских молекулярных облаков (черные точки); стрелкой указано направление движения Солнца по орбите и вращения системы галактических ветвей вокруг центра. Штрих – пунктирный круг – радиус коротации Галактики.

Важным параметром модели является так называемый «радиус коротации», показанный на рис.1 штрих пунктирным кругом. На данном удалении от центра Галактики, радиусы кривизны струйных потоков и галактических рукавов совпадают, и протяженность очагов интенсивной конденсации вещества в ветвях резко возрастает. Это приводит к повышенному содержанию в составе формирующихся здесь звезд и комет химических элементов со средними и большими атомными весами. По результатам астрономических наблюдений (Марочник, Сучков, 1984) радиус коротации

Галактики лежит внутри ветви Персея, составляя по нашим последним данным 13.5 кпк.

Рождающиеся в очагах конденсации объекты ведут себя по-разному. Одни, возникшие из газопылевого вещества струйных потоков, движутся в радиальном направлении и сравнительно быстро навсегда покидают нашу звездную систему. Другие, к которым относится Солнце, формируются в основном из вещества галактических рукавов и после образования остаются в Галактике, приобретая круговые орбиты.

Солнце движется вокруг центра нашей звездной системы по эволюционирующей медленно вращающейся эллиптической орбите, лежащей в галактической плоскости, и периодически пересекает струйные потоки и спиральные рукава Галактики. В моменты пересечений Земля и другие планеты Солнечной системы подвергаются интенсивным бомбардировкам галактическими кометами, и примерно раз в миллиард лет Солнце взаимодействует с массивными звездными скоплениями, «скачком» меняя параметры орбиты, в первую очередь – ее эксцентриситет и фазу (Баренбаум, 2002).

В моменты резких изменений направления движения Солнца, а такие события случались, в частности, ~3.5; 2.6; 1.65 и 1.1 млрд. лет назад, астероиды в больших количествах поступали из астероидного пояса во внутреннюю область Солнечной системы, где за время десятков – сотен миллионов лет выпадали на планеты. В геологической истории Земли эти эпохи отмечены (рис. 2) резкой активизацией процессов тектономагматизма и рудообразования (Пушкарев, 1990), возникновением новых видов микроорганизмов (Соколов, 1976), развитием биоты (Сидоренко, 1991), а также рядом других процессов (Баренбаум, 2002).

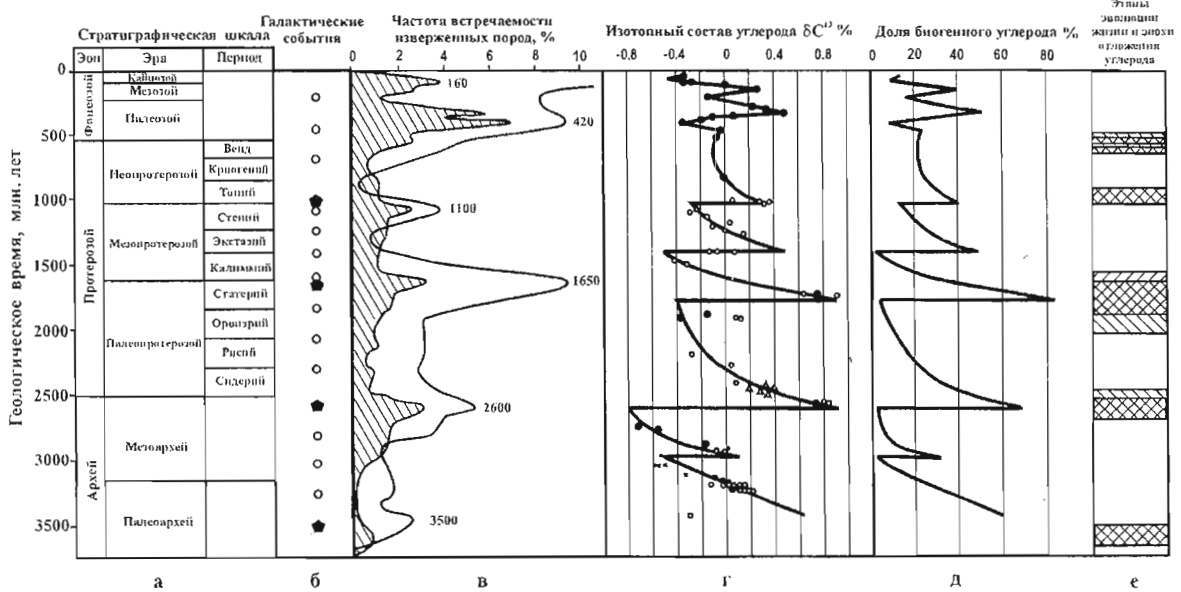


Рис. 2. Сопоставление важнейших событий в истории Земли по геологическим данным.

а) Международная стратиграфическая шкала докембрия (Plumb, 1991), дополненная шкалой фанерозоя; б) Моменты наиболее мощных галактических воздействий, обусловленных взаимодействиями Солнечной системы со звездами (пятиугольники) и бомбардировками Земли галактическими кометами (кружки) по данным (Баренбаум, 2002); в) Мегациклы процессов рудообразования (без штриховки) и тектономагматической активности (заштриховано) по данным (Пушкарев, 1990); г) Изменения изотопного состава углерода карбонатных пород (Галимов и др., 1975); д) Доля органического вещества в составе углерода осадочных пород (Баренбаум, 1998), рассчитанная на основании данных (Галимов и др., 1975); е) Важнейшие этапы эволюции живых организмов (Соколов, 1978) и главные эпохи развития углеродсодержащих формаций (Сидоренко, 1991) в докембрии.

В соответствии с моделью галактическая орбита Солнца в современную эпоху представляет собой эллипс с эксцентриситетом 0.36 и большой полуосью 10.2 кпк (см. рис. 1), равномерно вращающийся в направлении движения Солнца с угловой скоростью $3.04 \cdot 10^{-9}$ лет⁻¹. Период орбитального движения Солнца вокруг центра Галактики, как и у системы четырех галактических ветвей, равен 223 млн лет. Вследствие поворота линии апсид солнечной орбиты, аномалистический период Солнца несколько больше и составляет 250 млн лет.

Наша звездная система, однако, заметно эволюционирует. В результате данного процесса центральная масса Галактики в последние 3.6 млрд. лет убывала на 8.8 масс Солнца в год. Это вызывало экспоненциальное увеличение орбитального периода Солнца $T(t) = T_0 \exp(\lambda t)$, где $\lambda = 6.0 \cdot 10^{-11}$ год⁻¹, что сопровождалось ежегодным возрастанием среднего радиуса солнечной орбиты на $3.03 \cdot 10^{-7}$ пк/год и одновременным убыванием средней орбитальной скорости Солнца на $7.47 \cdot 10^{-4}$ см/с в год (Баренбаум, 2002).

Геологические факты также свидетельствуют, что в течение последних 700 млн. лет пролеты звезд существенно не влияли на процессы в Солнечной системе, а изменения орбиты Солнца вследствие эволюции Галактики были малы. Поэтому при расчете моментов попадания Солнца в струйные потоки и галактические рукава для фанерозоя можно использовать современные значения ее параметров.

Сопоставление результатов этих вычислений (табл. 1) с эпохами массового вымирания (МВ) на Земле живых организмов по

данным (Sepkoski, 1995) наглядно показывают, что все моменты попадания Солнца в струйные потоки Галактики в пределах точности датирования времен этих событий методами радиогеохронологии фиксируются как эпохи МВ. При этом эпохи великих массовых вымираний (ВМВ) приходится на времена наиболее интенсивных кометных падений, отвечающих моментам пребывания Солнца одновременно в струйных потоках и в спиральных рукавах Галактики.

Таблица 1

Сопоставление времен массового вымирания (МВ) на Земле живых организмов по данным (Sepkoski, 1995) с моментами попадания Солнца в струйные потоки Галактики по расчетам (Баренбаум и др., 2002)

Стратиграфическое положение эпохи МВ	Уровень МВ	Радиометрический возраст границ веков, млн. лет	Расчетное время падений комет, млн. лет
Плиоцен		5,3 – 1,8 *	3
Граница олигоцен – миоцен		23,8	22
Средний эоцен – приабонский век		41,3 / 37,0	43
Маастрихт – даний	ВМВ	71,3±0,5 / 65,0±0,1	67
Сеноман – турон		98,9±0,6 / 93,5±0,2	90
Баррем – апт		127,0±1,6 / 121,0±1,4	116
Киммеридж – титон		154,1±3,3 / 150,7±3,0	147
Плинсбах – тоар		195,3±3,9 / 189,6±4,1	183
Норий – рэт	ВМВ	220,7±4,4 / 209,6±4,1	213
Анизий – ладин		241,7±4,7 / 234,3±4,6	234
Татарский – грисбахский века	ВМВ	252,1 / 248,2±4,8	253
Сакмарский – артинский века		282 / 269	272
Стефанский век		303 – 290 *	293
Серпуховский – башкирский века		327 / 323	317
Турне – визе	(ВМВ)	354 / 342	340
Фран – фамен	(ВМВ)	370 / 364	366
Лудловский век		423 – 419 *	397
Ашгилл – лландовер	ВМВ	449/443	433
Лланвирн – лландейло		470 / 464	463
Тремадок – арениг		495 / 485	484
Дресбахский век		505 – 495 *	503
Ленский (ботомгский) век		524 – 518 *	522
Томмотский век		534 – 530 *	543
Граница фанерозоя в шкалах до 1993г		570±15	567

Примечания к таблице 1. * – начало и конец одного века или эпохи, если событие массового вымирания охватило большую часть или весь этот интервал; через косую черту разделяются начала первого и второго веков эпохи вымирания; ВМВ – великие массовые вымирания; для данных в последней колонке предполагается, что Солнце входит в струйный поток на 2 млн лет раньше и выходит из него на 2 млн лет позже указанного расчетного значения.

В геохронологической (стратиграфической) шкале фанерозоя времена интенсивных кометных бомбардировок нашли отражение (Баренбаум, Гладенков, Ясаманов, 2002) в качестве границ ее периодов (систем), а более слабых – в качестве границ ее эпох (отделов).

Галактические кометы

Галактические кометы невозможно изучать средствами астрономии: последняя бомбардировка Солнечной системы имела место в период 5.0±0.6 млн. лет назад, и сегодня

они абсолютно недоступны наблюдениям с Земли. Поэтому о свойствах этих объектов мы судим исключительно по последствиям их выпадений на нашу и другие планеты, а также по результатам столкновений комет с телами астероидного пояса (Баренбаум, 2002).

Бомбардировки галактическими кометами носят характер кометных «ливней», когда за время ~1–5 млн лет пребывания Солнца в струйных потоках на Землю может выпасть $\sim 10^4$ – 10^6 таких тел (Баренбаум, 2002; Баренбаум и др., 2004). Судя по уровню вымирания, общее число упавших комет и частота их падений могут меняться в пределах одного–двух порядков. Заметно варьирует и период между их бомбардировками. В течение последних 700 млн лет он менялся от 19 млн лет в позднем кембрии, перми и неогене до 37 млн лет в юре, силуре и в конце рифея. Средняя величина периода между кометными ливнями по расчетам составляет 24.5 млн лет.

По последним данным, массы ядер галактических комет заключены в интервале от 10^{12} до 10^{17} г, а их кинетическая энергия меняется от 10^{20} до 10^{25} Дж. Плотность комет-

ного материала близка 1.0 г/см^3 . Диаметр, масса и энергия средней галактической кометы соответственно составляют $\sim 500 \text{ м}$, $\sim 10^{14} \text{ г}$ и $\sim 10^{22} \text{ Дж}$ (Баренбаум, 2006).

Важную информацию о химическом составе вещества галактических комет дает изучение комет Солнечной системы (табл. 2), которые вероятнее всего возникли в результате столкновений галактических комет с телами астероидного пояса в период последнего пребывания Солнца в струйном потоке Галактики (Баренбаум, 2002). Поэтому их состав следует рассматривать как продукт смешения вещества комет галактического происхождения с твердым (обломочным) и диффузным (рассеянным) материалом астероидов. С учетом данных табл. 2 галактические кометы, вероятно, на 80–90% состоят из водяного льда и имеют ~ 10 – 15% углеводородную компоненту. Более тяжелые, чем углерод и кислород, химические элементы в составе галактических комет, по-видимому, подчиняются космической распространенности, а их суммарное содержание составляет доли процента.

Таблица 2

Химический состав ядер наблюдаемых комет по Каймакову и Матвееву (1978) с исправлениями

Соединение	Химическая формула	Состав, % мас.
Вода	H_2O	60 – 70
Простые газы	$\text{NH}_3, \text{CH}_4, \text{CO}, \text{CO}_2, \dots$	5 – 10
Органические соединения:		10 – 15
Нитрилы	$\text{HCN}, \text{CH}_3\text{CN}, \dots$	
Альдегиды	$\text{H}_2\text{CO}, \text{CH}_3\text{CHO}, \dots$	
Органические кислоты	$\text{HCOOH}, \text{CH}_3\text{COOH}, \dots$	
Спирты	$\text{CH}_3\text{OH}, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, \dots$	
Производные рядов:		
Ацетиленового (C_2H_2)	$\text{HCCCN}, \text{HCCCH}_3, \dots$	
Этиленового (C_4H_4)	$\text{H}_2\text{CCO}, \text{H}_3\text{CCCN}, \dots$	
Этанового (C_6H_6)	$\text{CH}_3\text{CHO}, \text{C}_2\text{H}_5\text{CN}, \dots$	
Аминокислоты:		
Глицин	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	
Аланин	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
Валин	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$	
Полимеры типа парафинов с длинными цепями	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	
Внутриядерная пыль:		10 – 25
Силикаты	$\text{SiO}_2, \text{MgSiO}_3, \text{Mg}, \text{Fe}_2\text{SiO}_4, \text{FeSiO}_3, (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})\text{SiO}_3, \dots$	
Графит	C	
Оксиды металлов	$\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4, \dots$	
Сульфиды	$\text{CS}, \text{FeS}, \text{MnS}_2, \text{CaS}, \dots$	
Никелистое железо	FeNi	

Тем самым, указанные природные события могут служить индикаторами времен кометных падений и использоваться для определения среднего периода между ними, что хорошо согласуется с расчетами. Так, на

основе данных о вымирании биоты этот период составляет 26–28 млн лет (Raup, Sepkoski, 1984), периодичность возникновения кратеров приводит к величине ~ 28.4 млн лет (Alvarez, Muller, 1984), а образование геохи-

мических аномалий – 30–32 млн лет (Неручев, 1988). Примерно такая же периодичность характерна и для тектонических фаз Штилле по данным Н.Л. Добрецова (1997).

Принцип функционирования модели

Предполагается, что в сравнительно короткие периоды кометных бомбардировок на Землю поступает большая масса постороннего космического материала, в основном состоящего из воды, на порядок меньшего количества углерода и примерно на два порядка меньшего количества всех других химических элементов таблицы Менделеева в их космической пропорции. Включаясь в происходящий на Земле глобальный круговорот вещества (Вернадский, 1960), этот материал нарушает сложившееся на планете геохимическое равновесие. В соответствии с принципом Ле Шателье, это должно резко активизировать протекание на планете ряда геологических, климатических и биологических процессов, которые способствуют возвращению системы в геохимически устойчивое состояние (Баренбаум, 1998).

Приходя в равновесие, система избавляется от «ненужных» веществ и выводит их из круговорота. При этом основная масса кометной воды поступает в Мировой океан, что «скачком» может повышать его уровень на десятки метров (Баренбаум, Ясаманов, 2001). Вместе с водой в океан сносятся растворенные в ней соли, главным образом, в виде катионов: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ и анионов: Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- , а также большая часть остального космического вещества. В результате этого содержания в морской воде солей, а также С, Al, P, Mn, Fe, Cu, U и многих других химических элементов в эпохи кометных ливней возрастают в десятки – сотни раз (Неручев, 1988). После прекращения падений комет состав морской воды быстро приходит в норму, а в эпиконтинентальных морях отлагаются аномальные геохимические осадки, преобразующиеся в дальнейшем в черные сланцы и другие осадочные породы.

Очень эффективным механизмом возвращения геохимической системы в равновесное состояние является образование эвапоритовых бассейнов (Жарков, 1978). Эти бассейны возникают вследствие вызванного кометами

подъема уровня Мирового океана, когда его воды заливают равнинные прибрежные области континентов, где в условиях частичной изоляции от Мирового океана преимущественно и происходит садка солей.

При этом если плохо растворимые соединения фосфора, углерода и других химических элементов осаждаются еще в эпохи кометных бомбардировок и в основном в акваториях океана, то значительная масса хорошо растворимых солей выпадает в осадок в эвапоритовых бассейнах позднее и в определенной последовательности. В соответствии с величиной коэффициента растворимости, первыми осаждаются CaCO_3 и $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, затем CaSO_4 , а потом NaCl и KCl (Яншин, Жарков, 1986).

Продолжительность процесса утилизации на Земле хорошо растворимого кометного вещества зависит как от количества возникающих эвапоритовых бассейнов и их ландшафтных и климатических условий, так и определяется периодом круговорота вод подземной гидросферы, составляющим десятки млн. лет (Баренбаум, Ясаманов, 2001).

Фосфориты и соли

Природные скопления солей и фосфоритов относятся к той немногочисленной, но принципиально важной категории полезных ископаемых, которые занимают огромные территории и отражают глобальные события, связанные с их возникновением.

Несмотря на то, что отложение солей на протяжении фанерозоя происходило, казалось бы, почти непрерывно (Страхов, 1962), отчетливо выделяются длительные периоды, в течение которых галогенные породы формировались незначительно, как например в ордовике и силуре, карбоне и нижней юре. Но существовали и времена глобального эвапоритообразования, когда объемы отложенных солей составляли $\sim 10^5$ – 10^6 км³ (Соленакпление, 1968; Калинин, 1973; Яншин, Жарков, 1986). Возникновение огромных по площади соленосных бассейнов отмечено на рубеже венда и кембрия, в позднем девоне, пермском периоде, триасе, а также в позднемеловую эпоху и в неогене (рис.3).

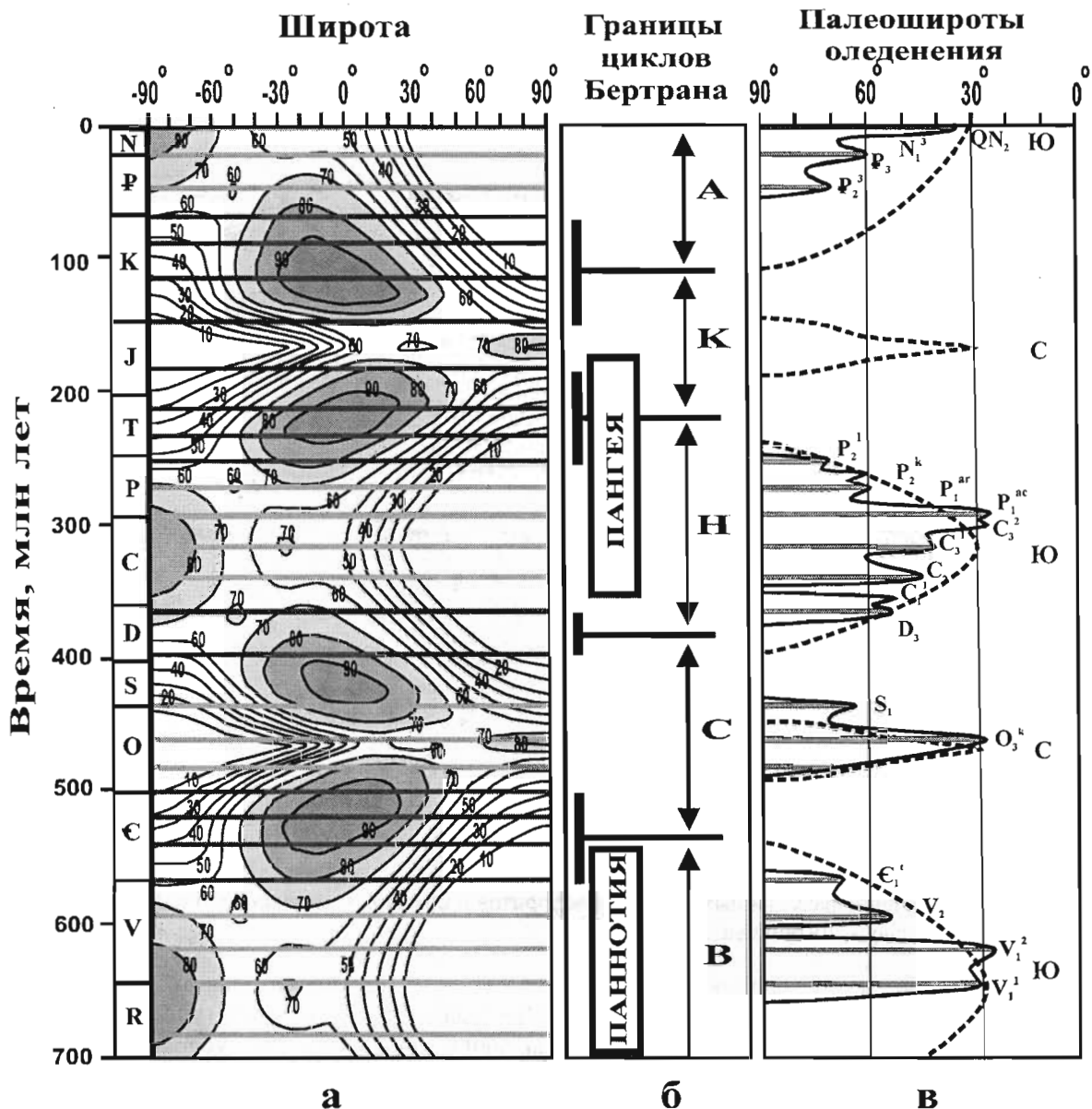


Рис. 3. Схема расположения фосфатонесных (темный цвет) и галогенных (светлый цвет) бассейнов: вендско-кембрийского, ордовикского, девонского и пермского возраста по данным (Жарков, 1978; Яншин, Жарков, 1986).

Еще сильнее выражена неравномерность образования месторождений фосфоритов. Известно, что основные фосфатонесные провинции мира возникали в очень короткие (≤ 10 млн лет) интервалы времени, которые несколько опережают основные эпохи галогенеза. Это границы между вендом и кембрием, мелом и палеогеном, а также отдельные века ордовикского, пермского, юрского и неогенового периодов (Соколов, 1990; Соколов, Фролов, 1997; Холодов, 1996). Вне этих интервалов времени месторождения фосфоритов в фанерозое редки или отсутствуют вообще. Разведанные запасы P_2O_5

составляют многие миллиарды тонн, тогда как общее количество фосфора, содержащегося в породах того же возраста, в $\sim 10^5$ раз больше (Яншин, Жарков, 1986) и по порядку величины приближается к объему отложенных солей.

Фосфориты и соли никогда не встречаются в одном разрезе. Однако их осадочные бассейны нередко соседствовали (рис. 4). Так, на рубеже венда и кембрия, когда отложение фосфоритов и солей происходило особенно в широких масштабах, возникли обширная Восточно-Сибирская соленосная провинция и недалеко от нее Хубсугульский и Алтае-Саянский фосфоритонесные бассейны,

фосфориты Джоржина и соли Амадиес в Австралии. Практически одновременно накапливались фосфориты платформы Янцзы и эвапориты в ее окраинных зонах. Фосфориты и соли ордовикского возраста известны в Прибалтике. В пермский период наблюдается

близкое расположение бассейнов в Северной Америке – Фосфории и Мидконтинента. Эти примеры можно продолжить, поскольку тесное соседство фосфоритоносных и соленосных бассейнов характерно для фанерозоя в целом.

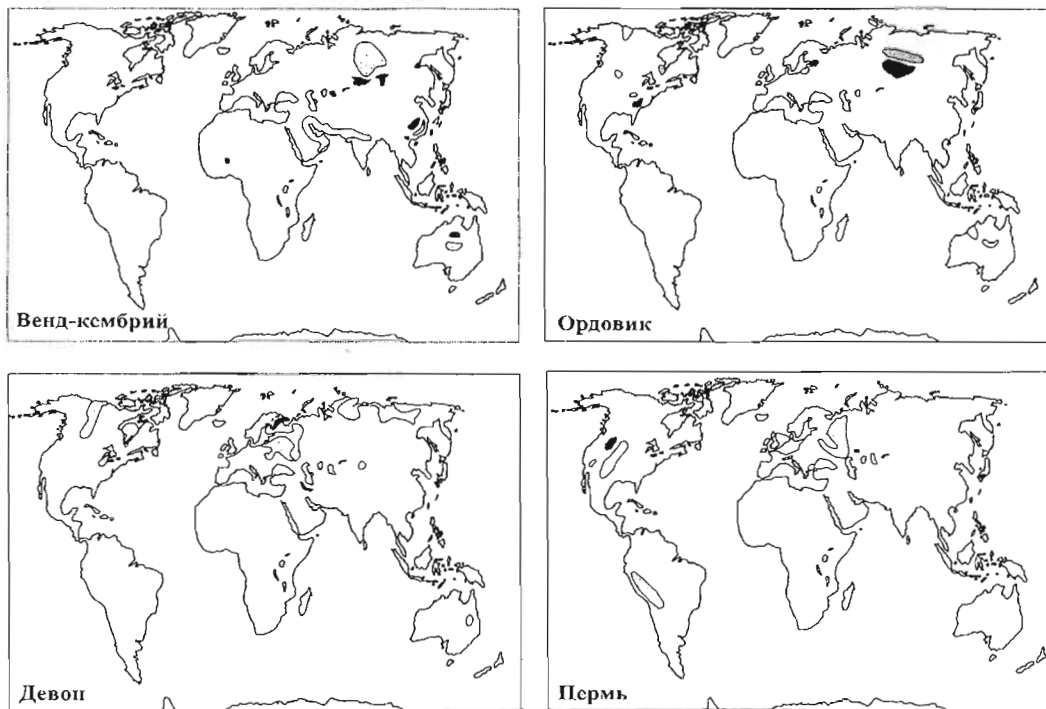


Рис. 4. Сопоставление разведанных запасов фосфоритов и объемов каменной соли палеозоя по литературным данным (Баренбаум, Литвинова, 2005)

Объемы солей и разведанные запасы фосфоритов в этих бассейнах коррелируются плохо. Однако их количества, просуммированные по всем палеозойским бассейнам одного возраста, обнаруживают (рис. 5) тесную связь (Баренбаум, Литвинова, 2005).

К настоящему времени выдвинуто большое число гипотез, объясняющих происхождение как солей (Страхов, 1962; Солеонакопление, 1968; Басков и др., 1998), так и фосфоритов (Батурин, 1978; Бушинский, 1966; Холодов, 1996; Холодов, Пауль, 1995; Соколов, 1990; Школьник и др., 1999).

Для солей наибольшее признание получили две гипотезы. Первая предложена в позапрошлом веке немецкими химиками Бисхофом (1863) и Очениусом (1877) и позднее получила поддержку многих геологов (Страхов, 1962; Жарков, 1978). В ее основе лежит процесс осаждения солей из морской

воды при продолжительном выпаривании. Предполагается, что этот процесс наиболее активно протекает в условиях жаркого, засушливого климата при периодическом поступлении морской воды в мелководные заливы, которые играют роль солеродных ловушек.

Растворенные в воде соли выпадают в осадок в определенной последовательности. Первыми при солености воды 15% – кальцит и доломит. Когда минерализация возрастает до 26–27%, образуется гипс, который с потерей воды превращается в ангидрит. При еще большей солености последовательно выпадают галит, сульфаты, сильвинит, карналлит и бишофит. Обычно солеотложение заканчивается на сильвинитовой либо карналлитовой стадиях. В соответствии с этим выделяют 5 пять типов солей (табл. 3).

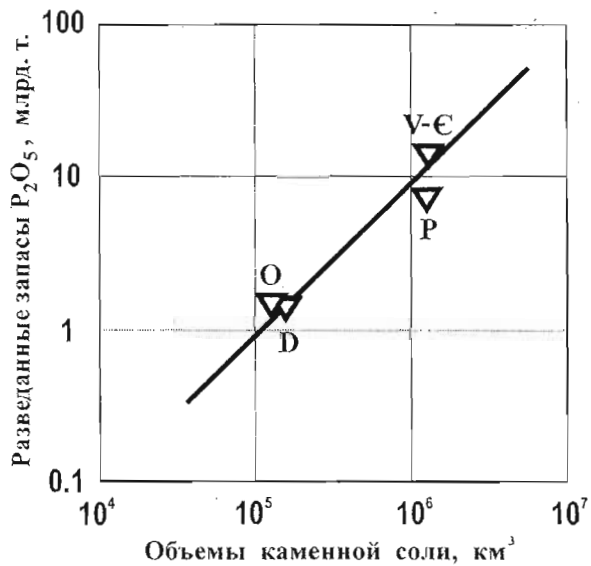


Рис. 5. Сопоставление разведанных запасов фосфоритов и объемов каменной соли палеозоя.

Таблица 3

Классификация солей (Басков и др., 1998)

Систематика солеобразующих минералов			Геохимические типы солей							
Класс	Подкласс	Минерал, формула	1	2	3	4	5	6	7	
Хлориды	Натриевые	Галит NaCl		xx	x	x	x	x	x	
	Магниево-калиевые хлориды	Сильвин KCl			xx					
		Карналлит KCl·MgCl₂·6H₂O			xx					
		Бишофит MgCl₂·6H₂O			xx					
		Тахгидрит CaCl₂·2MgCl₂·12H₂O			xx					
Сульфаты	Кальциевые сульфаты	Гипс CaSO₄·2H₂O	xx				x		x	
		Ангидрит CaSO₄	xx	x	x	x				
	Магниево-калиевые сульфаты	Полигалит K₂SO₄·MgSO₄·2CaSO₄·2H₂O				xx				
		Каинит KCl·MgSO₄·3H₂O				xx				
		Лангбейнит K₂SO₄·2MgSO₄				xx				
		Кизерит MgSO₄·H₂O				xx				
		Эпсомит MgSO₄·7H₂O				xx				
	Натриевые сульфаты	Тенардит Na₂SO₄					xx			
		Мирабилит Na₂SO₄·10H₂O					xx			
		Глауберит Na₂SO₄·CaSO₄					xx			
Астраханит Na₂SO₄·MgSO₄·4H₂O						xx				
Глазерит Na₂SO₄·3K₂SO₄						xx				
Карбонаты	Натриевые карбонаты	Трона Na₂CO₃·NaHCO₃·2H₂O						xx		
		Нахколит NaHCO₃						xx		
		Натрон Na₂CO₃·10H₂O						xx		
		Нортупит Na₂CO₃·MgCO₃·NaCl						xx		
		Шортит Na₂CO₃·2CaCO₃						xx		
		Гейлюссит Na₂CO₃·CaCO₃·5H₂O						xx		
		Давсонит NaAlCO₃(OH)₂						xx		
		Ганксит 2Na₂CO₃·9Na₂SO₄·KCl						xx		
	Кальциево-магниевые карбонаты	Магнезит MgCO₃		x	x	x	x	x	x	
		Доломит CaMg(CO₃)₂		x	x	x	x	x	x	
Нитраты	Калиево-натриевые нитраты	Натриевая селитра Na₂NO₃							xx	
		Калиевая селитра KNO₃							xx	

Вторая гипотеза также предложена в XIX в. и принадлежит французскому исследователю Томассу (1857). Он предположил, что соли

являются продуктами глубинных вулканических эманаций, поднимающихся вверх через толщу осадочных пород.

Глубинные флюиды переносят растворенные в них галогенные, сульфатные и углекислые соли к поверхности, где при понижении температуры последние выпадают в осадок. Действительно, формирование соленосных толщ шло одновременно или сразу после периодов тектономагматической активизации, сопровождавшихся излиянием вулканических лав. По мнению ряда исследователей (Созинский, 1973; Беленицкая, 2000), насыщенные солями флюиды по подводным каналам поступали в грабенообразные структуры, где и происходил процесс солеотложения.

В отличие от солей формирование фосфатов, как установлено, теснейшим образом связано с биосом. Не вызывают сомнения и палеогеографические условия этого процесса: аридный климат, наличие бассейна лагунного типа и крайне мелководные условия осадконакопления. Относительно механизма образования фосфоритов, однако, единого мнения у специалистов нет. В настоящее время существует четыре ведущих гипотезы: биолитная, хемогенная, вулканогенно-осадочная и биохимическая.

В биолитной гипотезе, развивавшейся в начале XX века А.Д. Архангельским, Л.В. Самойловым и др. (Школьник и др., 1999), первостепенное значение в образовании фосфоритов придается массовой гибели фауны при слиянии холодных и теплых течений, а в качестве основного источника фосфора рассматривается костный детрит. Дальнейшее формирование фосфоритов осуществляется путем высвобождения фосфора из биогенного материала и его осаждения. Микробиологическая модификация гипотезы предполагает, что бактерии концентрировали фосфор из морской воды, а фосфориты представляют собой в прошлом бактериально-водорослевую колонию (Лука, Прево, 1984; Занин и др., 1987; Розанов, Жегалло, 1989; Герасименко и др., 1999-б; Литвинова, 2005, 2007).

Согласно хемогенной гипотезе (Казаков, 1939), главную роль в образовании фосфоритов играет подъем из морских глубин к шельфу (апвеллинг) насыщенных фосфатом вод, где за счет уменьшения парциального давления CO_2 фосфор выпадает в осадок из перенасыщенного фосфатами раствора хемогенным путем. Как показали последующие исследования, доставка фосфора в современных океанах действительно может осуществляться с помощью апвеллинга. Однако осаждается фосфор не хемогенным путем, а в результате его потребления организмами в виде биогенного детрита,

который затем перераспределяется в процессах диагенеза (Батурин, 1978).

Вулканогенно-осадочная гипотеза (Шацкий, 1965) допускает, что фосфор и, часто ассоциирующий с ним в отложениях вендско-кембрийского возраста, кремнезем имеют эндогенное происхождение. А.С. Соколов и А.А. Фролов (1997), развивая эту идею, связывают эпохи образования фосфоритов с рифтогенезом. Они полагают, что в венде-кембрии и мезозое насыщенная фосфором базальтовая магма и эманации по глубинным разломам поступали на земную поверхность, что приводило к образованию апатитовых руд на континентах. Значительная часть фосфора при этом попадала в древние океаны, существенно повышая его концентрацию в морской воде, что в дальнейшем вызывало формирование крупных фосфатных провинций.

Биохимическая гипотеза (Бушинский, 1966) главным источником фосфора считает речной сток с гумидных равнин в море. Растворенные в воде фосфаты и органические соединения концентрируются морскими организмами. Отмирая, они опускаются на дно и разлагаются, в результате фосфор из органической формы переходит в неорганическую. При пересыщении грунтового раствора фосфатом часть его вновь поступает в биогенный круговорот, а часть осаждается в виде псевдобиоморфов. Развивая эту идею, полагают, что процесс мобилизации фосфора из акцессорных минералов основных магматических пород (Холодов, 2002) и последующее поступление его в воды океана происходит в основном благодаря терригенному сносу (Батурин, 2004).

В последние годы предложен ряд новых гипотез: «железисто-фосфатного конвейера» (Froelich et al., 1988), конвекционно-диффузионная (Foilimi, Garrisson, 1991), сероводородно-биогенная (Холодов, Пауль, 1999). Новые данные укрепляют позицию то одной из гипотез, то другой, но не позволяют окончательно отдать им предпочтение. Более того, у дискутирующих сторон появляется все больше аргументов против каждой из них (Соколов, Фролов, 1997; Батурин, 1999; Холодов, Бутузова, 1999).

Слабым местом практически всех гипотез происхождения как солей, так и фосфоритов, является отсутствие ответов на три ключевые вопроса:

1) причины формирования фосфатов и солей в отдельные непродолжительные интервалы геологического времени в фанерозое;

2) происхождение тесной связи процессов отложения фосфатов и солей, проявляющейся как в территориальной близости их крупных провинций (см. рис. 4), так и в корреляции объемов их накопления, приводящей к линейности графика на рис. 5;

3) источники питания фосфатоносных и соленосных бассейнов седиментации, соответственно, фосфором и солями.

Новый подход к проблеме

Нами была предложена кометно-галактическая гипотеза (Баренбаум, Литвинова 2002, 2003, 2005), непротиворечивым образом решающая все эти три вопроса. Согласно развиваемым представлениям, главной причиной наблюдаемой цикличности отложения фосфатов и солей является падение на Землю комет спиральных рукавов Галактики. Предполагается, что такие кометы содержат в своем составе повышенные концентрации химических элементов средних атомных весов, включая фосфор, калий, кальций, натрий, а также другие солеобразующие нуклиды.

При разработке этой идеи мы опирались на следующие аргументы и факты.

Во-первых, совпадение основных эпох фосфатообразования и солеотложения с расчетными моментами пребывания Солнца в спиральных рукавах Галактики, когда оно находилось на удалении радиуса коротации от галактического центра. Для иллюстрации этого вывода на рис.6-а приведена гистограмма распределения разведанных запасов фосфоритов и объемов солей по отдельным эпохам, а на рис.6-б показано положение Солнца относительно центра Галактики и четырех галактических рукавов при движении Солнца по орбите.

Хорошо видно, что эпохи образования фосфатоносных отложений в фанерозое приходится на моменты нахождения Солнца в спиральных рукавах Галактики. Причем все три основных периода фосфатонакопления на границах венда и кембрия, мела и палеогена, а также в перми отвечают удалению Солнца от галактического центра, близкому радиусу коротации. На расстояниях от центра Галак-

тики, меньших этого радиуса, масштабы отложения P_2O_5 и соответственно его разведанные запасы резко снижаются. Отложение солей несколько запаздывает относительно эпох образования фосфоритов, в целом повторяя, особенно для палеозоя, характер их распределения во времени.

Второй аргумент – химический состав самих солей (см. табл. 3). Логика такова, что если фосфор и солеобразующие химические элементы одновременно поступают на Землю с галактическими кометами, то данное обстоятельство должно отразиться как на составе солей, так и проявиться в количественных соотношениях между их основными группами.

В табл. 4 приведены химические элементы так называемого «кальциевого пика» с указанием их космической распространенности. Все эти элементы, как и фосфор, синтезируются в реакциях горения углерода, кислорода и кремния в недрах звезд-гигантов, а также при взрывах обычных звезд (Крамаровский, Чечев, 1987).

Сопоставляя данные табл. 4 с химическим составом солей (см. табл. 3), мы видим, что практически все основные нуклиды «кальциевого пика», за исключением фосфора и кремния, присутствуют в солях.

Поскольку кометного вещества выпадает много и на Земле оно утилизируется в процессах осадконакопления, то объемы разновозрастных фосфатов и солей должны удовлетворять соотношениям, присущим исходному космическому веществу. Если большая часть эвапоритов не испытывает позднее размыва и переотложения, соотношения нуклидов табл. 4, унаследованные солями, вполне могут сохраниться до наших дней.

В этом случае массы фосфатных пород и хлоридов должны оказаться величинами одного порядка, а их соотношение быть постоянным для разных эпох. В классе хлоридов каменная соль в десять и более раз должна превышать объем калийных. Оба этих вывода действительно подтверждаются, что особенно хорошо видно на примере палеозойских отложений (Жарков, 1978).

Распространенность некоторых химических элементов по числу атомов в космическом веществе относительно кремния (Камерон, 1986)

Изотоп	Содержание в естественной смеси, %	Процесс горения	Распространенность в космическом веществе
$_{11}\text{Na}^{23}$	100	C	6.0×10^4
$_{12}\text{Mg}^{24,25,26}$	100	C	1.06×10^6
$_{13}\text{Al}^{27}$	100	C	8.5×10^4
$_{14}\text{Si}^{28,29,30}$	100	O	1.0×10^6
$_{15}\text{P}^{31}$	100	O	6.5×10^3
$_{16}\text{S}^{32,34}$	99.22	O, Si	4.96×10^5
$_{17}\text{Cl}^{35,37}$	100	O, Si	4.74×10^3
$_{19}\text{K}^{39,41}$	100	O, Si	3.5×10^3
$_{20}\text{Ca}^{40,44}$	99.03	O, Si	6.19×10^4

Примечание. Распространенность Si принята 10^6 .

Хлориды, с их основными солеобразующими элементами Cl, K и Na, по данным табл. 4 должны в 10–100 раз уступать сульфатам, где такими элементами являются Ca и S. При этом сульфаты и карбонаты, среди которых наиболее распространен кальциевый подкласс, казалось бы, должны отлагаться в сопоставимых количествах. Однако, из-за более низкой растворимости CaCO_3 , карбонаты «перехватывают» основную часть кальция, и объем сульфатной соли в эвапоритовых бассейнах оказывается меньше, чем объем каменной соли (Яншин, Жарков, 1986). Поэтому, вследствие соотношения Ca и Cl в кометном веществе, объем карбонатов (известняков и доломитов) в десять и более раз превышает объем хлоридов, а тем самым и всех солевых отложений.

Характер графика на рис. 5 с позиций данной гипотезы говорит, как минимум, о трех вещах. Во-первых, о слабом изменении среднего состава вещества галактических комет, выпавших на Землю, по крайней мере, в палеозое. Во-вторых, о пропорциональном захоронении его фосфатной и наиболее растворимой солевой компоненты в процессах седиментации. И, в третьих, свидетельствует, что сильного размыва и переотложения уже возникших скоплений фосфоритов и солей в более поздние эпохи не происходило. При невыполнении хотя бы одного из этих условий линейность графика была бы нарушена.

Третий факт – масса отложенных солей и фосфатов в каждую из основных эпох их образования должна определяться в нашей гипотезе количеством поступающего на Землю космического вещества в периоды кометных

бомбардировок. Полагая среднюю массу ядер комет $\sim 10^{14}$ г, интенсивность их падений ~ 1 комета в год и продолжительность кометных ливней ~ 10 млн. лет, находим, что за одну кометную бомбардировку на Землю может выпасть $\sim 10^{21}$ г космического материала. Согласно (Баренбаум, 2002) на $\sim 90\%$ это будет вода, $\sim 10\%$ составят углеводороды и $\sim 1\%$ более тяжелые химические элементы, в числе которых велика доля солеобразующих нуклидов. Таким образом, общая масса новообразованных солей может достичь $\sim 10^{19}$ г. Если принять во внимание, что при расчетах (Жарков, 1978) к эвапоритам отнесены породы с содержанием солей $\sim 10\%$, то полученная нами оценка по порядку величины вполне приближается к данным геологии.

Рубеж венда и кембрия

Выполненные расчеты, хорошо объясняя характер распределения отложений фосфоритов и солей в фанерозое, не дают однако ответа на другой принципиальный вопрос: почему интенсивное образование этих полезных ископаемых началось именно с рубежа венда и кембрия.

Наша гипотеза не испытывает трудностей и при решении данной проблемы. Дело в том, что в расчетах, приведенных на рис. 6-б, влиянием эволюции Галактики на параметры солнечной орбиты пренебрегалось. Тем не менее, как показывают оценки, за истекшие с начала фанерозоя порядка 600 млн лет орбитальный период Солнца увеличился на 3.6%, а средний радиус солнечной орбиты возрос примерно на 2%.

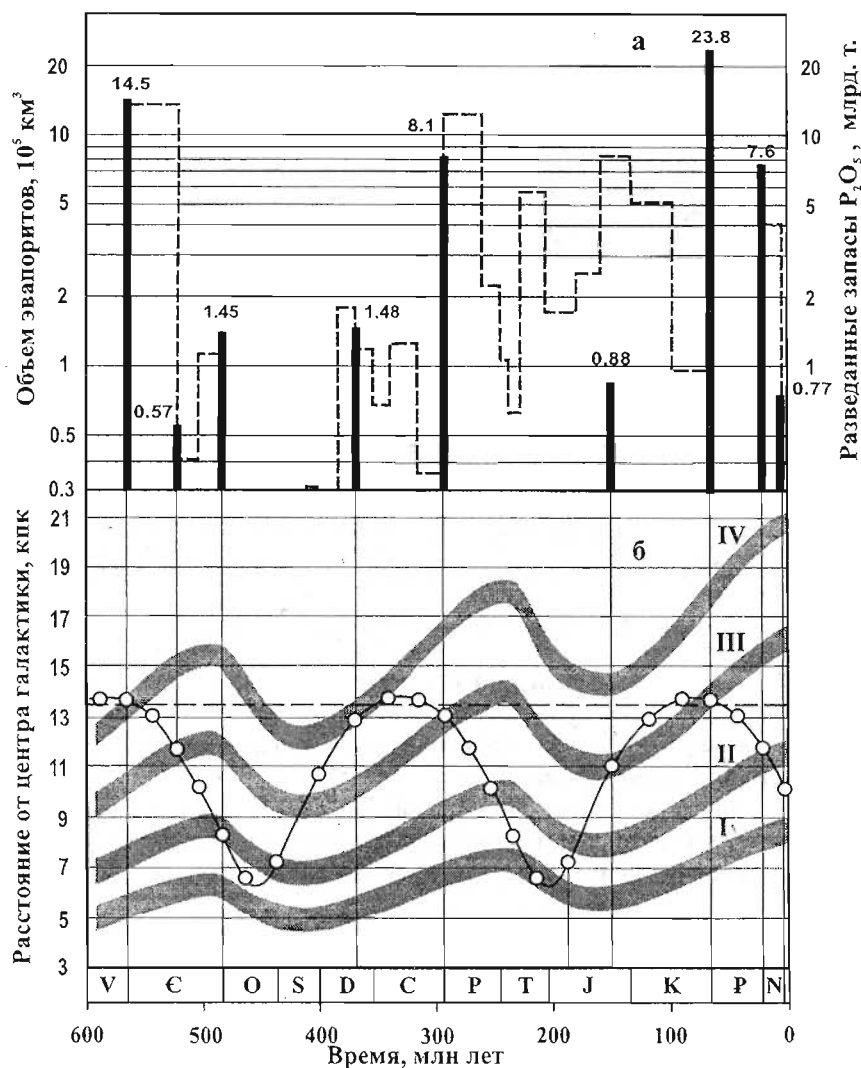


Рис. 6. а) разведанные запасы фосфоритов (жирные вертикальные прямые) – правая шкала, и объемы солей (пунктирная линия) – левая шкала; б) положение Солнца на галактической орбите (периодическая кривая) и удаление от центра Галактики ее четырех (цифры I-IV) спиральных рукавов. Кружки – моменты кометных бомбардировок. Пунктир – радиус коротации Галактики. Временная привязка границ стратиграфической колонки соответствует геохронологической шкале (Gradstein, Ogg, 1996).

Хотя эти изменения невелики, и эволюция Галактики влияет на орбиту Солнца слабо, в нашем случае с ней необходимо считаться (Баренбаум, 2004). Учет данного обстоятельства приводит к заключению, что на рубеже венда и кембрия Солнце достигло апогалактия орбиты на ~20 млн. лет позже, чем в первоначальном расчете без учета эволюции. Примерно на такую же величину следует уменьшить и вычисленные времена границ кембрийской системы, что, кстати, лучше согласуется с пересмотренной в последние годы временной границей между вендским и кембрийским периодом (Palmer, Geissman, 1999; Gradstein et al., 2004).

Одновременно уменьшался средний радиус орбиты Солнца и, вероятно, ее эксцен-

триситет. В результате апогалактий солнечной орбиты в докембрии (рис. 7) находился ближе к центру Галактики, чем в настоящее время. Эволюция Галактики также влияет и на радиус коротации, который со временем должен уменьшаться.

На основании всей совокупности имеющихся данных можно предположить, что вследствие эволюции нашей звездной системы апогалактий орбиты Солнца впервые достиг радиуса коротации Галактики лишь 600 млн лет назад. Ранее орбита Солнца располагалась внутри коротационного радиуса, и условие массовой поставки на Землю галактическими кометами химических элементов кальциевого пика не выполнялось. Именно поэтому крупные скопления этих элементов, образующие

сегодня промышленные месторождения фосфоритов, солей, сульфатов и т.д. стали

возникать на нашей планете лишь в фанерозое.

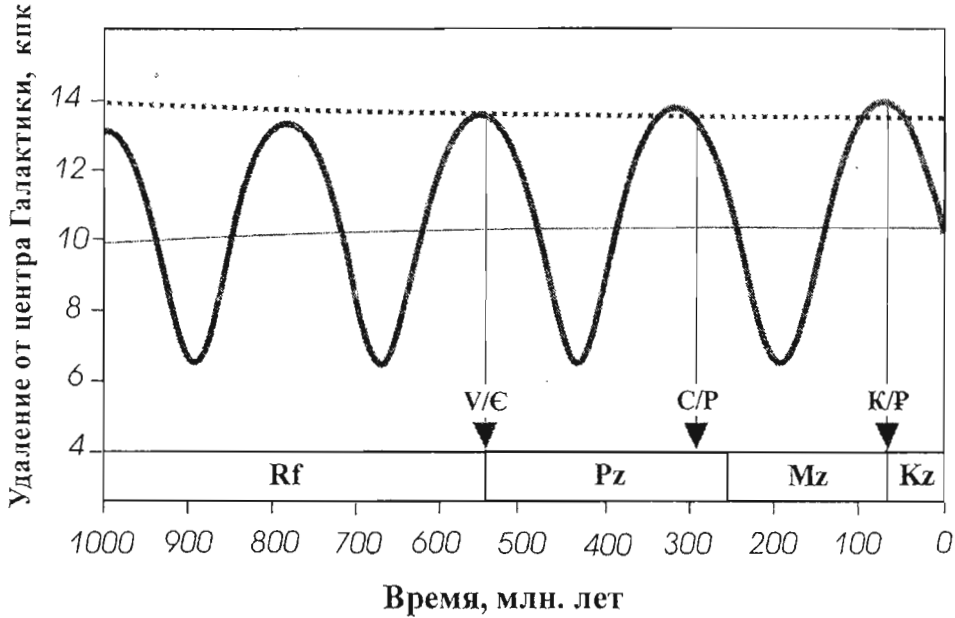


Рис. 7. Изменение удаления Солнца от галактического центра (периодическая кривая) и радиуса коротации Галактики (пунктирная линия) со временем.

Треугольниками отмечены главные эпохи накопления на Земле фосфатов и солей на рубежах венда и кембрия (V/C), карбона и перми (C/P), мела и палеогена (K/P). Внизу указаны положения во времени палеозойской (Pz), мезозойской (Mz) и кайнозойской (Kz) эр, а также верхней границы рифея (Rf).

Эта же причина объясняет и возникновение на Земле высокоразвитых организмов. Необходимые для их существования химические элементы стали поступать на нашу планету в достаточных количествах, лишь начиная с венда и кембрия, с чем, собственно, и был связан вендско-кембрийский взрыв жизни. Позднее аналогичные поступления стали происходить вполне регулярно, что явилось причиной мезозойского и кайнозойского крупных биотических событий (см. рис. 7).

Появление в конце венда эдиакарской фауны и последующий взрыв жизни в начале кембрия с позиций нашей гипотезы можно объяснить двумя близкими по времени бомбардировками Земли кометами спиральных рукавов Галактики на участке апогалактия солнечной орбиты, как это имело место в конце девона и в начале перми (см. рис. 6).

Таким образом, согласно новой гипотезе, бурное развитие животного мира на Земле на протяжении последних 600 млн лет вызвано, прежде всего, космическими причинами. Мы объясняем его тем, что только начиная с этого времени орбита Солнца впервые достигла радиуса коротации Галактики, что явилось причиной выпадения на Землю галактических комет с высоким содержанием фосфора,

кальция и других химических элементов, необходимых для жизни. Все эти элементы с кометной водой поступали в Мировой океан, который на рубеже венда и кембрия стал главной ареной развития жизни на нашей планете.

Заметим, что идея возникновения на Земле живых организмов вследствие нахождения Солнца вблизи радиуса коротации, высказывалась ранее (Марочник, Сучков, 1984), однако авторами данной работы эта связь никак не была конкретизирована.

Мировой океан – «колыбель» жизни

Итак, согласно данным палеонтологии, наряду с появлением в венде и кембрии у морских животных твердых скелетов, наиболее развитые из них обзаводятся еще кровеносной системой. И если первое позволяет организм лучше защищаться от хищников, то второе дает возможность перейти к гомеостазному принципу жизнедеятельности и делает их более приспособленными к сильным изменениям внешних условий, вызванных, в первую очередь, кометными падениями.

Важная мысль в пользу того, что данный переход происходил в Мировом океане

(Харвей, 1933; Мияке, 1968) заключается в том, что химический состав крови современных животных, ведущих свою «родословную» от кембрийских предшественников, весьма сходен с солевым составом современной морской воды (табл. 5).

Данный аргумент нуждается однако в дополнительном разъяснении. Дело в том, что относительно постоянства солевого состава морской воды имеются разные мнения. Так, А.Л. Яншин (1961) полагал, что в докембрии

Мировой океан имел воду с иным химическим составом солей, чем в современную эпоху. По данным Р. Гаррельса и Ф. Маккензи (1974) состав морской воды менялся и в фанерозое, как по величине солёности, так и в отношении состава растворённых солей (рис. 8). Напротив, ряд других авторитетных исследователей (Шопф, 1982; Жарков, 1978) находят, что солевой состав вод Мирового океана, по крайней мере, в фанерозое был достаточно стабилен.

Таблица 5

Сравнительный состав крови и материи различных животных (Macallum, 1949), Na = 100

Место нахождения	K	Ca	Mg	Cl	SO ₂
Морская вода	3.61	3.91	12.1	181	20.9
Limulus	5.62	4.06	11.2	187	13.4
Aurelia	5.18	4.13	11.4	186	13.2
Homarus	3.73	4.85	1.72	171	6.7
Acanthias	4.61	2.71	2.46	166	—
Carcharias	5.75	2.98	2.76	169	—
Gadus	9.50	3.93	1.41	150	—
Pollachius	4.33	3.10	1.46	138	—
Rana	—	3.17	0.79	136	—
Canis	6.62	2.8	0.76	139	—
Homo	6.75	3.10	0.70	129	—

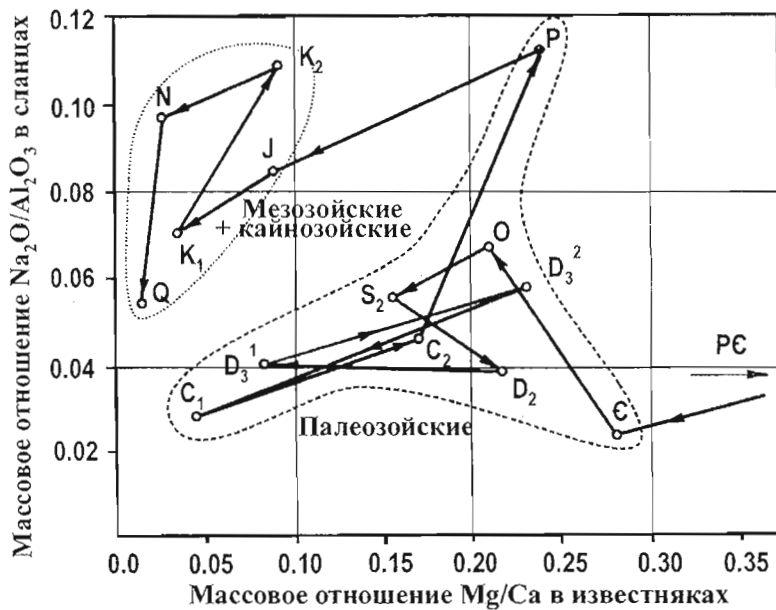


Рис. 8. Связь между колебаниями отношения содержаний оксидов натрия и алюминия в сланцах и отношения содержаний магния и кальция в известняках для пород Восточно-Европейской платформы (по: Гаррельсу и Маккензи, 1974).

С позиций нашей модели эти обе точки зрения не вступают в противоречие, если в первом случае ориентироваться на состав плохо растворимых солей, отлагающихся в эпохи бомбардировок кометами, а во втором —

на состав морской воды с хорошо растворимыми солями в более длительные периоды времени между кометными падениями.

Современный химический состав вод Мирового океана отвечает второй ситуации. При средней солености морской воды 35 г/л присутствующие в ней соли на 88.64% представлены хлоридами, на 10.80% сульфатами и на 0.34% карбонатами (Мияке, 1968). И это несмотря на то, что ежегодно с континентов в Мировой океан сносится порядка 10^5 км³ воды с очень сильно варьирующим солевым составом (Зекцер, Джамалов, 1989).

Постоянство химического состава вод Мирового океана в современную эпоху, а также в другие периоды между кометными ливнями, обеспечивается механизмом Форчхаммера (Шопф, 1982). В соответствии с этим механизмом концентрация химических элементов в морской воде определяется не тем, в каком количестве они поступают в Мировой океан, а обратно пропорциональна той легкости, с которой эти элементы переходят в нерастворимое состояние при химических или биохимических реакциях. Данный механизм действует столь эффективно, что общую массу солей в любой точке Мирового океана можно рассчитать по содержанию одного иона – хлора, причем с погрешностью менее 0.02 г на 1 литр морской воды (Лебедев и др., 1974).

Морская вода является буферным раствором, характеризующимся слабо щелочной реакцией с водородным показателем, колеблющимся в узких пределах $pH = 7.5-8.5$. Эта стабильность главным образом обеспечивается обменом CO_2 между атмосферой и Мировым океаном. При растворении CO_2 в воде возникает неустойчивая угольная кислота H_2CO_3 , распадающаяся с образованием ионов бикарбоната HCO_3^- и карбоната CO_3^{2-} , последние из них связываются с Ca^{2+} в плохо растворимое соединение Ca_2CO_2 . В случае недостатка CO_2 бикарбонат превращается в карбонат и выпадает в осадок, а при избытке CO_2 карбонат превращается в бикарбонат и растворяется. Таким же буферным раствором, как морская вода, является кровь (Лебедев и др., 1974).

К концу рифея составы воздуха и воды приблизились к современным (Холленд, 1989), так что в начале кембрия указанный механизм стабилизации химического состава вод Мирового океана уже должен был действовать. Мы полагаем, что морские животные, поместив этот механизм с помощью системы кровообращения внутрь организма, смогли тем самым приспособить его для повышения своей

жизнестойкости. В результате возникновения кровеносной системы многие морские, а позднее и земные животные, приобрели способность к выживанию в условиях даже очень сильных кометных бомбардировок, вызывавших резкие колебания химического состава воздуха и воды.

Еще одним аргументом в пользу тесной связи развития жизни на Земле с водной оболочкой планеты с позиций нашей гипотезы, вероятно, служит то обстоятельство, что температура тела теплокровных животных весьма близка к температуре минимальной теплоемкости воды, составляющей $+35^\circ C$. Поэтому можно думать, что именно такой была средняя температура вод Мирового океана в эпоху биотической революции на рубеже венда и кембрия.

Поступление жизни из космоса

В связи с нашим выводом о космической причине вендско-кембрийского взрыва жизни, а также крупных биотических перестроек в мезозое и кайнозое, с особой остротой встает вопрос: возникла ли жизнь на Земле или все же она принесена из космоса.

Исторически сложилось, что палеонтологи и геологи, далекие от вопросов влияния на Землю и Солнечную систему процессов в Галактике, считают, что местом возникновения жизни является наша планета, а последующее развитие на Земле живых организмов происходит вследствие тех или иных эндогенных процессов: тектонических, климатических или же собственно биологических. Вместе с тем среди биологов и физиков, профессионально изучающих процессы в космосе, в последние годы чаша весов все больше склоняется в пользу зарождения жизни в космических условиях. В поддержку данного мнения чаще всего приводятся следующие аргументы и факты.

1. Достаточно сложные органические соединения, включая аминокислоты, пурины, пиримидины и карбоновые кислоты, получены экспериментально в модельных условиях, близких к кометным (Ласкано-Араухо, Оро, 1984).

2. Наличие в углистых хондритах биоморфогенных образований, имеющих очевидное сходство с различными родами бактерий (Жмур и др., 1993; McKay et al., 1996; Hoover, 1997, 2006; Герасименко и др. 1999), а также обнаружение в метеоритах сообщества

микрофоссилий, подобного цианобактериальному мату (Розанов и др., 2002).

3. Сходство инфракрасных спектров биологических модельных сред и спектра объектов Галактики, установленное в диапазоне длин волн $\lambda = 2\text{--}40$ мкм (Хойл, Викрамасингх, 1984).

4. Способность некоторых микроорганизмов выживать в концентрированном растворе соляной кислоты NaCl и при высоком содержании Mg^{++} , а также при очень низких (Кушнер, 1984) и высоких (Намсараев и др., 2006) температурах или после облучения очень высокими дозами ионизированного излучения $\sim 10^6$ рад (Valentyne, 1963). Высокие уровни радиации, как известно, вызывают разрыв цепей ДНК в ядрах клеток. Однако у таких микроорганизмов имеются специфические ферменты, сшивающие разорванные цепи.

Как отмечают Ф. Хойл и Ч. Викрамасингх (1984), способность организмов выживать в столь не свойственных планете условиях, трудно понять с позиций земной биологии. Но эти качества совершенно необходимы существам с точки зрения гипотезы панспермии.

В дополнение к этим доводам в пользу космического происхождения жизни на Земле можно привести и ряд аргументов геологического характера.

Первый из них касается стабильности видового состава простейших организмов на протяжении всего времени существования жизни на Земле. Так, если, начиная с венда – кембрия, вследствие развития многоклеточных организмов животный мир планеты претерпел сильные изменения, то бактериальное сообщество, что в архее–протерозое, что в наши дни осталось практически неизменным (Заварзин, 2003).

С позиций гипотезы Хойла и Викрамасингха (1984), этот факт говорит о том, что простейшие формы жизни могут поступать на Землю из космоса с кометами и пылью. Так как галактические кометы бомбардируют Солнечную систему в течение всего времени ее существования, вместе с кометным веществом может заноситься и жизнь, что, собственно говоря, подтверждает изучение метеоритов (Жмур, Розанов, 1993; Розанов и др., 2002).

Второй аргумент состоит в том, что невозможно вывести все многообразие населяющих сегодня Землю живых существ из одной прародительской биологической клетки (Заварзин, 2002, 2006). В отличие от более

сложных организмов, появление которых может быть объяснено как результат их эволюционного развития от предшественников, для бактерий такой подход неприемлем. Функциональная система прокариот полна и достаточна для их автономного существования. Геологические и метеоритные данные явно свидетельствуют, что состав прокариот оставался стабильным и на протяжении миллиардов лет практически не менялся.

Третий аргумент, подкрепляющий два первых, но с иных позиций, связан с другим наблюдаемым фактом. В эпохи массового вымирания биот в фанерозое отмечается широкое развитие сине-зеленых водорослей (Неручев, 1982) и строматолитов (Федонкин, 2000). По образному выражению М.А. Федонкина: «строматолиты – «знак беды», признак дестабилизации сложных экосистем». Расцвет сине-зеленых водорослей и строматолитов обычно объясняют освобождением экологических ниш вследствие вымирания более высокоразвитых групп животных. Однако поскольку вымирания в нашей модели вызваны падениями галактических комет (Баренбаум и др., 2002), то расцвет этих представителей цианобактерий логичнее напрямую связать с их поступлением на Землю с кометами из космоса.

И, наконец, в качестве четвертого аргумента обратимся к данным рис. 2. Из них следует, что не только в фанерозое, но и в докембрии развитие жизни на Земле носило резко немонотонный характер, обусловленный мощными космическими воздействиями. При этом в архее и в протерозое главную роль играли пролеты Солнца сквозь массивные скопления звезд Галактики. Показательно, что их моментам по Б.С. Соколову (1976) отвечают все важнейшие этапы эволюции жизни в докембрии: будь то появление фотосинтезирующих организмов 3.5 млрд. лет назад, возникновение эукариот 1.8–1.6 млрд. лет назад или появление многоклеточных животных и многоклеточных растений 1.1–0.9 млрд. лет назад. Те же времена характеризуются и как главнейшие эпохи развития углеродсодержащих формаций в истории Земли (Сидоренко, 1991).

Взаимодействия Солнца со звездами, как мы полагаем, сопровождалась массовым поступлением из астероидного пояса в межпланетное пространство крупных астероидных тел, которые за время порядка нескольких сотен млн. лет выпадали на нашу и другие планеты. Эти падения резко активизировали на

Земле процессы тектономагматизма и рудообразования и приводили к поступлению в атмосферу больших количеств кислорода – продукта импактного испарения пород земной поверхности (Маркова и др., 1986). Одновременно, за счет образования экранирующего солнечные лучи облачного слоя, поверхностные температуры, вероятно, снижались настолько, что на поверхности Земли могла накапливаться свободная вода (Баренбаум, Ясаманов, 2001) и даже развивались покровные оледенения (Хаин, 2003; Баренбаум и др., 2004).

Такие периоды были особенно благоприятны для развития жизни. По эмпирическим данным доля органического углерода, отлагавшегося тогда в осадочных породах, могла достигать 20–50% (Сидоренко, 1991). К таким же по порядку величины значениям приводят расчеты (см. рис. 2-д), основанные на анализе изотопного состава карбонатного и биогенного углерода осадочных пород (Галимов и др., 1975).

После каждого взаимодействия Солнечной системы со звездами частота падений на Землю астероидных тел экспоненциально убывала, а поверхностные температуры закономерно возрастали. Вместе с этим менялось и количество населявших нашу планету живых организмов. В эпохи наиболее интенсивного отложения железистых кварцитов, когда температура на земной поверхности приближалась к 100°C (Френч, 1975), а основная масса свободной воды испытывала гидратацию и связывалась в породах (Баренбаум, Ясаманов, 2001), по всей видимости, угасала и жизнь. Этим временам соответствуют периоды, в которые доля биогенного углерода в осадочных породах резко снижалась почти до нуля (см. рис. 2-д).

При каждом взаимодействии Солнца с другими звездами Галактики картина в основном повторялась, и жизнь в очередной раз «завоевывала» Землю. Данным обстоятельством можно объяснить присутствие в древних породах следов цианобактерий (3.5–3.8 млрд лет назад), одноклеточных (2.7 млрд лет назад) и многоклеточных (2.1 млрд лет назад) эвкариот, а также находки задолго до вендско-кембрийского биотического взрыва останков многоклеточных животных возрастом ~1.5 и ~1.0–0.7 млрд лет (Федонкин, 2000). Заметим однако, что в последний миллиард лет, после того как Мировой океан и атмосфера сформировались и приблизились к современному состоянию и возникли достаточно развитые

организмы, жизнь на нашей планете больше не исчезала.

Основные результаты и выводы

В соответствии с представленными в статье результатами сделаны следующие заключения, касающиеся проблемы появления и развития на нашей планете жизни:

1. Наиболее крупные изменения органического мира нашей планеты, будь то появление в архее на Земле самой жизни, революционные события в венде-кембрии или биотические обновления в начале мезозойской и кайнозойской эр, а также массовые вымирания живых организмов на границах стратонов фанерозойской шкалы были инициированы в первую очередь мощными космическими воздействиями.

2. Имеются веские основания полагать, что все такие воздействия в фанерозое были вызваны квазипериодическими бомбардировками нашей планеты галактическими кометами, а также эпизодическими падениями на нее крупных астероидов. Выпадавшие космические тела поставляли на Землю воду, углерод и другие, необходимые для жизни химические элементы. Эти падения сильно влияли на среду обитания живых существ, что вызывало гибель их недостаточно жизнестойких видов и приводило к заполнению освободившихся экологических ниш более совершенными организмами.

3. Непосредственной причиной бурного расцвета жизни, начиная с рубежа венда и кембрия, явились интенсивные падения на Землю комет спиральных рукавов Галактики с повышенным содержанием фосфора, кальция, калия, натрия, хлора, серы и других химических элементов, которые живые существа стали активно использовать для своего развития. Поэтому уже в раннем кембрии некоторые морские организмы обзаводятся прочными раковинами из фосфора и кальция, защищающими от хищников, а также появляются позвоночные животные с кальциевыми скелетами. По-видимому, в тот же период у животных возникает достаточно совершенная кровеносная система, позволившая им перейти к жаберному типу дыхания, что делало таких животных менее подверженными влиянию меняющихся внешних условий.

4. Падение на Землю галактических комет, обогащенных указанными нуклидами, мы связываем с эволюцией нашей звездной системы. По нашим расчетам орбита Солнца впервые достигла радиуса коротации Галактики лишь около 600 млн лет назад. До

этого времени солнечная орбита размещалась внутри коротационного радиуса, и поставки на Землю кометами «химических элементов жизни» в необходимых количествах не происходило. Этим обстоятельством можно объяснить не только бурное развитие живых организмов в венде–кембрии, но и циклическое отложение на нашей планете в фанерозое огромных количеств фосфоритов и солей.

5. Немаловажным фактором развития на планете жизни в венде–кембрии явился и сложившийся к тому времени на Земле практически современный механизм глобального геохимического круговорота вещества. В соответствии с этим механизмом углерод биосферы, кислород атмосферы и воды гидросферы образуют на нашей планете единую геохимическую систему круговорота, пребывающую в динамическом равновесии. Свойства данной системы таковы, что при нарушении этого равновесия мощными космическими воздействиями, в системе активизируются геохимические процессы, возвращающие ее в устойчивое состояние. Живые существа, обзаведясь системой кровообращения и аппаратом жаберного дыхания, фактически перенесли данный механизм внутрь своего организма, обеспечив себе тем самым меньшую зависимость от меняющейся среды обитания.

6. В докембрии, в отличие от фанерозоя, наиболее крупные «вспышки жизни» были связаны не с бомбардировками Земли галактическими кометами, а с эпохами массового выпадения на планету тел астероидного пояса, инициированными пролетами Солнца через скопления звезд Галактики. После чего падения на Землю астероидных тел продолжались с экспоненциально убывающей интенсивностью в тече-

ние сотен миллионов лет. Эти падения способствовали образованию на нашей планете кислородной атмосферы и вызывали появление на земной поверхности жидкой воды, необходимой для существования жизни.

Геологические данные позволяют предположить, что развитие простейшей жизни на Земле в раннем докембрии характеризовалось чередованием времен бурного расцвета и почти полного «угасания». Однако в последний миллиард лет, когда океан и атмосфера достигли современного состояния, и общая масса живых организмов в биосфере планеты стабилизировалась, подобные явления прекратились.

7. Неизменность видов простейших одноклеточных организмов на протяжении всей геологической истории Земли и развитие более совершенных живых существ, особенно в последний миллиард лет, свидетельствуют о двух параллельно протекающих процессах. С одной стороны, это периодическая поставка галактическими кометами все новых и новых микроорганизмов сравнительно постоянного видового состава, а с другой – эволюция и непрерывное совершенствование на Земле ранее появившихся живых существ, успевших приспособиться и освоить нашу планету.

Авторы благодарят О.Б. Хаврошкина, Ю.Б. Гладенкова, А.Ю. Розанова, М.А. Жаркова и Н.М. Чумакова за полезные обсуждения и ценные замечания, способствовавшие улучшению работы, а также А.С. Спирина за доброжелательное отношение к статье и ее поддержку.

Работа выполнена при финансовой поддержке одного из авторов (Т.В. Литвиновой) грантами РФФИ № 07-05-00329 и Приоритетной программы Президиума РАН, №18.

Литература

1. **Бактериальная палеонтология.** М.: ПИН РАН, 2002. 188 с.

2. **Баренбаум А.А.** О поступлении космического углерода и его круговороте на Земле // Экоцистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: ПИН РАН, 1998. С. 15-29.

3. **Баренбаум А.А.** Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М.: ГЕОС. 2002. 393 с.

4. **Баренбаум А.А.** Причина биотической революции в венде–кембрии с позиций кометно-галактической гипотезы // Докл. РАН. 2004. №4. С. 513-515.

5. **Баренбаум А.А.** Изучение взаимодействия галактических комет с газовыми оболочками планет на основе применения теории абляции и моделей импактного кратерообразования // Физика экстремальных состояний вещества – 2006/ Ред. В.Е. Фортв и др. Черноголовка: ИПХФ РАН, 2006. С. 154-155.

6. **Баренбаум А.А., Гладенков Ю.Б., Ясманов Н.А.** Геохронологические шкалы и астрономическое время (современное состояние проблемы) // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2002. Т. 10. №2. С. 3-14.

7. **Баренбаум А.А., Литвинова Т.В.** Периодичность эпох фосфатонакопления и ее возможные космические причины // Докл. РАН, 2002. Т. 385. №2. С. 220-222.

8. **Баренбаум А.А., Литвинова Т.В.** Распространение солей и фосфоритов в свете космической гипотезы // Докл. РАН, 2003. Т. 389. №2. С. 214-218.
9. **Баренбаум А.А., Литвинова Т.В.** Механизм формирования палеозойских фосфатов и солей // Докл. РАН, 2005. Т. 405. №4. С.501-506.
10. **Баренбаум А.А., Хаин В.Е., Ясаманов Н.А.** Крупномасштабные тектонические циклы: интерпретация с позиций галактической концепции // Вестник МГУ. Сер.4. Геология, 2004. №3. С. 3-16.
11. **Баренбаум А.А., Ясаманов Н.А.** Эволюция гидросферы и галактические кометы // Вестник МГУ. Сер.4. Геология, 2001. № 4. С. 9-19.
12. **Басков Е.А., Беленицкая Г.А., Романовский С.И. и др.** Литогеодинимика и минерагения осадочных бассейнов. СПб: ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.
13. **Батурин Г.Н.** Фосфориты на дне океанов. М.: Наука, 1978. 231 с.
14. **Батурин Г.Н.** Гипотезы фосфогенеза и океанская среда // Литология и полез. ископаемые. 1999, №5. С. 451-472.
15. **Батурин Г.Н.** Фосфатонакопление в океане. М.: Наука, 2004. 464 с.
16. **Беленицкая Г.А.** Соленосные осадочные бассейны. Литолого-фациальный, геодинимический и минералогический анализ // Осадочные бассейны России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. Вып.4. 142 с.
17. **Божко Н.А.** Суперконтинентальная цикличность в тектоническом развитии литосферы // Тектоника и геодинимика континентальной литосферы. Матер. 36-го Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС, 2003. С. 56-60.
18. **Бушинский Г.И.** Древние фосфориты Азии и их генезис. М.: Наука, 1966. 192 с.
19. **Вернадский В.И.** Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. Т IV, кн. 2.
20. **Весталл Ф., Велш М.** Ископаемые бактерии и бактериальные пленки // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 68-84.
21. **Галимов Э.М.** Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М.: Едиториал УРСС, 2001. 254 с.
22. **Галимов Э.М., Мигдисов А.А., Ронов А.Б.** Вариации изотопного состава карбонатов и органического углерода осадочных пород в истории Земли // Геохимия, 1975. №3. С. 323-342.
23. **Гольдманский В.И., Кузьмин В.В.** Спонтанное нарушение зеркальной симметрии в природе и происхождение жизни // Успехи физических наук, 1989. Т. 157. №1. С. 1-50.
24. **Гаррельс Р.М., Маккензи Ф.Т.** Эволюция осадочных бассейнов. М.: Мир, 1974. 269 с.
25. **Герасименко Л.М., Жегалло Е.А., Жмур С.И. и др.** Бактериальная палеонтология и исследования углистых хондритов // Палеонтологический журнал, 1999. №4. С. 103-125.
26. **Герасименко Л.М., Заварзин Г.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.П.** Роль цианобактерий в образовании фосфатных минералов // Общая геология. М.: ГИН РАН, 1999. Т. 60. №4. С. 415-430.
27. **Гниловская М.Б., Вейс А.Ф., Беккез Ю.Р. и др.** Доэдиакарская биота Тимана (аннелидоморфы верхнего рифея) и ее корреляция // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2000. Т. 8. №4. С. 327-352.
28. **Добрецов Н.Л.** Мантийные суперплюмы как причина главной геологической периодичности и глобальных перестроек // Докл. РАН, 1997. Т. 457. №6. С. 797-800.
29. **Добрецов Н.Л.** О ранних стадиях зарождения и эволюции жизни // Вестник ВОГиС, 2005. Т. 9. №1. С. 43-54.
30. **Жарков М.А.** История палеозойского соленакопления. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.
31. **Жмур С.И., Розанов А.Ю., Горленко В.М.** Литифицированные остатки микроорганизмов в углистых хондритах // Геохимия, 1993. №1. С. 63-68.
32. **Заварзин Г.А.** Роль комбинаторных событий в развитии биоразнообразия // Природа, 2002. №1. С. 12-19.
33. **Заварзин Г.А.** Становление системы биогеохимических циклов // Палеонтологический журнал, 2003. №6. С. 16-24.
34. **Заварзин Г.А.** Составляет ли эволюция смысл биологии? // Вестник РАН, 2006. Т. 76. №6. С. 522-543.
35. **Занин Ю.Г., Горленко В.М., Миртов Ю.В. и др.** Бактериоморфное образование желваковых и зернистых фосфоритов // Геология и геофизика, 1987. №2. С.43-49.
36. **Зекцер И.С., Джамалов Р.Г.** Подземные воды в водном балансе крупных регионов. М.: Наука, 1989. 125 с.
37. **Каймаков Е.А.** Физико-химические процессы, в ходе которых могли возникнуть предшественники биополимеров и живых клеток. Препринт № 1735. СПб.: ФТИ РАН, 1999. 46 с.
38. **Каймаков Е.А., Матвеев И.Н.** Химический состав ядер комет. Препринт № 466. М. ИКИ РАН, 1978.
39. **Казиков А.В.** Фосфатные фации: происхождение фосфоритов и геологические факторы формирования месторождений // Тр. НИУФ. Л.-М., 1939. Вып. 45. 108 с.
40. **Калинко М.К.** Соленакопление, образование соляных структур и их влияние на нефтегазонасыщенность. М.: Недра, 1973. 132 с.
41. **Камерон А.** // Ядерная астрофизика / Ред. Барнс Ч., Клейтон Д и Шрамма Д.. М.: Мир, 1986. С.33-52.
42. **Крамаровский Я.М., Чечев В.П.** Синтез элементов во Вселенной. М.: Наука, 1987. 160 с.
43. **Кометы и происхождение жизни** / Ред. С. Поннамперума. М.: Мир, 1984. 229 с.
44. **Кушнер Д.** Экстремальные условия: существуют ли пределы приспособляемости живых организмов? // Кометы и происхождение жизни / Ред. С. Поннамперума. М.: Мир, 1984. С.220-227.

45. Ласкано-Араухо А., Оро Дж. Кометное вещество и происхождение жизни на Земле // Там же. С. 186-209.
46. Лебедев В.Л., Айзатуллин Т.А., Хайлов К.М. Океан как динамическая система. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 206 с.
47. Литвинова Т.В. Генезис микрозернистых фосфоритов. Докл. АН, 2005. Т. 404. №2 С. 220-224.
48. Литвинова Т.В. Состав морфология и происхождение фосфатных пеллет (на примере фосфоритов Малого Каратау) // Литология и полез. ископаемые, 2007. №4. С. 426-443.
49. Лука Ж., Прево Л. Синтез апатита. К вопросу о новой модели генезиса осадочных фосфоритов // Докл. 27-го МГК, 1984. Т. 15. Неметаллические полез. ископаемые. С. 211-215.
50. Маркова О.М., Яковлев О.И., Семенов Г.А., Белов А.Н. Некоторые общие результаты экспериментов по испарению природных расплавов в камере Кнудсена // Геохимия, 1986. №11. С. 1559-1569.
51. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М.: Наука, 1984. 392 с.
52. Мияки Я. Основы геохимии. Л.: Недра, 1968. 328 с.
53. Намсараев З.Б., Горленко В.М., Намсараев Б.Б., Бархутова Д.Д. Микробное сообщество щелочных гидротерм/ Ред. М.Б. Вайнштейн. Новосибирск: СО РАН, 2006. 110 с.
54. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982. 208 с.
55. Неручев С.Г. Глобальные геохимические аномалии и биосферные кризисы // Природа, 1988. №1. С. 72-81.
56. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М.-Л.: Биомедгиз, 1936.
57. Пушкарев Ю.Д. Мегациклы в эволюции системы кора – мантия. Л.: Наука, 1990. 217 с.
58. Резанов И.А. Жизнь и космические катастрофы. М.: Изд-во АГАР, 2003. 240 с.
59. Розанов А.Ю. Палеогеография и палеобиогеография раннего кембрия // Вестник АН СССР, 1985. №11. С. 78-92.
60. Розанов А.Ю. Ископаемые бактерии, седиментация и ранние стадии эволюции биосферы // Палеонтологический журнал, 2003. №6. С. 41-49.
61. Розанов А.Ю., Жегалло Е.А. К проблеме генезиса древних фосфоритов // Литология и полез. Ископаемые, 1989. №3. С. 67-82.
62. Розанов А.Ю., Миссаржевский В.В. Биостратиграфия и фауна нижних горизонтов кембрия. М.: Наука, 1966. 126 с.
63. Розанов А.Ю., Хувер Р., Жегалло Е.А. Исследование внеземного вещества // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 136-155.
64. Сидоренко Св.А. Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии. М.: Наука, 1991. 104 с.
65. Снытников В.Н. Астрокатализ как стартовый этап геобиологических процессов. Жизнь создают планеты? // Эволюция биосферы и биоразнообразии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 49-59.
66. Созинский В.И. Геология и генезис соленосных образований Киев: Наукова думка, 1973. 200 с.
67. Соколов А.С. Парагенетические взаимоотношения фосфоритоносных и соленосных бассейнов // Литология и полезные ископаемые, 1990. №2. С. 174-185.
68. Соколов А.С., Фролов А.А. Историко-геологические взаимоотношения апатитов и фосфоритов // Отечественная геология, 1997. № 6. С. 11-18.
69. Соколов Б.С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вест. АН СССР, 1976. №1. С. 126-143.
70. Соколов Б.С. Очерки становления венда. М.: КМК Лтд., 1997. 156 с.
71. Соленакопление и соленосные отложения осадочных бассейнов. М.: Недра, 1968. 640 с.
72. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 560 с.
73. Сочава А.В. Квазистационарная модель геохимического цикла и эволюция биосферы на рубеже докембрия и фанерозоя // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1992. №6. С. 41-56.
74. Спиринов А.С. Рибонуклеиновые кислоты как центральное звено живой материи // Вестник РАН, 2003. Т. 73. №2. С. 117-127.
75. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 3. 550 с.
76. Тимофеев Е.В. Микрофоссилии раннего докембрия. Л.: Наука, 1982. С. 1-128.
77. Тимофеев Е.В. Герман Т.Н. Докембрийская микробиота лахандинской свиты. Л.: Наука, 1979. С. 137-147.
78. Федонкин М.А. Холодная заря животной жизни // Природа, 2000. №9. С. 3-11.
79. Федонкин М.А. Сужение геохимического базиса жизни и эвкарриотизация биосферы: причинная связь // Палеонтологический журнал, 2003. №6. С. 33-40.
80. Френч М. Ассоциации минералов в диагенетических и слабометаморфизированных железорудных формациях // Докембрийские железорудные формации Мира. М.: Мир, 1975. С. 205-220.
81. Хаин В.Е. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // Геотектоника, 2000. № 6. С. 3-14.
82. Хаин В.Е. Основные проблемы геологии. М.: Наука, 2003. 347 с.
83. Хаин В.Е. Разгадка, возможно, близка. О причинах великих вымираний и обновлений органического мира // Природа, 2004. №6. С. 3-7.
84. Харвей Х.В. Биохимия и физика моря. Л.: Изд-во АН СССР, 1933. 79 с.
85. Хойл Ф., Викрамасингх Ч. Кометы – средство передвижения в теории панспермии // Кометы и происхождение жизни / Ред. Поннамперума С.. М.: Мир, 1984. С. 210-219.
86. Холленд Х. Химическая эволюция океанов и атмосферы. М.: Мир, 1989. 552 с.

87. **Холодов В.Н.** Эпохи фосфоритообразования как отражение эволюции магматизма в истории Земли. Докл. РАН, 1996. Т. 347. №4. С. 531-534.
88. **Холодов В.Н.** Проблема возникновения эпох фосфоритообразования в истории Земли // Геология рудных месторождений, 2002. Т. 44. № 5. С. 37.
89. **Холодов В.Н., Бутузова Г.Ю.** Фосфор в гидротермальном процессе // Литология и полезные ископаемые, 1999. №3. С. 227-244.
90. **Холодов В.Н., Пауль Р.К.** Черное море – геохимическая модель фосфатонакопления // Литология и полез. ископаемые, 1995. №6. С. 563-581.
91. **Холодов В.Н., Пауль Р.К.** Фации и генезис фосфоритов Каратау. Сообщение 1. Вендско-кембрийский водоем и морфометрия фосфатных пеллет // Литология и полезн. Ископаемые, 1999. № 4. С. 350-367.
92. **Холодов В.Н., Пауль Р.К.** Фации и генезис фосфоритов Каратау. Сообщение 2. Происхождение фосфатных пеллет и общая схема развития томмотского палеоводоема // Литология и полезн. Ископаемые, 1999. №5. С. 503-517.
93. **Хорган Дж.** У истоков жизни // В мире науки, 1991. №4. С. 69-79.
94. **Хоровиц Н.** Поиски жизни в Солнечной системе. М.: Мир, 1988. 187 с.
95. **Чумаков Н.М.** Периодичность главных ледниковых событий и их корреляция с эндогенной активностью Земли // Докл. РАН. 2001. Т. 378. № 5. С. 656-659.
96. **Шатский Н.С.** Фосфоритоносные формации и классификации фосфоритоносных залежей. Избранные тр. М.: Наука, 1965. Т. III. С. 52-143.
97. **Школьник Э.Л., Тан Ньянфу, Еганов Э.А. и др.** Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира / Владивосток: Дальнаука, 1999. 206 с.
98. **Шопф Т.** Палеоокеанология. М.: Мир, 1982. 311 с.
99. **Эйген М.** Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 216 с.
100. **Яншин А.Л.** О глубине солеродных бассейнов и некоторых вопросах формирования мощных соляных толщ // Геология и геофизика, 1961. №1. С. 3-15.
101. **Яншин А.Л., Жарков М.А.** Фосфор и калий в природе. Новосибирск: Наука, 1986. 160 с.
102. **Ясаманов Н.А.** Климаты рифейского и вендского времени // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология, 1994, №2. С. 45-55.
103. **Alvarez L.W., Muller R.A.** Evidence from crater ages for periodic impacts on the Earth // Nature, 1984. V. 308. № 5691. P. 718-720.
104. **Arrenius S.** Worlds in the Making. NY. Harper and Bros, 1908.
105. **Brasier M.J.** Global ocean-atmosphere change across the Precambrian-Cambrian fauna // Geol. Magazine, 1992. V. 129. № 2. P. 161-168.
106. **Canfield D.E., Tesse A.** Late proterozoic rise in atmospheric oxygen concentration inferred from phylogenic and sulphur-isotope studies // Nature, 1996. V. 382. P. 127-132.
107. **Cloud P., Glaessner M.F.** The Ediacaran period and system: Metazoa inherit the Earth // Science, 1982. V. 217. P. 783-792.
108. **Dobretsov N.L., Kolchanov N.A., Suslov V.V.** On the early stages of the evolution of the geosphere and biosphere // Paleontological Journal, 2006. V. 40. Suppl. 4. P. S407-S424.
109. **Engol H., Macko S.A., Sifler J.A.** // Nature, 1990. V. 348. P. 47-49.
- Fedonkin M.A.** The origin of Metazoa in the light of the Proterozoic fossil record // Paleontolog. Res., 2003. V.7. №1. P. 9-41.
110. **Froelich P.N., Arthur M.A., Burnen W.C. et al.** Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: phosphorite precipitation // Mar. Geol., 1988. V. 80. № 3/4. P. 309-343.
111. **Gradstein F.M., Ogg J.A.** Geologic Time-scale Phanerozoic / Saga Petroleum ASA. 1996. Purdue Univ.
112. **Gradstein F.M., Ogg J.A., Smith A.G. et al.** A Geologic Time Scale 2004. Cambridge Univ. Press. 2004.
113. **Hoover R.B.** Meteorites, microfossils and exobiology // Instruments, Methods and Missions for Extraterrestrial Microorganisms. Proc. IPJE, 1997. V. 3111. P. 115-136.
114. **Hoover R.B.** Comets, carbonaceous meteorites and the origin of the biosphere // Biosciences Discussions, 2006. V. 3. P. 23-70.
115. **Kimura H., Matsumoto R., Kakuwa Y. et al.** The Vendian-Cambrian $\delta^{13}C$ record, North Iran: evidence for overturning of the ocean before the Cambrian Explosion // Earth Planet. Sci. Let., 1997. V. 147. № 1-4. P. E1-E7.
116. **Knoll A.** End of Proterozoic eon // Sci. Amer., 1991. V. 265. №4. P. 64-73.
117. **Logan G.A., Hayes J.M., Hieshima G.B., Summons R.E.** Terminal Proterozoic reorganisation of biogeochemical cycles // Nature, 1995. V. 376. P. 53-56.
118. **Macallum A.B.** An introduction to comparative biochemistry. Cambridge Univ. Press. 1949.
119. **McKay D.S., Gibson E.K., Thomas-Keppta I.K.L. et al.** Search for past life on Mars: Possible relict biogenic activity in Martian meteorite ALN 84001 // 1996. V. 273. P. 924-930.
120. **Mojzsis S.J., Arrhenius G., McKeegan K.D. et al.** Evidence for life on Earth before 3800 million years ago // Nature, 1996. V. 333. P. 313-318.
121. **Morris S.C.** The fossil record and the early evolution on the Metazoa // Nature, 1993. V. 361. P. 219-222.
122. **Moore E.M.** Neoproterozoic oceanic crystal thinning, emergence of continents, and origin of proterozoic ecosystem: A model // Geology, 1993. V. 21. №1. P. 49-52.
123. **Nisbet E.G., Sleep N.H.** The habitat and nature of early life // Nature, 2001. V. 409. № 6823. P. 1083-1091.

124. **Palmer A.R., Geissman J.** 1999 Geological Time Scale / Geol. Soc. of Amer., 1999. Product CTS004.

125. **Plumb K.A.** New Precambrian time scale // Episodes, 1991. V. 14. №2. P. 139-140.

126. **Raup D.M., Sepkoski J.J.** Periodicity of extinctions in the geologic past // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1984. V. 1. № 2. P. 801-805.

127. **Schidlowski M.** A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks // Nature, 1988. V. 333. P. 313-318.

128. **Schopf J.W.** Paleontology of the Archean // The Proterozoic Biosphere / Eds J.W. Schopf, C. Klein. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. P. 24-39.

129. **Schopf J.W.** Microfossils of the early Archean Apex chert: New evidence of antiquity of life // Science, 1993. V. 260. P. 640-646.

130. **Sepkoski J.J. (Jr.)** Patterns of phanerozoic extinction: a perspective from global data bases // Global events and event stratigraphy in the Phanerozoic: results of international interdisciplinary cooperation in the IGCP Project 216 / Ed. O.H. Walliser. Berlin-Heidelberg, 1995. P. 35-52.

131. **Vallentyne J.R.** // Ann. N.Y. Acad. Sci., 1963. V. 108. Part 2. P. 342.

132. **Walsh M.M.** Microfossils and possible microfossils from the Early Archean Onverwacht Group. Barbeton Mountain Land, South Africa // Precambrian Res., 1992. V. 54. P. 271-293.