

А. Н. Макаренко

КОСМИЧЕСКИЙ ФАКТОР "ИЗБЫТОЧНОГО" ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ

Статья 1. Космические ритмы в геологической летописи

(Рекомендовано акад. НАН Украины П. Ф. Гожиком)

Крім радіогенної енергії в надрах Землі діє "додаткове" джерело енергії, яке має космічне походження і модулюється положенням та напрямком руху Сонячної системи в Галактиці. Вивільнення надлишкової енергії повторює щільність розподілу речовини в галактичному просторі, що оточує Сонячну систему, а також залежить від взаємного розташування вектора швидкості Сонячної системи в Галактиці та площини екліптики. Максимуми вивільнення "додаткової" енергії припадають на ті ділянки галактичної орбіти, де вектор швидкості Сонячної системи в Галактиці знаходиться в площині екліптики. Амплітуди максимумів визначаються терміном перебування Сонячної системи в ділянках максимальної теплогенерації (близькістю до апоцентра або перицентра орбіти в Галактиці). Відповідність земних ритмів галактичним дозволяє припускати присутність в галактичному просторі якогось теплогенеруючого фактора, вплив якого призводить до генерації енергії в надрах великих космічних тіл.

Besides the radiogenic energy, the "supplementary" energy source occurs in the Earth interior. This source is of cosmic origin and modulated by position and direction of the solar system motion in the Galaxy. Release of excess energy correlates with the density of matter distribution in the galactic space surrounding the solar system, and it also depends on the relative position of the solar system velocity vector and the ecliptic plane. Maxima of "supplementary" energy releases are associated with those parts of galactic orbit, in which the solar system velocity vector is coplanar to the ecliptic plane. Amplitudes of maxima are determined by duration of the solar system stay in the zone of maximum heat generation (proximity to the orbit apocentre or pericentre in the Galaxy). Compliance between the earth and galactic rhythms suggests occurrence in the galactic space of a heat generating factor, whose influence causes energy releases in depths of the large cosmic bodies.

Суммарная мощность источников внутренней энергии земных недр составляет приблизительно 30–47 ТВт [17, 18, 22, 27, 33, 43]. Общеизвестно, что значительная часть этой энергии производится в ходе распада радиоактивных изотопов урана, тория, калия и др. По современным оценкам, основанным на геохимических данных о распространении химических элементов, на долю радиогенной энергии приходится около 16–31 ТВт [7, 11, 17, 18, 22, 33, 37, 43]. Можно видеть, что точность наших данных такова, что позволяет предполагать как практически полное отсутствие других (не радиогенных) источников энергии (если ориентироваться на крайние значения), так и наличие каких-то дополнительных источников (в пределах 31 ТВт, если ориентироваться на другие крайние значения, или около 15–20 ТВт при учете средних).

Природа остающейся "избыточной" части регистрируемого теплового потока, при условии, что она все-таки существует, остается под вопросом и является предметом дискуссий, известным под названием *проблемы недостаточности* ("missing" heat energy, "missing heat source problem", "missing heat source paradox") источников энергии для объяснения наблюдаемого теплового потока из недр Земли (обсуждение проб-

лемы см. в работах [17, 18, 35]). Помимо собственно геологических данных, проблема недостаточности, по-видимому, находит подтверждение также и в исследованиях по подсчету потока геоантинейтрино, испускаемых в недрах Земли при распаде ядер радиоактивных изотопов урана и тория [20].

Существуют разные подходы к решению данного вопроса. Некоторые авторы действительно считают, что либо принимаемые обычно значения теплового потока завышены, либо вклад радиогенной энергии, наоборот, занижен, либо справедливо и то, и другое [33, 35] и радиогенной энергии вполне достаточно для объяснения теплового потока из недр Земли. Другие же предлагают целый ряд дополнительных к радиогенной энергии источников: продолжающиеся потери остаточного тепла, выделенного теми же радиогенными источниками в более ранние эпохи; остаточное первичное тепло, выделившееся в результате аккреции Земли из газопылевого облака или распада вымерших короткоживущих радиоактивных элементов; гравитационная дифференциация; кристаллизация внутреннего ядра; приливное трение и некоторые другие. Как сам перечень предлагаемых дополнительных источников, так и их предполагаемый относительный вклад в суммарный баланс могут значительно отличаться у разных авторов (см. работы [1, 17, 18]).

© А. Н. Макаренко, 2011

Объяснение ряда вопросов, таких как превышение теплового потока на океаническом сегменте земной коры в сравнении с континентальным, периодические его колебания в геологическом прошлом, также вызывает затруднения.

Важной составляющей проблемы установления источников внутреннего тепла Земли является проблема происхождения значительного теплового потока из земного ядра, который, по видимому, велик, в то время как потенциальные источники этого тепла проблематичны.

Следует также отметить, что *проблема дефицита источников внутреннего тепла Земли является частью более общей проблемы природы внутренней энергии крупных планет Солнечной системы* [8]. Еще в 60-е годы прошлого столетия с помощью наземных наблюдений избыточное тепловыделение было обнаружено в недрах планет-гигантов. Тепловое излучение планет-гигантов существенно превышает поток энергии, получаемый этими планетами от Солнца, а предполагаемых внутренних источников недостаточно для его объяснения. Полеты "Пионеров" и "Вояджеров" подтвердили эти данные. Помимо собственно планет-гигантов, аналогичная проблема выявлена также у некоторых из их спутников. Неясной остается природа магнитного поля Меркурия, для существования которого также нужна некоторая дополнительная энергия. Природа избыточной энергии этих планет не выяснена.

Отметим, что *все предложенные в геологии вероятные источники внутреннего тепла имеют либо чисто внутриземное происхождение, либо, как в случае с приливной энергией, связаны с ближайшим космическим окружением нашей планеты.*

В то же время в последние годы в *физической литературе был предложен целый ряд внешних по отношению к Солнечной системе механизмов, путь и гипотетических, которые могут вызывать выделение тепла в недрах планет* [6, 19, 23, 29, 34, 38] (приведен далеко не полный список ссылок). В числе таких механизмов называют поглощение и последующую аннигиляцию внутри Земли частиц и античастиц темной материи, загадочной субстанции, которая слагает большую часть вещества Вселенной и которую так настойчиво ищут. Называют также катализ ядерных реакций в недрах планет такими гипотетическими частицами, как магнитный монополю, взаимодействие с реликтовыми микроскопическими черными дырами и ряд других механизмов. Несмотря на кажущуюся на первый взгляд фантастичность таких гипотез, все они основаны на более-менее общепринятых (отнюдь не маргинальных) физических теориях, прошедших определенную экспериментальную проверку, подкреплены соответствующими расчетами, и зачастую авторами таких гипотез являются весьма авторитетные

ученые. Геологам эти работы все еще остаются не известными. Физики также не предпринимали каких-либо попыток поисков подтверждения своих идей в геологических данных.

В нашей же работе речь пойдет о возможном (в определенной степени случайном) *обнаружении такого внешнего происхождения источника внутренней энергии планет.*

Первоначальная тема нашего исследования заключалась в изучении влияния различных космических факторов, внешних по отношению к Солнечной системе, на процессы, происходящие в земных оболочках, и лежала вдалеке от проблем, связанных с внутренними источниками энергии Земли и планет. Довольно скоро выяснилось, что воздействия со стороны галактического окружения на Солнечную систему и нашу планету гораздо более велики, чем обычно принято считать. Причем основной канал внешних влияний имеет энергетическую природу, а сами эти воздействия передаются не сверху вниз от оболочки к оболочке, как можно было бы ожидать, а скорее изнутри, охватывая всю планету. Из сопоставления ряда геологических и астрономических явлений было сделано предположение о наличии в недрах Земли и планет источника энергии космического, внешнего по отношению к Солнечной системе происхождения, который здесь условно назван "космической печкой" (the cosmic furnace).

Настоящая работа открывает цикл статей, где будет описана и проанализирована совокупность данных, из которых следует существование в недрах планет "дополнительного" космического источника внутреннего тепла. Также будут описаны свойства этого источника.

Здесь ограничимся связями земных ритмов с галактическими явлениями, а также опишем основные закономерности избыточного тепловыделения земных недр, которые из этого следуют. Последующие статьи будут содержать анализ пространственных закономерностей избыточного выделения тепла в земных недрах, сравнение с планетными данными и, наконец, некоторые соображения относительно природы происхождения избыточного тепловыделения.

Движения Солнечной системы в Галактике. В основу нашего исследования было положено следующее простое предположение: *периодические перемещения Земли и Солнечной системы в целом должны оказывать модулирующий эффект на предполагаемые внешние воздействия и в результате в процессах, происходящих в земных оболочках, должна наблюдаться аналогичная ритмичность, поскольку есть основания считать, что либо сами воздействующие факторы (частицы галактических космических лучей, находящаяся в пространстве материя*

и т. п.) распределены неравномерно, либо степень чувствительности к ним со стороны планет (скорость, расположение относительно воздействующего фактора) изменяется с изменением положения на галактической орбите. Поэтому нам нужна будет некоторая информация о перемещениях, совершаемых Солнечной системой в галактическом пространстве.

Орбитальные движения. Общая масса звезд в окрестностях Солнца, в том числе и Солнце, движется перпендикулярно к направлению на центр Галактики. Движение совершается по часовой стрелке вокруг центра Галактики, если смотреть на Галактику со стороны ее северного полюса. Галактоцентрическое расстояние Солнечной системы составляет около 7–10 килопарсек (кпк).

Аномалистический период обращения (или эпициклический период, или аномалистический год) – промежуток времени между прохождениями через наибольшее или наименьшее расстояние до центра Галактики – для Солнца примерно равен 175–195 млн лет. Наличие периодичности, близкой данному периоду, может означать зависимость процесса от галактоцентрического расстояния Солнечной системы.

Сидерический период обращения или галактический год – промежуток времени за который Солнечная система совершает полный оборот вокруг центра Галактики – равен примерно 200–230 млн лет. Соответствующая ему периодичность может свидетельствовать о зависимости какого-либо процесса от направления движения Солнечной системы или от взаимного наклона плоскости эклиптики и вектора скорости движения Солнечной системы в галактическом пространстве, так как кроме этих величин ничего более не меняется.

Соотношение между периодами зависит от галактоцентрического расстояния звезды. Солнечная система находится на таком расстоянии, где сидерический период несколько больше аномалистического. Разница между этими двумя периодами приводит к попятному движению линии апсид в ходе обращения Солнца (линия апсид соединяет апо- и перигалактии или, иначе, апо- и перигалактии – наиболее удаленную от центра и наиболее приближенную точки орбиты). То есть Солнце обращается вокруг центра Галактики по розетке – эллипсу, который поворачивается за один оборот на некоторый угол (рис. 1).

Как и другие звезды, Солнце совершает также колебательные движения относительно галактической плоскости (рис. 2). Период колебательных движений составляет 60–70 млн лет [21, 39]. Таким образом, Солнечная система каждые 30–35 млн лет пересекает галактическую плоскость.

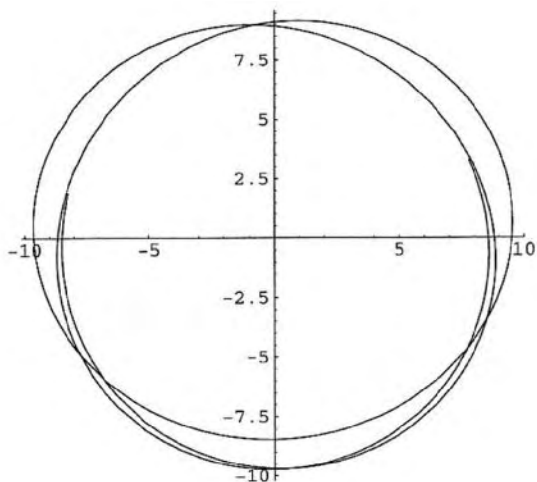


Рис. 1. Одна из моделей движения Солнечной системы в плоскости Галактики за время от 601 млн лет тому назад до 15 млн лет в будущем [50]

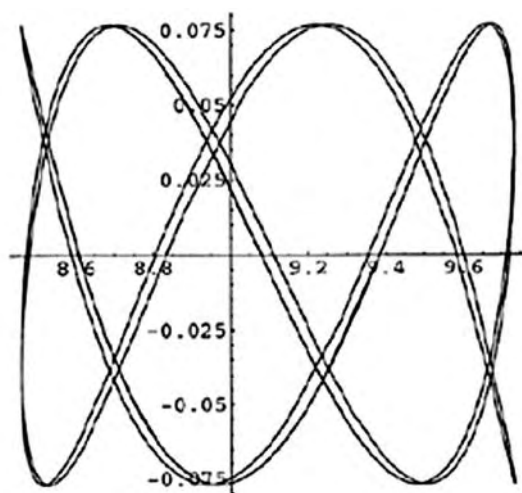


Рис. 2. "Ящичная" орбита Солнца в Галактике [50]. По оси абсцисс показано расстояние до центра Галактики (кпк), по оси ординат – высота над плоскостью Галактики (кпк)

Точность определения параметров орбиты Солнечной системы невелика. Более того, периодичность этих движений не постоянна и изменяется во времени в зависимости от плотности распределения вещества в галактической плоскости.

Движения относительно спиральной структуры Галактики. Поскольку условия в рукавах и между ними существенно различны, важен вопрос движения Солнечной системы относительно спиральной структуры.

В настоящее время предпочтение находят четырехрукавная структура в виде двух больших спиральных рукавов и еще двух промежуточных меньшей величины [36].

Согласно существующим теориям, спиральные ветви (рукава) Галактики представляют собой волны плотности, бегущие по звездному населению галактического диска с постоянной угловой скоростью, "твердотельно". В то же время угловая скорость обращения звезд вокруг центра Галактики уменьшается с удалением от центра. Разность между этими двумя скоростями определяет, как часто звезда проходит через спиральные рукава. На некотором расстоянии от центра Галактики скорости равны, т. е. звезды практически не движутся относительно спиральных рукавов. На иных же расстояниях звезды пересекают галактические рукава регулярно.

Измерения разности между угловой скоростью спиральной структуры и угловой скоростью движения Солнца не отличаются большой точностью и не дают окончательного ответа на то, как часто проходит Солнечная система через спиральные рукава Галактики и проходила ли она их за время своего существования вообще и даже в какую сторону относительно спиральной структуры происходит ее движение.

Поэтому в поисках следов прохождений неоднородностей распределения вещества в Галактике мы не можем опираться лишь на какую-либо конкретную модель ее спиральной структуры. Нужны индикаторы присутствия избыточных масс в окрестностях Солнечной системы. В качестве таких индикаторов были преимущественно использованы имеющиеся признаки возмущений кометного облака Оорта в геологическом прошлом Земли и планет (кометные бомбардировки планетных поверхностей – известно, что кометные ливни могут быть обусловлены возмущениями кометного облака на окраинах Солнечной системы со стороны проходящих близко звезд и газопылевых облаков); данные по истории звездообразования в окрестностях Солнечной системы и истории нуклеосинтеза в досолнечном веществе метеоритов (звезды, радиоактивные изотопы образуются преимущественно в спиральных рукавах).

Геологические ритмы и их связь с космическим окружением Солнечной системы. Ритмы, связанные с распределением вещества в Галактике. На рис. 3, а показаны эпохи наиболее интенсивного проявления складчатости, магматизма и метаморфизма, происходившие в истории Земли. Известно, что эти процессы приурочены преимущественно к активным окраинам литосферных плит и вызваны их дрейфом.

Движения плит также цикличны. Циклы собирания и распада континентов и, соответственно, раскрытия и закрытия разделяющих их океанов получили наименование циклов Вилсона по имени канадского геолога, который их обнаружил в 60-е годы, изучая историю Атлантики. К настоя-

щему времени существует несколько более или менее достоверных реконструкций формирования суперконтинентов в ходе земной истории. Некоторые из них показаны на рис. 3, б.

Все эти явления имеют единую природу и отражают крупные перестройки в движении масс вещества во внутренних слоях Земли – мантийную конвекцию, и могут рассматриваться как палеогеодинамические индикаторы изменения скорости конвекции в мантии. Таким образом, в мантии Земли действует глобальный ритм в интенсивности протекания конвекции с периодом 370–500 млн лет (рис. 3, б). Каковы истоки этого мегаритма? Считается, что конвекция в мантии имеет главным образом тепловую природу. Исходя из этого, мы вынуждены предположить, что *либо 1) в недрах Земли идет некий процесс, приводящий к периодическим всплескам тепловыделения, либо 2) периодически изменяется теплопроводность земных недр.*

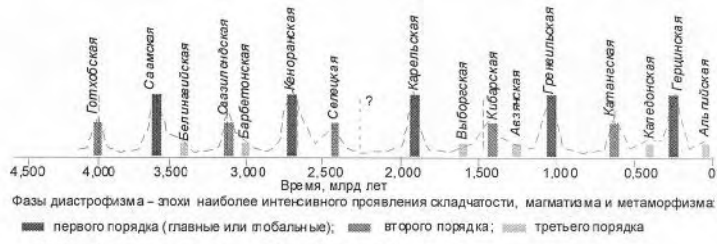
Последняя точка зрения на природу цикла Вилсона и родственных ему циклов изложена, к примеру, в работе [11] и пользуется определенной популярностью – собравшаяся над нисходящим мантийным потоком в единое целое материковая кора, обладая слабой теплопроводностью, препятствует выходу тепла из земных недр и вызывает разогрев мантийного вещества под суперконтинентом, в результате чего под ним формируется восходящий мантийный конвективный поток, что сопровождается разнообразными проявлениями эндогенной активности, распадом и растаскиванием континентальных плит. То есть предполагается, что внутриземное тепло генерируется равномерно, но материковая кора играет роль заслонки, регулируя выход тепла из земных недр и порождая таким образом цикличность в геологических процессах.

Парадокс, однако, состоит в том, что данный мегаритм связан с окружающей Солнечную систему галактической средой и синхронен происходящим там процессам.

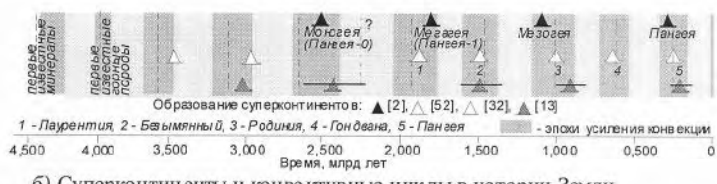
Рассмотрим свидетельства вероятных корреляционных связей между периодической активизацией геологических процессов на Земле и прохождением крупных скоплений вещества в Галактике.

На протяжении геологической истории Земля, равно как и другие планеты, подвергалась неоднократным бомбардировкам комет и астероидов. Считается, что около 20–70% ударных кратеров на Земле имеют кометное происхождение.

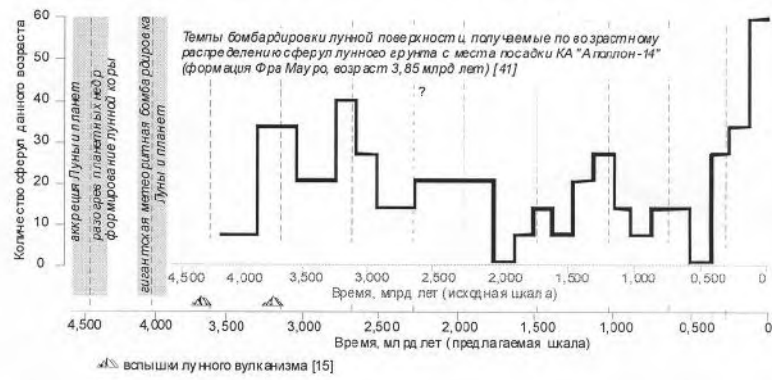
Источником комет является облако Оорта – гигантский кометный резервуар (порядка 10^{11} кометных тел) на периферии Солнечной системы, простирающийся на расстояние до 1 пк от Солнца. Из-за большой удаленности орбиты комет очень чувствительны к действию возмуще-



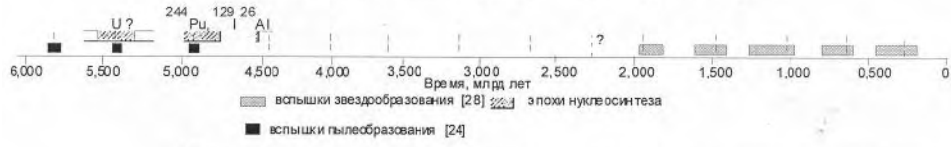
а) Тектоническая активность Земли [1]



б) Суперконтиненты и конвективные циклы в истории Земли



в) Основные этапы формирования поверхности Луны



г) Вспышки звездо-, пылеобразования и нуклеосинтеза в веществе окрестностей Солнечной системы

Рис. 3. Космическая мегаритмичность процессов на Земле и в Солнечной системе и ее возможная связь со структурой Галактики. Вертикальные пунктирные линии – усредненные рубежи ритмичности, редкий пунктир – предполагаемый рубеж

ний со стороны звезд и иных массивных объектов, в результате чего кометы, собственно, и появляются во внутренних областях Солнечной системы. Слабо гравитационно связанную и по этой причине чувствительную систему "Солнце – облако Оорта плюс планетные поверхности в качестве детектора" можно рассматривать в качестве чувствительного прибора, регистрирующего кратерообразование и подобными процессами плотность распределения вещества в окружающем галактическом пространстве.

На рис. 3, в показаны колебания интенсивности бомбардировок Луны [41]. Они должны быть идентичны земным, но лунные данные имеют значительно лучшую сохранность. Отображе-

но распределение возрастов лунных стеклянных сферул диаметром от 100 до 500 мкм в образце лунного грунта с места посадки КА "Аполлон-14", образовавшихся при разбрызгивании расплава в ходе импактных событий. Около 94% исследованных сферул происходят из отдельного кратера. Таким образом, фактически каждая сферула датирует свой кратер, отображая тем самым историю кратерообразования на Луне. Измеренные значения возрастов некоторых сферул оказались старше возраста отложений, равно 3,85 млрд лет. В то же время состав сферул идентичен составу местных пород, т. е. они образовались на месте, а не привнесены извне. В числе возможных называемых объяснений – система-

тические ошибки определения возраста сферул. Необходимо внесение поправок на потери ^{40}Ar в ходе явлений отдачи при распаде ядер ^{40}K , на образование аргона за счет реакций скалывания под действием космических лучей и т. п. То есть следует предусмотреть возможность небольшого систематического смещения истинных возрастов относительно измеренного значения в ту или иную сторону, на что указывают авторы исследования [40]. На рис. 3, в показана как раз такая исправленная шкала. Там же показаны эпохи лунного вулканизма [15].

Определенную информацию о прохождении Солнечной системы через фрагменты спиральной структуры можно получить из анализа истории звездообразования в окрестностях Солнечной системы, так как известно, что звездообразование происходит преимущественно в спиральных рукавах. При таких прохождении окрестности Солнечной системы каждый раз пополняются очередными порциями новообразованных звезд. Поэтому можно ожидать, что возрасты вспышек звездообразования маркируют эпохи прохождений Солнечной системы через фрагменты спиральной структуры. Установленные эпизоды звездообразования отображены на рис. 3, г (по данным работы [28]).

Сравнение возрастов вспышек звездообразования с возрастными "метеоритных" бомбардировок лунной поверхности показывает их хорошую согласованность друг с другом. Прямое соответствие этим космическим ритмам наблюдается и в ритмах геосфер.

Есть основания считать, что описываемый здесь мегаритм земных процессов не только распространяется на ближние окрестности Солнечной системы, но и на время, предшествовавшее формированию Солнечной системы.

Многочисленные исследования изотопного состава метеоритов показали, что их вещество является изотопно гетерогенным, отдельные их компоненты имеют совершенно разный ядерный генезис и среди них встречаются минеральные частицы с заведомо досолнечной историей. Считается, что вещество досолнечной туманности подвергалось загрязнению межзвездной пылью, которая была захвачена при его движении через Галактику. Разумеется, что количественно привносимой и конденсирующейся в среде пыли зависело от плотности межзвездной среды, которая различна в спиральных рукавах и межрукавье. Возрасты пылинок в метеоритном веществе группируются вокруг значений 4,9; 5,4; 5,8 млрд лет назад (рис. 3, г, на основе данных работы [24]).

Поскольку нуклеосинтез приурочен к очагам звездообразования в спиральных рукавах Галактики, можно попытаться оценить время прохождения вещества будущей Солнечной системы

через спиральные ветви Галактики по датировкам вспышек нуклеосинтеза, которые неизбежно должны были сопровождаться загрязнением досолнечного вещества радиоактивными продуктами синтеза. По крайней мере возрастные распределения вымерших короткоживущих изотопов в веществе метеоритов принято объяснять загрязнением веществом близких сверхновых в ходе прохождений досолнечного вещества через спиральные рукава Галактики [45]. Возрасты долгоживущих радиоактивных изотопов, всплески синтеза короткоживущих радионуклидов ^{129}I и ^{244}Pu , ^{26}Al , известные по следам их бывшего присутствия в веществе метеоритов, показаны на рис. 3, г. Они соответствуют эпохам ускоренного производства межзвездной пыли.

Используя данные по нуклеосинтезу и возрастные распределения досолнечной пыли в качестве маркера спиральной структуры, приходим к выводу: эпизоды нуклеосинтеза и пылеобразования ~4,56; 4,9; 5,4 и 5,8 млрд лет назад скорее всего соответствуют прохождению вещества будущей Солнечной системы через фрагменты спиральной структуры. Эти рубежи по своей ритмике вполне согласуются с ритмичностью, связываемой нами с пересечениями спиральных рукавов уже образовавшейся Солнечной системы. Таким образом, *очень вероятно, что исследуемый мегаритм прослеживается в изотопном составе вещества Солнечной системы еще даже до ее образования.*

По-видимому, мы имеем дело с единой ритмичностью, которая свойственна не только Земле, Солнечной системе, но и всем небесным телам окрестностей Солнечной системы. Наша планета отнюдь не является замкнутой системой, но также подчиняется в своем развитии единым для всех космическим ритмам, и эта ритмичность связана с движением относительно спиральной структуры.

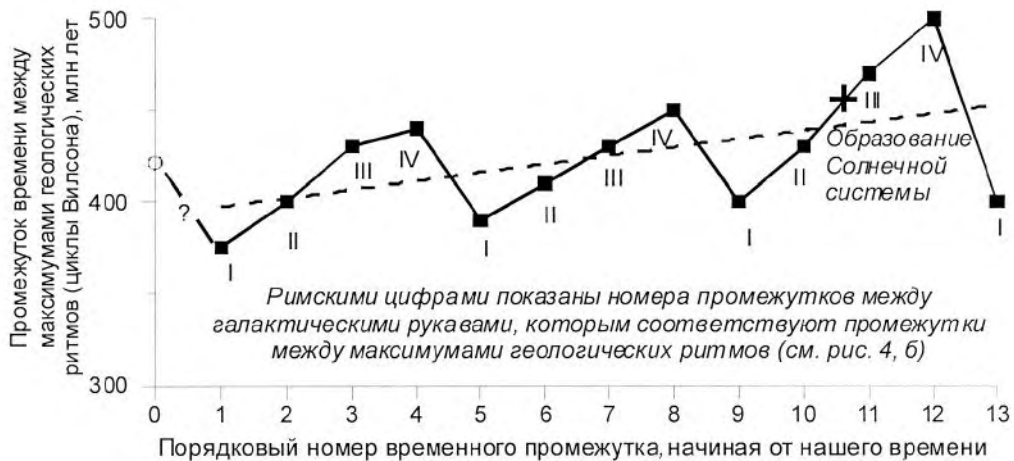
Повышенная плотность распределения вещества оказывает влияние на планетные недра, вызывая их разогрев. Земные ритмы конвекции вызваны именно этим, а не влиянием на тепловой поток континентов-заслонок.

Дополнительное подтверждение связи рассматриваемого ритма со спиральной структурой Галактики может быть найдено в некоторых ритмичностях, наблюдаемых внутри самого этого мегаритма. На рис. 3 можно видеть, что всплески активизации самых различных процессов согласуются не только по времени, но и по амплитуде. Обратим внимание: всплески, датированные ~2000 и ~1000 млн лет до нашего времени, на графиках как внутриземных, так и астрономических явлений крупнее датированных возрастными ~1500 и ~650 млн лет. Такую периодичность в именно геологических процессах сложно объяснить какими-

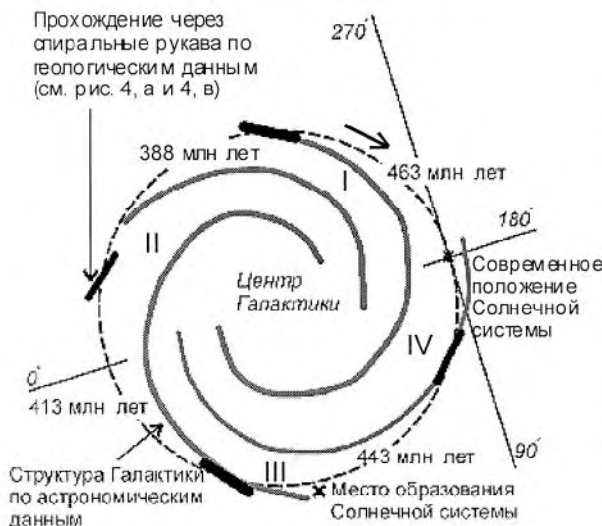
либо исключительно внутриземными явлениями. В то же время известно, что каждый второй рукав в Галактике крупнее промежуточных [36]. Если ритмичность прохождения спиральной структуры отображается каким-либо образом в геологических явлениях, то и соответствующая особенность будет перенесена.

Далее, заметны определенные периодические колебания в самом периоде. Особенно отчетливо это видно на рис. 4, построенном на основе данных рис. 3. Короткие и длинные интервалы между всплесками активности геологи-

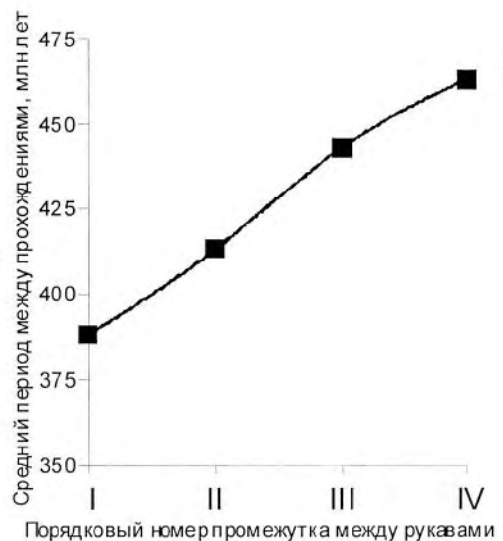
ческих процессов повторяются в определенной последовательности, кратной 4. Практически невозможно найти внутриземной процесс, который бы мог промодулировать работу выполняющих роль тепловых заслонок континентов столь специфическим образом. В то же время можно найти объяснение, предположив связь цикличности мантийной конвекции с пересечениями спиральных рукавов. В таком случае спиральная структура, какой бы она ни была, оставит свой отпечаток в земных ритмах. Последние астрономические наблюдения все более уверенно свидетельству-



а) Колебания периодичности циклов Вилсона

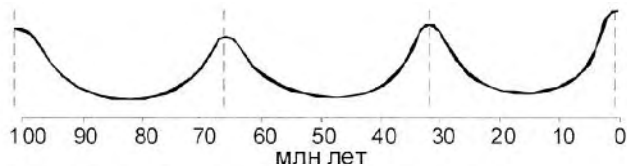


б) Вероятное расположение спиральных ветвей Галактики вдоль траектории движения вещества Солнечной системы

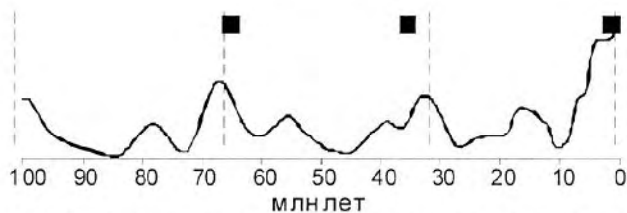


в) Среднее время между прохождениями спиральной структуры по геологическим данным

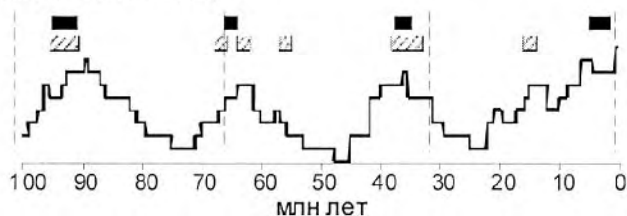
Рис. 4. Соответствие ритмов, запечатленных в геологической летописи, галактической структуре. Временные интервалы между максимумами циклов Вилсона на рис. 3 сопоставлены временным интервалам между прохождениями соседних рукавов Галактики



а) Предсказываемый кометный поток из облака Оорта в окрестностях Земли, вызванный вариациями галактических приливов и близкими прохождением звезд [39]. Максимумам соответствуют прохождения через плоскость Галактики



б) Наблюдаемая интенсивность кратерообразования. Линия — по известным возрастам кратеров [44]. Черные квадраты — пики кратерообразования [46] (с учетом возрастов кратеров, иридиевых аномалий, встречаемости ударно-метаморфизованного кварца, импактных стекол)



в) Эпизоды геологической активности. Линия — суммарное число геологических событий (вулканизм, горообразование, колебания уровня океана, отложение эвапоритов, вымирания и т.п.) [44]. Штриховкой показаны трапповые излияния [44], черным — аномальные значения концентраций CO_2 (по началу всплеска концентрации) [47]

Рис. 5. 30-миллионнолетний ритм прохождений Солнечной системы через плоскость Галактики в истории Земли

ют как раз в пользу четырехрукавности нашей Галактики [26, 49]. Наблюдается определенная асимметричность в распределении вещества в Галактике. С одной стороны ее спиральные ветви расположены ближе друг к другу, чем с другой. Именно такие закономерности и видим в циклах мантийной конвекции. Галактическая структура в них вполне узнаваема.

Солнечная система совершает также колебательные движения относительно галактической плоскости. Если земные недра откликаются повышенным тепловыделением на присутствие скоплений вещества в спиральных рукавах Га-

лактики, то аналогичный отклик следует ожидать и при прохождении через плоскость Галактики, поскольку здесь также наблюдается повышенная концентрация вещества.

Цикличность с периодом около 30–33 млн лет действительно присутствует на протяжении как минимум последних нескольких сотен миллионов лет в различных проявлениях эндогенной активности Земли. Эту цикличность впервые выделил немецкий геолог Штилле, создавший так называемый канон орогенических фаз (эпох складчатости), обнаружив, что процессы горообразования происходили с определенной регулярностью во времени. Позже та же цикличность была обнаружена в скоростях движения литосферных плит, в процессах спрединга и субдукции, флуктуациях уровня океана, проявлениях вулканизма и метаморфизма, составе атмосферы, геомагнитных явлениях. Некоторые проявления данной цикличности отображены на рис. 5. Как видим, пересечения Солнечной системой галактической плоскости вызывают всплески эндогенной активности. Эти явления совершенно аналогичны явлениям, сопровождающим пересечение Солнечной системой спиральных рукавов Галактики, и, по-видимому, являются откликом на пребывание Земли в плотных скоплениях вещества в Галактике.

Если можно достаточно уверенно заключить, что энергопроизводящий фактор, чем бы он ни был, в целом пространственно повторяет распределение вещества в Галактике в макромасштабах на уровне сотен и тысяч парсек, то что можно сказать относительно того, сохраняется ли эта закономерность на более малых масштабах расстояний? Рассмотрим состояние земных оболочек на по возможности более узких временных интервалах, также характеризующихся всплеском частоты импактных событий. Как и раньше, будем предполагать, что всплески кратерообразования отражают повышенную плотность галактической среды.

Интерес к этим кратковременным эпизодам бомбардировок в последнее время возрос по причине их возможной связи с массовыми вымираниями организмов.

Вымирания происходили в течение достаточно коротких промежутков времени, около 1–3 млн лет. На рубежах, соответствующих массовым вымираниям, присутствуют следы гигантских импактных событий [16]: астроблемы, гло-

бально распространенные иридиевые аномалии, ударно-метаморфизованные зерна кварца и других минералов, скопления сферул, следы сажи и т. п. Причем эти следы, как правило, соответствуют не одному импакту, а целой серии близких по времени событий, произошедших в том же временном интервале [30].

Но оказалось также, что вымирания совпадают по времени и с крупномасштабными вулканическими извержениями [25, 51].

Возникла дискуссия: что же вызвало вымирания – импакты или вулканизм? Так или иначе, но оказалось, что к эпохам кратковременных метеоритных бомбардировок (т. е. вероятного пребывания в локальных скоплениях вещества в Галактике) приурочены и эпизоды массовых вымираний, и крупномасштабные всплески вулканизма. Можно сделать вывод, что интересующий нас галактический фактор, вызывающий выделение дополнительной энергии в земных недрах, концентрируется также и в этих локальных скоплениях вещества.

Исходя из вероятных скоростей движения Солнечной системы относительно спиральной структуры, можно оценить размеры этих скоплений вещества. Они примерно равны размерам гигантских молекулярных комплексов и звездных скоплений – 30–90 пк.

Ритмы, связанные с параметрами галактической орбиты Солнечной системы. Распределение зон избыточного тепловыделения вдоль орбиты Земли в Галактике. Среди прочих ритмов активности различных геологических процессов выделяются ритмы с периодами, примерно равными 100 и 200 млн лет. Этим ритмам посвящена достаточно обширная литература [3, 4, 9, 10, 12 и др.]. Последний из ритмов давно известен в проявлениях тектоно-магматической активности Земли и получил название цикла Бертрана по имени выделившего его в конце XIX в. французского геолога.

Проявления данной цикличности отмечены на протяжении всей истории Земли в самых разнообразных явлениях и в большинстве земных оболочек (процессы в атмосфере, биосфере, коре, мантии и внешнем ядре Земли) и во всех регионах нашей планеты.

Синхронность колебаний и кратность 100- и 200-миллионнолетних периодов друг другу предполагают возможную общность их происхождения. Замечено также, что фаза и амплитуда ритмов зависят от широты местности.

200-миллионнолетний период близок к продолжительности галактического года, и эту близость с 50-х годов XX в. некоторые исследователи объясняют галактической природой данного ритма. В то же время он достоверно не связан с галактической структурой, поскольку

отсутствуют проявления той же ритмичности в таких индикаторных процессах, как кометные бомбардировки и интенсивность звездообразования в ближних окрестностях Солнечной системы.

Типичные примеры 100/200-миллионлетней цикличности показаны на рис. 6. Рис. 6, а отображает 100/200-миллионлетние ритмы активности процессов в земной коре и мантии (эпохи ускоренного дрейфа континентов и магматической активности). На рис. 6, б приведены аналогичные колебания активности во внешнем ядре (показана частота инверсий геомагнитного поля, определяемая по соотношению числа индивидуальных палеомагнитных определений, включающих обе полярности, к их общему числу). Все эти циклические процессы сводятся к изменениям темпов конвекции в ядре и мантии Земли.

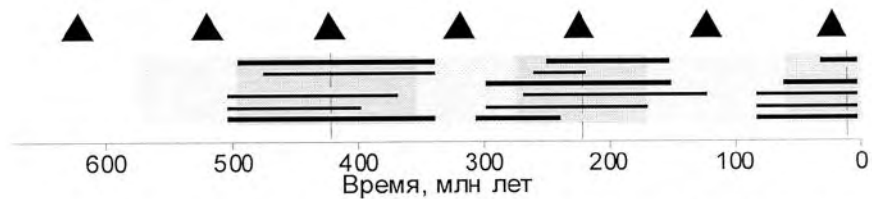
В мантии, в отличие от ядра (рис. 6), более отчетливо проявлен 200-миллионнолетний ритм, то есть каждый второй пик 100-миллионнолетнего ритма. Но и в ядре цикличность, близкая галактическому году, в поведении геомагнитного поля также присутствует [42].

100-миллионнолетний ритм не является вполне строгим. На рис. 7 показана вероятная эволюция его периодичности. Видно, что сам цикл испытывал значительные, возможно периодические, колебания во времени, причем наблюдается общая тенденция к уменьшению периода. (При построении графиков применялся следующий подход: при временных промежутках между соседними датировками 50 млн лет и менее (один случай) пик считался ложным, при временных промежутках более 150 млн лет предполагался промежуточный пик и временной промежуток делился на две равные части).

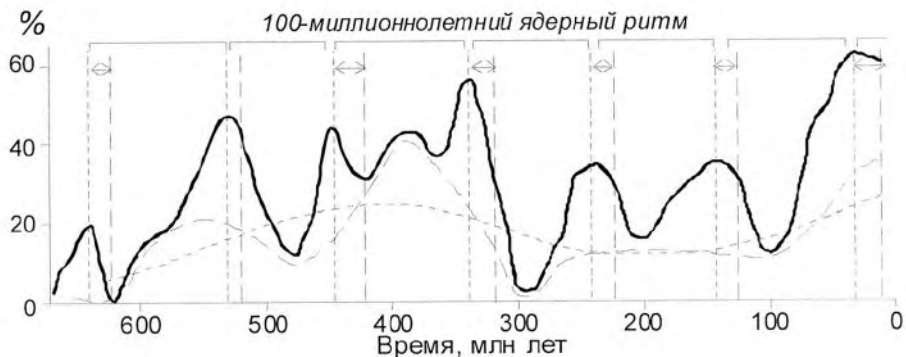
Сравнивая рис. 6, а и 6, б, можно заметить некоторое отставание мантийно-коровых ритмов от ритмов в ядре. Подробно природа его рассмотрена в работах [9, 10].

Согласно этим данным, в большинстве случаев разности между экстремумами мантийно-коровых и внутриядерных ритмов образуют два уровня: либо близки к нулю (0–20 млн лет), либо мантийно-коровые ритмы отстают (в интервале между 30 и 60 млн лет). Наблюдается определенная система распределения разностей во времени: чередование интервалов преобладания минимальных разностей и интервалов, где явно преобладают более значительные отставания. Характерное время такого чередования составляет 350–400 млн лет (что соответствует периодичности циклов Вилсона).

Такие закономерности объясняют следующим образом [9, 10]. В земных недрах действует два механизма: один, внешний, работает синх-



а) 100/200-миллионлетние ритмы активности процессов в коре и мантии. Вверху (треугольники) – пики суммарной максимальной эндогенной активизации для верхней мантии и коры [3]. Внизу – эпохи ускоренного дрейфа литосферных плит [5]. Горизонтальными линиями показаны эпохи ускоренного дрейфа для ряда континентальных платформ: Восточно-Европейской, Сибирской, Северо-Американской, Африканской, Индостанской, Австралийской (перечислены сверху вниз). Вертикальные линии – среднее значение возрастов эпох ускоренного движения континентов



ядерные ритмы; мантийно-коровый 100-миллионлетний ритм по рис. 6, а, стрелками показан лаг;

— вероятная составляющая от пребывания в сгущениях галактического вещества;
 - - - ее сглаженный вариант

б) Скорость относительных изменений (%) геомагнитной полярности, построенная по Базе палеомагнитных данных [9]

Рис. 6. Проявления 100/200-миллионлетнего ритма конвекции в ядре и мантии Земли

ронно на поверхности и в низах мантии; второй, внутренний, работает в самых глубоких ее слоях.

Отставание второго соответствует скорости передачи энергии от ядра к поверхности Земли ~5–10 см/год, т. е. второй механизм с большой вероятностью представляет собой производство и вынос тепла в самых глубоких недрах с помощью мантийной конвекции.

Синхронное же поведение процессов у земной поверхности и вблизи границы раздела между ядром и мантией предполагает отсутствие непосредственной причинно-следственной связи между процессами у ядра и у поверхности Земли. Но и те, и другие, поскольку они коррелируют, должны иметь какую-нибудь общую внешнюю по отношению к Земле причину. В качестве таких внешних причин названы "приливная эволюция

системы Земля–Луна, эволюция Земли в составе Солнечной системы и в общей эволюции Галактики" [10]. К примеру, приливная эволюция могла бы приводить к изменениям угла оси вращения Земли и ее скорости вращения, а также приводить к деформациям земного шара.

Наше же мнение таково, что, уже исходя из энергетических соображений, приливные явления между Землей и Луной и телами Солнечной системы вообще не могут быть эффективным механизмом внешних воздействий. Известно, что диссипация приливной энергии обеспечивает не более 1% в общем балансе внутренней энергии земных недр [1]. Поэтому внешнюю причину 100/200-миллионлетнего ритма все же следует искать в галактических движениях Солнечной системы.

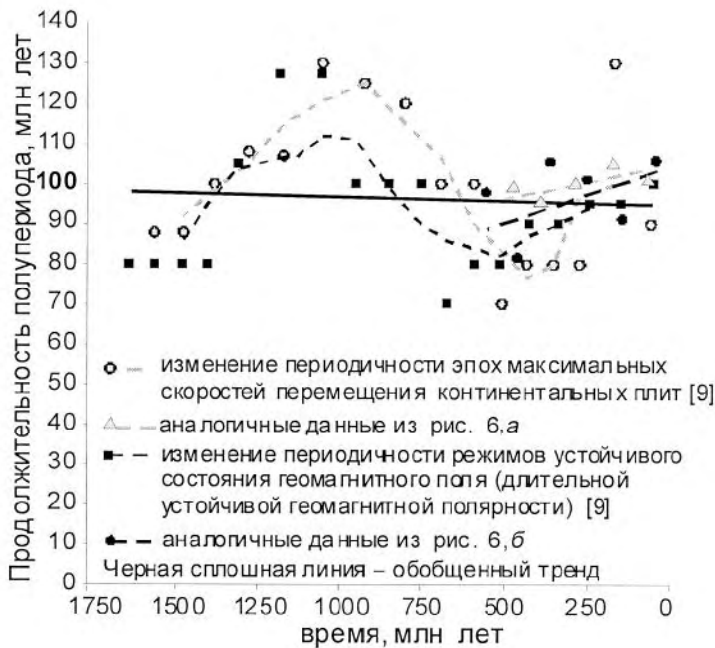


Рис. 7. Изменение продолжительности "100-миллионного" ритма (сидерического полупериода) по всплескам внутренней активности ядра и мантии Земли

Для выяснения сути происходящего процесса важно знать, где именно на галактической орбите Солнечной системы находятся области максимального тепловыделения. На рис. 8 показано орбитальное распределение 100-миллионлетних всплесков активности земного ядра в течение последних трех галактических лет (как наиболее быстро реагирующей на космические воздействия оболочки Земли). Разогрев земных недр, наблюдаемый в данном случае по повышенной частоте инверсий геомагнитного поля (ядерный ритм), близок к тем участкам орбиты, на которых вектор галактического движения Земли лежит в плоскости эклиптики (направление движения Земли в Галактике изменяется с периодом, равным одному галактическому году, взаимная ориентация плоскости эклиптики и галактической плоскости остается неизменной).

Из рис. 8 видно, что в настоящую эпоху плоскость эклиптики пересекает плоскость Галактики по линии, проходящей в $6,4^\circ$ от направления на центр Галактики. Максимумы выделения космической энергии в земных недрах соответствуют эпохам, когда вектор движения Солнечной системы в Галактике становится коллинеарен этой линии, т. е. лежит в плоскости эклиптики. Очевидно, что эпох разогрева должно быть две в течение одного оборота Земли в Галактике, что и наблюдаем.

Выделяющееся тепло не может тотчас же покинуть земное ядро и некоторое время накапли-

вается в нем. Промежуток времени между максимальным выделением энергии и максимальными температурами ядра составляет примерно 15 млн лет, что, вероятно, определяется скоростью отвода теплоты мантийной конвекцией. Еще через 30–60 млн лет становится максимальной температура в мантии.

Обращает на себя внимание, что отсутствуют минимумы или максимумы активности, которые могли бы быть вызваны присутствием Земли в апо- или перигалактиях орбиты Солнечной системы. Можно было бы ожидать зависимости распределения в пространстве энерговыделяющего фактора от галактоцентрического расстояния Солнечной системы. Например, в перигалактии энерговыделение могло бы быть большим, но ничего такого не наблюдается.

Несмотря на то, что колебания скорости движения Земли в Галактике при ее эциклических перемещениях между апо- и перигалактиями не формируют самостоятельный ритм энерговыделения, они определяют особенности протекания 100-миллионного ритма. Как можно видеть на рис. 6, 100-миллионный ритм отличается тем свойством, что каждый второй максимум в нем больше соседних, т. е. наряду со 100-миллионным ритмом присутствует также и 200-миллионный ритм. Почему же из двух максимумов тепловыделения, отмечаемых в течение галактического года, один больше другого? "Традиционная" геология не дает на этот вопрос никакого ответа. Поскольку Земля движется с большей скоростью в перигалактии своей галактической орбиты и с меньшей – в апогалактии (согласно законам Кеплера), равные по протяженности отрезки своего пути она проходит за разное время. Если зона максимального нагрева, т. е. место орбиты, где направление движения Земли лежит в плоскости эклиптики, находится вблизи апогалактия, то и нагрев земных недр будет более длительным, в перигалактии же – наоборот. Таким образом, та из двух зон максимального нагрева, которая находится ближе к апогалактию, будет давать больший всплеск активности земных недр. По этой причине, помимо периода около 100 млн лет (1/2 галактического года), возникает вдвое более длительный 200-миллионный период, равный галактическому году.

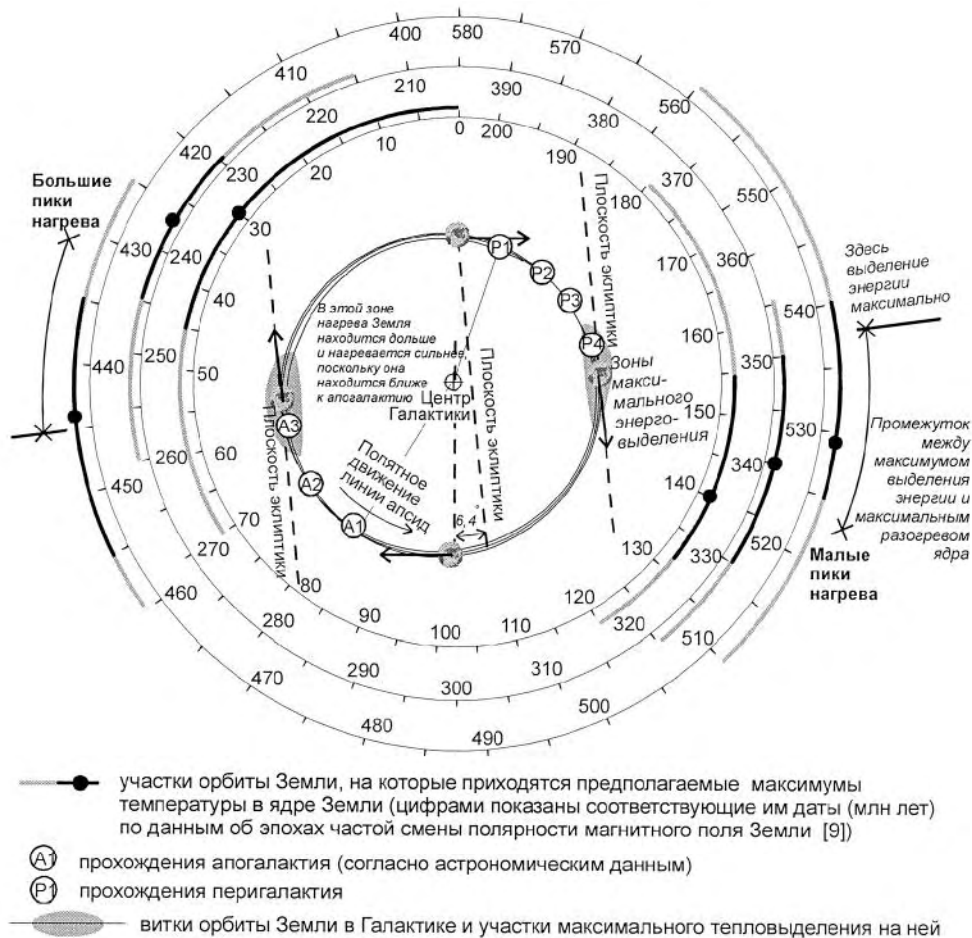


Рис. 8. Связь между выделением энергии в недрах Земли и направлением ее движения в галактическом пространстве

Из астрономических данных известно, что аномалистический период движения Солнечной системы несколько меньше сидерического периода. *Линия апсид, соединяющая апогалактий с перигалактием, совершает попятное движение в сторону, противоположную движению Солнечной системы в Галактике.* В результате Солнечная система достигает очередной точки перигалактия, еще не успев завершить полный оборот вокруг центра Галактики.

Поскольку линия апсид смещается и происходит попятное ее движение с запаздыванием примерно на 10 млн лет относительно галактического года (используя данные работы [14]), нетрудно вычислить, что полный оборот линия апсид совершит за время около 4 млрд лет. Данное значение верно, только если и аномалистический, и сидерический периоды обращения оставались неизменными во времени, чего на самом деле, по-видимому, не было (рис. 7), поскольку оба этих периода определяются распределением масс в Галактике, а оно эволюциони-

ровало, да и сама Солнечная система изменяла свое положение в Галактике и находилась в областях с существенно отличающимся распределением вещества. Таким образом, период, с которым происходит обращение линии апсид, может иметь и какое-нибудь другое значение, и это значение могло бы изменяться с течением времени. Тем не менее в любом случае этот период исчисляется миллиардами лет. *Половину этого периода преимущественный нагрев земных недр происходит в одной из точек нагрева на орбите Солнечной системы (она в это время ближе к апогалактию), половину – в противоположной (поскольку теперь эта другая точка ближе к апогалактию вследствие поворота линии апсид).* В промежутках нагрев будет равновеликим в обеих зонах. Таким образом, влияние аномалистического периода обращения на нагрев сказывается опосредованно, через продолжительность нахождения Земли в зонах нагрева, и обеспечивает сверхдлинную, измеряемую миллиардами лет, периодичность в относительных

величинах 100/200-миллионнолетних максимумов активности.

Амплитуда долговременных вариаций теплового потока Земли. Поскольку ритмичность в проявлениях внутренней активности Земли связана с изменениями в темпах мантийной конвекции, она имеет тепловую природу и должна была сопровождаться соответствующими колебаниями суммарного теплового потока на выходе из Земли. Амплитуду этих колебаний удается оценить. Она составляет около 10 ТВт на временном масштабе в несколько сотен миллионов лет [31]. Поскольку основные ритмы геологической активности обусловлены космическими причинами, вполне очевидно, что таковы же и колебания мощности космического источника энергии земных недр. Также можно заключить, что в суммарном балансе тепловых источников, который в настоящую эпоху близок к максимальному и равен примерно 38,5 ТВт, не менее четвертой его части приходится на долю именно этого внешней природы источника энергии. Если принять оценку мощности радиогенного источника энергии в 23,5 ТВт, то в общем балансе тепловых источников остается еще примерно 5 ТВт, за которые может отвечать все та же космической природы энергия, но также, может быть, и другие чисто внутриземные источники энергии.

Выводы. Воздействие глубокого космоса на литосферу, мантию, ядро Земли осуществляется преимущественно посредством действующего в недрах и подчиняющегося космическим ритмам источника энергии неизвестной природы, что позволяет говорить о присутствии в галактическом пространстве некоего тепловыделяющего фактора, воздействие которого и приводит к выделению энергии.

Следы работы этой "космической печки" проявляются в космических ритмах эндогенной активности Земли. Эти ритмы связаны с изменением режима конвекции ядра и мантии и вызваны выделением энергии в недрах. Все крупнейшие геологические ритмы – циклы Вилсона, Бертрана (а также кратный ему 100-миллионнолетний цикл), Штилле – имеют космическую природу.

Всплески энерговыделения происходят в двух противоположных областях земной орбиты в Галактике, где вектор скорости Солнечной системы в Галактике лежит в плоскости эклиптики. Причем больше энергии выделяется в той из двух зон максимального энерговыделения, которая расположена ближе к апогалактию орбиты Земли в Галактике (то есть в которой Земля пребывает более длительное время). По этой причине, помимо периода около 100 млн лет (1/2 галактического года), возникает вдвое более длительный 200-миллионнолетний период, равный галактическому году (цикл Бертрана). Так

как линия апсид (положение апогалактия) смещается с течением времени, в определенные эпохи нагрев земных недр происходит преимущественно в одной из зон максимального нагрева, в другие эпохи – в противоположной.

Помимо этого, выделение избыточной энергии модулируется плотностью распределения вещества в окружающем Солнечную систему галактическом пространстве (циклы Вилсона и Штилле). При пересечениях спиральных рукавов, плоскости Галактики, отдельных крупных скоплений вещества происходят всплески энерговыделения.

Автор искренне признателен акад. НАН Украины В.М. Шестопалову, проф. В. В. Орлову (СПб, ГУ, РФ), канд. геол.-минерал. наук С.П. Ольштынскому (ИГН НАН Украины), проф. Ю. А. Балашову (ГИ КНЦ РАН), чл.-кор. НАН Украины В. Н. Семенову, принявшим участие в обсуждении и подготовке к печати этой статьи.

1. *Аглонов С. В.* Геодинамика: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 360 с.
2. *Аглонов С. В.* Геофизический анализ эволюции литосферы: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1998. – 281 с.
3. *Балашов Ю. А.* Концепция времени в геологической истории Земли // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. – Апатиты, 2002. – Т. 3. – С. 51–75.
4. *Диденко А. Н.* Палеозойские стомиллионнолетние вариации процессов в ядре и литосфере // Физика Земли. – 1998. – № 5. – С. 3–17.
5. *Довбнич М. М.* Обумовленість геологічних процесів варіаціями ротаційного режиму Землі (на прикладі в'язко-пружної моделі Землі): Автореф. дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22. – Дніпропетровськ, 2001. – 17 с.
6. *Карриган Р. А. (мл.), Трауэр У. П.* Сверхтяжелые магнитные монополи // Успехи физических наук. – 1983. – Т. 139, вып. 2. – С. 333–346.
7. *Кольская* сверхглубокая. – М.: Недра, 1987. – 216 с.
8. *Кондратьев К. Я., Москаленко Н. И.* Тепловое излучение планет. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 236 с.
9. *Печерский Д. М.* Геомагнитное поле, движение плит и изменения органического мира в неогее // Электронный журнал "Вестник ОГГГН РАН". – 1998. – № 3; www.scgis.ru/russian/cp1251/dgggms/3-98/pechersky.htm.
10. *Печерский Д. М.* Палеомагнетизм неогее – отражение процессов у ядра и на поверхности Земли // Рос. журн. наук о Земле. – 1999. – Т. 1, № 2. – С. 105–140.
11. *Трубицын В. П.* Основы тектоники плавающих континентов // Физика Земли. – 2000. – № 9. – С. 4–40.
12. *Тяпкин К. Ф., Довбнич М. М.* О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруговязкой Земли // Геофиз. журн. – 2002. – Т. 24, № 2. – С. 52–59.

13. Хаин В. Е. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // Циклы как основа мироздания. Гл. 24. – Ставрополь, 2001. – 568 с.; www.ncstu.ru/content/_docs/pdf/cycles/basis/chapter24.pdf.
14. Чуйкова Н. А., Семенов К. В. Зависимость частоты инверсий геополя от положения Солнечной системы в Галактике // Тр. ГАИШ. – 1996. – Т. 45. – С. 136–147.
15. Шевченко В. В. Луна и ее наблюдение. – М.: Наука, 1983. – 193 с.
16. Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // Science. – 1980. – Vol. 208. – P. 1095–1108.
17. Anderson D. L. New Theory of the Earth. – New York: Cambridge University Press, 2007. – 384 p.
18. Anderson D.L. (2009) Energetics of the Earth and the missing heat source mystery // www.mantleplumes.org/Energetics.html.
19. Arafune J., Fukugita M., Yanagita S. Monopole abundance in the Solar System and intrinsic heat in the Jovian planets // Phys. Rev. D. – 2001. – Vol. 32, Issue 10. – P. 2586–2590.
20. Araki T., Enomoto S., Furuno K. et al. Experimental investigation of geologically produced antineutrinos with KamLAND // Nature. – 2005. – Vol. 436. – P. 499–503.
21. Bahcall J., Bahcall S. The sun's motion perpendicular to galactic plane // Ibid. – 1985. – Vol. 316. – P. 706–708.
22. Beardmore G. R., Cull J. P. Crustal Heat Flow: A Guide to Measurement and Modelling. – New York: Cambridge University Press. – 2001. – 324 p.
23. Carrigan R. A., Jr. Grand unification magnetic monopoles inside the earth // Nature. – 1980. – Vol. 288. – P. 348–350.
24. Clayton D., Scowen P., Liffman K. Age structure of refractory interstellar dust and isotopic consequences // Astrophys. J. – 1989. – Vol. 346. – P. 531–538.
25. Courtillot V., Jaeger J. I., Yang Z., Feraud G., Hoffmann C. The influence of continental flood basalts on mass extinctions: where do we stand? The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in Earth history // Spec. Pap. 307. GEO1. Soc. Amer. – Boulder, CO. – 1996. – P. 513–525.
26. Dame T. M., Hartmann D., Thaddeus P. The Milky Way in molecular clouds: A new composite CO survey // Astrophys. J. – 2001. – Vol. 547. – P. 792–813.
27. Davies J. H., Davies D. R. Earth's surface heat flux // Solid Earth Discuss. – 2009. – Vol. 1, № 1. – P. 1–45; www.solid-earth-discuss.net/1/1/2009/sed-1-1-2009-print.pdf.
28. De la Fuente Marcos R., de la Fuente Marcos C. On the recent star formation history of the Milky Way disk // ArXiv: astro-ph/0401360. – 2004; <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0401360>.
29. Drobyshevski E. M. Hypothesis of a daemon kernel of the Earth // Astronomical and astrophysical transactions. – 2004. – Vol. 23, Issue 1. – P. 49–59.
30. Glen W. (ed.) The mass-extinction debates: How science works in a crisis. – Stanford: Stanford University Press, 1994. – 388 p.
31. Grigne C., Ricard Y. Sources of Non-Monotonicity for the Earth's Thermal State and Heat Transfer // American Geophysical Union, Fall Meeting 2008. – 2008. – Abstract №V23C-2146.
32. Hoffman P. F. Did the breakout of Laurentia turn Gondwana inside out? // Science. – 1991. – Vol. 252. – P. 1409–1412.
33. Hofmeister A. M., Criss R. E. Earth's heat flux revised and linked to chemistry // Tectonophysics. – 2003. – Vol. 395. – P. 159–177.
34. Jorgensen Ch. K. Negative exotic particles as low-temperature fusion catalysts and geochemical distribution // Nature. – 1981. – Vol. 292, Issue 5818. – P. 41–43.
35. Korenaga J. Energetics of mantle convection and the fate of fossil heat // Geophys. Res. Lett. – 2003. – Vol. 30, № 8. – P. 1437–1441.
36. Lepine J. R. D., Mishurov Yu. N., Dedikov S. Yu. A new model for the spiral structure of the Galaxy. Superposition of 2+4-armed patterns // arXiv:astro-ph/0001216. – 2000; <http://arxiv.org/pdf/0001216>.
37. Lyubetskaya T., Korenaga J. Chemical composition of Earth's primitive mantle and its variance, 2, implications for global geodynamics // J. Geophys. Res. – 2007. – Vol. 112. – B03212.
38. Mack G. D., Beacom J. F., Bertone G. Towards Closing the Window on Strongly Interacting Dark Matter: Far-Reaching Constraints from Earth's Heat Flow // Phys. Rev. D. – 2007. – Vol. 76. – 043523.
39. Matese J. J., Whitman P. G., Innanen K. A., Valtonen M. J. Periodic modulation of the Oort cloud comet flux by the adiabatically changing galactic tide // Icarus. – 1995. – Vol. 116. – P. 255–268.
40. Muller R. A. Cratering rates from lunar spherules // Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-34168. – 1993; http://www-muller.lbl.gov/papers/CR_Lunar_Spherules_LBL-341.pdf.
41. Muller R. A., Becker T. A., Culler T. S., Renne P. R. Solar System impact rates measured from lunar spherule ages, in Accretion of Extraterrestrial Matter Throughout Earth's History / Ed. B. Peucker-Ehrenbrink and B. Schmitz. – Kluwer Publishers. – 2000; http://www-muller.lbl.gov/papers/Muller_Lunar.pdf.
42. Negi J. G., Tiwari R. K. Matching long-term periodicities of geomagnetic reversals and galactic motions of the Solar system // Geophys. Res. Letters. – 1983. – Vol. 10. – P. 713–716.
43. Pollack H. N., Hurter S. J., Johnson J. R. Heat flow from the Earth's interior: analysis of the global data set // Rev. Geophys. – 1993. – Vol. 31. – P. 267–280.
44. Rampino M. R., Caldeira K. Episodes of terrestrial geologic activity during the past 260 million years – A

- quantitative approach // *Celestial Mechanics and Dinamical Astronomy*. – 1992. – Vol. 54, № 1–3. – P. 143–159.
45. *Reeves H.* Nucleochronology revisited // *Astron. Astrophys.* – 1991. – Vol. 244. – P. 294–297.
46. *Shoemaker E. M.* Impact cratering through geologic time // *J. Roy. Astronomical Soc. Canada*. – 1998. – Vol. 92. – P. 297–309.
47. *Tiwari R. K., Rao K. N. N.* Correlated variations and periodicity of global CO₂, biological mass extinctions and extra-terrestrial bolide impacts over the past 250 million years and possible geodinamical implications // *Geofizika*. – 1998. – Vol. 15. – P. 103–117.
48. *Turner M. S.* Monopole heat // *Nature*. – 1983. – Vol. 302. – P. 804–806.
49. *Vallie J. P.* Metastudy of the spiral structure of our home Galaxy // *Astrophys. J.* – 2002. – Vol. 566, № 1. – P. 261–266.
50. *Wickson S.* A galactic theory of climate. – 2007, [www.BillHowell.ca/Wickson_website/Wickson - Galactic Theory of Climate.pdf](http://www.BillHowell.ca/Wickson_website/Wickson_Galactic_Theory_of_Climate.pdf).
51. *Wignall P. B.* Large igneous provinces and mass extinctions // *Earth Sci. Rew.* – 2001. – Vol. 53. – P. 1–33.
52. *Zegers T. E., de Wit M. J.* Vaalbara Pre-3.0 Ga: did it exist? // *Geophys. Res. Abstrs.* – 2000. – Vol. 2. – P. 353–355.

Науч.-инж. центр
радиогеоэколог. полигон.
исслед. НАН Украины,
Киев
E-mail: geoj@bigmir.net

Статья поступила
24.06.11