DOI: 10.34906/9785604968383.235

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ В ФИЗИКЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Долгих Г.И.[1], Мишаков А.В.[2]

[1]*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва, г. Владивосток*
[2]*Институт математики и компьютерных технологий (Школа) Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток*
mishakov.av@dvfu.ru

В работе [1] были использованы 10 общепланетарных регрессий (магнитудных величин), из них первые 8 магнитудных величин были хорошо известны. В этой работе к ним мы добавили ещё 2 (9-ую и 10-ую) $m_c(M)$ и $F_c(M)$. Напомним вместе с 1-ой и 3-ей магнитудными величинами их зависимости от магнитуды M, применяемые в среднем для всех сейсмоактивных регионов планеты:

$$T = T(M) = T_M = 10^{aM-b} \text{ лет}, \tag{1}$$

$$r_c = r_c(M) = r_{cM} = 10^{a_1M-b_1} \text{ км}, \tag{2}$$

$$m_c = m_c(M) = m_{cM} = 10^{a_7M-b_7} \text{т}, \tag{3}$$

$$F_c = F_c(M) = F_{cM} = 10^{a_8M-b_8} \text{ Дж/км}, \tag{4}$$

где

$$\left.\begin{array}{llll} a = 0{,}5, & b = 2{,}1; & a_1 = 0{,}5, & b_1 = 2{,}28; \\ a_7 = 1{,}5, & b_7 = -3{,}23; & a_8 = 1, & b_8 = -7{,}56. \end{array}\right\} \tag{5}$$

Здесь соотношение (1) является 1-ой формулой Зубкова [2], определяющее время T (по долгосрочным предвестникам) возможного повторения землетрясения (время цикла землетрясения, время подготовки землетрясения, длительность фазы консолидации землетрясения). Соотношение (2) является формулой Шебалина-Садовского [3, 4] для радиуса очага землетрясения (сейсмического очага) в сферическом приближении. Магнитудная величина (3) представляет собой оценочную массу сейсмического очага в зависимости от магнитуды M [5]. И, наконец, магнитудная величина (4) представляет собой силу сотрясения F_c пород в очаге землетрясения в зависимости от магнитуды M [5].

В работе [2] утверждается, что возникновение и развитие сейсмического очага качественно протекает одинаково для землетрясений всех магнитуд. Там же было принято не противоречащее физической модели сейсмического очага допущение, что развитие, по крайней мере, геометрии очага происходит для всех землетрясений одинаково и количественно. Иными словами, предполагается, что все сейсмические очаги достигают одинаковых размеров за одно и то же время; только очаги, которые приведут к землетрясениям большей магнитуды, развиваются дольше, что и определяет их большие размеры. То есть, для геометрических характеристик сейсмических очагов выполняется масштабная инвариантность по магнитудам (или другими словами, по энергиям) всех землетрясений на планете Земля. И этот принцип подобия (масштабной инвариантности) в работах [6, 7] распространили и на все сейсмические процессы (см. также [3]), а, следовательно, и на все характеристики сейсмического очага: как геометрические–пространственные (объёмные), так и энергетические, массовые и силовые сейсмические характеристики. Тем самым принимается существование универсальных, т.е. не содержащих магнитуду соотношений, например, из (2) – (4): $r_c = r_c(t)$, $m_c = m_c(t)$ и $F_c = F_c(t)$, где t – текущее универсальное (физическое) время во всей Вселенной (вдали от чёрных дыр или от очень плотных массивных объектов). Тогда каждая совокупность трёх формул $T = T(M)$, $r_c = r_c(M)$ или $T = T(M)$, $m_c = m_c(M)$, или $T = T(M)$, $F_c = F_c(M)$ является параметрическим представлением функций $r_c(t)$, $m_c(t)$ и $F_c(t)$ соответственно. В них параметром является магнитуда, и после её исключения и замены T на текущее время t, получаются зависимости $r_c = r_c(t)$, $m_c = m_c(t)$ и $F_c = F_c(t)$.

Фактически в [2] была произведена формальная замена $T(M)$ на t, т.е. T на t после процедуры исключения магнитуды M в соответствующих парах величин, из которых обязательна одна – временная: $T(M)$. Но при использовании такой процедуры возникают важные гносеологические «детали». Ведь по самому смыслу текущее универсальное время t отождествлялось с временем подготовки землетрясения $T(M)$, зависящим по факту от магнитуды M. То есть, здесь неявно предполагается в самом общем случае следующая связь $T(M)$ и t:

$$T(M) = \gamma(M)t^{\lambda} + \tau_0 , \tag{6}$$

на которую должны быть наложены очевидные ограничения. Здесь $\gamma(M)$ – некоторая безразмерная величина, зависящая от магнитуды M, λ – некоторая безразмерная степень (параметр), τ_0 – некоторая размерная величина (параметр), имеющая размерностью время. Очевидно, разрешая выражение (6) относительно времени $t = t_c$ получаем это время в виде:

$$t_c = \{[T(M) - \tau_0]/\gamma(M)\}^{1/\lambda} , \tag{7}$$

которое естественно, в таких обстоятельствах, назвать *сейсмическим временем.* При этом на соотношение (7) накладываются очевидные ограничения, которые мы обсудим несколько ниже.

Предполагаем зависимость от M величины $\gamma(M)$ стандартным в сейсмологии образом:

$$\gamma(M) = 10^{\alpha_0 M - \beta_0} \ , \tag{8}$$

где α_0 и β_0 – некоторые пока неизвестные постоянные (числа). Подставляя (1) и (8) в (7), получаем сейсмическое время в виде:

$$t_c = \left[\left(10^{aM-b} \ - \tau_0\right)/10^{\alpha_0 M - \beta_0} \ \right]^{1/\lambda}, \tag{9}$$

где a и b см. в (5).

Так как текущее универсальное (физическое) время t, т.е. сейсмическое время t_c из (9) очевидно по самому своему смыслу не зависит от M, то

$$dt_c/dM = 0 \, . \tag{10}$$

Подставляя (9) в (10), получаем, взяв сложную производную по M, выполнение первого ограничения на вид (9):

$$\alpha_0 = a \, , \tag{11}$$

что приводит к следующему виду для t_c:

$$t_c = \left[\left(10^{aM-b} \ - \tau_0\right)/10^{aM - \beta_0} \ \right]^{1/\lambda}. \tag{12}$$

Естественно, на (12) нужно наложить ещё два естественных ограничения: второе, т.е. $\lambda = 1$ из-за требования естественной размерности t_c в секундах, минутах, часах, сутках или годах (допустим в годах), и третье, т.е. $\tau_0 = 0$ из стандартного упрощения шкалы времени с выбором нуль-пункта (начала) временной шкалы в нуле. Тогда с учётом этих естественных ограничений формула (12) примет простой вид:

$$t_c = 10^{aM-b} \ /10^{aM-\beta_0} \ \text{лет} = 10^{\beta_0 - b} \ \text{лет} = 10^{\beta_0} \cdot 10^{-b} \ \text{лет} \ , \tag{13}$$

что с учётом (5) даёт:

$$t_c = 10^{\beta_0} \ \cdot 10^{-2{,}1} \ \text{лет} \, . \tag{14}$$

При этом множитель 10^{β_0} из первоначального требования безразмерности величины $\gamma(M)$ (см. (6) и (8)) является безразмерным и выполняет роль коэффициента масштабного преобразования временной шкалы при переходе от временных единиц (в годах) к временным единицам (в сутках), или к временным единицам (в часах), или к временным едини-

цам (в минутах), или к временным единицам (в секундах). Действительно, подставляя в (6) соотношения (1), (8) и ограничения (11), $\lambda = 1$ и $\tau_0 = 0$, имеем при переобозначении $t = t_c$:
$10^{aM} \cdot 10^{-b}$ лет $= 10^{aM} \cdot 10^{-\beta_0}\, t_c$, т.е. получаем (14). При этом выполняется:

$$10^{-2,1}\text{лет} \simeq 7{,}943 \cdot 10^{-3}\text{лет} \simeq 2{,}9\,\text{сут} \simeq 69{,}6\,\text{час} \simeq$$
$$\simeq 4{,}175 \cdot 10^{3}\text{мин} \simeq 2{,}5 \cdot 10^{5}\text{сек}. \qquad (15)$$

Тогда, чтобы получить эквивалент отождествления $T \equiv t_c$ по [2], например, с темпом измерения времени в годах, нужно приравнять в (14) безразмерный коэффициент при размерности лет (годы) такому значению, чтобы получилось: $10^{\beta_0} \cdot 10^{-b} = 10^{\beta_0} \cdot 10^{-2,1} = 1$, что приводит к $\beta_0 = 2{,}1$, или, что одно и то же (с учетом (15)) к $10^{\beta_0} = (7{,}943 \cdot 10^{-3})^{-1}$, или к $\beta_0 = -lg(7{,}943 \cdot 10^{-3}) = 2{,}1$.

Аналогично, с темпом измерения времени в сутках получаем: $10^{\beta_0} = (2{,}9)^{-1}$, т.е. $\beta_0 = -\lg(2{,}9) \simeq -0{,}46$. Аналогично, с темпом измерения времени в часах получаем: $10^{\beta_0} = (69{,}6)^{-1}$, т.е. $\beta_0 = -\lg(69{,}6) = -1{,}84$. Аналогично, с темпом измерения времени в минутах получаем: $10^{\beta_0} = (4{,}175 \cdot 10^{3})^{-1}$, т.е.
$\beta_0 = -\lg(4{,}175 \cdot 10^{3}) \simeq -3{,}62$. И наконец, с темпом измерения времени в секундах получаем: $10^{\beta_0} = (2{,}5 \cdot 10^{5})^{-1}$, т.е. $\beta_0 = -\lg(2{,}5 \cdot 10^{5}) \simeq -5{,}40$.

Таким образом, константа β_0, а, следовательно, и коэффициент масштабного преобразования временной шкалы при переходе к разным темпам измерения сейсмического времени, принимает следующие значения:

$$\left.\begin{array}{l}
1)\ \beta_0 = 2{,}10\ \left(\text{или } 10^{\beta_0} \simeq 126\right) \text{при } t \text{ в годах;}\\
2)\ \beta_0 \simeq -0{,}46\ \left(\text{или } 10^{\beta_0} \simeq 0{,}35\right) \text{при } t \text{ в сутках;}\\
3)\ \beta_0 \simeq -1{,}84\ \left(\text{или } 10^{\beta_0} \simeq 1{,}45 \cdot 10^{-2}\right) \text{при } t \text{ в часах;}\\
4)\ \beta_0 \simeq -3{,}62\ \left(\text{или } 10^{\beta_0} \simeq 2{,}40 \cdot 10^{-4}\right) \text{при } t \text{ в минутах;}\\
5)\ \beta_0 \simeq -5{,}40\ \left(\text{или } 10^{\beta_0} \simeq 3{,}98 \cdot 10^{-6}\right) \text{при } t \text{ в секундах.}
\end{array}\right\} \qquad (16)$$

Такая концепция сейсмического времени, связанная с заменой времени подготовки землетрясения на текущее универсальное время при предварительном исключении магнитуды из соответствующих пар магнитудных величин, второй из которых обязательно должна быть временная магнитудная величина – время подготовки землетрясения, должна помочь, по-нашему предположению, в решении различных динамических задач, относящихся к сейсмическому очагу.

Проверим оценочно «работу» этой концепции на обобщённом примере, связанном со 2-ым законом Ньютона для сейсмического очага.

Имеем из (3) и (4):

$$a_c = a_c(M) = F_c(M)/m_c(M) = 10^{a_9 M - b_9}\ \frac{\text{Дж}}{\text{т}\cdot\text{км}}\ , \tag{17}$$

где с учётом (5):

$$a_9 = a_8 - a_7 = -0{,}5\ ,\ \ b_9 = b_8 - b_7 = -4{,}33. \tag{18}$$

При этом

$$1\,\frac{\text{Дж}}{\text{т}\cdot\text{км}} = 10^{-6}\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{м}} = 10^{-6}\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 10^{-6}\,\frac{\text{м}}{\text{сек}^2} \simeq 10^{6}\,\frac{\text{км}}{\text{год}^2} = 10^{6}\,\frac{\text{км}}{\text{лет}^2}. \tag{19}$$

Подставляя (19) в (17), получаем сейсмическое ускорение в виде:

$$a_c = a_c(M) = 10^{a_9 M - \tilde{b}_9}\ \frac{\text{км}}{\text{год}^2} = 10^{a_9 M - \tilde{b}_9}\ \frac{\text{км}}{\text{лет}^2}\,, \tag{20}$$

где

$$a_9 = -0{,}5\ ,\ \ \tilde{b}_9 = -10{,}33\,. \tag{21}$$

Оценочно предполагая равномерность течения сейсмического процесса в очаге с нулевой начальной скоростью при начале эволюции сейсмического очага, а также применяя в конечном итоге концепцию сейсмического времени (здесь магнитуда автоматически исключается в связи с равенством по модулю коэффициентов, противоположных по знаку, при M у $a_c(M)$ и у $\mathrm{T}(M)$), получаем с учётом (20), (1), (5) и (21):

$$\begin{aligned} v_{c3} &= a_c \cdot t_c = a_c(M)\cdot T(M) = 10^{-(\tilde{b}_9 + b)}\,\frac{\text{км}}{\text{лет}} = \\ &= 10^{8{,}23}\,\frac{\text{км}}{\text{год}} \simeq 1{,}7\cdot 10^{8}\,\frac{\text{км}}{\text{год}} \simeq 5{,}4\ \text{км}/\,\text{сек}\,, \end{aligned} \tag{22}$$

что примерно совпадает (с примерно 7%-ой ошибкой) с $v_p = 5{,}8$ км/ сек, т.е. с фазовой скоростью продольных объёмных упругих волн (продольных волн Пуассона) в очаговых горных породах, являющейся согласованным параметром параметрической модели Земли («Континентальная Земля» для нулевой глубины) [8, 9]. Любопытно, что эта инвариантная скорость $1{,}7\cdot 10^8$ км/год примерно совпала со скоростью *1 астрономическая единица/год* (интересная завязка локальной скорости упругих колебаний в сейсмическом очаге на Земле с глобальной скоростью какого-то процесса на масштабе оценочного расстояния от Солнца до Земли в период обращения Земли вокруг Солнца). Этот результат можно считать очередным сейсмологическим артефактом, который мы попытаемся объяснить, используя некоторую гипотезу (см. об этом ниже).

Отметим, что у v_{c3} индекс 3 появился, чтобы отличать эту скорость от других 5-ти скоростей с индексом 1 и 2 с усреднением в смысле $<\cdots>$ и $\{\cdots\}$ (см. [1]).

Аналогичная оценка получается при использовании частотно-инвариантных величин (1), (3) и (4) с учётом (5) в подстановке $M = 5$ в идеологии магнитудных инвариантов в сопряжении с частотных законом Гутенберга-Рихтера [5] (индекс c заменяется на cN при указанных величинах, а в безиндексном случае у величины T появляется индекс N):

$$a_{cN} = F_{cN}/m_{cN} = \frac{3{,}63 \cdot 10^{12}\ \text{Дж/км}}{5{,}37 \cdot 10^{10}\ \text{т}} \simeq 67{,}6\,\frac{\text{Дж}}{\text{т} \cdot \text{км}} =$$
$$= 6{,}76 \cdot 10^{7}\,\frac{\text{км}}{\text{лет}^2} = 6{,}80 \cdot 10^{-5}\,\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}\,, \tag{23}$$

где учтено (19), а также при $M = 5$ в (1) с учётом (5):

$$t_{cN} = T_N = 10^{0{,}4}\ \text{лет} \simeq 2{,}51\ \text{лет}\,, \tag{24}$$

что по аналогии с (22) даёт ту же частотно-инвариантную скорость:

$$v_{c3} = v_{cN3} = a_{cN} \cdot t_{cN} \simeq 1{,}7 \cdot 10^{8}\,\frac{\text{км}}{\text{год}} \simeq 5{,}4\ \text{км/сек}. \tag{25}$$

Аналогичное применение указанной концепции сейсмического времени к (1) и (2) с учётом (5) приводит к уже известной [10, 11] инвариантной скорости v_c:

$$v_c = r_c(M)/t_c = r_c(M)/T(M) = 10^{b-b_1}\ \frac{\text{км}}{\text{лет}} =$$
$$= 10^{-0{,}18}\ \frac{\text{км}}{\text{год}} \simeq 0{,}66\ \text{км/год}. \tag{26}$$

Здесь концепция сейсмического времени автоматически выполнилась из-за исключения магнитуды в связи с равенством коэффициентов при M.

Аналогичная оценка получается при использовании частотно-инвариантных характеристик (24) и (2) при учёте (5) в подстановке $M = 5$:

$$r_{cN} = 10^{0{,}22}\ \text{км} \simeq 1{,}66\ \text{км}\,, \tag{27}$$

что и приводит к соотношению:

$$v_c = r_{cN}/t_{cN} = r_{cN}/T_N \simeq 0{,}66\ \text{км/год}\,. \tag{28}$$

Исходя из изложенного выше, можно представить концепцию сейсмического времени в физике землетрясений в 3-х пунктах.

1. Если в паре магнитудных величин, одна из которых обязательно временная (T_M – время подготовки землетрясения), коэффициенты при M различны, то исключая магнитуду M и полагая $T = t$, где t – универсальное время, получаем универсальную зависимость от t для второй величины, стоящей в паре с временной величиной. При этом T – время подготовки землетрясения и будет искомым сейсмическим временем t_c .

2. Если в данной паре коэффициенты при M равны, то при делении одной величины на другую (временную) происходит автоматическое исключение магнитуды M, и сейсмическое время будет агрегировано в скоростной характеристике для второй величины, сопряжённой к временной величине.

3. Самым простым способом объединения пунктов 1 и 2 является переход данной пары магнитудных величин в частотно-инвариантный формат, что эквивалентно подстановке в эти величины $M = 5$. При этом частотно-инвариантное время подготовки землетрясения T_N будет эквивалентно частотно-инвариантному сейсмическому времени t_{cN} , которое равно 2,5 годам, а все остальные величины «поджимаются» под это преобразованное время (своего рода конформное время), соответствующее примерно серединной магнитуде из всего диапазона значимых магнитуд (в нашем случае: от $M = 0{,}5$ до $M = 9{,}5$). В этом случае скоростные характеристики на основе 2-ой величины в паре с временной характеристикой будут совершенно эквивалентны скоростным характеристикам, получаемым на основании пунктов 1 или 2.

Применив эту концепцию сейсмического времени к массовой и силовой характеристикам сейсмического очага, мы получили (см. выше) весьма примечательную инвариантную скорость:

$$\upsilon_{c3} \simeq 5{,}4 \text{ км/сек} \simeq 1{,}7 \cdot 10^8 \text{ км/год}, \tag{29}$$

т.е. получили (по-видимому, не случайное по-нашему мнению) соответственно с 7% и 12%-ми ошибками расхождения (достаточно малыми для оценок) при переходе от (29) к (30) следующее примечательное оценочное соответствие:

$$\upsilon_p = 5{,}8 \text{ км/сек} \approx 1 \text{ астрономическая единица/год}, \tag{30}$$

что связывает локальную характеристику, т.е. фазовую скорость упругих продольных колебаний в сейсмическом очаге на Земле и глобальную характеристику, т.е. скорость некоторого пока неизвестного процесса передачи взаимодействия от Солнца к Земле (на её земной орбите). Причём этот процесс передачи идёт с довольно медленной скоростью (5-6 км/сек), довольно близкой по порядку величины со скоростью передачи взаимодействия (3,6 км/сек) в гравитационной парадигме В.И. Короченцева [12]. Возможно здесь определённую роль играет не гравитация, а некоторое (пока неоткрытое) фундаментальное дальнодействующее (маскирующееся под гравитацию) скалярное поле, генерируемое в недрах Солнца, и медленно распространяющееся до земной орбиты и пронизывающее недра Земли (из-за очень слабого взаимодействия с веществом), но тем не менее параметризующее сейсмические процессы в горных породах в очагах землетрясений. Это фундаментальное скалярное поле имеет несколько другую природу, нежели рассмотренное в работе [13] гипотетическое безмассовое дальнодействующее фундаментальное скалярное поле (пока еще неоткрытое), которое распространяется со скоростью света и генерируется любыми массивными астрономическими объектами, в том числе и Солнцем, а также массивной чёрной дырой в центре нашей Галактики.

Авторы надеются, что описанная в данной работе концепция сейсмического времени окажется полезной в физике землетрясений, а также в проблеме возможного прогноза ко́ровых землетрясений.

Литература

1. Долгих Г.И., Мишаков А.В. Интегральные магнитудные инварианты в глобальной версии и по распределению в физике землетрясений // Материалы докладов XII Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: ТОИ ДВО РАН. 2021. С. 212–220.
2. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР. 1991. 217 с.
3. Долгих Г.И., Мишаков А.В. Расчет оценок скоростей смещения деформаций среды в эпицентрах и гипоцентрах ко́ровых землетрясений в задаче их возможного прогноза по вариациям напряженно-деформационного поля Земли на ее поверхности // Материалы докладов VI Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: Дальнаука. 2009. С. 162–167.
4. Долгих Г.И., Мишаков А.В. О согласовании регрессий для энергетической и геометрических характеристик очага ко́рового землетрясения // Материалы докладов V Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: Дальнаука. 2007. С. 158–164.
5. Долгих Г.И., Мишаков А.В. Магнитудные инварианты в сопряжении с частотным законом Гутенберга-Рихтера и теоретико-размерностные инварианты в физике землетрясений // Материалы докладов XI Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: ТОИ ДВО РАН. 2019. С. 390–417.
6. Садовский М.А. О подобии сейсмических процессов // ДАН СССР. 1987. Т. 296. № 6. С. 1343–1347.
7. Садовский М.А. Сейсмика взрывов и сейсмология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1987. №11. С. 34–42.
8. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука. 1978. 192 с.
9. Долгих Г.И., Мишаков А.В. Модельные оценки времён распространения и фазовых скоростей волн Пуассона, Рэлея и Лява для дна шельфа возле м. Шульца в задаче деформографических исследований шельфовых волн (часть I) // Материалы докладов III Всероссийского симпозиума «Сейсмоакустика переходных зон». Владивосток: ДВГУ. 2003. С. 61–65.
10. Dolgikh G.I., Mishakov A.V. Magnitude Invariants in Seismology // Doklady Earth Sciences. 2014. Vol. 459. Part 1. P. 1387–1390. (Долгих Г.И., Мишаков А.В. Магнитудные инварианты в сейсмологии // ДАН. 2014. Т. 459. №1. С. 96–99.)
11. Долгих Г.И., Мишаков А.В. Магнитудные инварианты в сейсмологии // Материалы докладов VIII Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: Дальнаука. 2013. С. 299–309. (Более подробный вариант статьи [10].)
12. Короченцев В.И. Теоретическое и экспериментальное определение скорости гравитационных волн в системе Земля-Луна // Материалы докладов XII Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». Владивосток: ТОИ ДВО РАН. 2021. С. 233–234.
13. Vladimirov Yu.S., Miroshnik A.O., Mishakov A.V. Multidimensional models of physical interactions // Wiss.Zeit.Univ.Jena. 39J. H.1. 1990. P. 128-132.