

прохождений Луной перигея и апогея орбиты использована полуаналитическая теория движения Луны ELP 2000 – 82. Теория рассчитана на работу в интервале от 1977 до 2020 годов, с гарантированной точностью, что максимальная ошибка рассчитанных моментов времени не превосходит 17,4 с. В данном случае такая точность является избыточной. В исследуемом интервале в декабре 1902 года орбита Луны соответствует точке экстремума нашего графика со значением +1. Проведем теперь тот же анализ, заменив солнечный период на 21 год.

$$R = \begin{pmatrix} 1.0000 & 0.2568 \\ 0.2568 & 1.0000 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} 1.0000 & 0.0065 \\ 0.0065 & 1.0000 \end{pmatrix}$$

Корреляция велика и максимальна из всех вариантов. Величина коэффициента матрицы p -значений примерно в семь раз меньше значения, при котором корреляция значима.

В результате данного исследования получен алгоритм, который можно использовать для прогноза сильных землетрясений. График сейсмической активности Земли до 2200 г изображен на рис. 5.

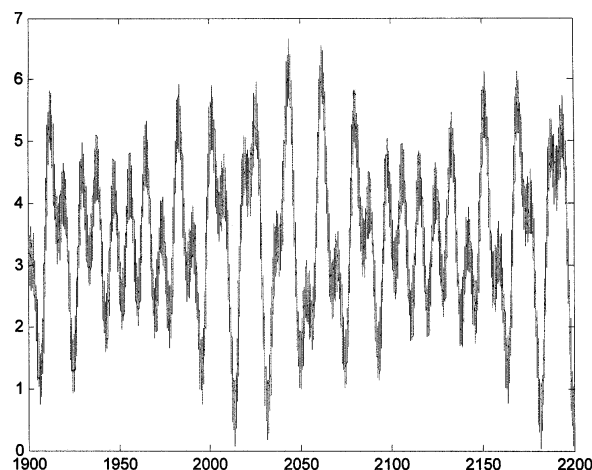


Рис. 5

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляр П. Е., Ким В. В. Положение полюса и сейсмическая активность Земли / РАН, Сиб. Отд-ние, Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии. – Новосибирск, 1994. – II, 123с.
2. <http://neic.usgs.gov/neis/epic>
3. Иванов Н. Ю. Действие приливообразующих сил в Солнечной системе // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Тез. докл. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2008.
4. Жаров В. Е. Сферическая астрономия. – Фрязино, 2006. – 480 с.
5. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с.
6. Проблемы солнечной активности. Под ред. Бумбы В. и Клечека И. Перевод с англ. М.: Мир, 1979. 267 с.
7. Svalgaard L. J. Geophys. Res. 77, 4027, 1972.
8. http://www.astronet.ru/db/moon/moontable.html?cur_year=2006&ph0=1&ph1=&ph2=1&ph3=

О ВЛИЯНИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ЦИКЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЗЕМНЫХ НЕДР

Иванов Н. Ю.

г. Воронеж, MixailMr@mail.ru

Рассмотрим движение Земли в системе Земля – Луна вокруг общего центра масс и вращение Земли вокруг собственной оси. Эти механические движения Земли нельзя рассматривать отдельно друг от друга. В данной работе исследуется их взаимодействие. С одной стороны, Земля представляет собой симметричный гироскоп, имеющий несвободное вращение по инерции. В приближенной теории гироскопа предполагается, что он быстро вращается вокруг оси динамической симметрии OZ (рис. 1), которая в свою очередь под действием приложенных к ней внешних сил медленно движется вокруг неподвижной точки O . Это движение оси гироскопа называется прецессией. С другой стороны, Земля в системе Земля – Луна должна вращаться вокруг оси центра масс MK (рис. 1), которая проходит в 4750 км от центра Земли. Данное движение можно представить как вращение несимметричного гироскопа (Земли) вокруг оси MK с периодом в сидерический месяц, равный 27,3 земных суток. На рис. 1 ось MK вращения центра масс системы Земля – Луна, является перпендикуляром к плоскости орбиты Луны, опущенным в точку C , находящейся на линии OO_1 , соединяющей центры Земли и Луны, на расстоянии $OC = 4750$ км от центра Земли. Начало системы координат XYZ совпадает с центром Земли в точке O , векторы X и Y расположены в плоскости экватора, а вдоль вектора Z направлен вектор L_0 – момент количества движения относительно оси OZ . Отрезок DC перпендикулярен оси OZ , а плоскость P , содержащая точки C и D , параллельна плоскости экватора и перпендикулярна вектору L_0 . Оценим величину соответствующих моментов количества движения Земли. Имеется в виду момент относительно

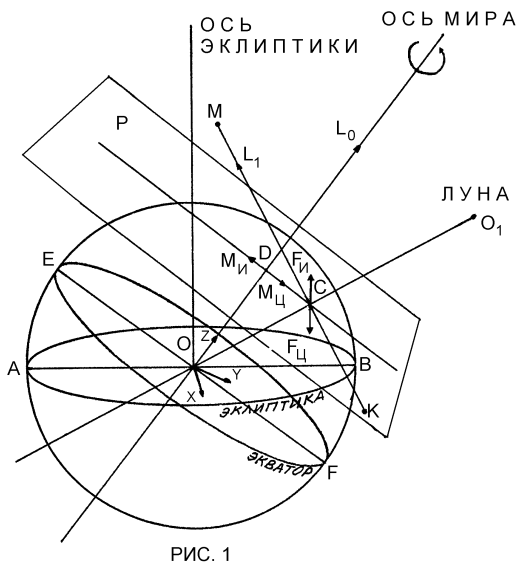


РИС. 1

оси OZ – L_0 (собственный момент количества движения симметричного гироскопа) и момент относительно оси МК – L_1 (момент количества движения Земли относительно центра масс системы Земля – Луна). Используя теорему Гюйгенса – Штейнера при вычислении момента L_1 , после несложных вычислений получим – $L_0 \approx 7 \cdot 10^{33}$ (кг*м²/с), $L_1 \approx 0,6 \cdot 10^{33}$ (кг*м²/с). L_0 превосходит L_1 более чем на порядок. В данном случае рассматривается одновременное движение двух гироскопов с моментами L_0 и L_1 в общем, твердом теле Земли. Если векторы L_0 и L_1 параллельны, то вращение вокруг соответствующих осей будет происходить независимо друг от друга. Если векторы не параллельны, то, в нашем случае, возникает соответствующий момент силы M_z , действующий на ось Z, стремящийся устранить препятствие для вращения оси МК. В этом и проявляется взаимодействие механических движений Земли. Сила F_z является силой противодействия вращению вокруг оси OZ со стороны оси МК. Для собственного вращения Земли вокруг оси OZ, F_z является внешней силой, так как ось МК движется в теле Земли, при обращении вокруг нее Луны.

F_z при движении Луны всегда будет находиться в плоскости P, параллельной экватору и проекция F_z на ось OZ будет равна 0. Это следует из того, что, являясь силой противодействия вращению вокруг оси OZ, F_z будет направлена противоположно силе инерции F_i вращения вокруг оси OZ. Для твердого тела, каковым в данном случае является Земля, вращение будет происходить только вокруг той оси, которая будет иметь большую величину абсолютного значения проекции момента количества движения на противодействующую ось, по сравнению с абсолютным значением величины момента количества движения противодействующей оси и соответственно абсолютное значение проекции момента количества движения противодействующей оси на действующую ось должно быть меньше абсолютного значения момента количества движения действующей оси. Для твердого тела выполнение данного условия означает невозможность одновременного вращения вокруг двух непараллельных осей. Для Земли, в отношении момента L_0 , данное условие выполняется. То есть, в точке C величина силы инерции F_i вращения вокруг оси OZ будет больше величины силы F_z и поэтому точка C будет вращаться вокруг оси OZ. Но такое вращение с той же угловой скоростью, как и у точки C, будут иметь все точки Земли, так как Земля является твердым телом. По аналогичной причине точка O не будет вращаться вокруг оси МК. Поэтому вращение Земли вокруг оси МК происходить не будет. Действие силы F_z , в отсутствии вращения вокруг оси МК, будет определяться проекцией этой силы на ось OZ и соответствующим моментом этой силы – M_z . Запишем уравнение для L_0 в проекции на ось Z для симметричного гироскопа из [1].

$$dL_0/dt = M_z (1)$$

где M_z – проекция на ось OZ момента M внешних сил, приложенных к гироскопу. В нашем случае $M_z = 0$. Это означает неизменность величины L_0 с течением времени. Поэтому скорость собственного вращения Земли есть величина постоянная. Так как $L_0 = J_z \cdot \omega$, где J_z – момент инерции Земли относительно оси OZ, ω – угловая скорость вращения Земли. В случае, когда величина M_z не изменна, ось Земли OZ будет совершать регулярную прецессию. Величина момента внешних сил M_z , действующего на ось OZ и лежащего в плоскости P, при движении Луны по орбите будет меняться от максимального значения в точках верхней и нижней кульминации до 0 в точках пересечения орбитой Луны плоскости экватора. Средняя величина M_z за период обращения Луны вокруг Земли не будет равной 0, потому что момент M_z всегда направлен в сторону орбиты Луны. Неравенство 0 средней величины M_z является причиной прецессии оси OZ. Возникнет уравновешивающий момент M_i , называемый гироскопическим моментом. Полумесячный период (имеется ввиду сидерический лунный месяц равный 27,3 земных суток) изменения величины M_z определяет так называемые нутационные колебания оси OZ или просто нутацию. Особенность данного периода нутационных колебаний в том, что он не связан с возмущениями орбиты Луны. Остальные периоды нутационных колебаний земной оси связаны с возмущениями орбиты Луны. Периоды в 18,6 и 9,3 лет возмущений орбиты Луны связаны соответственно с колебаниями плоскости лунной орбиты. Поэтому прецессия земной оси определяется движением Луны и ее можно назвать лунной прецессией. Нутационные колебания, за исключением одного периода, определяются возмущением орбиты Луны. Важным следствием взаимодействия механических движений Земли является движение по орбите вокруг Солнца центра Земли, а не центра масс системы Земля – Луна.

По современным представлениям большое влияние на собственный момент количества движения Земли оказывает приливообразующая сила Луны. Уменьшение скорости вращения Земли за счет действия прили-

вообразующей силы приводит к перераспределению моментов количества движения для Земли и Луны и расстояние между планетами увеличивается. Измерение расстояния между Луной и Землей за последние несколько десятков лет показывают, что в среднем за год увеличение расстояния составляет несколько сантиметров. Рассмотрим действие приливообразующей силы Луны, согласно рис. 1. Действие сил трения происходит в плоскости, параллельной плоскости P , так как эти силы являются силами противодействия для сил инерции вращения. В силу большой сложности определения величины сил трения в теле Земли и соответственно определения величины момента этих сил, предположим, что момент количества движения сил трения, обусловленных приливообразующей силой, приложен в точке, принадлежащей отрезку OC и по абсолютной величине не превышает значения $L1$. Тогда действие сил трения будет аналогично действию силы $F_{\text{ц}}$ и вызовет увеличение значения $M_{\text{ц}}$ и соответствующее увеличение гироскопического момента $M_{\text{и}}$. Кинетическая энергия системы Земля – Луна, а так же энергия сил трения, обусловленных действием приливообразующей силы затрачиваются в данном случае на создание гироскопического момента $M_{\text{и}}$, который противодействует моменту внешних сил. В случае регулярной прецессии ось OZ совершает равномерное вращение, так как равнодействующая всех сил на эту ось равна нулю. Направление вращения оси определяется вектором силы инерции собственного вращения.

Из приведенных выше рассуждений следует, что скорость вращения Земли за все время существования Земли и Луны не менялась, и, как следствие, не существовало перераспределения моментов количества движения между Луной и Землей – т. е. среднее расстояние между планетами было постоянным. Небольшое изменение расстояния между Луной и Землей, измеренное за последние несколько десятков лет, по мнению автора, является частью колебательного процесса, обусловленного инертностью процессов перераспределения моментов количества движения геосфер Земли.

Авторскому утверждению о неизменной скорости вращения Земли противоречит общеизвестный факт – вращение Земли замедляется в среднем более двух секунд на 100 лет. Выходом из этого противоречия, по мнению автора, является предположение о том, что в земных недрах происходит движение геосфер друг относительно друга. Поэтому имеет смысл говорить о замедлении вращения литосферы относительно звезд, а систему координат, связанную с Землей, располагать в мантии.

С движением геосфер в недрах Земли, под действием приливообразующей силы Луны, связано генерирование тепла. Основная масса тепла в литосфере выделяется не за счет сил трения жидкости и газов о твердую поверхность, а за счет торможения литосферных плит, относительно мантии. На границе мантия – внешнее ядро и границе внешнее – внутреннее ядро, помимо трения, обусловленного действием приливообразующей силы, имеется величина скачков плотности вещества, которые вызовут соответствующее увеличение приливообразующей силы. На границе мантия – внешнее ядро, нижняя граница слоя D'' представляет собой расплав, поэтому трение будет происходить между двумя жидкостями, и там ее сила не будет представлять большой величины. Остаются два наиболее существенных источника генерации тепла: первый – торможение литосферы относительно мантии, второй – торможение внутреннего ядра относительно внешнего. Можно оценить величину торможения. В [2], в разделе о западном дрейфе геомагнитного поля, говорится, что Y - составляющая перемещается со скоростью $0,202^\circ$ в год, которая есть не что иное, как скорость вращения ядра относительно оболочки. С другой стороны в [3] указано, что при просвечивании ядра Земли были измерены разности времен пробега волн PKP_{bc} и PKP_{df} по сейсмограммам 21 подземного ядерного взрыва на Новой Земле, зарегистрированные на станции Новолазаревская в Антарктиде. Полученные разности времен указывают на существование динамической неоднородности в верхней части внутреннего ядра, скорость движения которой составила более $5,7 \cdot 10^{-4}$ м/с, что дает скорость дифференциального вращения внутреннего ядра относительно Земли в целом $1,3 \pm 0,5$ град/год. Так как перемещение Y - составляющей геомагнитного поля представляет разность движение литосферы и внутреннего ядра относительно мантии, то среднее торможение литосферы относительно мантии составит $1,1 \pm 0,5$ град/год.

Силикатная мантия по своему составу сходна с составом стекол. По этому поводу, Любимова Е. А. В [4], высказывает предположение о возникновении дополнительного механизма переноса тепла в стеклах путем лучистого или радиационного теплообмена. Исследование оптических спектров показало, что полоса пропускания света для исследованных стекол приходится как раз на интервал энергий, соответствующих температурам $1500-1800^\circ \text{C}$. Существование такой полосы свидетельствует о возникновении лучистого теплообмена, при котором передача энергии осуществляется электромагнитными колебаниями. В данном случае лучистый теплообмен понимается как часть теплового потока идущего от медленно разогревающегося ядра к мантии. Автор полагает, что при достижении температуры в мантии, при которой возможен лучистый теплообмен, происходит «термическая разгрузка» земного ядра. Она происходит под воздействием внешних факторов – ударов о поверхность Земли больших метеоритов или проведения мощных подземных ядерных взрывов. Здесь особую роль играет слой D'' . Этот слой является своеобразным мантийным отстойником, с резко выраженной анизотропией химического состава, и с большой степенью вероятности он оптически непрозра-

чен. При нагревании слоя D» от земного ядра, к определенному моменту времени он будет расплавлен, и тогда упругие продольные волны от ударов метеоритов смогут разрывать слой D» на значительных площадях поверхности жидкого ядра. В самом жидком ядре упругие волны будут создавать новые инерционные потоки, которые будут выносить на границу с мантией большие градиенты температур. Они создадут мощные потоки лучистой энергии, направленные от ядра через всю мантию до границ литосферы. Энергетическая светимость, пропорциональная четвертой степени термодинамической температуры тела, будет увеличена, по мнению автора, гигантским давлением земных недр. Ключевым моментом в данном процессе является поведение астеносферы при периодических «термических разгрузках» ядра. В принципе имеет смысл говорить о взаимодействии тепловых источников внутри Земли. При быстрой «термической разгрузке» ядра, мантия, сохранившая тепло, будет медленно охлаждаться. Уменьшение теплового потока достигнет астеносферы через время порядка 150-200 миллионов лет. Вязкость астеносферы будет увеличиваться, что приведет к торможению литосферных плит. В свою очередь, при торможении будет выделяться энергия, которая будет уменьшать вязкость астеносферы, что приведет к ускорению движения. При этом процессе торможения – ускорения литосферных плит в астеносфере будет выделяться энергия, значительно большая той, которая была до падения температуры в мантии. Процесс торможения – ускорения литосферных плит будет длиться примерно те же 150-200 миллионов лет. Потом произойдет полная остановка всех литосферных плит. Астеносфера полностью деградирует. Этот процесс займет примерно то же время. Оживление астеносферы произойдет тогда, когда придет тепло из мантии, которая в свою очередь получит тепло от медленно нагревающегося ядра. Начнется движение литосферных плит, и с его завершением, мы возвратимся к стационарному режиму тепловых источников внутри Земли, который заканчивает очередной цикл Вильсона. Циклам Бертрона соответствуют фазы состояния астеносферы. Циклы Штилле будут проявляться при движении отдельных литосферных плит при торможении или ускорении. «Сборка» и «разборка» континентов объясняется наличием силы Кориолиса при движении литосферы относительно мантии. Значительно упрощается описание геомагнитного поля, потому что отпадает необходимость в объяснении инверсий и экскурсов за счет внутренних причин. Если предположить, что твердое ядро является магнитом, то мы получим генерацию магнитного поля за счет действия приливообразующей силы и инерционных потоков в жидком ядре. Разница между инверсией и экскурсом магнитного поля будет состоять в следующем – при инверсии поля произойдет переполюсовка постоянного магнита, каким является твердое ядро от мощного удара метеорита, а при экскурсе магнитного поля этого не случится.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булгаков Б. В. Прикладная теория гироскопов. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1976. 400 с.
2. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л.: ЛГУ, 1978. 590 с.
3. Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГГГН РАН» №1 (16) 2001, с. 36-40. Отчет института динамики геосфер РАН. URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2001/results_2000.idg.pdf
4. Любимова Е. А. Термика Земли и Луны. М.: Наука, 1968. 278 с.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ КАРЕЛЬСКОГО КРАТОНА И СВЕКОФЕННСКОГО АККРЕЦИОННОГО ОРОГЕНА (территория России)

Ивашенко В.И., Лавров О.Б., Кондрашова Н.И.

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г.Петрозаводск, ivashche@krc.karelia.ru

Свекофеннский аккреционный ороген (пояс, домен), представляющий собой область новообразованной раннепротерозойской коры, сложен преимущественно комплексом пород ювенильного происхождения, где практически полностью отсутствуют признаки архейской коры [2]. Тектоническая обстановка формирования свекофеннид, как предполагается [4, 9, 11], отвечала условиям активной континентальной окраины. Граница между Свекофеннским аккреционным орогеном и архейским Карельским кратоном для территорий России и Финляндии выделяется как Раахе-Ладожская сутурная зона, протягивающаяся в Северную Швецию (зона Лулеа-Иокммокк) и Норвегию (зона Феуске-Буде). Еще в 70-е годы XX века Раахе-Ладожская структура считалась основоопределяющей для идентификации зоны сочленения свекофеннид с архейским кратоном и ей придавалось важное металлогеническое значение [10, 12]. Она характеризовалась как множественная совокупность протяженных складок и разломов северо-западного простирания, отражающихся в гравиметрических полях [8]. По другим геофизическим данным [3] рассматриваемая структура представляется как сдвинутая в целом на северо-восток призма, в пределах которой широко проявлены зоны сдвиговых дислокаций раз-