

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЛИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ–ЛУНА И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В ГЕОДИНАМИКЕ

Ю.Н. Авсюк

Институт физики Земли РАН, Москва

avsyuk@ifz.ru

В проблеме эволюции небесных тел достаточно отойти от точечных размеров, приписать телам их конкретные размеры и не считать слагающую их материю идеальной (идеально упругой, идеально текучей, абсолютно жесткой). При таком описании в баланс энергии помимо кинетической энергии орбитального движения T и потенциальной энергии гравитационного взаимодействия U войдут характеристики энергии осевого вращения небесных тел и энергия взаимодействия между частицами, слагающими эти тела. Неидеальность их внутреннего строения позволит рассматривать тепловые потери. Таким образом, появится небольшой «сток энергии», превращения ее в тепло на каждом обороте осевого вращения (пропорцию такого «отчисления» оценивают обычно через коэффициент добротности Q , разный для разных материалов).

Если исследуемое тело представить не как точку, а как ансамбль частиц $M_0 = \sum_1^n \delta m$, имеющий конкретные геометрические размеры, то вектор силы взаимодействия частицы δm с внешним телом массы M_1 $F = f \frac{M_1 \delta m}{\rho_1^3} \bar{\rho}_1$ не будет коллинеарен с вектором абсолютного ускорения \bar{a}_0 исследуемого тела. Т.е. из каждой силы, приложенной к каждой частице, определенная часть идет на формирование ускоренного движения ансамбля, т.е. на формирование \bar{a}_0 , а часть расходуется на нагружение сил связи между частицами. Эта часть в терминологии Деламбера носит название «потерянные силы». При гравитационном взаимодействии потерянные силы – суть приливные силы.

В каждой приливной силе есть кеплеровская часть, которую вычисляют, считая движение невозмущенным, но также есть и возмущенные члены, которые приводят в соответствие идеализацию с реальным движением исследуемого тела.

Так, высказанное великим химиком С. Аррениусом предположение, что Марс – прошлое Земли, Земля – наша современность, Венера – будущее Земли может быть поставлено под сомнение. Эволюция планеты с массивным спутником должна быть отлична от эволюции планеты без спутников и планеты со спутниками, имеющими малые массы, из соображений различия модуля приливных сил и их изменений по ходу эволюции размера орбиты. Действительно, у планеты без спутника (Венеры) эволюция пошла по одной ветви, у планеты с массивным спутником (масса Луны составляет 1/81 от массы Земли) эволюция пошла по другой ветви. И суть ветвления обусловлена нелинейными членами, на которые на первых этапах исследований обращалось мало внимания. Схема приливной эволюции системы Земля–Луна без расширения исходных предпосылок дает объяснение основным геодинамическим процессам, имевшим место в геологической истории Земли. Очень важно, что проявление хода эволюции в различных процессах допускает оценку энергетических затрат, а, следовательно, намечает их соподчиненность и взаимосвязанность.

По приливной эволюции системы Земля–Луна написаны статьи, монографии (Каула 1971; сб. *Приливы и...*, 1975; Сорохтин, Ушаков 1991). В этих работах не было обращено достаточного внимания на нелинейные эффекты. Детали хода процесса эволюции в этих работах не раскрыты из-за использования суперпозиции приливного влияния Луны и Солнца и линейной экстраполяции

изменения параметров системы во времени. Возмущение орбитального движения Земли (равное градиенту поля Солнца, умноженному на расстояние между центром Земли и центром масс Земля–Луна) по модулю составляет $F_B=19 \times 10^{-6} \text{ см/с}^2$, величина одного порядка с невозмущенными членами приливного воздействия Луны и Солнца $F_{\text{нв}}$, которые оцениваются как $58 \times 10^{-6} \text{ см/с}^2$ и $25 \times 10^{-6} \text{ см/с}^2$ соответственно. Значения $F_{\text{нв}}$, F_B и сумма $F_{\text{нв}}+F_B$ для различных расстояний Земля–Луна приведены на рис. 1.

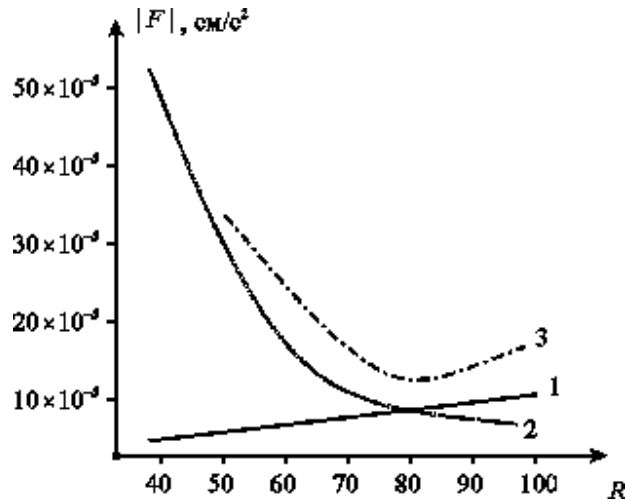


Рис.1. Изменение модуля невозмущенной $F_{\text{нв}}$ (2), возмущенной F_B (1) частей приливной силы и суммы $F_{\text{нв}}+F_B$ (3), с изменением расстояния r между Землей и Луной (в радиусах Земли R)

Тенденция хода суммарного значения отличается от хода $F_{\text{нв}}$; с некоторого расстояния оно перестает быть монотонно убывающим, появляется перегиб, где уменьшение модуля сменяется его постепенным ростом, что можно рассматривать как качественную предпосылку реализации колебательного режима. Этот режим приливной эволюции Земли сопоставлен с цикличностью глобальных природных процессов, обзор описания которых приводится в докладе (Авсюк 1996).

Так, например, древние оледенения – одни из наиболее ярких событий истории Земли, и на них можно закрепить каркас схемы приливной эволюции, считая в эти моменты, соответствующие сближению Луны с Землей для расстояния порядка $55R$, угол наклона экватора к эклиптике минимальным ($\alpha \sim 17^\circ$). Жаркие климаты занимают по времени промежуточные положения между глобальными оледенениями. Фации черных сланцев являются показателем бескислородных событий, приуроченных к времени жаркого климата. Их приуроченность к раннему тоару (170 млн. лет), среднему девону находится в соответствии со следствиями схемы, эти периоды приходятся на $\alpha \sim 30^\circ$.

Согласно развиваемой схеме эволюционное изменение наклона экватора может рассматриваться как длиннопериодное изменение климата. На этот медленный ход могут накладываться короткопериодные вариации, связанные с эксцентриситетом орбиты и прецессией времен года, которую рассмотрел Миланкович при обсуждении плейстоценовых оледенений. Напомним, что для объяснения изменений климата было создано несколько взаимоисключающих гипотез. Это гипотеза углекислоты Аррениуса, гипотеза солёности Кларка, гипотеза Брукса–Рамзея, гипотеза вулканического пепла Брукса, гипотеза «колебаний» Солнца от «желтой» к «красной»; прохождение через межзвездную пыль Хойла и Литтлтона. Во всех этих гипотезах природа цикличности остается необъясненной.

Схема эволюции в среднем предусматривает противоположные тенденции движения гидросферы высоких и низких широт: если в высоких широтах – регрессия, то в низких – трансгрессия и

наоборот. Согласно схеме эволюции системы Земля–Луна ось вращения изменяет свое положение, изменяется и модуль скорости вращения. Вода, как уже говорилось, довольно быстро реагирует на эти изменения; твердый материал, образующий кору и мантию, находится в динамически поддерживаемом напряженном состоянии. При медленных перемещениях оси вращения и малых приращениях скорости вращения, что имеет место при прохождении положений наибольшего сближения и наибольшего удаления Луны относительно Земли, характерное время изменения напряженного состояния τ_1 может быть больше времени τ_2 релаксации напряжений в породах. На этих этапах эволюции снятие напряжения может реализовываться медленной перестройкой упаковки пород без больших разрушений. При быстром изменении режима вращения Земли, на схеме это прохождение Луной среднего положения, характерное время короче периода релаксации ($\tau_1 - \tau_2$), породы могут испытывать излом, надвиги, что-то подобное торошению льда. Используя критерий $\tau_1 < \tau_2$, можно наметить интервалы, благоприятствующие возникновению надвиговых образований. Окончание одного интервала от начала другого интервала будет отстоять на 40-60 млн. лет. Схема предусматривает цикличность, когда периоды относительного спокойствия сменяются периодами активизации.

Таким образом, нелинейные эффекты геодинамики проявляются в реализации хода приливной эволюции. Нелинейная геодинамика выступает в качестве соединительного звена геологии со сравнительной планетологией и с небесной механикой.

Благодарю за подготовку тезисов З.П. Светлосанову и И.И. Суворову.

Список литературы

Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.

Каула У. Введение в физику планет земной группы. М.: Мир, 1971. 536 с.

Приливы и резонансы в Солнечной системе. М.: Мир, 1975. 286 с.

Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М.: Изд-во МГУ, 1991. 446 с.