Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, XXXVII, № 6, 3—13, 1984

УДК: 550.344.55

А. Т. АСЛАНЯН

# БОЛЬШИЕ ВАРИАЦИИ ПРИЛИВНОГО ФАКТОРА ЛЯВА КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПРЕДВЕСТНИК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Эффект падения отношения скорости распространения продольных волн к скорости поперечных волн ($V_p/V_s$) перед главным сейсмическим толчком рассматривается в новейшей литературе как предвестник землетрясения. В ранних работах автора (1976 и др.) было показано, что ($V_p/V_s$) коррелирует с приливными числами Лява $h$ и $k$ и коэффициентом Пуассона $\nu$ в виде зависимости $2V_s^2/V_p^2=1+k-h=\gamma=(1-2\nu)/(1-\nu)$.

Рекомендуется изучить возможность использования данных землеприливных станций о ходе изменений $V_p/V_s$ для целей сейсмического прогноза.

Приливные изменения ускорения силы тяжести, угла отвесной линии, тангенциальные перемещения земной коры и деформации литосферных масс, обусловленные периодическими изменениями положения Луны и Солнца относительно Земли, являются важным источником информации о характере изменения плотности, твердости и сжимаемости вещества земных недр. При этом лунно-солнечные приливы считаются привилегированным феноменом ввиду достоверности как периода действия, так и величины деформирующей силы.

Изучение эффектов приливного взаимодействия в системе Земля-Луна-Солнце основано на сравнении амплитуд и фаз между соответствующими гармониками наблюденных (инструментально документированных) приливов и гармониками теоретически конструируемых расчетных приливов. Отношение амплитуд для сравниваемых гармоник служит мерой упругости, а разность фаз—мерой отклонения от идеальной упругости среды, подверженной воздействию приливов.

Первые расчеты приливов были выполнены на основе предположенной И. Ньютоном статистической теории, в которой в каждый данный момент времени равновесное положение зеркала спокойного океана рассматривается как эквипотенциальная поверхность, описываемая уравнением

$$\Phi + W - \frac{1}{2}\omega^2 x^2 = \text{const}, \qquad (1)$$

где $\Phi$—гравитационный потенциал, $W$—приливообразующий или возмущающий потенциал, $\omega$—угловая (переносная) скорость вращения Земли, а $x$—расстояние исследуемой точки от оси вращения Земли.

Приливообразующий потенциал Луны, определяемый сферической гармоникой второго рода, имеет вид

$$W_2 = \frac{GmR^2}{2c^3}(3\cos^2 z_c - 1), \qquad (2)$$

где $G$—гравитационная постоянная, $m$—масса Луны, $R$—средний радиус Земли, $c$—расстояние между центрами масс Земли и Луны, $z_0$—угол между прямой $c$ и радиусом-вектором точки, для которой определяется возмущение (отклонение отвеса).

В отличие от реальной теории, статическая теория не в состоянии учитывать эффект от собственных колебаний океана, когда периоды их близки к периоду действия приливообразующих сил и возможны резонансные явления.

Связанные с приливом эффекты для реальной Земли сопоставляются с таковыми для модели абсолютно твердой неупругой Земли.

Для оценки этих эффектов А. Ляв (Love, 1909, 1911) и позднее другие исследователи использовали следующие характеристики:

а) Отклонение эквипотенциальной поверхности по радиусу для твердой Земли $\Delta r = W_2/g$, для реально-деформируемой Земли $\Delta r = hW_2/g$ и соответственно изменение потенциала

$$W_2' = g\Delta r = hW_2, \tag{3}$$

где $W_2$—уменьшение потенциала Земли в точке наблюдения, вследствие ее радиального смещения, а $g$—ускорение силы тяжести;

б) изменение потенциала в точке наблюдения, вследствие перераспределения масс, обусловленного приливной деформацией

$$W_2' = kW_2, \tag{4}$$

где $k$—безразмерная величина, определяющая упругие свойства среды;

в) изменение общего значения возмущающего потенциала Земли

$$\Delta\Phi = W_2[1-(h-k)] = W_2\gamma; \tag{5}$$

г) изменение силы тяжести

$$\delta = 1 + h - \frac{3}{2}k, \tag{6}$$

рассматриваемое как отношение наблюденных и теоретически вычисленных амплитуд приливной вариации силы тяжести;

д) полярное сжатие на расстоянии $r$ от центра планеты под влиянием приливов на величину

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{3GmhR}{gr^3}} \tag{7}$$

при значении $g = 4\pi GR\rho/3$;

е) наклон земной поверхности

$$i = \frac{1}{2}\varepsilon^2 \sin 2\theta. \tag{8}$$

При исследовании приливных явлений используют также число $l$ (число Ламберта-Шиды), которое представляет отношение горизонтального смещения приливом в пункте наблюдения на реальной Земле к такому же смещению при равновесном океаническом приливе на абсолютно твердой Земле; в последнем случае смещение равняется произведе-

нию радиуса Земли на отклонение отвеса, вызванное прямым приливным потенциалом.

Связь между уклонением отвесной линии относительно земной оси и числом $l$ определяется в меридиане выражением

$$i=(1+k-l)\cdot\frac{1}{Rg}\frac{\partial W_2}{\partial\theta}=\Lambda\cdot\frac{1}{Rg}\cdot\frac{\partial W_2}{\partial\theta}, \qquad (9)$$

где $\theta$—полярное расстояние (коширота) точки наблюдения.

Для модели однородной Земли, как показал впервые Кельвин, $h=5/6$, $k=5/12$, $\gamma=2/3$; для модели абсолютно твердой Земли $h=k=l=0$, $\gamma=1$. Для идеально упругой однородной несжимаемой сферы Кельвин получил оценки $k=2h/5$, $l=3h/10$; для однородной несжимаемой жидкости $h=5/2$, $k=3/5$, $l=3/4$, $\delta=5/4$, $\gamma=0$. Для реальной Земли на гистограммах резко выделяются интервалы с $k=0{,}28$—$0{,}30$, $h=0{,}56$—$0{,}6$, значение $l$, определяемое из формулы $1+k-l=\Lambda$ при $k=0{,}29$ и $\Lambda=1{,}13$, получается равным 0,16. Для вариации силы тяжести по астрономическим данным для абсолютно твердой Земли указывается значение $\delta_{max}=2\cdot10^{-7}g$, а для отклонений отвеса $i_{max}=0{,}05''$ [см. 6].

Отметим еще раз, что для абсолютно твердой модели Земли относительный подъем поверхности океана в данной точке должен быть равен $W_2/g$, но вследствие деформации твердой толщи Земли точка наблюдения смещается в вертикальном направлении, и реально наблюдаемый подъем уровня воды оказывается равным $(1+k-h)\,W_2/g=\gamma W_2/g$. Наилучшие результаты в определении $k$ и $h$ ожидаются от изучения долгопериодических волн (например, волн с периодом 19 лет, один месяц, две недели), поскольку в этом случае приливообразующая сила и уровень прилива находятся практически в статическом равновесии, т. е. прилив является статическим, а комбинация чисел $k$ и $h$ адекватно отражает характер этого прилива.

В работе автора (Асланян, 1976) было показано тождество фактора Лява $\gamma=1+k-h$ и фактора Пуассона

$$\lambda=\frac{1-2\nu}{1-\nu}=1-\frac{\nu}{1-\nu}=1-\beta, \qquad (10)$$

фигурирующего во многих задачах геомеханики и являющегося практически следствием известного условия Сен-Венана, согласно которому предел текучести литосферы $\sigma_s$ определяется величиной разности радиального ($\sigma_r=\rho gz=\rho h\,W_2$) и тангенциального ($\sigma_\vartheta=\sigma_r\times\nu/(1-\nu)=\beta\rho h\,W_2$) напряжений, т. е.

$$\sigma_s=\rho gz-\frac{\nu}{1-\nu}\rho gz=\frac{1-2\nu}{1-\nu}\rho gz=\lambda\rho gz, \qquad (11)$$

где $\nu$—коэффициент Пуассона, $\rho$—плотность, $g$—ускорение силы тяжести, а $z$—радиальная мощность (толщина) неоднородности, отличающая нормальную изостатически уравновешенную литосферу от реальной аномальной литосферы.

Если в качестве неоднородности рассмотреть приливный выступ литосферы высотою $z$, плотностью $\rho$ и со значением коэффициента попереч-

ной деформации $\nu$, то при значениях $\sigma_r = \rho g z$, $\sigma_\theta = \beta \rho g z$, получим $\sigma_s = (1 - \beta)\rho g z = \lambda \rho g z$.

Если, например, вертикальная ось маятника до приливной деформации была направлена по линии отвеса и жестко привязана к коре, то на эту ось в ходе приливной деформации должны действовать три силы: сила с возмущающим потенциалом ($W_2$), сила с добавочным возмущающим потенциалом ($kW_2$) и горизонтальная составляющая силы тяжести. Поскольку компоненты этих сил равняются производным их потенциалов по соответствующим направлениям, а для абсолютно твердой модели Земли ($k = h = 0$) горизонтальная компонента, действующая на вертикальную ось маятника, равняется $F_0 = \rho g e_0$ ($\rho$ — плотность коры, $e_0$ — отклонение отвеса на абсолютно твердой Земле), а для результирующей горизонтальных сил $F_\varphi = \rho g e_\varphi$ ($e_\varphi$ — отклонение отвеса на реальной Земле), то, составляя баланс сил в виде

$$F_\varphi = F_0 - F_0 (h - k) \tag{12}$$

и имея в виду, что $F_\varphi / F_0 = (\sigma_r - \sigma_\theta)/\sigma_r = \sigma_s/\sigma_r = \gamma$, получим

$$\gamma = 1 - (h - k). \tag{13}$$

Известно, что фактор Пуассона ($\lambda$) связан с отношением скоростей продольных $V_p$ и поперечных $V_s$ сейсмических волн уравнением

$$\frac{V_p^2}{V_s^2} = \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu} = \frac{2}{\lambda} \tag{14}$$

и поскольку $\lambda = \gamma = 1 - h + k$, то

$$\frac{V_p^2}{V_s^2} = \frac{2}{1 - h + k} = \frac{2}{\gamma}. \tag{15}$$

М. С. Молоденский [см. 6] показал, что для 16 различных моделей Земли с точностью порядка 1% соблюдается условие

$$2k = h \tag{16}$$

и таким образом выясняется [см. 1], что для этих моделей

$$k = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_r}, \tag{17}$$

т. е. второе число Лява $k$ является функцией одного лишь коэффициента Пуассона и равняется отношению тангенциального и радиального напряжений в литосфере (для последней $\nu = 0{,}24 \pm 0{,}02$, $k = 0{,}29 \pm 0{,}02$). Условие Молоденского соблюдается тем лучше, чем больше значение $k$ [см. 1]. В механике грунтов отношение $\nu/(1-\nu)$ называется коэффициентом бокового давления грунта в состоянии покоя.

Практически отношение $V_p/V_s$ и разность $\Delta V = V_p - V_s$ скоростей продольных ($P$) и поперечных ($S$) волн определяется из наблюденной разности $\Delta t$ времен пробега этих волн $t_p$ и $t_s$ по формулам

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{t_s}{t_p}, \quad \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta t}{t_p}, \tag{18}$$

причем график зависимости $\Delta t$ от $t_p$ представляется практически прямолинейным, а отношение $\Delta t/t_p$ характеризует угол наклона этого графика.

Здесь следует иметь в виду, что уменьшение отношения $V_p/V_s$ происходит часто полностью за счет изменения $V_p$ и соответственно изменения модуля объемного сжатия $k_0$, поскольку $V_p = \sqrt{(k_0 + 4\ \mu/3)/\rho}$, а $V_s = \sqrt{\mu/\rho}$, т. е. $V_s$ от $k_0$ не зависит.

Современный обзор основных представлений о природе сейсмической активности дан в замечательной работе В. Н. Жаркова (1983). В последующем изложении, касающемся этих представлений, мы пользуемся обзором В. Н. Жаркова.

На основе известных работ А. М. Кондратенко и И. Л. Нерсесова (1962), У. Брайса, Б. Полдинга, С. Шольца (1966), И. Л. Нерсесова и И. Г. Симбиревой (1968), А. И. Семенова (1969) было установлено, что в зоне подготовки землетрясений отношение $V_p/V_s$ испытывает определенные изменения, достигающие нескольких процентов: как показано на рис. 1 (заимствованном из работы 5), перед землетрясением происходит

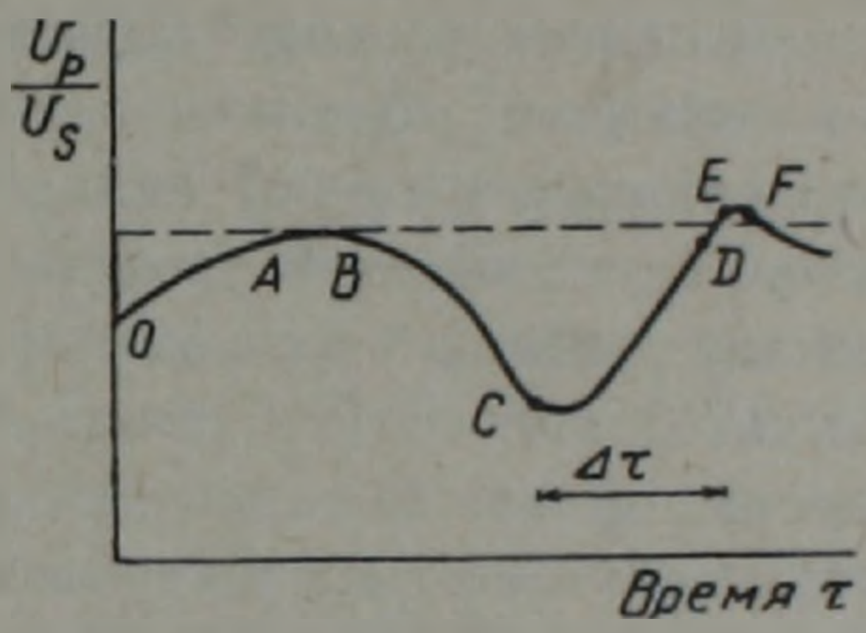

Рис. 1.

постепенное возрастание $V_p/V_s$ (участок OA) до уровня исходного (т. н. постоянного) своего значения (участок AB), затем наступает спад этого отношения (участок BC) и далее, начиная с момента появления предвестников, возрастание его (обычно с превышением уровня исходного состояния—отрезок CD), появление форшоков (в начале отрезка EF) и главного толчка (конец отрезка EF) и вновь падение отношения $V_p/V$ примерно до уровня исходного своего состояния (с афтершоками). В целом же перед землетрясением происходит уменьшение $V_p/V_s$ (стадия растрескивания пород очаговой области), далее восстановление этого отношения (стадия закрытия пор и микротрещин) и затем главный толчок.

Одна из примечательных особенностей механизма очагов землетрясений была выявлена И. Л. Нерсесовым и И. Г. Симбиревой (1968). При изучении слабых толчков в области подготовки сильных землетрясений был установлен эффект вращения осей сжатия в сейсмической зоне: на первом этапе подготовки землетрясения оси сжатия не имеют определенной ориентации и указывают в целом на общее напряженное состояние в регионе; на втором этапе они концентрируются между азимутальным направлением 90° и 180°, а на третьем этапе (этапе проявления главного удара) вследствие закрытия трещин происходит резкая переориентация осей сжатия, и азимуты осей становятся меньше 90°[1]. Результаты как

[1] Под азимутом здесь подразумевается угол между меридианом эпицентра и проекцией оси сжатия на поверхности Земли.

этих исследований, так и ряда более поздних проанализированы и обобщены в работе М. А. Садовского и И. Л. Нерсесова (1977).

Ход изменений наблюдательных данных по $V_p/V_s$ интерпретируется в последние годы в основном под углом зрения теории прочности Гриффитса и теории дилатансии, берущей начало из опытов Кармана (1912) и Бриджмена (1949) [см. 5]. Применительно к проблеме механизма очагов землетрясений теория Гриффитса предполагает концентрацию напряжений на далеких замыкающих концах сейсмического разлома, где разрушение коры может происходить в зависимости от обстоятельств как в виде процесса растрескивания, так и пластического течения, причем при прочих равных условиях чем длиннее разлом (с характерным размером $L$), тем меньше критическое значение растягивающего напряжения $\sigma_{кр}$, необходимого для дальнейшего вспарывания трещин ($\sigma_{кр} \sim \sim L^{-1/2}$) и тем больше возможность концентрации напряжений $k_0$ в концах трещины ($k_0 \sim L^{1}/_{2}$), особенно если мал радиус кончика трещины. Теория дилатансии подразумевает процесс массированного растрескивания (криптодезинтеграции) пород под влиянием приложенных напряжений и неупругое увеличение объема породы, причем в некоторых вариантах теории важная роль отводится поровой воде, которая диффундирует в новообразованные трещины (микротрещины), восстанавливая прежний, несколько более высокий уровень $V_p/V_s$ и уменьшает прочность пород, способствуя процессу разрывообразования и усилению сейсмической активности. В работе [2] показано, что одной из причин появления воды в породах может быть процесс дегидратации, в частности, процесс десерпентинизации или же процесс перехода гидрооливиновых фаций типа $MgO \cdot FeO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$, свойственных верхней мантии, в оливиновые, типа $MgO \cdot FeO \cdot SiO_2$ $(+2H_2O)$.

В новейших представлениях о формировании очага землетрясения флюидам отводится значительно большая роль, чем в теории дилатансии, тем более магматогенным и ювенильным флюидам, наличие которых способствует возникновению разломов по определенным линеаментам.

Многие авторы утверждают, что большие вариации отношения $V_p/V_s$ являются предвестником землетрясений, а лежащая в их основе теория дилатансии дает удовлетворительное объяснение также некоторым другим предвестникам, ассоциирующим с предвестником $V_p/V_s$.

Выше было указано, что отношение $2V_s^2/V_p^2$ эквивалентно фактору Пуассона $\lambda$ и фактору Лява $\gamma$ и, конечно, можно полагать, что при достаточно точных определениях фактора Лява и его вариаций последние могут рассматриваться в качестве предвестника землетрясений наравне с вариациями отношения $V_p/V_s$, устанавливаемыми обычными сейсмометрическими методами.

Различные геофизические и отчасти астрономические методы позволяют определить числа Лява $k$, $h$ и число Ламберта-Шиды $l$. Отметим еще раз, что $k$—суть отношение дополнительного потенциала, возникающего вследствие приливной деформации Земли, к приливообразующему потенциалу $W_2$ на поверхности Земли, а $h$—отношение высоты земного прилива к высоте подъема соответствующей эквипотенциальной по-

верхности абсолютно твердой Земли, обусловленного действием приливообразующего потенциала.

Различные комбинации чисел Лява и Шиды определяют следующие характеристики литосферных масс, подверженных приливным деформациям:

1) $1+k-h$—высоту прилива, изменение наклона, отношение $V_p/V_s$;
2) $1-1.5\,k+h$—изменение гравитационного ускорения $g$;
3) $k$—свободную чандлеровскую нутацию и коэффициент Пуассона;
4) $1+k-l$—изменение широты;
5) $l$—тангенциальные линейные деформации;
6) $\lambda-1.5\,l$—объемное сжатие.

Японские исследователи пользуются обычно следующими оценками Х. Такеучи: $h=0{,}59-0{,}61$, $k=0{,}27-0{,}29$, $l=0{,}07-0{,}08$, полученными для известных моделей Земли Буллена [10].

По поводу оценок приливных чисел следует сделать некоторые замечания.

Указанные числа определяются по результатам анализа периодических изменений силы тяжести, наклонов земной поверхности и относительных перемещений точек (реперов) в земной коре. Определения проводятся с помощью гравиметров, наклономеров и деформографов (экстензометров). Маятниковые гравиметры весьма чувствительны к колебаниям почвы и должны быть установлены вдали от мест с большими производственными помехами; они довольно чувствительны также к температурным изменениям и должны быть установлены в подвальных помещениях или в штольнях. Известна также высокая чувствительность к температурным колебаниям наклономеров и экстензометров; рекомендуется устанавливать их по возможности в штольнях или глубоких шурфах, где суточные изменения температуры должны быть не больше 0,01°С [см. 3,6].

Из уравнений (14), (15) при $\nu=1/4$, характеризующей твердую среду, получается $\gamma=2/3$, $V_p/V_s=\sqrt{3}$, $h-k=1/3$.

Из приведенных выше формул (12), (13), (14), (15) следует, что чем больше $\nu$, тем меньше $\gamma$ и тем больше $k$ и $V_p/V_s$ (при $\nu=0$, $\gamma=1$, $V_p/V_s=\sqrt{2}$; $\nu=1/4$, $\gamma=2/3$; $V_p/V_s=\sqrt{3}$; $\nu=1/3$, $\gamma=1/2$, $V_p/V_s=\sqrt{4}$; $\nu=2/5$, $\gamma=1/3$, $V_p/V_s=\sqrt{6}$ и т. д.).

Процесс дилатансии в сейсмическом очаге сопровождается на отрезке $CD$ (рис. 1) поворотом осей главных напряжений, уменьшением коэффициента Пуассона $\nu$, уменьшением модуля сжатия $k$ и в конечном счете уменьшением отношения $V_p/V_s$. Последнее обстоятельство следует непосредственно из формул:

$$\frac{V_p}{V_s}=\sqrt{\frac{3k_0+4\mu}{3\mu}}, \tag{19}$$

$$\nu=\frac{1-\frac{2}{3}\frac{\mu}{k_0}}{2+\frac{2}{3}\frac{\mu}{k_0}}, \tag{20}$$

указывающих на быстрое уменьшение при дилатансии коэффициента Пуассона, фактора Лява $\gamma$ и уменьшение $V_p$ (соответственно $V_p/V_s$) преимущественно с уменьшением модуля сжатия $k_0$ (при $\nu=1/2$ среда приобретает свойство текучего, несжимаемого тела, при $\nu=0$ свойство абсолютно упругого тела; для обычного твердого тела $\nu=1/4$, $\mu/k_0=3/5$; для анизотропной среды, кроме того, различны значения $\nu$ по разным координатным линиям).

Плотностная модель литосферы конструируется нередко по скоростным разрезам в соответствии с уравнением линейной регрессии вида

$$\rho = aV_p + b, \tag{21}$$

где $a$ и $b$—коэффициенты (положительные числа), значения которых заметно варьируют между различными регионами и типами коры с различной степенью тектонизации. Изолинии скоростей $V_p$, определенных методами сейсморазведки, оцифровываются в величинах плотности согласно зависимости (21) и задаваясь значениями коэффициентов $a$ и $b$ строят соответствующие плотностные модели литосферы.

Для скальных пород, изученных в обычных лабораторных условиях при дисперсии $\Delta\rho=0{,}17$ *г/см*$^3$, Г. Я. Голиздра были приняты значения $a=0{,}182$ *(г/см*$^3$*)* $\cdot$ *(сек/км)*, $b=1{,}834$ *г/см*$^3$ [см 9]. Для юга СССР (Украина, Кавказ, Средняя Азия) в работе [9] принимались значения $a=0{,}25$ *(г/см*$^3$*)* $\cdot$ *(сек/км)*, $b=1{,}2$ *г/см*$^3$.

Если положить для континентальной земной коры в среднем $\rho_k=2{,}76$ *г/см*$^3$, $V_p=6{,}1$ *км/сек*, а для верхов мантии $\rho=3{,}31$ *г/см*$^3$ и $V_p=7{,}9$ *км/сек*, то сравнивая уравнения $\rho_k=2{,}76=b+a\ 6{,}1$ и $\rho=3{,}31=b+a\cdot 7{,}9$, получим: $a=0{,}305$ *(г/см*$^3$*)* $\cdot$ *(сек/км)*, $b=0{,}901$ *г/см*$^3$ и соответственно $\rho=0{,}905+0{,}305\ V_p$ или

$$V_p = 3{,}278\ \rho - 2{,}954 \approx 3(1{,}1\ \rho - 1)\ км/сек. \tag{22}$$

Поскольку дилатансия выражается растрескиванием и общим увеличением объема породы (среды), то согласно зависимости (22) уменьшение $V_p$ должно быть следствием именно уменьшения плотности $\rho$. Последующее увеличение отношения $V_p/V_s$ и достижение им максимума в стадии главного толчка, очевидно, является следствием переуплотнения среды в этой новой стадии развития очага—после переориентации осей главных напряжений.

В теории дилатансии оперируют понятием «включение», имея в виду существование в сейсмогенной разломной зоне обособленной трехмерной области, отмеченной системой трещин, которая в традиционных представлениях сейсмотектоники соответствует фокусу землетрясения. Перед возникновением основного разрыва, под действием растягивающих напряжений, ориентированных поперек длинной оси «включения», образуются зияющие трещины и проявляются одновременно форшоки (точка E на рис. 1); в этой обстановке отношение $V_p/V_s$ снова падает (участок EF на рис. 1), и когда разность между упругими параметрами относительно жесткой разломной зоны и катаклазированного «включения» достигает предельного значения, происходит разрушение, сопро-

вождаемое основным сейсмическим толчком (точка $F$ на рис. 1). Согласно теории дилатансии вследствие закрытия пор трещин (на отрезке $CD$ рис. 1) происходит перераспределение напряжений, сопровождаемое поворотом осей главных напряжений до углов в 90°. На стадии закрытия пор и трещин происходит также выжимание воды и газов из трещин, возникших на дилатантной стадии (отрезок BC на рис. 1).

Таким образом, поскольку отношение $V_p/V_s$ согласно формулам (15) и (6) падает с увеличением фактора Лява $\gamma = 1 + k - h \simeq 1 - k$ или с уменьшением фактора $\delta = 1 - 1.5k + h = 1 + 0.5k$, а такие изменения рассматриваются как предвестники землетрясений, то соответственно регистрируемые на земноприливных станциях сведения о возрастании значений факторов $\gamma$, $\lambda$ и убывании фактора $\delta$ должны рассматриваться тоже как предвестник землетрясений. Для этого, очевидно, на этих станциях должна быть организована служба регистрации временного хода приливных эффектов и особенно эпизодов резкого падения $k$.

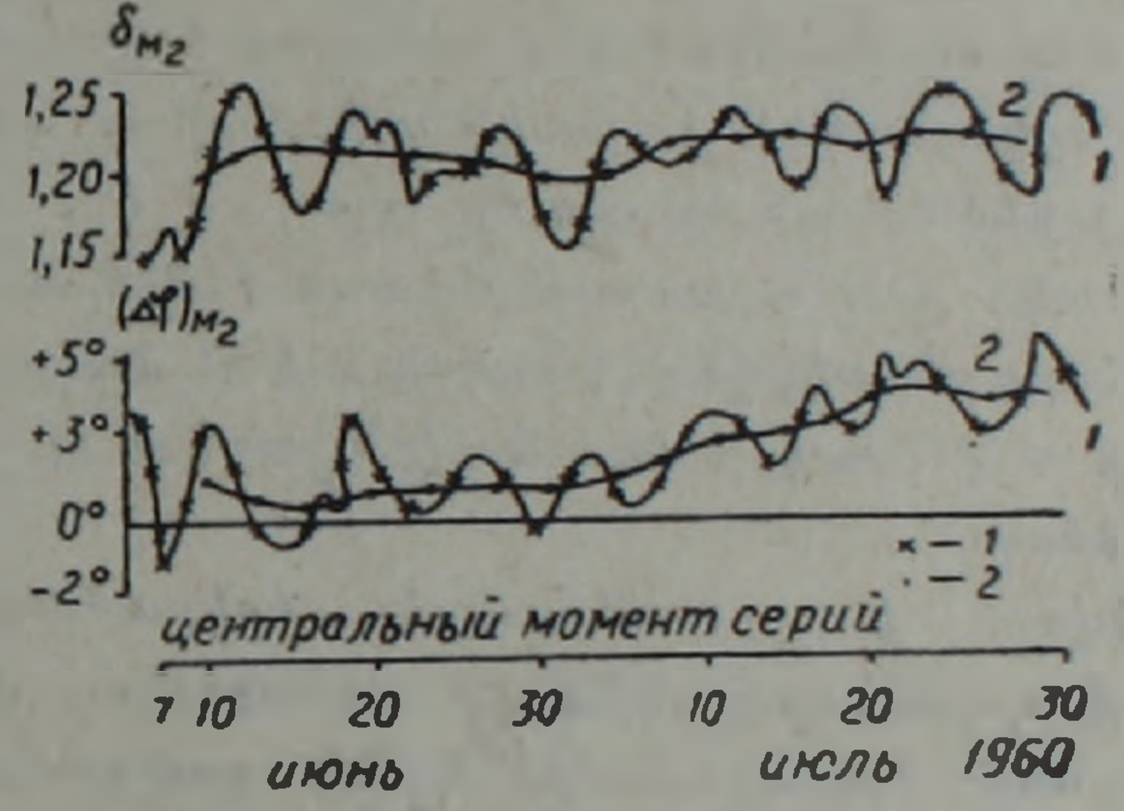


Рис. 2.

Данные наблюдений часто систематизируются за месяц и выводится среднее значение факторов $\gamma$, $\delta$, $\Delta\varphi$ ($\Delta\varphi$—сдвиг фаз между теоретически рассчитанными и наблюденными значениями фаз приливов) Так, по данным земноприливной подземной станции Тбилиси, фактор $\delta$ для лунной полусуточной волны $M_2$ за время с 7/VI—1960 по 2/VIII—1960 г.г. (57 определений) оказался в среднем на уровне 1,207 (при среднеквадратичной ошибке ±0,004), однако конкретные значения $\delta$ колебались в пределах от 1,150 до 1,257, причем малые значения $\delta$ (1,150—1,164) и большие значения (1,240—1,257) встречаются из 57 случаев по 5 раз.

Для наблюдений за июнь--июль месяцы Б. К. Балавадзе и К. З. Картвелишвили [3] составлены кривые функции $\delta(M_2)$ и $\Delta\varphi$ $(M_2)$, которые приведены на рис. 2 (сильно волнистая кривая и крестики «1» до осреднения, пологая; слабо волнистая кривая и точки «2» после осреднения—по 7 значениям).

В рассматриваемой нами задаче важно выявление больших подъемов и провалов кривой, которые, если коррелировать их с изменениями отношения $V_p/V_s$ должны служить предвестником землетрясений[1]. Такую за-

---

[1] В нашей коллективной работе [2] по данным экспериментальных исследований карбонатных пород зависимость между давлением P до 20 *кбар*, отношением $V_p/V_s$ и плотностью $\rho$ представлялась в следующем виде: в интервале p=0—2 *кб* происходит увеличение $\rho$ и $V_p/V_s$; при $p$=2—4 кб полиморфный переход кальцита в арагонит (с некоторым уменьшением $V_p/V_s$), при p=5--10 *кб* уменьшение $V_p/V_s$ и увеличение $\rho$; в ин-

дачу возможно решить специально поставленными тематическими исследованиями по изучению материалов земноприливных станций (включая специализированные гидрогеологические скважины и колодцы), особенно в сейсмических районах. Данная статья ставит цель—обратить внимание исследователей на эту возможность.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 6. VII. 1983.

Ա. Տ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ

## ԼՅԱՎԻ ՄԱԿԸՆԹԱՑԱՅԻՆ ԳՈՐԾՈՆԻ ՄԵԾ ՓՈՓՈԽԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ՆԱԽԱԳՈՒՇԱԿ

### Ա մ փ ո փ ո ւ մ

*Նորագույն գրականության մեջ գլխավոր երկրաշարժային ցնցումից առաջ տեղի ունեցող երկայնակի և լայնակի ալիքների արագությունների հարաբերության ($V_p/V_s$) մեծության նվազումը դիտվում է որպես երկրաշարժի նախադուշակ։ Հեղինակի վաղ աշխատանքներում (1976 և այլն) ցույց է տրվել, որ $V_p/V_s$ համահարաբերակցվում է լյավի h և R մակընթացային թվերի, ինչպես նաև Պուասոնի ν գործակցի հետ $2V_s^2/V_p^2 = 1 + k - h = \gamma = (1-2\nu)/(1-\nu)$ առնչության ձևով։*

*Առաջարկվում է ուսումնասիրել երկրամակընթացային կայանների $V_p/V_s$ փոփոխությունների ընթացքի վերաբերյալ տվյալների օգտագործման հնարավորությունը՝ երկրաշարժերի կանխագուշակման նպատակով։*

A. T. ASLANIAN

## GREAT VARIATIONS OF THE LOVE'S TIDAL FACTOR AS A POSSIBLE HERALD OF AN EARTHQUAKE

### Abstract

The effect of decreasing the ratio of longitudinal and transversal waves velocities ($V_p/V_s$) before the general seismic shock is recently considered as a herald of an earthquake. In the author's early works (1976 et al.) has been shown that $V_p/V_s$ correlates with the Love's tidal numbers $h$ and $k$ as well as with the Poisson's coefficient ν as the following dependence $2V_s^2/V_p^2 = 1 + k - h = \gamma = (1-2\nu)/(1-\nu)$.

---

тервале p=14—16 *кб* наблюдается массовый фазовый переход $CaCO_3$ I в $CaCO_3$ II (процесс начинается частично в интервале 5—10 *кб*), увеличивается $V_p/V_s$, уменьшается пластичность (уменьшается коэффициент Пуассона ν), происходит одновременно скачкообразное уменьшение ρ, сопровождаемое мгновенным сотрясением. В ряде карбонатсодержащих пород и некоторых ультрамафитах в интервале давлений 10—15 *кбар* наблюдалось перетекание рассеянных зерен кальцита и концентрация их в виде прожилков и отдельных крупных включений (в теории дилатансии в роли таких новообразованных прожилков и включений выступает вода, которая проникает в микротрещины и поры очаговой толщи пород перед основным сейсмическим толчком).

It is recommended to study the possibility of using the earth-tidal stations data on the $V_p/V_s$ variations for the purpose of seismic prognostication.

## ЛИТЕРАТУРА


1. *Асланян А. Т.* Об эквивалентности факторов Лява и Пуассона в теории приливной деформации и бокового распора земной коры, Ж. «Проблемы геомеханики», Изд. АН Арм.ССР, 1976, № 7, с. 99—105.
2. *Асланян А. Т., Левыкин А. И., Арутюнян А. В.* Об одном возможном механизме возникновения землетрясений. ДАН Арм. ССР, 53, № 2, 1976, с. 96—101.
3. *Балавадзе Б. К., Картвелишвили К. З.* Наблюдения земных приливов в Тбилиси. Изд. Мецниереба, Тбилиси, 1972, с. 138.
4. *Brace W. F., Paulding B. W., Scholz C. H.* Dilatancy in the fraeture and cristalline iccks. Journ. Geophys, Res., 1966, 71, p. 3939—3953.
5. *Жарков В. Н.* Внутреннее строение Земли и планет. Наука, М., 1983, с. 415.
6. *Мелхьхиор П.* Земные приливы. Изд. Мир, М., 1968, с. 482.
7. *Love A. E. H.* Some problems of geodynamics. Camb. Univ. Press, Cambridge, 1911.
8. *Садовский М. А., Нерсесов И. Л.* Вопросы прогноза землетрясений. Физика Земли, 1977, № 9, с. 13—31.
9. Сборник «Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли». Киев, «Наукова думка», 1979, с. 87, с. 137.
10. *Takeuchi H.* On the Earth tide in the compressible Earth of varying density and elasticity. Trans. Amer. Geophys. Union, 1950, 31, p. 651.