

УДК 550.318

О влиянии астрономических факторов на динамику литосферных плит

А.И. Дмитроца, Н.Н. Горькавый, Л.С. Левицкий, Т.А. Тайдакова

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 18 декабря 2006 г.

Аннотация. Предложена концепция литосферы Земли как геокосмической системы подвижных литосферных плит, подверженной влиянию внешних астрономических воздействий (солнечной радиации, приливов), так и планетарных факторов – атмосферы, гидросферы и течениям в мантии. Показано, что годовой период сейсмической активности имеет очевидное космическое происхождение, связанное с сезонной периодичностью поступающей солнечной радиации в северную и южную полусферы Земли. В качестве передатчика годовой периодичности к литосферным плитам может выступать атмосфера.

Сформулированная концепция литосферы позволила выдвинуть проверяемые предположения о динамических особенностях взаимосвязи атмосферы и литосферы. Эти гипотезы составляют основу для дальнейшей программы исследований литосферы Земли как геокосмической системы.

INFLUENCE OF ASTRONOMICAL FACTORS ON LITHOSPHERIC PLATE DYNAMICS, *by Dmytrotsa A.I., Gor'kaviy N.N., Levitsky L.S., Taydakova T.A.* Conception of the Earth's lithosphere as a geocosmic system of mobile lithospheric plates affected as by external astronomical influences (solar radiation, tides), as by planetary factors – atmosphere, hydrosphere and mantle convection is proposed. It is shown that the annual period in seismicity has clearly cosmic origin based on seasonal periodicity of solar radiation in north and south hemispheres. Atmosphere can be the translator of annual period to tectonic plates. The new concept of lithosphere led us to hypotheses about dynamical relationship between atmosphere and lithosphere. These hypotheses is the base for the next level of the research program of the Earth's lithosphere as a geocosmic system.

Ключевые слова: сейсмичность, литосферные плиты, атмосфера

1 Введение

Теоретические и статистические исследования, выполненные нашей группой в 1994-2006 гг., позволили получить ряд важных и интересных результатов о сейсмичности и динамике литосферных плит.

1. Подробно изучена связь между сейсмичностью Земли и неравномерностью её вращения вокруг оси (Горькавый и др., 1994а, 1994в, 1999а). При ускорении или замедлении вращения возникают дополнительные напряжения в литосфере, которые могут приводить к возрастанию сейсмической активности. Оцененная величина изменения энергии вращения даже всего лишь 30-ти

километрового слоя, вызванная вариациями продолжительности суток, на два порядка превосходит суммарную энергию всех землетрясений, произошедших за это же время (Горькавый и др., 1989).

Связь между сейсмичностью Земли и её вращением рассматривалась многими авторами (Стойко, 1952; Кропоткин, Трапезников, 1963; Хомутов, 1991, 1993). Наш подход отличается тем, что в качестве параметра вращения Земли впервые взят модуль первой производной угловой скорости, а рассматриваемое количество землетрясений неизмеримо больше – свыше 130 тысяч за 27 лет (1964-90 гг.). В качестве базы данных был взят каталог Национального информационного центра по землетрясениям Геологической службы США (Нац. Инф. Центр, 1928-1990). Изучение проводилось методом корреляции между годовыми числами (количествами) землетрясений и среднегодовыми значениями угловой скорости и модуля её производной.

Выполненные исследования позволили сделать уверенный вывод о связи модуля ускорения суточного вращения Земли с глобальной сейсмической активностью. Корреляция прослеживается по всем типам сейсмоактивных регионов: зонам спрединга (места расширения океанического дна в срединно-океанических хребтах, где рождается новая кора), субдукции (места столкновения двух литосферных плит с погружением одной плиты под другую), внутриплитовым землетрясениям и др. Коэффициент корреляции достигает максимальной величины (вплоть до $Q \approx 0.8$) в слое с глубиной 70-125 км – землетрясения "контактной зоны" (Горькавый и др., 1999а).

2. Исследование вариаций годовых чисел (количеств) землетрясений с различными магнитудами для отдельных регионов и всей Земли в целом позволило выделить (на фоне глобальной составляющей сейсмической активности) меньшую по амплитуде асимметричную компоненту северного и южного полушарий, характеризующуюся ростом активности в одном полушарии при одновременном спаде в другом, и наоборот (Горькавый и др., 1994б). Характерное время колебаний 2-3 года. Более детальный анализ (Горькавый и др., 1999б) показал, что, в отличие от глобальной составляющей, которая наиболее отчетливо проявляется для сильных землетрясений с магнитудами $M \geq 5.5$ и, по-видимому, тесно связана с неравномерностью суточного вращения, эта компонента, наоборот, лучше видна для более слабых толчков с $M < 5.5$ и определяется асимметрией сейсмичности между двумя активными разнонаправленными зонами субдукции. Одна из них лежит преимущественно в южном полушарии и тянется от Гималаев до Фиджи. Вторая располагается практически полностью в северном полушарии – от Камчатки до Филиппин. Этот феномен северо-южной асимметрии (отрицательной корреляции) максимален на глубинах $D \approx 70 - 120$ км, а на глубинах $D > 400$ км полностью исчезает и превращается в положительную корреляцию.

3. Применение спектрального анализа (преобразования Фурье) к суточным числам (количествам) землетрясений с различными магнитудами позволило с высокой степенью достоверности обнаружить и детально изучить годовую периодичность сейсмической активности (Горькавый и др., 2000, 2002, 2003, 2006). Показано, что период с $P = 1$ год наблюдается лишь для относительно слабых землетрясений с $M < 5.0$. Это может означать, что время подготовки (накопления энергии) таких землетрясений порядка года.

Уровень значимости (достоверности) годового периода обнаруживает два отчетливых максимума: для гипоцентров с глубинами $D = 1 - 60$ км, где происходит подавляющее число рассматриваемых толчков с $\sigma = 3.0 - 4.7$ ($\approx 64\%$) и $D = 90 - 140$ км, где возникает всего лишь 8.5% таких событий. Второй максимум наиболее примечателен: приблизительно для этих же глубин обнаружен максимальный коэффициент корреляции между годовыми числами сильных землетрясений и среднегодовыми значениями модуля ускорения суточного вращения Земли (Горькавый и др., 1999а). Здесь же максимален и коэффициент отрицательной корреляции (Горькавый и др. 1999б).

Годовой период лучше всего выражен на средних широтах ($\varphi \approx 38^\circ - 61^\circ$) в обоих полушариях. Это справедливо лишь для мелкофокусных землетрясений ($D \leq 60$) км, которых большинство. Для более глубоких толчков период $= 1$ год лучше проявляется на низких широтах.

Обнаружена северо-южная асимметрия годового периода: колебания в северном и южном полушариях происходят почти в противофазе с максимальным числом толчков в местный зимне-весенний сезон. Эта северо-южная асимметрия наблюдается для всех широт и глубин гипоцентров. Наибольшая разность фаз имеет место для средних широт: здесь максимальное число толчков

происходит в местный весенний сезон.

Не найдено зависимости фазы годовой волны от географической долготы.

Годовой период имеет место и для отдельных литосферных плит и разных типов их границ. Все характерные свойства этого периода также сохраняются. Лучше всего он проявляется для внутриплитовых землетрясений (Горькавый и др., 2006).

Мы считаем маловероятным, что причиной годовой вариации в сейсмичности является солнечный прилив. Если бы это было так, то в спектрах мощности должна бы наблюдаться линия с $\tau = 0.5$ года и с амплитудой больше чем амплитуда пика $\tau = 1$ год. Однако в наших спектрах мощности линии с полугодовым периодом нет.

2 Сейсмическая активность и движение литосферных плит

В настоящее время считается общепризнанным, что тектонические коровые землетрясения – это быстрое (сейсмическое) разрушение (сдвиг по разрыву) горных пород под действием сдвиговых упругих деформаций, накопленных этими породами. Причиной накопления упругих деформаций в некотором объёме горных пород является различие в скоростях движения смежных блоков земной коры. Когда накопленные упругие деформации достигнут предела прочности пород, происходит быстрая подвижка упругодеформированных частей литосферных блоков. Таким образом освободится накопленная энергия. Волны, порожденные этим внезапным движением отдачи, и называются землетрясениями (Эйби, 1982).

Подавляющее большинство землетрясений происходит на границах литосферных плит. Плиты постоянно движутся относительно друг друга. Большая часть тектонических процессов с интенсивным обменом энергией действует на границах плит. Но и внутри плит главный источник напряжений предполагается связанным с силами, вызывающими движение плит, хотя многие другие механизмы могут также вносить вклад в региональные поля напряжений (Сейферт, 1991). В связи с этим вариации сейсмической активности год от года и внутри года наводят на мысль, что накопление и разрядка упругих напряжений должны вызываться переменными силами или процессами, связанными с движением литосферных плит.

От чего может зависеть скорость накопления упругих деформаций в тектоническом разломе на протяжении месяцев или лет? Возможны несколько причин:

- неравномерность скорости движения литосферных плит относительно друг друга;
- изменчивость трения между плитами, например, из-за зазубрин, неровностей или неоднородностей;
- неравномерность давления между плитами (степени прижатия их друг другу).

Распространено мнение, что процессы такого рода должны управляться внутренними планетарными факторами, такими как мантийная конвекция. Трудно представить, что тонкая и разреженная атмосфера может вмешиваться в движение литосферных плит – гораздо более толстых и намного порядков более массивных. Тем не менее, рассмотрим процессы взаимодействия атмосферы-литосферы детальнее.

3 Сезонные вариации углового момента импульса атмосферы – вероятная причина годового периода в сейсмичности

Годовой период атмосферных процессов имеет очевидное астрономическое происхождение, связанное с сезонными колебаниями энергии солнечного излучения, получаемого различными полушариями Земли. Как же годовой период из газообразной тонкой атмосферы может быть “передан” массивной твердой литосфере? Как убедительно показано и рассчитано Варом и Оортом (Вар, Оорт, 1984; Оорт, 1989), существует два главных фактора эффективного переноса момента между атмосферой и литосферой-гидросферой: трение и перепад давления на разных сторонах горных хребтов.

Атмосфера вращается как твердое тело вместе с Землей и, кроме того, движется относительно земной поверхности. Поэтому ее абсолютный момент импульса \mathbf{H} будет суммой двух слагаемых (приводимые ниже сведения взяты из книги Сидоренкова, 2002):

$$\mathbf{H} = \int_A \mathbf{r} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \rho dV + \int_A \mathbf{r} \times \mathbf{u} \rho dV. \quad (1)$$

Здесь \mathbf{r} – радиус-вектор рассматриваемого элементарного объема dV атмосферы, проведенный из центра Земли; $\boldsymbol{\omega}$ – вектор угловой скорости вращения Земли; \mathbf{u} – вектор скорости ветра; ρ – плотность воздуха; A – объем всей атмосферы. Первое слагаемое есть переносной момент импульса атмосферы \mathbf{H}_Ω . Он возникает из-за того, что атмосфера вращается вместе с Землей как твердое тело с угловой скоростью $\boldsymbol{\omega}$. Второе слагаемое называется относительным моментом импульса атмосферы \mathbf{h} , который характеризует движение воздуха относительно земной поверхности, т. е. ветер. Поэтому его часто называют моментом импульса ветров.

Изменения абсолютного момента импульса атмосферы возникают из-за вариаций ее компонентов тензора инерции (в результате перераспределения воздушных масс) и колебаний компонентов относительного момента импульса (флуктуаций ветров).

При отсутствии солнечной радиации атмосфера покоилась бы относительно поверхности Земли, но вращалась бы вместе с Землей как твердое тело. Неравномерное нагревание атмосферы солнечными лучами приводит к меридианальным течениям и макротурбулентному перемешиванию воздуха. Происходит перенос момента импульса воздуха от низких широт к умеренным и высоким. Воздух в своем вращении вокруг оси на этих широтах начинает обгонять поверхность Земли, появляются западные ветры. В низких широтах, наоборот, момент импульса убывает, воздух отстает от вращения Земли, возникают восточные ветры.

Проекция его (h_3) на ось вращения Земли называется полярным (угловым) моментом импульса атмосферных ветров. Она определяется скоростями зональных (осредненных по долготе) ветров. В атмосфере преобладают зональные движения, поэтому величина h_3 в сотни раз превышает другие компоненты. Чем больше значение h_3 , тем сильнее западные и слабее восточные ветры. Поскольку момент инерции атмосферы относительно оси вращения Земли меняется мало, то величина h_3 в первом приближении определяет угловую скорость вращения атмосферы как твердого тела относительно земной поверхности.

При появлении ветров возникают силы трения, стремящиеся ослабить ветер. Момент сил трения производит приток момента импульса от Земли к атмосфере в зонах восточных ветров и сток момента импульса от атмосферы к Земле в зонах западных ветров. Зоны западных ветров расположены ближе к оси вращения Земли, чем зоны восточных ветров. Из-за этого при одной и той же скорости ветра в зонах момент сил трения восточных ветров больше момента сил трения западных ветров, т.е. в атмосферу притекает момент импульса от Земли больше, чем стекает. Скорости западных ветров из-за этого растут. Они растут до тех пор, пока не выравняются по абсолютному значению сток и приток момента импульса. Это стационарное состояние достигается только при некотором накопленном в атмосфере моменте импульса, который отнимается от Земли.

Сезонная неравномерность вращения Земли обусловлена главным образом сезонными изменениями момента импульса зональной циркуляции атмосферы h_3 . При увеличении h_3 скорость вращения Земли замедляется, а при уменьшении – ускоряется. Происходит перераспределение момента импульса между Землей и атмосферой. Суммарный же момент импульса системы Земля + атмосфера не меняется.

Вблизи земной поверхности в низких широтах господствуют восточные ветры, а в средних и высоких широтах – западные. Смена знака зональных ветров происходит в так называемых “конских широтах” (вблизи 30° широты в обоих полушариях) – здесь располагаются зоны штилей (рис. 1). Этот график находится в удивительном согласии с рис. 2, который отображает совсем другой процесс – сейсмическую активность. В обоих случаях максимальный эффект приходится на средние широты (здесь же наблюдаются наибольшие амплитуды сезонных вариаций скорости ветра на уровне земной поверхности), а в зоне минимальных ветров ($\varphi \approx 30^\circ$) отсутствует и годовой

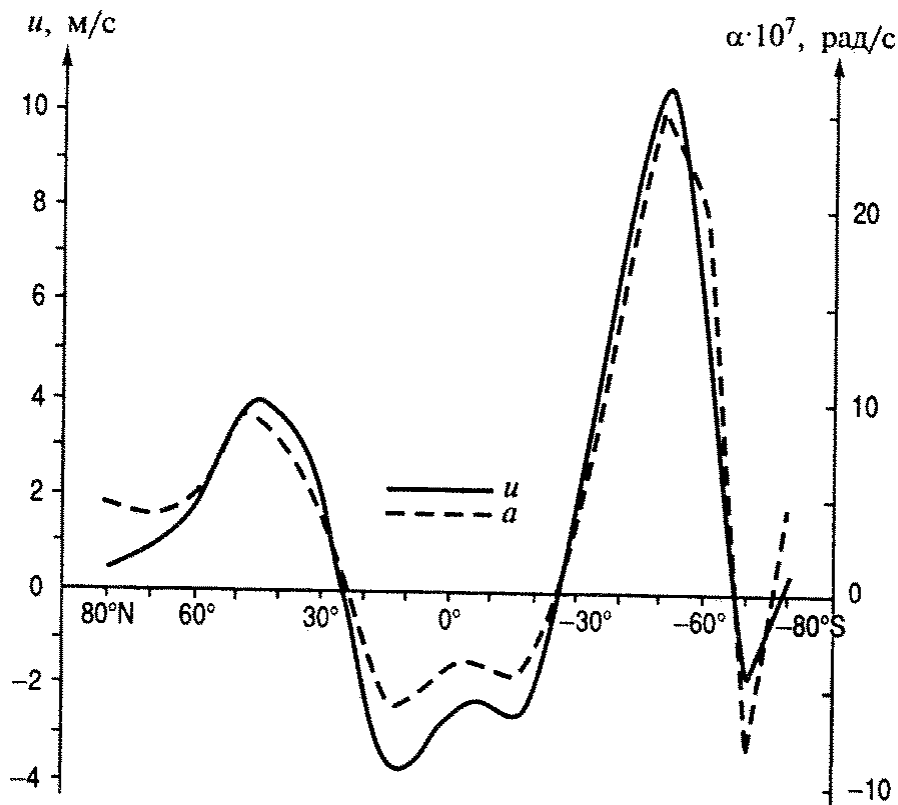


Рис. 1. Изменение с широтой среднегодовой скорости зонального ветра (u) и угловой скорости (α) вращения атмосферы относительно земной поверхности на уровне 850 гПа. Рисунок взят из (Сидоренков, 2002)

период в сейсмичности. Небольшое повышение значимости $\tau = 1$ год на низких широтах совпадает с зоной восточных ветров.

Среднегодовые значения момента h_3 северного полушария составляют 56×10^{24} , а южного – 88×10^{24} кг м²с⁻¹. Это означает, что среднегодовая интенсивность зональной циркуляции в северном полушарии на 36% меньше, чем в южном. Однако амплитуда годовых колебаний h_3 в северном полушарии на 67% больше, чем в южном. В северном полушарии она равна 57×10^{24} , а в южном – только 34×10^{24} кг м²с⁻¹. Это несоответствие обусловлено значительно большей континентальностью северного полушария. Колебания находятся в противофазе и в значительной степени компенсируют друг друга. Однако полной компенсации не происходит. В результате имеются сезонные колебания момента импульса атмосферы. Они и вносят основной вклад в сезонные колебания скорости вращения Земли (Сидоренков, 2002). Отметим также, что атмосфера в целом вращается с запада на восток быстрее, чем Земля. Это явление называется суперротацией атмосферы.

На основании суточных значений h_3 за 1964-90 гг. нами построены средние кривые (фазовые диаграммы) годовой вариации углового момента импульса атмосферы отдельно для северного и южного полушарий Земли (рис. 3). Максимальные значения h_3 в северном полушарии приходятся на январь-февраль, а минимальные – на июль-август. Максимальное же число толчков с $\tau = 3.0-4.7$ в этом же полушарии происходит в марте-апреле, а минимальное – в октябре (рис.3), т.е. наблюдается запаздывание сейсмической активности на 2-3 месяца. Аналогичная картина наблюдается и для

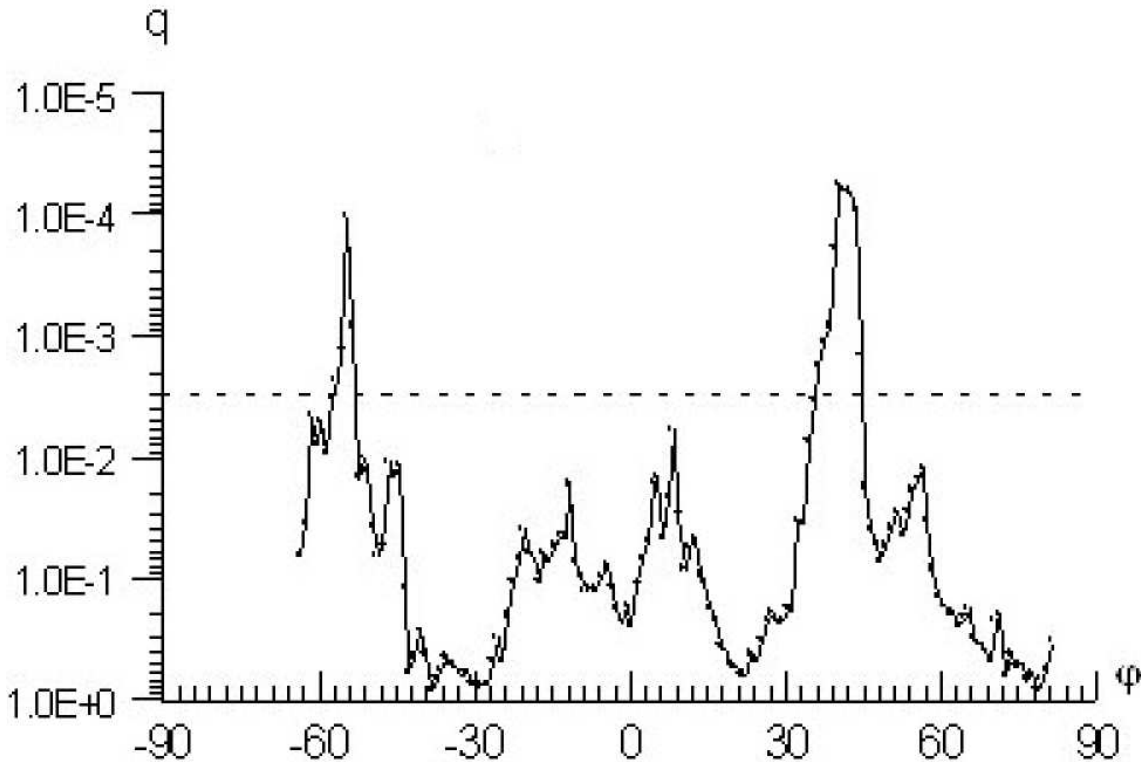


Рис. 2. Статистическая значимость (q) годового периода в сейсмичности (для землетрясений с магнитудами $M=3.0-4.7$ и глубинами гипоцентров $D \leq 60$ км за 1964-90 гг.) в зависимости от географической широты (φ)

южного полушария.

Средняя мощность источников энергии движений в атмосфере $\approx 2 \cdot 10^{15}$ Вт. Это составляет $\sim 2\%$ от солнечной энергии, поглощаемой Землей (Куликов, Сидоренков, 1977). Большая часть энергии ветров приходится на средние широты.

В тоже время средняя мощность (при усреднении за год) всех землетрясений $\approx 3 \cdot 10^{11}$ Вт. Годовой период в сейсмической активности наблюдается лишь для относительно слабых землетрясений ($M < 5.0$), а амплитуда модуляции (по отношению к среднему значению числа таких землетрясений за год) составляет $\approx 15\%$. Оценка средней мощности (за год) амплитудной модуляции дает $\approx 10^5$ Вт, что на десять порядков меньше, чем мощность рассматриваемого атмосферного процесса. Конечно, мы не знаем КПД превращения атмосферной энергии в сейсмическую. Тем не менее, годовые изменения h_3 вызывают ускорения и замедления осевого вращения Земли с таким же периодом, а для этого требуется мощность $\approx 10^{14} - 10^{15}$ Вт (Сидоренков, 2002).

Атмосферное давление совсем иначе зависит от географической широты. Главной особенностью в распределении зонального атмосферного давления у земной поверхности являются ярко выраженные субтропические максимумы (вблизи 35° с.ш. и ю.ш.), от которых давление убывает при движении как к экватору, так и к полюсам. Средняя разность давлений между $\varphi = 35^\circ$ и экватором составляет $\sim 6-8$ гПа. На субтропических широтах наблюдается также и наибольшая амплитуда сезонных вариаций (~ 7 гПа): давление максимально в январе для северного полушария и в июле – для южного (Стехновский, 1962).

Механическое воздействие атмосферных ветров на земную кору в тангенциальном направлении осуществляется посредством сил трения воздуха о подстилающую поверхность и сил давления на отдельные неровности земной коры (горные хребты). В нормальном (радиальном направлении)

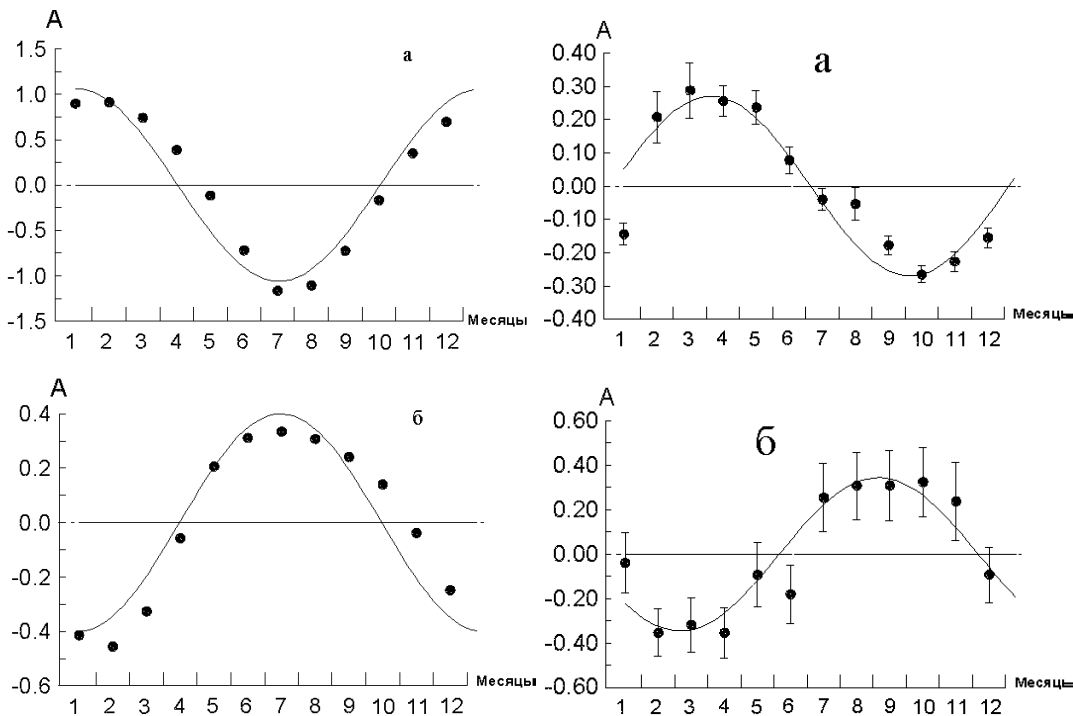


Рис. 3. Средние кривые (фазовые диаграммы) годового периода для углового момента атмосферы (слева) и сейсмичности (справа) для землетрясений $M=3.0-4.7$ возникших на средних широтах ($\varphi \approx 38^\circ - 61^\circ$) за 1964-90 гг.; (а) – для северного полушария и (б) – для южного. Амплитуды и фазы гармонических кривых определены из спектров мощностей. Вертикальные линии – среднеквадратичные ошибки

силы атмосферного давления индивидуально действуют только на континентальные литосферные плиты. Нормальная сила атмосферного давления на океанические литосферные плиты везде одинакова. Происходит это в результате эффекта “обратного барометра”. Изменение атмосферного давления в океане компенсируется уровнем водной поверхности таким образом, что давление на дно океана остается приблизительно постоянным (Сидоренков, 2002). В результате эффект силы трения и тангенциального компонента сил атмосферного давления преобладает над эффектом нормального компонента сил атмосферного давления.

На основании сравнения феноменологических характеристик и энергетических оценок мы считаем, что сезонные вариации полярного момента импульса атмосферы могут быть причиной годовых колебаний в частоте следования слабых (< 5.0) землетрясений.

Сезонные вариации атмосферы (посредством изменения давления, тангенциального действия ветра на сушу и влияния на океанические течения) могут вызывать годовые колебания литосферных плит с максимальной амплитудой качаний на севере и юге и минимально – на экваторе. Эти сезонные смещения плит должны вызывать соответствующие сезонные вариации сейсмичности. Из-за передачи импульса через океан и огромной инерции смещения литосферных плит будут запаздывать по сравнению с изменениями атмосферы, и это может объяснить наблюдаемое 2-3-месячное запаздывание годового периода сейсмичности по отношению к атмосферным сезонным периодам.

Обычно принимается, что литосферные плиты движутся равномерно. Измеренные относительные скорости плит в среднем равны $\approx 3-4$ см/год, хотя в некоторых районах вблизи экватора (в зонах спрединга и субдукции) могут достигать 10 см/год (Сейферт, 1991). Если вариации сейсмической активности (год от года и внутри года) вызываются неравномерностью скорости движения плит, то можно оценить эту неравномерность. Сделанные оценки (Горькавый и др., 2004, 2005а) показали, что внутригодовые колебания скорости плит составляют $\pm(0.5 -$



Рис. 4. Диаграмма предлагаемой концепции взаимосвязи сейсмических и литосферных феноменов

0.6) см/год. Эта оценка находится в близком соответствии (по фазе и величине) с обнаруженной недавно (Титов и др., 2004) годовой вариацией относительных смещений станций наблюдений по прямым измерениям при помощи РСДБ, GPS-приёмников и лазерной локации спутников.

Оцененные межгодовые колебания скорости плит в большинстве случаев незначительны и близки к нулю, но временами могут достигать $\approx 1.0 - 1.5$ см/год (Горькавый и др., 2005б).

В дальнейшем предполагается на основе имеющихся в нашей обсерватории данных о движении нашей станции (по измерениям координат при помощи GPS-приемников и РСДБ) провести работу по определению возможной неравномерности этого движения внутри года и год от года.

Таким образом, атмосфера может играть ключевую роль в вариациях сейсмической активности. Поэтому общепринятая концепция литосферы как системы дрейфующих литосферных плит, разделенных зонами спрединга и субдукции, должна быть дополнена ключевым понятием “неравномерность движения” (или взаимодействия) плит, которая тесно связана с вариациями атмосферных процессов.

Рассмотрим модель, которая бы могла качественно свести воедино все обсуждаемые феномены и закономерности.

Диаграмма иллюстрирует предлагаемую концепцию взаимосвязи сейсмических и литосферных феноменов, изученных нашей группой, с атмосферными явлениями. Штриховые стрелки показывают гипотезы, которые должны быть проверены в дальнейшем.

Диаграмма отражает взаимосвязь основных космических и планетарных факторов в литосфере, атмосфере и гидросфере Земли. Отметим, что вклад солнечного излучения в кинетическую энергию атмосферы составляет $5 * 10^{22}$ Дж в год (Сидоренков, 2002), а общая энергия, выделяемая в виде землетрясений, составляет всего 10^{19} Дж в год (Шейдеггер, 1987). Тем самым, атмосфера имеет благоприятные энергетические возможности влиять на сейсмическую активность литосферы.

Отметим две основные проблемы, в рамках каждой из которых нужно выбрать одну из двух гипотез о динамических взаимосвязях атмосферы и литосферы, вытекающих из предлагаемой концепции литосферы Земли:

1. Чем вызваны планетарная изменчивость межплитовых напряжений и межгодового количества землетрясений – прямым действием атмосферного момента через горный рельеф и трение или изменением угловой скорости вращения неоднородной коры, сложно взаимодействующей с мантией?

2. Чем вызвана асимметрия напряжений сейсмичности в локальных регионах типа тройных стыков тектонических разломов – действием атмосферного момента на локальную область или движением крупных тектонических плит, подстраивающихся под новые планетарные условия (изменения суточного вращения Земли или глобального момента атмосферы)?

Полученные результаты позволяют вплотную подойти к построению модели неравномерной динамики литосферных плит Земли. Такую модель нужно строить из отдельных плит с учетом рельефа на них, сброса атмосферного момента на каждую плиту и его дальнейшей судьбы – с учетом динамического взаимодействия плит.

Возможно, сначала имеет смысл строить не динамическую, а более простую балансовую модель, которая учитывает распределение атмосферного момента между отдельными плитами, оценивает момент вращения, изменения движения плиты исходя из предположения её независимости. После чего нужно оценить напряжения на краях плит по скорости их взаимного смещения.

Литература

- Вар (Wahr J.M., Oort A.H.) // Journal of the Atmosph. Sci. 1984. V. 41. N. 2 P. 190.
- Горькавый Н.Н., Минин В.А., Тайдакова Т.А., Фридман А.М. // Астр. Циркуляр. 1989. N. 1540. С. 35-36.
- Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Докл. РАН. Геофизика. 1994а. Т. 338. N. 4. С. 525.
- Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 1994б. N. 10. С. 23.
- Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 1994в. N. 10. С. 33.
- Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 1999а. N. 10. С. 52.
- Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Татевян С.К., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 1999б. N. 11. С. 28.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Ставицкий З.Л., Тайдакова Т.А., Татевян С.К., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 2000. N. 5. С. 28.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Ставицкий З.Л., Тайдакова Т.А., Татевян С.К., Фридман А.М., Сидоренков Н.С. // Материалы V Севастопольского Международного семинара “Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза природных, техногенных и социальных катастроф”. “Стихия-2002”. 14-22 сентября 2002 года г. Севастополь 2002 г. С. 92.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Сидоренков Н.С., Ставицкий З.Л., Тайдакова Т.А., Татевян С.К. // Сборник научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь. СНИЯЭиП. 2003. Вып. 9. С. 210.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А. // Сборник научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь. СНИЯЭиП. 2004. Вып. 11. С. 60.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Сидоренков Н.С., Тайдакова Т.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2005 г. Т. 101. С. 169.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А. // Сборник научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь. СНИЯЭиП. 2005. Вып. 16. С. 104.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А. // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. Севастополь. СНУЯЭиП. 2006. Вып. 20. (в печати).
- Кропоткин П.Н., Трапезников Ю.А. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. N. 11. С. 32.

- Куликов К.А., Сидоренков Н.С. // Планета Земля. М. Наука. 1977. С. 192.
- Национальный информационный центр по землетрясениям Геологической службы США. 1928-1990 (VX DAT (1928-1990), US Geological Survey, National Earthquake Information Center).
- Оорт (Oort A.H.) // Bulletin American Meteorological Society. 1989. V.70. N. 10. P. 1231.
- Сейферт (Под редакцией Сейферта К.) // Структурная геология и тектоника плит. Т. 3. Мир. 1991.
- Сидоренков Н.С. // Физика неустойчивостей вращения Земли. М. Наука. Физматлит. 2002. С. 384.
- Стехновский Д.И. // М. Гидрометеиздат. 1962. С. 147.
- Стойко Н. (Stoyko N.) // Compt. rend. Acad. sci. 1952. N. 26. P. 234.
- Титов и др. (Oleg Titov, Ramesh Govind, Clement Ogaja) // in International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2003 Annual Report. NASA. TP-2004-212254. eds. N.R. Vanberg and K.D. Baver. P. 163.
- Хомутов С.Ю. // Препр. N. 13. Объединённый институт геологии, геофизики и минералогии. Новосибирск. 1991. С. 18.
- Хомутов С.Ю. // Препр. N. 3 Объединённый институт геологии, геофизики и минералогии. Новосибирск. 1993. С. 22.
- Шейдеггер А. // Основы геодинамики. М. Недра. 1987. С. 384
- Эйби Дж.А. // Землетрясения. М. Недра. 1982. С. 264.