



А. Н. Макаренко

КОСМИЧЕСКИЙ ФАКТОР "ИЗБЫТОЧНОГО" ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ

Статья 2. **Пространственно-временные закономерности распределения тепловыделяющих зон в недрах Земли**

(Рекомендовано акад. НАН Украины В. М. Шестопаловым)

Крім радіогенної енергії, в недрах Землі діє "додаткове" джерело енергії, яке має космічне походження, модулюється положенням та напрямком руху Сонячної системи в Галактиці, – "космічна піч". Робота її здійснюється у внутрішньому та зовнішньому ядрі Землі, а також у мантії. Питоме тепловивільнення на одиницю об'єму становить близько 10 Вт/км³ в мантії та 50 Вт/км³ в ядрі Землі. "Надлишкове" вивільнення тепла здійснюється більшою мірою у поясі між 650 пн. ш. та 650 пд. ш. Більш активне тепловивільнення відбувається по чергово то в одній, то в протилежній півкулях з періодом приблизно 200 млн років, що дорівнює періоду обертання довкола центра Галактики. Широтна зона, де відбувається максимальне вивільнення тепла, зміщується вздовж близької до синусоїдальної кривої у часі, йде слідом за зміщенням проекції вектора швидкості галактичного руху Сонячної системи на земну поверхню. З максимальною інтенсивністю виділення тепла відбувається, коли проекція руху Землі в Галактиці припадає на земний екватор (кожні 100 млн років), що знаходить своє вираження в існуванні екваторіального гарячого поясу у недрах Землі, її ядрі та мантії. З огляду на те, що відбувається по чергове нагрівання переважно однієї з півкуль, впливає, що теплогенеруючий фактор, який діє на планету з галактичного простору, поглинається значною мірою при проходженні його через планетні надра.

Besides 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. It can be called as "cosmic furnace", which works in the Earth internal and outer cores as well as in mantle. The specific thermal generation per unit of volume is about 10 W/km³ in the Earth mantle and some 50 W/km³ in the Earth core. Excess heat generation occurs mainly in the latitudinal zone between 65° of northern latitude and 65° of southern latitude. More active heat generation occurs in the northern and southern hemispheres alternately with intervals about 200 million years that is equal to the period of revolution about the Galaxy centre. The latitudinal zone of maximal heat generation moves in time along the sine curve in accordance with displacement of projection of the Solar system apex on the Earth surface. Maximal intensity of heat generation occurs when projection of the Earth motion in the Galaxy achieves the Earth equator (every 100 million years). At this particular time the direction of the Solar system motion in the Galaxy is in the plane of ecliptic and heat generation – of maximal intensity. This results in existence of equatorial hot belt in the Earth interior, distinctly exhibited in the core and mantle. The fact of alternate heating of the Earth semi-spheres allows us to assume that heat-generating factor influencing our planet from galactic space is absorbed largely while passing through the planetary interior.

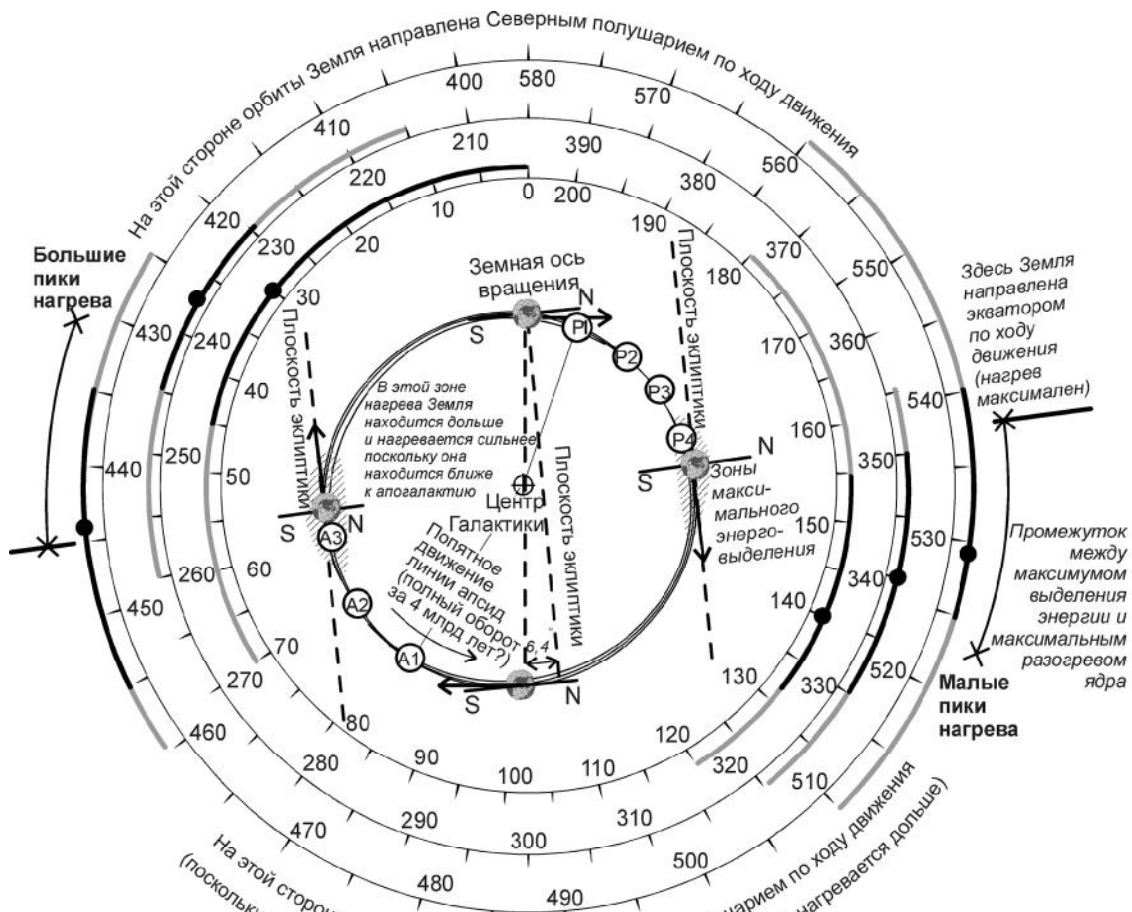
Введение

В статье 1 настоящей работы [6] на основании сравнения ритмичности процессов на Земле и в Космосе было высказано предположение, что галактическое окружение влияет на земные оболочки посредством действующего в недрах и подчиняющегося космическим ритмам источника энергии неизвестной природы – "космической печки". Следствием этого является присутствие в галактическом пространстве какого-то теплопроизводящего фактора, воздействие которого и приводит к выделению энергии.

Было установлено также, что всплески энерговыделения происходят в двух противоположных областях земной орбиты в Галактике, где вектор скорости Солнечной системы лежит в плоскости эклиптики (рис. 1). То есть степень

воздействия на Землю со стороны окружающей галактической среды зависит от направления движения Земли в Галактике. Это позволяет предполагать также и возможность наличия локальной анизотропии, заключающейся в неравномерном выделении тепла внутри нашей планеты, которая могла бы быть связанной с направлением движения Земли в Галактике. Земля могла бы подвергаться более активному воздействию с какой-нибудь одной стороны, может быть той, в направлении которой она движется (рис. 2).

Проверка наличия такой анизотропии в галактических воздействиях на нашу планету, приводящих к неравномерному выделению тепла в земных недрах, является задачей настоящей статьи. Попробуем определить местонахождение космического источника энергии земных недр ("космической печки"). В каком именно месте земного шара происходит выделение "из-



- участки орбиты Земли, на которые приходятся предполагаемые максимумы температуры в ядре Земли (цифрами показаны соответствующие им даты (млн лет), по данным об эпохах частой смены полярности магнитного поля Земли [7]); серое – высокая частота смены полярности, черное – максимально высокая
- Ⓐ₁ прохождения апогалактия (максимально удаленной от центра Галактики точки галактической орбиты Земли) [12]
- Ⓐ₂ прохождения перигалактия (максимально приближенной к центру Галактики точки галактической орбиты Земли)
- Ⓐ₃ витки орбиты Земли в Галактике и участки максимального тепловыделения на ней

Расчет продолжительности каждого следующего галактического года описан в ст. 1 настоящей работы [6]

Рис. 1. Связь между выделением энергии в недрах Земли и направлением ее движения в галактическом пространстве

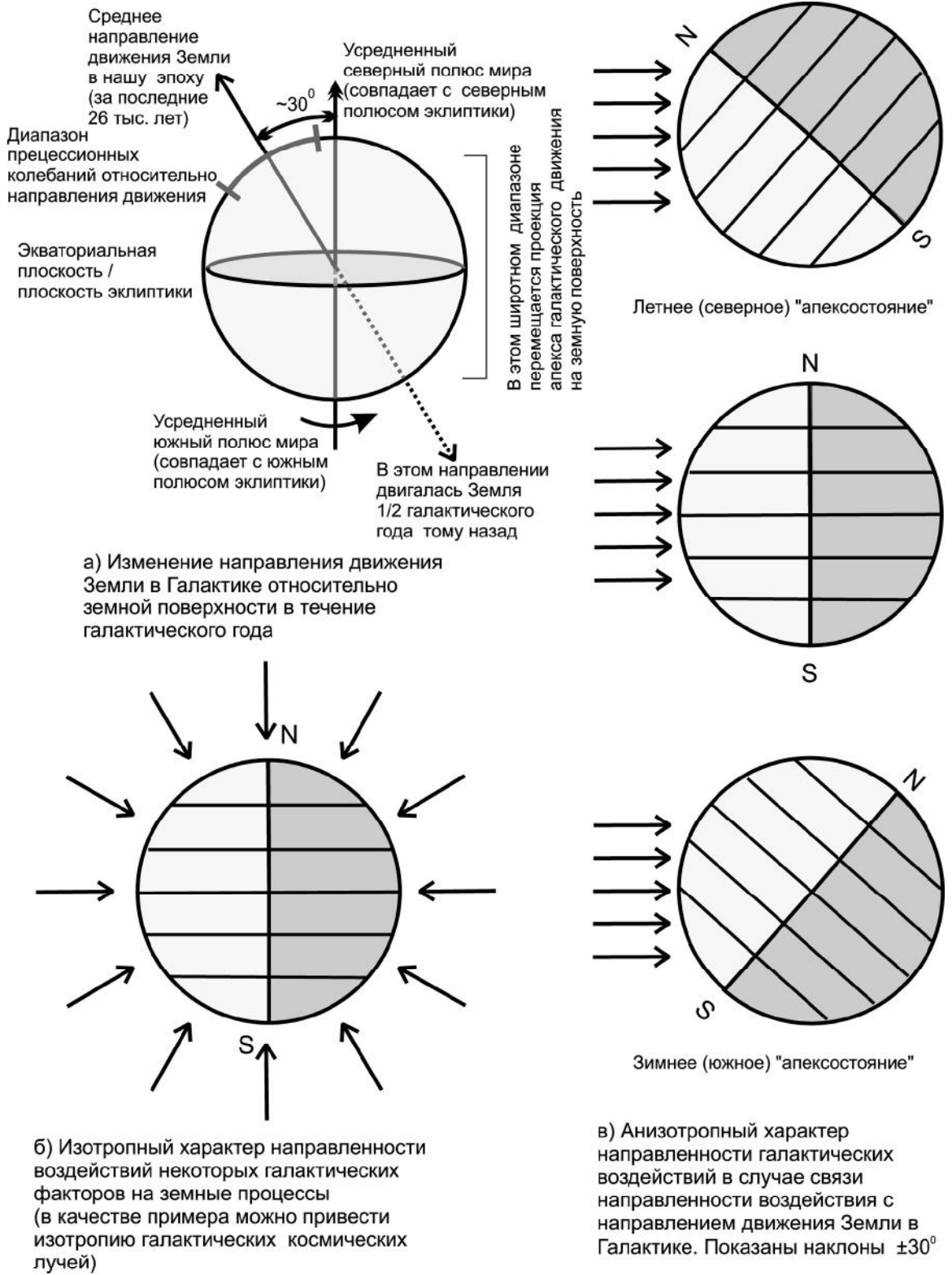


Рис. 2. Возможное изменение широты максимального воздействия галактических факторов на земные процессы, вызванное изменением направления движения Земли в Галактике в течение галактического года

быточной" космической энергии? Насколько равномерно происходит выделение космической энергии по географическим долготам и широтам? Как оно распределено по глубине?

Широтно-долготное распределение зон "избыточного" тепловыделения в недрах Земли и планет. Межполушарная асимметрия. Экваториальный горячий пояс. Смещение активных широт во времени

На рис. 1 и 2, а можно видеть, что в *настоящую* эпоху Земля движется в Галактике Северным полушарием по ходу движения. Вследствие прецессии земной оси полюсы мира за период около 26 тыс. лет описывают вокруг полюсов эклиптики круги радиусом приблизительно $23,5^\circ$. Если пренебречь этими движениями, то на достаточно протяженных геологических масштабах времени **усредненное** направление земной оси остается перпендикулярным к плоскости эклиптики. В то же время направление движения Земли в Галактике изменяется на 360° с периодом, равным галактическому году. Очевидно, что Земля при этом попеременно будет ориентирована в течение половины галактического года Северным полушарием в сторону своего галактического движения, а в течение другой половины – Южным (рис. 1 и 2, а), а проекция вектора скорости ее в Галактике на земную поверхность будет смещаться по географической широте по закону, близкому к синусоидальному, с тем же периодом.

Попытаемся выяснить, где в *данный конкретный момент* в земных недрах происходит максимальное тепловыделение, т. е. где находятся максимумы текущего прирастания теплоты, и есть ли какая-либо связь их с проекцией движения Земли в Галактике на земную поверхность. Если эта зона мигрирует во времени и пространстве, то указанные смещения могли бы сопровождаться волной *нового* вулканизма. На рис. 3 показано, как изменялась географическая широта *новых* появлений горячих точек на земной поверхности во времени [22]. Горячие точки, как известно, являются поверхностными проявлениями плюмов – узких восходящих потоков перегретого вещества в мантии. Здесь же показана аналогичная зависимость изменения широтного положения проекции вектора скорости галактического движения Земли на земную поверхность (см. также рис. 1 и 2). Прослеживаются такие закономерности:

1. *Горячие точки возникают в поясе между 65° с. ш. и 65° ю. ш.; в полярных широтах они практически не возникают.*

2. *Горячие точки образуются попеременно то в одном, то в другом полушариях с периодом около 200 млн лет.*

3. *Широтная зона, в которой образуются горячие точки, смещается вдоль близкой к синусоидальной кривой во времени, следуя смещению проекции вектора скорости галактического движения Земли на земную поверхность (некоторое опережение, вероятно, связано с тем, что рассматриваются именно *первые* проявления активности горячих точек, т. е. начало активного нагрева).*

4. *Широтная полоса, в которой в конкретную эпоху рождаются горячие точки, довольно узка – примерно $25-45^\circ$.*

Эти особенности, в целом, прекрасно объясняются, если предположить галактическое происхождение нагревающего фактора и модуляцию его воздействия околосинусоидальным движением Солнечной системы, и, по-видимому, ничем другим объяснены быть не могут. Воздействие анизотропно (рис. 2). Направляется определенная аналогия с солнечными лучами, только в роли Солнца здесь выступает не оно само, а его апекс, т. е. проекция его движения в Галактике на небесную сферу. Подобно тому, как наклон земной оси к плоскости эклиптики определяет количество радиации, получаемое от Солнца на границе атмосферы, так же и наклон земной оси к направлению движения Земли в Галактике определяет широтное распределение энергии (точнее воздействия), получаемой со стороны распределенного в Галактике теплопроизводящего фактора. Точно так же можно выделить "летнее" (где текущее выделение энергии максимально) и "зимнее" (где текущее выделение энергии минимально) полушария, точно так же экваториальная зона подвергается более интенсивному нагреву (поскольку именно в это время направление движения Солнечной системы в Галактике находится в плоскости эклиптики и тепловыделение максимально, что видно на рис. 2), и даже можно найти определенный эквивалент северному и южному тропикам. Также аналогично тепловыделение в высоких широтах изменяется с периодичностью, равной галактическому году (причем противофазно в различных полушариях), а в низких широтах – половине этого периода.

Кроме того, очевидна генетическая общность плавно переходящих один в другой 100- и 200-миллионнолетних периодов активности. В литературе неоднократно отмечалось, что в разных точках земного шара амплитуда, периодичность и, главное, фаза 100- и 200-миллионнолетних ритмов могут значительно различаться. На рис. 3 видно, почему так происходит.

Величина лучистого потока со стороны Солнца, падающего на некоторую площадку, пропорциональна косинусу угла между направлением лучей и нормалью к этой площадке. Совершенно аналогично этому в широтной полосе, в которой

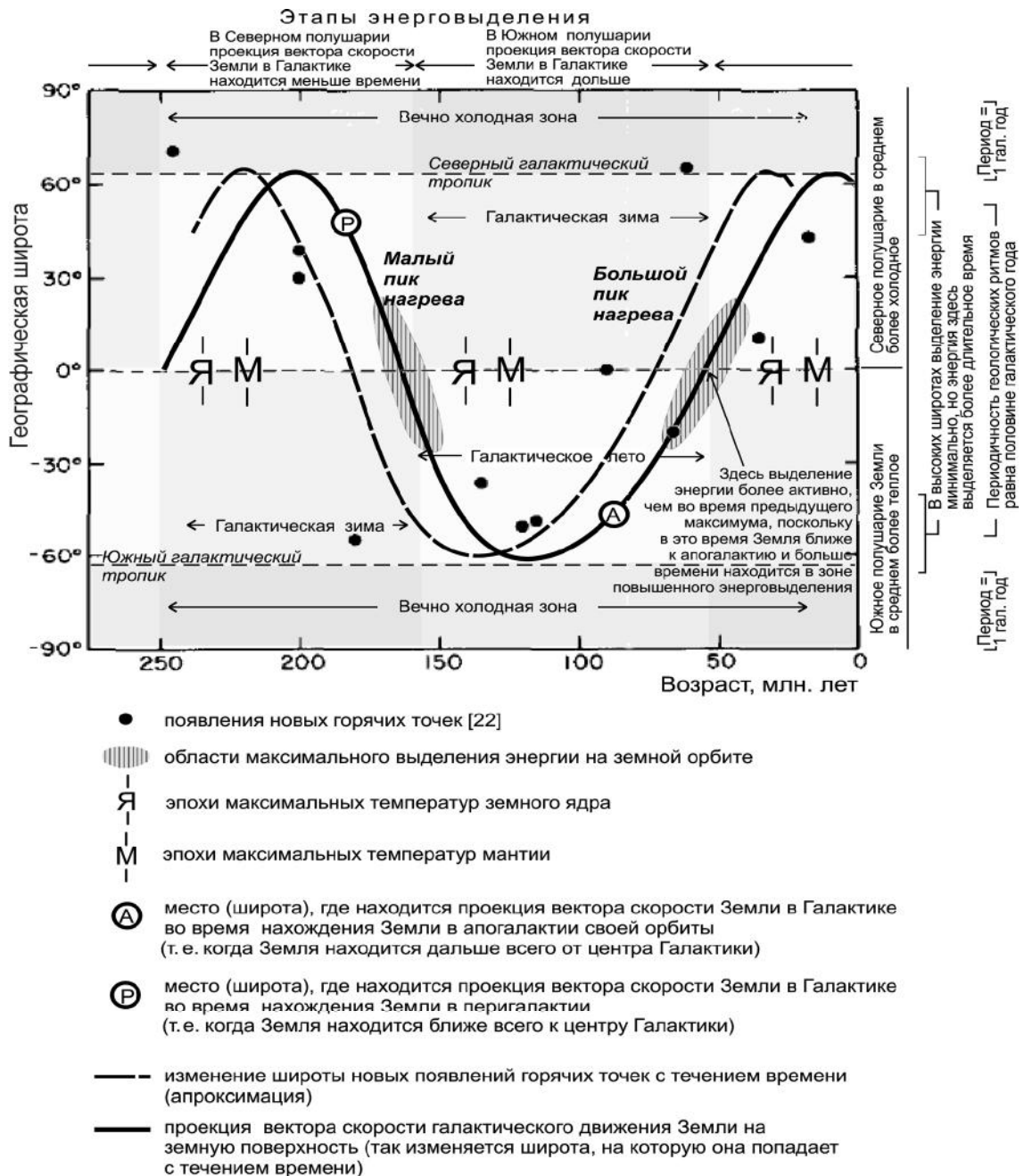


Рис. 3. Изменение широты появления новых горячих точек во времени. Связь широты проявлений геологических ритмов с галактическим движением Солнечной системы

в конкретную эпоху рождаются горячие точки, распределение их близко к косинусоидальному. По аналогии, в эпоху летнего "апексостояния" величина воздействия со стороны галактического тепловыделяющего фактора пропорциональна косинусу разности углов между широтой места и наклоном вектора галактического движения к экватору. В эпоху зимнего "апексостояния"

воздействие со стороны галактического тепловыделяющего фактора пропорционально косинусу суммы углов между широтой места и наклоном вектора галактического движения к экватору. В эпоху, когда направление на апекс (вектор скорости Земли в Галактике) лежит в плоскости экватора, воздействие будет пропорционально косинусу широты местности.

Таким образом, в течение галактического года различные области земного шара подвергаются воздействию со стороны Галактики, степень которого зависит от географической широты их расположения.

Тот факт, что происходит поочередный нагрев преимущественно одного из полушарий, позволяет предполагать, что теплопроизводящий фактор в значительной мере поглощается при прохождении через земные недра.

Несмотря на то, что в последние несколько десятков миллионов лет "космическая печка" работает более интенсивно в Северном полушарии, Южное полушарие все же остается более нагретым, чему есть множество свидетельств:

1. Суммарный регистрируемый тепловой поток в Южном полушарии выше, чем в Северном [23].

2. Относительный перегрев Южного полушария наблюдается на сейсмогеографических разрезах земного шара [20].

3. Континентальные блоки земной коры не участвуют в общемантийном круговороте вещества, оставаясь на поверхности, скапливаются над нисходящими холодными потоками вещества в мантии и, концентрируясь в Северном полушарии, являются индикатором присутствия холодных нисходящих потоков именно на северной стороне планеты, Южное же полушарие остается преимущественно океаническим.

4. Признаком того, что восходящие – нагретые – потоки вещества в мантии находятся преимущественно в Южном полушарии, является северная компонента дрейфа [1, 11, 13], присущая в настоящее время практически всем литосферным плитам. В то же время антарктическая плита многие десятки миллионов лет остается практически на месте и является самой медленной из плит, т. е. восходящие потоки концентрируются скорее не у самого полюса, а под срединноокеаническими хребтами, окружающими Антарктику со всех сторон. Антарктической плите свойственен наиболее высокий уровень стояния, в то время как север Евразии и Северной Америки обладает наиболее протяженным шельфом, т. е. несколько утоплен.

5. Северная часть Пангеи (Лавразия) подверглась меньшему дроблению, чем южная (Гондвана). Скорость дрейфа южной группы материков, образовавшихся вследствие раскола Гондваны, выше скорости дрейфа северной группы материков. В Южном полушарии океаническое дно раздвигается с большей скоростью, что указывает и на более высокую скорость конвективных течений мантии в Южном полушарии: в юго-восточной части Тихого океана (возле о-ва Пасхи) ежегодно наращивается до 18 см новой океанической коры; Австралия удаляется от Антарктиды со скоростью около 7 см/год; Южная

Америка от Африки – со скоростью около 4 см/год; скорость столкновения Индии с Евразийской плитой достигает 5 см/год; в то время как отодвигание Северной Америки от Европы происходит медленнее – 2–2,3 см/год; Красное море расширяется и того медленнее – на 1,5 см/год [8].

6. Срединноокеанические хребты, континентальные рифтовые системы, являясь структурами растяжения земной коры и будучи индикаторами поднятия нижележащих разогретых мантийных масс, сосредоточены большей частью в Южном полушарии.

7. Корни континентов более глубоки в Северном полушарии, что может свидетельствовать о низкой температуре и высокой вязкости подстилающей континенты мантии в Северном полушарии [2].

8. В определенном смысле Земля имеет "грушевидную" форму – фигура ее несколько расширена (радиус Земли больше) в Южном полушарии, что может быть следствием большей его разогретости [14].

Современные спутниковые измерения движения континентов указывают на общее перемещение континентов к северу [9]. По движению относительно горячих точек северная компонента дрейфа отчетливо наблюдается на протяжении последних нескольких десятков миллионов лет [16]. Согласно различным палеорекострукциям расположения континентов в прошлом, преимущественный дрейф континентальных плит к северу наблюдается на протяжении последних 400 млн лет. 600–400 млн лет назад одни континенты двигались к югу, другие к северу. Еще раньше, в течение как минимум нескольких сотен миллионов лет, направление движения было обратным, континентальным было преимущественно Южное полушарие, т. е. существовали силы, смещающие континенты к югу. Перегретым тогда было Северное полушарие.

Столь длительная перегретость поочередно одного из полушарий может быть объяснена точно таким же образом, как и наличие 200-миллионного ритма тепловыделения на фоне 100-миллионного (о чем речь шла в предыдущей нашей статье [6]), – *продолжительностью пребывания Земли в одной из зон нагрева на своей галактической орбите* (зона нагрева – место, где направление вектора скорости Земли в Галактике лежит в плоскости эклиптики (рис. 1), а проекция вектора скорости находится на земном экваторе (рис. 3)).

Почему нагрев Южного полушария в последние несколько сотен миллионов лет был большим? На рис. 2 и 3 видно, что **избыточному нагреву всегда подвергается то полушарие, которым Земля повернута в сторону ее дви-**

жения в Галактике. Именно Южным полушарием Земля на протяжении последних двух-трех витков своей галактической орбиты была направлена по ходу движения Солнечной системы в Галактике *в то время, когда она находилась вблизи апогалактия своей орбиты* – участка, максимально удаленного от центра масс Галактики (рис. 1, 3). Из второго закона Кеплера (закон площадей) следует, что планета движется вокруг притягивающего ее тела (в данном случае центральных масс Галактики) неравномерно, имея в перигалатии (перигалактии – наиболее близкой к центру масс Галактики точке своей орбиты) большую линейную скорость, чем в апогалактии – наиболее удаленной от центра масс Галактики точки орбиты). Поскольку Земля движется неравномерно, равные по протяженности отрезки пути она проходит за разное время. Половину своего пути вокруг центра Галактики Земля повернута одним полушарием по ходу своего галактического движения (рис. 1–3), а половину – другим. Но не половину времени! **Если в районе апогалактия Земля направлена Южным полушарием по ходу движения, то и нагрев в нем будет происходить более длительное время, так как Земля задерживается на этом участке, и наоборот** (рис. 1, 3).

Зоны нагрева, т. е. области на орбите, где направление вектора скорости Земли в Галактике компланарно плоскости эклиптики, всегда занимают фиксированное место на орбите, так как взаимная ориентация плоскости эклиптики и галактической остается неизменной (этого требует закон сохранения момента количества движения). В то же время положения апо- и перигалактиев на орбите смещаются с течением времени. Это вызвано тем, что аномалистический период (промежуток времени между очередными прохождением апо- или перигалактиев) короче сидерического периода или галактического года (периода полного оборота вокруг центральных масс Галактики). На рис. 1 показан случай, когда разница между обоими периодами составляет 10 млн лет (на самом деле это значение может быть не точным), а продолжительность галактического года равна примерно 200 млн лет (на самом деле она немного изменяется с течением времени) [6] (рис. 1). В таком случае при каждом очередном обороте вокруг центра Галактики положения апо- и перигалактиев будут смещаться на двадцатую часть орбиты в сторону, обратную направлению движения. То есть линия апсид, соединяющая апогалактии с перигалактием, совершает полный оборот за время около 4 млрд лет (рис. 1), или, по крайней мере, измеряемое миллиардами лет; половину этого периода нагрев будет происходить преимущественно в одном полушарии, половину – в другом.

Взаимное расположение линии апсид и зон максимального разогрева приводило в последние несколько сот миллионов лет к преимущественному разогреву Южного полушария. До этого же, на протяжении очень значительного промежутка истории Земли, происходил преимущественный разогрев Северного полушария, ведь именно оно тогда было направлено по ходу движения при прохождении апогалактиев. И тогда континенты, влекомые мантийными течениями, двигались к югу. Такая перестройка в режиме нагрева земных недр и приводила к переходу континентов из одного полушария в другое.

Не факт, что период полного оборота линии апсид составляет именно 4 млрд лет. Согласно данным работы [11], общая продолжительность цикла меридионального (попеременно северо- и южно-направленного) дрейфа составляет около 1,6 млрд лет. Точность определения скорости смещения линии апсид допускает и такой период.

Опять-таки, ситуация с попеременным преимущественным галактическим нагревом недр то Северного, то Южного полушарий имеет свою аналогию в нагреве земной поверхности солнечными лучами. Каждый год в начале января Земля, проходя через перигелий, движется быстрее. В это время она повернута Южным полушарием в сторону Солнца. Оно подставлено Солнцу меньший промежуток времени. В начале июля Земля, проходя апогелий, движется медленнее. В это время Солнцу подставлено Северное полушарие, и оно нагревается дольше. Таким образом, в Северном полушарии зима на 7 дней короче, чем в южном, а лето, наоборот, длиннее. Но через несколько тысяч лет в результате прецессии (предварения равноденствий) ситуация изменится на обратную.

Важно знать особенности широтного распределения зон повышенного нагрева в недрах Земли. Мы уже определили, что *выделение дополнительной энергии приурочено к географическим широтам, на которые проецируется направление движения Земли в Галактике* (рис. 3). Проекция этого направления не стоит на месте, а совершает полный оборот вокруг земного шара в течение галактического года (рис. 2, а). Следовательно, в той или иной степени избыточному нагреву подвергается достаточно широкий пояс между примерно 65° с. ш. и 65° ю. ш., а с учетом прецессии земной оси вращения – и несколько шире. Проявления эффектов, связанных с воздействием внешних сил, должны иметь осевую симметрию. *С максимальной интенсивностью нагрев должен происходить, когда проекция движения Земли в Галактике попадает на земной экватор* (рис. 1–3). Поскольку и выделение энергии, и выведение ее из земных недр наружу происходят на временных масштабах, измеряемых десятками миллионов

лет, значительная часть этой энергии накапливается, и мы можем ожидать некоего пространственного распределения ее в виде *экваториального горячего пояса Земли*.

Рассмотрим широтное распределение некоторых показателей внутренней активности Земли. Наиболее характерные из таких показателей – сейсмичность и вулканическая активность (рис. 4). Очевидно, что по всем признакам очаги повышенной активности сосредоточены в областях низких широт.

Аналогичная приуроченность внутренней активности к низким широтам прослеживается и для других планет земной группы [17]. В частности, установлено, что в пределах экваториального пояса $\pm 35^\circ$ широты и на Земле, и на Венере плотность горячих точек на единицу площади в 1,81 раза выше, чем на остальной территории.

Помимо общей приуроченности эндогенной активности к низким широтам, заметна также тонкая структура горячего пояса, ее полимодальный характер (рис. 4). Прежде всего обращает внимание расщепление пояса на северную и южную приэкваториальные зоны, расположенные в районах $20\text{--}30^\circ$ северной и южной широт. Высокая степень симметричности относительно экватора и наличие этих зон для разнообразных проявлений активности свидетельствуют об их неслучайности, а приуроченность именно к этим широтным диапазонам – об астрономической природе данного явления. Тепловыделение “космической печки” максимально в эпохи, когда проекция апекса галактического движения Земли приходится на экватор. Ось вращения Земли наклонена на $23,5^\circ$ относительно оси, перпендикулярной к плоскости эклиптики, и совершает прецессионные движения относительно нее. Таким образом, проекция апекса отклоняется периодически на соответствующий угол относительно экватора. Поскольку эти отклонения имеют синусоидальный характер, ясно, что максимальные углы отклонения будут наиболее частыми положениями проекции апекса и нагрев, соответственно, будет более активным именно в этом диапазоне широт, что и наблюдается. Собственный вклад прецессии в выделение энергии в земных недрах пренебрежимо мал.

60-градусные отклонения проекции апекса относительно экватора, происходящие в течение галактического года, также имеют синусоидальный характер и приводят к более длительному пребыванию проекции апекса в высоких широтах и, соответственно, более длительному, хотя и слабому, нагреву. Прецессия оси вращения Земли расщепляет и эти максимумы на две составляющие. В целом получается картина широтного распределения нагрева земных недр, аналогичная наблюдаемой на рис. 4, г.

Сейсмические данные – информативный и надежный источник знаний о физическом состоянии самых глубоких земных недр. Пониженные скорости прохождения сейсмических волн свидетельствуют об ослабленном, разогретом состоянии вещества, через которое они проходят. На рис. 5 показаны такие разогретые области нижней мантии с пониженными скоростями сейсмических волн [11]. Там же отмечено расположение горячих точек, образованных плюмами глубинного расположения [15], а для тех из них, возрасты которых известны [22], показаны возрастные группировки. Наблюдается весьма четкая и очевидная приуроченность разогретых зон мантийного вещества к низким широтам. Характерные особенности этого пояса следующие:

1. В состав пояса входят оба глобальных восходящих конвективных потока мантии – Тихоокеанский и Африканский суперплюмы (конвекция, как видим, двухъячеистая). Нисходящие охлаждающие потоки занимают пространство в полярных широтах обоих полушарий. Горячие точки (плюмы), корни которых имеют глубинное расположение, сконцентрированы в виде двух обширных полей над суперплюмами.

2. Возрасты горячих точек группируются в широтном направлении, прослеживается 200-миллионлетняя волна разогрева земных недр внутри горячего пояса, идущая с севера на юг и обратно (рис. 3).

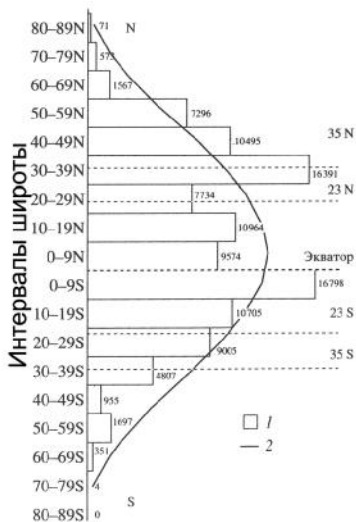
3. Наблюдается расщепление горячего пояса на несколько широтных зон.

4. Отчетливо видно, что пояс высоких температур в мантии расположен не вполне строго вдоль экватора, а четко вдоль окружности под небольшим углом к нему – около 15° . При этом поля горячих точек (имея возраст, возможно, отличающийся от возраста современного горячего пояса мантии) расположены под большим углом, однако их срединные линии пересекаются в тех же точках на современном экваторе.

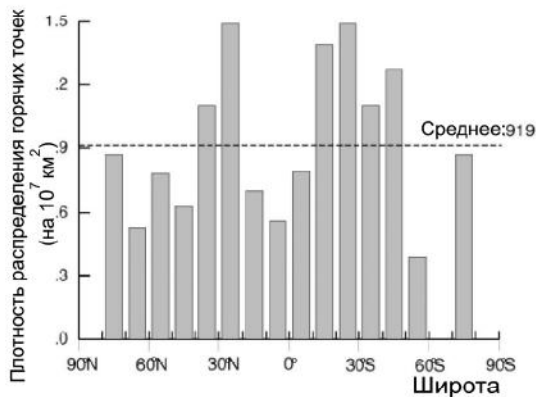
5. Центры суперплюмов приурочены к меридианам 15° в. д. и 165° з. д., и именно в этих точках пересекаются окружность, вдоль которой расположен определяемый по пониженным скоростям сейсмических волн в мантии пояс высоких температур, и земной экватор. Совокупность горячих точек также образует окружность, которая наклонена под несколько большим углом к земному экватору, но пересекается с ним примерно в тех же точках.

6. Суперплюмы расположены приблизительно напротив друг друга на противоположных сторонах экватора.

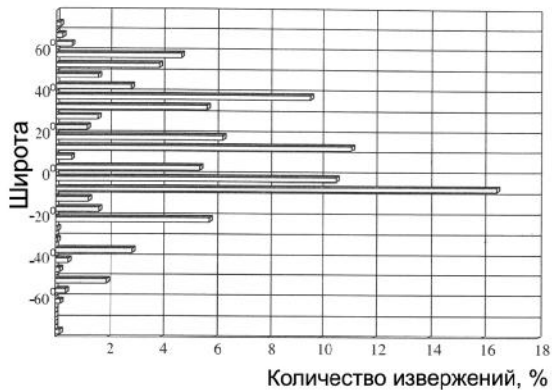
7. На равном удалении от суперплюмов в промежутках между ними пояс утончается, эти утончения находятся на меридианах 105° в. д. и 70° з. д. Причем видна явная связь между их рас-



а) Распределение количества землетрясений по широте (1973–1993 гг.; $M > 4$; 109 087 событий): 1 – количество землетрясений; 2 – квадрат расстояния до оси вращения Земли [5]



в) Широтное распределение плотности горячих точек по [21]



б) Распределение извержений вулканов на Земле в зависимости от географической широты (период 1900–1977 гг.; 1030 извержений по 272 вулканам) [10]



г) Широтное распределение восходящего потока мантийного вещества в областях горячих точек [21]. Коэффициент корреляции между северной и южной сторонами распределения: +0,915. Асимметрия в величинах главных максимумов: 42,4 и 57,6% для Северного и Южного полушарий соответственно

Рис. 4. Современные широтные распределения эндогенной активности Земли

положением и распределением вдоль меридианов континентального сегмента земной коры – континенты явственно тяготеют к утончениям на поясе высоких температур, т. е. к областям нисходящих конвективных потоков мантийных масс.

Примерно за 120 лет наблюдений географический полюс совершал движение со скоростью около 10 см в год в сторону Северной Америки (в направлении $70-76^\circ$ з.д.). Это движение происходит в том же коридоре, по которому движутся и магнитные полюсы [4] и где сосредоточены нисходящие мантийные конвективные потоки. Поэтому можно предполагать, что ось, соединя-

ющая Тихоокеанский и Африканский суперплюммы, является осью, относительно которой преимущественно происходят движения географических и магнитных полюсов. Если продолжить экстраполяцию этого движения на миллионы лет назад, то окажется, что примерно 17 млн лет назад положение экватора совпадало с положением горячего пояса мантийного вещества, определяемого по пониженным скоростям сейсмических волн в мантии. Что же происходило в это время? Как видно на рис. 3, именно в эту эпоху температура мантии была максимальной. В ней накопилось тепло, которое выделялось и в

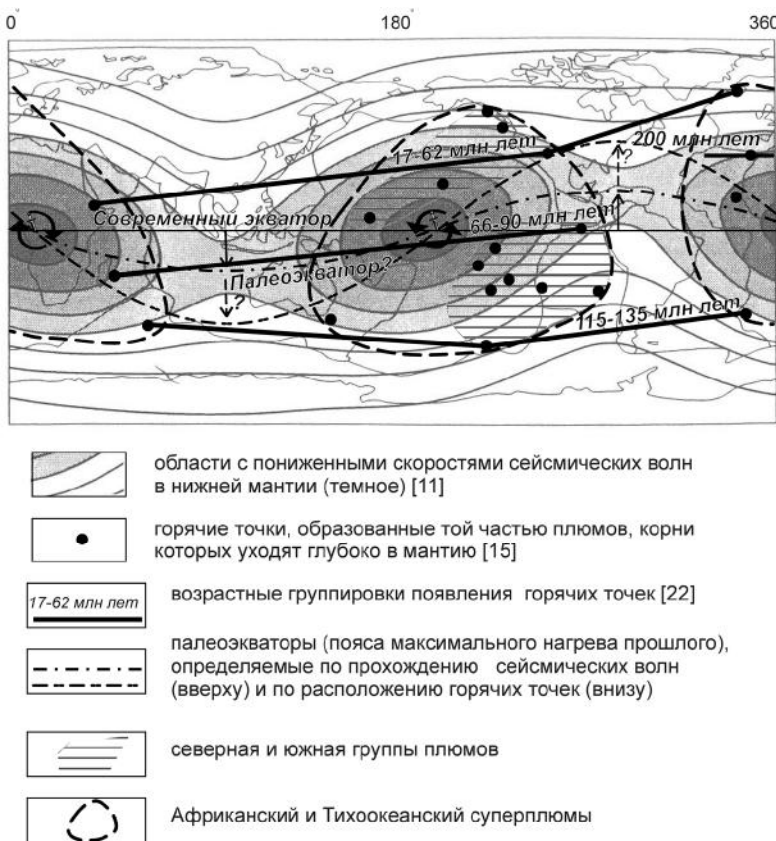


Рис. 5. Экваториальный горячий пояс мантии Земли

мантии, и в ядре с максимальной интенсивностью на экваторе примерно 60 млн лет назад.

Продолжив экстраполяцию до 30–40 млн лет назад, мы обнаружим, что положение экватора совпало с положением горячего пояса, определяемого по расположению горячих точек. Как видно на рис. 1 и 3, разогрев ядра тогда был максимальным. На рис. 5 показаны горячие точки (плюмы) глубинного заложения, корни которых уходят к границе мантии с ядром. По этим каналам из чрезмерно разогретого ядра выходило тепло, которое не успевала выводить традиционная мантийная конвекция.

Наблюдаемое смещение горячего пояса Земли относительно экватора – результат вызванного конвекционным перераспределением масс движения мантии относительно земной оси. Современный горячий пояс – это палеоэкватор эпохи последнего максимального нагрева мантии. Смещение разогретой факторами космического происхождения экваториальной зоны – однозначное указание на реальность автономных движений каменной оболочки относительно ядра Земли.

Поскольку Южное полушарие в течение уже нескольких сотен миллионов лет нагревается

более активно, чем Северное, возникают определенные температурные отличия в нагреве вещества мантии, находящегося в коридорах между суперплюмами, по которым происходят ее глобальные смещения по жидкому ядру. Если в Восточном полушарии каменная оболочка Земли разогрывается постепенно Северным полушарием к экватору, то в Западном полушарии – Южным. Таким образом, перегретые массы, которые находились ранее в Южном полушарии, сейчас оказались в горячем поясе Западного полушария и продолжают активно разогреваться. Бывшее же Северное полушарие мантии стало отчасти Восточным и находится в более холодном состоянии, но также подвергается активному нагреву. Очевидно, что в районе обеих Америк плотность горячих точек гораздо выше, чем в антиподальном районе Индийского океана. Создается даже впечатление о формировании единого гигантского восходящего конвективного потока мантии, в котором происходит объединение Тихоокеанского и Африканского суперплюмов. Но это не так – плюмы в перемычке образованы в значительной мере теплом, сохранившимся от той эпохи, когда эта область была в Южном полушарии.

Следует также отметить, что сегмент континентальной коры в Западном полушарии меньше по площади, чем таковой в противоположном полушарии. Причина совершенно та же, которая определила океанический характер Южного полушария, т. е. мантия здесь имеет более высокую температуру и восходящие конвективные потоки стремятся вытолкнуть континентальные плиты к более холодным участкам.

Наличие горячего экваториального пояса наблюдается не только в каменной оболочке Земли, но также и в ядре. Следовательно, выделение дополнительной космической энергии идет и там.

Подтверждением этому может служить установленная два десятка лет тому назад анизотропия свойств внутреннего ядра Земли [3]. Это явление заключается в том, что скорость прохождения сейсмических волн через внутреннее ядро вдоль оси вращения Земли примерно на 1%

больше, чем для волн, проходящих в плоскости экватора. Помимо широтных, существуют меридиональные различия в скоростях прохождения волн вдоль экватора.

Природа анизотропии остается невыясненной. В частности, высказываются соображения, что анизотропия внутреннего ядра определяется конвекцией в нем.

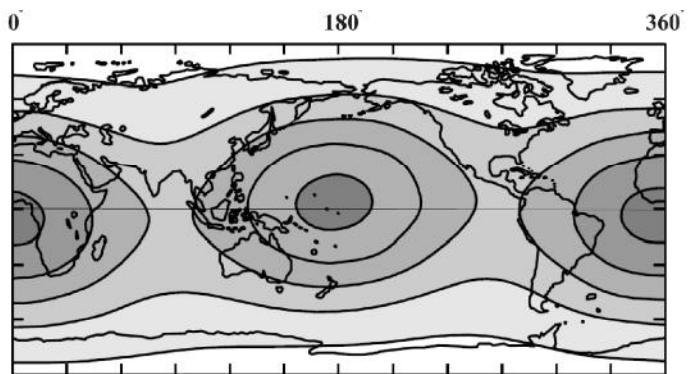
На рис. 6 видно пространственное распределение неоднородностей волновых свойств ядра. Сравнение с аналогичным рис. 5 для мантии показывает их разительное сходство, что может быть только в случае, если мы имеем дело именно с неоднородностями, вызванными конвекцией. Так же, как и в мантии, во внутреннем ядре Земли наблюдается протянувшийся вдоль экватора пояс ослабленного, разогретого вещества. Точно также этот пояс содержит два глобальных восходящих конвективных потока, и проецируются они на те же географические области на поверхности земного шара. Причем высоким скоростям сейсмических волн соответствуют меридианы, на которых сконцентрированы материки, а низким – соответственно океаны. Эти связи были отмечены в работе [3].

Вследствие сравнительно быстрого перемешивания вещества во внешнем ядре экваториальный горячий пояс сильно размыт, но все же и здесь можно говорить о его наличии (рис. 6, б).

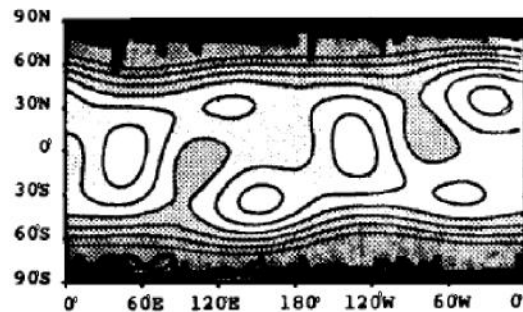
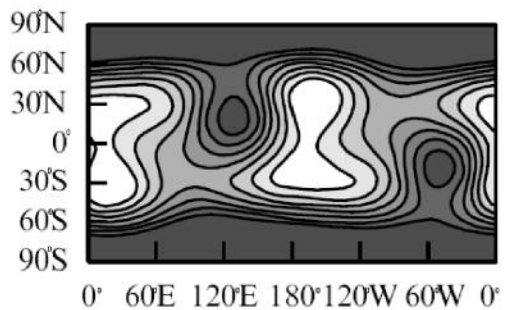
Следует дать некоторые пояснения относительно показанного на рис. 6, б распределения значений *splitting*-функций. Метод построения *splitting*-функций (от англ. *split* – расщеплять) состоит в анализе собственных колебаний Земли. Помимо сейсмических волн, землетрясения возбуждают в Земле, которая является упругим телом, вынужденные собственные колебания. Эти собственные колебания характеризуются определенным набором частот. Колебания разных частот распространяются в теле Земли по-разному, проникая на различные глубины, что может быть использовано для изучения свойств отдельных слоев Земли. Чем медленнее колебания, тем большую толщю Земли они захватывают. Одним из важных свойств свободных колебаний Земли является эффект расщепления (раздвоения) частот. Это расщепление связано, в частности, с неоднородностями в распределении колебательных свойств вещества в те-

ле Земли. Поэтому расщепление отдельной частоты характеризует неоднородность определенного слоя Земли. Мерой расщепления являются так называемые *splitting*-функции, распределения значений которых показаны на рис. 6, б.

Очевидно, что *общий план конвекции в земных недрах задается космическими причинами*. Распределение и эволюция тепловыделяющих зон определяют необъяснимые ранее особенности конвекции и дрейфа литосферных плит, взаимных смещений ядра и каменной оболочки Земли. Учет работы "космической печки" выводит глобальную тектонику на совершенно новый уровень. Однако это тема отдельной статьи.



а) Анизотропия скоростей Р-волн во внутреннем ядре. Темные тона – низкая скорость Р-волн [3]



б) *Splitting*-функции внутреннего ядра (вверху) и внешнего ядра (внизу). Интенсивность функции изменяется от -0,2% (белый цвет) до +0,2% (черный) [3]

Рис. 6. Экваториальный горячий пояс в ядре Земли

Распределение "избыточного" тепловыделения по глубинам

Можно оценить распределение избыточной (не радиогенной) энергии, выделяемой в различных оболочках земного шара. Общий тепловой поток, измеряемый у поверхности Земли, находится в пределах 30–47 ТВт. Известно, что лишь примерно половина этого потока приходится на долю радиогенной энергии. Численное моделирование конвекции, требуемой для существования наблюдаемого магнитного поля, показывает необходимость теплового потока на выходе из ядра на уровне 7–9 ТВт [18]. Другие оценки теплового потока, базирующиеся на сейсмических данных о фазовом состоянии вещества пограничного с ядром слоя мантии D' [19], т. е. на совершенно независимых данных, дают близкие значения теплового потока на выходе из земного ядра на уровне (13 ± 4) ТВт. Таким образом, на долю ядра приходится примерно четверть генерируемой в недрах энергии. Отождествляя избыточную часть внутренней энергии Земли с энергией "космической печки", примем мощность ее равной 20 ТВт. Из этой суммарной мощности на долю ядра приходится примерно 10 ТВт, за которые с большой долей вероятности ответственна почти исключительно "космическая печка"; ведь общепризнано, что в ядре практически отсутствуют источники радиогенной энергии. На каменную оболочку приходится аналогичная мощность.

Можно оценить удельное избыточное тепловыделение на единицу объема. Для Земли, в целом, оно составляет около 20 Вт/км^3 , или $2 \cdot 10^{-14} \text{ Вт/см}^3$. Для ядра получается приблизительно 50 Вт/км^3 , для каменной оболочки – примерно 10 Вт/км^3 . Таким образом, в объеме ядра избыточное тепло, по-видимому, выделяется в 5 раз более активно, чем в мантии. Учитывая, что ядро плотнее мантии в 2,33 раза, можно утверждать, что там выделяется приблизительно в 2 раза больше избыточной теплоты на единицу массы.

Интересен вопрос о предельных глубинах работы "космической печки". Самый глубокий слой, влияния на который со стороны космического окружения Солнечной системы прослеживается, находится на глубине 100–300 км под поверхностью внутреннего ядра Земли. Именно с ним обычно соотносят анизотропию свойств внутреннего ядра, которая была нами рассмотрена выше. Относительно верхней границы нет полной определенности. В частности, известно, что зачастую процессы у земной поверхности бывают практически синхронны процессам в земном ядре. То есть речь может идти не о передаче энергии снизу вверх, а об одновремен-

ном выделении ее и в самых верхних слоях земных недр в том числе. Однако действительная глубина этих верхних слоев не определена. В частности, не ясно, происходит ли какое-либо "избыточное" тепловыделение внутри земной коры.

Следует отметить, что *благодаря внушительным размерам Земли и длительности процессов, измеряемой миллионами лет, земные недра фактически могут играть роль весьма и весьма чувствительного прибора, реагирующего ощутимым изменением геологической активности на изменение тепловыделения в них примерно на 10^{-15} Вт/см^3 .*

Выводы

Работа земной "космической печки" осуществляется во внутреннем и внешнем ядре Земли, а также в мантии. Относительно вышележащих оболочек нет убедительных доказательств присутствия в них какого-либо дополнительного источника энергии.

Удельное тепловыделение на единицу объема составляет 20 Вт/км^3 (или $2 \cdot 10^{-14} \text{ Вт/см}^3$), в ядре – 50 Вт/км^3 , мантии – 10 Вт/км^3 .

"Избыточное" выделение тепла происходит преимущественно в поясе между 65° с. ш. и 65° ю. ш. Более активно тепловыделение наблюдается попеременно то в одном, то в другом полушариях с периодом около 200 млн лет, а также с более продолжительным периодом, измеряемым миллиардами лет. Широтная зона, в которой происходит максимальное выделение тепла, смещается вдоль близкой к синусоидальной кривой во времени, следуя смещению проекции апекса галактического движения Солнечной системы на земную поверхность. Широтная полоса максимального выделения энергии отнюдь не охватывает все полушарие, а довольно узка – примерно $25\text{--}45^\circ$ и имеет, по-видимому, косинусоидальное распределение интенсивности тепловыделения по широтам. По аналогии с солнечными лучами, в эпоху "летнего апексостояния" величина воздействия со стороны галактического тепловыделяющего фактора пропорциональна косинусу разности углов между широтой места и наклоном апекса галактического движения к экватору. В эпоху "зимнего апексостояния" воздействие со стороны галактического тепловыделяющего фактора пропорционально косинусу суммы углов между широтой места и наклоном апекса галактического движения к экватору. В эпоху, когда направление на апекс (вектор скорости Земли в Галактике) лежит в плоскости экватора, воздействие пропорционально косинусу широты местности.

С максимальной интенсивностью нагрев происходит, когда проекция движения Земли в Галактике попадает на земной экватор, поскольку именно в это время направление движения Солнечной системы в Галактике находится в плоскости эклиптики и тогда же тепловыделение максимально, что находит свое выражение в существовании экваториального горячего пояса в недрах Земли, отчетливо выраженного в ее ядре и мантии. Аналогичные пояса наблюдаются и на других планетах. Экваториальный горячий пояс имеет свою "тонкую" структуру, расщепляясь под воздействием прецессионных качаний земной оси вращения на несколько субпоясов широтной направленности, а также включает Африканский и Тихоокеанский суперплюмы – антиподаально расположенные на экваторе области восходящих конвективных течений вещества земных недр.

Помимо 200-миллионнолетних межполушарных циклов нагрева в течение нескольких сотен млн лет происходит преимущественный нагрев недр одного из полушарий, затем в течение примерно такого же промежутка времени – другого, что выражается в преимущественно северном или преимущественно южном дрейфе континентов. Последние 400–600 млн лет преимущественному нагреву подвергается Южное полушарие, до этого таковым было Северное полушарие нашей планеты. Преимущественный нагрев одного из полушарий также объясняется тем, каким из своих полушарий Земля наклонена при прохождении апогалактия по ходу своего движения в Галактике.

Учитывая, что происходит поочередный нагрев преимущественно одного из полушарий, можно предполагать, что тепловыделяющий фактор в значительной мере поглощается при прохождении через земные недра.

Основной же вывод следующий: большей частью пространственно-временные особенности тепловыделения, происходящего в земных глубинах, и зависимых от него геологических процессов определяются взаимной ориентацией направления движения Земли в галактическом пространстве и плоскости земного экватора (или же, точнее, эклиптики с поправкой на прецессию земной оси). Также имеет значение близость Земли к апо- или перигею ее галактической орбиты, что определяет продолжительность нагрева.

Автор искренне признателен акад. НАН Украины В. М. Шестопалову и канд. геол.-минерал. наук С. П. Ольштынскому, принявшим участие в обсуждении и подготовке к печати этой статьи.

1. Гончаров М. А. Западная и северная компоненты дрейфа континентов как результат вынужденной

конвекции в мантии по "правилу буравчика" // Тектоника и геофизика литосферы. – М.: ГЕОС, 2002. – Т. 1. – С. 128–131.

2. Кабан М. К. Структура верхней мантии континентов по сейсмическим и гравитационным данным // Проблемы глобальной геодинамики. – 2003. – № 2. – С. 137–157.
3. Кузнецов В. В. Анизотропия свойств внутреннего ядра Земли // Успехи физ. наук. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 1000–1012.
4. Кузнецов В. В. Введение в физику горячей Земли. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. – 366 с.
5. Левин Б. В., Чирков Е. Б. Особенности широтного распределения сейсмичности и вращение Земли // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 6. – С. 65–69.
6. Макаренко А. Н. Космический фактор "избыточного" тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 1. Космические ритмы в геологической летописи // Геол. журн. – 2011. – № 3. – С. 116–130.
7. Печерский Д. М. Геомагнитное поле, движение плит и изменения органического мира в неогее // Электрон. журн. "Вестник ОГГГН РАН". – 1998. – № 3.
8. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли: Учебник / Под ред. акад. РАН В.А. Садовниченко. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 560 с.
9. Трифонов В. Г., Левнев А. К. Современные движения земной коры по данным космической геодезии // Фундаментальные проблемы общей тектоники. – М.: Науч. мир, 2001. – С. 374–401.
10. Федоров В. М. Особенности широтного распределения вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 4. – С. 39–43.
11. Хаин В. Е., Гончаров М. А. Геодинамические циклы и геодинамические системы разного ранга: их соотношение и эволюция в истории Земли // Геотектоника. – 2006. – № 5. – С. 3–24.
12. Чуйкова Н. А., Семенов К. В. Зависимость частоты инверсий геополя от положения Солнечной системы в Галактике // Тр. ГАИШ. – 1996. – Т. 45. – С. 136–147.
13. Barkin Yu. V. Kinematical regularities in plate motion // Astronomical and astrophysical transactions. – 2000. – Vol. 18, Issue 6. – P. 763–778.
14. Barkin Yu. V., Shatina A. V. Deformations of the Earth's mantle due to core displacements // Ibid. – 2005. – Vol. 24, Issue 3. – P. 195–213.
15. Courtillot V., Davaille A., Besse J., Stock J. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle // Earth Planet. Sci. Lett. – 2003. – Vol. 205, № 3-4. – P. 295–308.
16. Crough S. T. Hotspot swells // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 1983. – Vol. 11. – P. 165–193.
17. Glukhovskiy M. Z., Moralev V. M. Hot Belts of Venus and the Early Earth // Abstracts of the 25th Lunar and

- Planetary Science Conference, held in Houston, TX, 14–18 March 1994. – Houston: Lunar and Planetary Institute, 1994. – P. 431–432.
18. *Labrosse S., Macouin M.* Thermal evolution of the Earth's core and geodynamo // American Geophysical Union, Fall Meeting 2002. – Houston: Lunar and Planetary Institute, 2002. – Abstract № GP61A-1010.
 19. *Lay T., Hernlund J., Garnero E. J., Thorne M. S.* A post-perovskite lens and D'' heat flux beneath the Central Pacific // *Science*. – 2006. – Vol. 314, № 5803. – P. 1272–1276.
 20. *Montagner J.-P.* Upper mantle Structure: Global isotropic and anisotropic tomography // *Treatise on Geophysics*. – 2007. – Vol. 1. – P. 559–590.
 21. *Oliver D.* Monte Carlo analysis of the latitudinal symmetry of the global buoyancy flux distribution // *J. Geodynamics*. – 2002. – Vol. 34, Issue 2. – P. 193–206.
 22. *Stothers R. B.* Hotspots and sunspots: surface tracers of deep mantle convection in the Earth and Sun // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1993. – Vol. 116. – P. 1–8.
 23. *Yang Wang, Jiyang Wang, Zongji Ma.* On the asymmetric distribution of heat loss from the Earth's interior // *Chinese Sci. Bull.* – 1998. – Vol. 43, № 18, – P. 1566–1570; www.springerlink.com/content/f7318582v1q5410q/.

Науч.-инж. центр
радиогидрогеоэкол. полигон.
исслед. НАН Украины,
Киев
E-mail: poshuk@mail.ru

Статья поступила
19.09.11