

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗИ БАЛЛ-МАГНИТУДА-РАССТОЯНИЕ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НЕКОГЕРЕНТНОМ ПРОТЯЖЕННОМ ОЧАГЕ

А. А. Гусев¹, Л. С. Шумилина²

¹Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

²Объединенный институт физики Земли РАН, Москва

С целью теоретического описания макросейсмических закономерностей проведено моделирование параметров поля короткопериодного излучения очага землетрясения. Использована идея аддитивности энергетических вкладов элементарных излучателей - компонент очага, формирующих поле в приемнике. В качестве параметра, пригодного для предсказания интенсивности, предлагается использовать интеграл от квадрата акселерограммы, или «интенсивность по Ариасу» (модификация подхода Ф.Ф.Аптикаева и Н.В.Шебалина). Очаг землетрясения характеризуется моментной магнитудой. Предполагается приблизительное геометрическое подобие очагов. Теория и эмпирические данные сопоставлены на материале двух регионов: Камчатка-Курилы-Япония и материковая часть Северной Евразии. Связь интенсивности вдали от очага и моментной магнитуды практически линейна и указывает на рост амплитудного спектра ускорения в соответствии с моделью Омега-квадрат или чуть быстрее. Для указанных регионов по предлагаемой методике дан прогноз интенсивности по магнитуде и расстоянию с учетом протяженности очага.

FITTING EMPIRICAL MACROSEISMIC TRENDS BY THEORETICAL RELATIONSHIPS BASED ON NON-COHERENTLY RADIATING FAULT MODEL, by A. A. Gusev and L. S. Shumilina We derive a simple model for integral parameters of short-period radiation field around an earthquake fault/source based on the idea of summation of energy contributions at a site produced by different elements of the source. Generally, the model predicts average values of Fourier spectrum of ground acceleration. It is employed further to predict integral of squared acceleration as a single, simple and easy-modeled physical parameter of ground vibration. We apply this parameter, also known as Arias intensity, to predict macroseismic intensity at a site. This enables us to develop generic theoretical relationship between intensity, magnitude and distance. We use moment magnitude M_w as the fault/source scaling parameter, and assume geometrical scaling of earthquake sources of different magnitudes. We fit the derived generic relationship to empirical data for Kamchatka-Kuriles-Japan and continental Northern Eurasia.

Введение

Использование современных и исторических макросейсмических данных, обычно в виде баллов интенсивности, является важным средством анализа и прогноза сейсмической опасности. При этом до настоящего времени анализ карт изосейст и построение связей балл-амплитуда-расстояние проводится исключительно на основе эмпирических закономерностей. Это создает проблемы при решении таких практических задач, как экстраполяция данных, имеющих для средних амплитуд, на большие амплитуды, перенос известных эмпирических законов в новые районы, совместный анализ макросейсмических и инструментальных данных.

В настоящее время возникла возможность анализа связей балл-магнитуда-расстояние ($I-M-r$) на теоретической основе с использованием теории короткопериодных сейсмических волн от протяженного очага. Во-первых, современные модели короткопериодного очагового излучения [4, 28] позволяют дать реалистическое осредненное описание волнового поля вокруг очага в терминах амплитудных параметров поля. Во-вторых, улучшилось понимание связи макросейсмической интенсивности I с параметрами волнового поля. Если ранее Гутенберг и Рихтер [20], Канаи [25] и многие вслед за ними сопоставляли интенсивность с максимальным ускорением a_{MAX} или максимальной скоростью колебаний грунта v_{MAX} , то в настоящее время выявились преимущества интегральных параметров колебаний; таких как комбинация $a_{MAX}^2 d$ [1, 2], где d - длительность, или близкий по смыслу параметр - уровень максимума спектра Фурье ускорения F_{MAX} [14]. Эти параметры учитывают длительность воздействия, что совершенно необходимо для учета факта нарастания степени повреждения реальных зданий и сооружений с ростом длительности воздействия при неизменном уровне амплитуды. Мы полагаем, что моделирование зависимости $I(M,r)$ по параметрам волнового поля позволит описывать и прогнозировать интенсивность с большей надежностью, чем на чисто эмпирической основе.

Впервые модель волнового поля вблизи некогерентного очага и зависимость $I(a_{MAX},d)$ были скомбинированы в [4], что позволило построить первый вариант теоретически обоснованной связи $I(M,r)$. Еще ранее Эвернден [21] предложил использовать полуэмпирическую модель протяженного макросейсмического источника как цепочки точечных источников. В настоящей работе подобный подход развивается далее. Мы отойдем от примитивной модели очага из [4] в виде диска с постоянной светимостью и используем несколько более реалистическую модель - прямоугольный источник. Для такого источника мы построим модели изосейст, а на их основе - зависимость интенсивности I от моментной магнитуды M_W и расстояния r .

Использование вместо обычных магнитуд сейсмического момента M_0 или моментной магнитуды M_W как интегральной меры мощности очага является важным элементом настоящего подхода; именно это позволяет рассчитывать на надежность экстраполяции эмпирических данных, представленных как $I(M_W,r)$, к предельно большим значениям магнитуды.

Для определения параметров модели в работе используются эмпирические данные двух видов:

$$I(M_W,r) |_{r=100} = I_{100}(M_W),$$

$$I(M_W,r) |_{M_W = \text{const}} = I(r),$$

В результате строится новая расчетная схема, пригодная для практического прогноза балльности и построения модельных полей изосейст вблизи очага. Снимая трудности существующих методов, новый подход позволяет:

- автоматически учитывать насыщение уровня сотрясений вблизи протяженного очага;

- исключить потенциальные ошибки из-за внутренней нелинейности и насыщения магнитудных шкал;

- снять как искусственную проблему выбора варианта эмпирической формулы Ковеслигети-Шебалина или Блейка-Шебалина [15].

В настоящей статье мы проведем построение модели и ее привязку к двум сейсмическим регионам России.

Общие принципы моделирования поля балльности на основе физических параметров колебаний

Первое, что необходимо сделать для практического моделирования балльности, это установить конкретный вариант связи между баллом и физическими параметрами колебаний грунта. Гутенберг и Рихтер [20] предложили зависимость вида:

$$I = 3 \lg a_{\text{MAX}} + \text{const}, \quad (1)$$

где a_{MAX} - максимум ускорения грунта. В [16] Н.В.Шебалин, обобщая данные многих авторов, подтверждает эту зависимость в качестве средней при достаточно большом разбросе данных. Эта зависимость неоднократно уточнялась.

Работами С.В.Медведева [8], Н.В.Шебалина [16] для наиболее важного диапазона 5-8 баллов был установлен в качестве нормативного вариант:

$$I = 3.3 \lg a_{\text{MAX}} + \text{const}. \quad (2)$$

Тогда же Н.В.Шебалин отметил, что реальная связь $I(a_{\text{MAX}})$ имеет нелинейный характер. После серии предварительных исследований Ф.Ф.Аптикаев и Н.В.Шебалин [2] предложили связь вида:

$$I = f(\lg a_{\text{MAX}} + 0.5 \lg d_A) + \text{const}, \quad (3)$$

где d_A - длительность по Аптикаеву, то есть длительность участка акселерограммы с амплитудами, превышающими 50% от максимума. Функция f задана таблично и описывает отмеченную выше нелинейность; при $I = 6 - 9$ она близка к:

$$I = 3.33 \lg (a_{\text{MAX}} d_A^{0.5}) + \text{const}. \quad (4)$$

Канаи [25] предложил связывать интенсивность с максимумом скорости v_{MAX} . Медведев [8] рекомендовал связь вида :

$$I = 3.33 \lg v_{\text{MAX}} + \text{const}. \quad (5)$$

Ю.К. Чернов [14] отметил достаточно тесную связь интенсивности с максимумом спектра ускорения F_{MAX} . Хаузнер [24] предложил связывать I с площадью под кривой спектра реакции по скорости.

Подходы Аптикаева и Шебалина, Чернова и, частично, Хаузнера по существу сводятся к использованию интегральной характеристики колебаний вместо пиковой, что соответствует закономерностям разрушения зданий. Простейшей интегральной характеристикой колебаний служит интеграл от квадрата ускорения

$$A = \int a^2(t) dt \quad (6)$$

где $a(t)$ - акселерограмма. За A закрепилось название «интенсивность по Ариасу» [19]. Введем обозначение:

$$A_{\text{АШ}} = a_{\text{МАХ}}^2 d_A \quad (7)$$

и отметим, что величины A (Ариас) и $A_{\text{АШ}}$ (Аптикаев - Шебалин) близки по физическому смыслу. Кроме того, $A \approx F_{\text{МАХ}}^2 / 2\Delta f$, где Δf - эффективная ширина полосы частот, которую в нулевом приближении можно считать неизменной. Далее мы возьмем за базовую величину A . К сожалению, связь A и I не изучена. Для целей построения эмпирических формул мы примем эту связь линейной и близкой к связи $A_{\text{АШ}}$ и I . С учетом (4) это даст:

$$I = C_A \lg A + \text{const.} \quad (8)$$

С учетом обычного соотношения $\partial \lg a_{\text{МАХ}} / \partial I = \lg 2$ и в согласии с (4) положим $C_A = 1,667$. Примененный далее расчетный метод позволяет скорректировать небольшие возможные отклонения C_A от принятого значения.

Перейдем к вопросу построения поля величины A вокруг очага. Следуя [4], будем предполагать, что очаг является площадкой, элементы которой излучают высокочастотное (короткопериодное) излучение независимо (некогерентно). Это значит, что вклады разных площадок суммируются в приемнике энергетически (полная мгновенная мощность равна сумме мгновенных мощностей - вкладов от элементарных источников; то же справедливо для энергий). В нашем случае это означает, что в некоторой точке приема

$$a^2(t) = \sum_{i=1}^N a_i^2(t) \quad (9)$$

$$A = \sum_{i=1}^N A_i \quad (10)$$

где $a_i(t)$ и $A_i = \int a_i^2(t) dt$ - акселерограмма и вклад в A , порожденные элементарным источником с номером i ($i=1,2,3...N$). Чтобы рассчитать A_i , введем стандартную функцию $\Phi(r)$ затухания интенсивности по Ариасу от точечного источника соотношением:

$$A(r) = A(r_0)\Phi(r) / \Phi(r_0), \quad (11)$$

где r_0 - некоторое стандартное расстояние. Положим далее для простоты $r_0 = 1$ и $\Phi(r_0) = 1$. Элементарный источник примем малым и изотропным, тогда

$$A_i = E_i \Phi(r_i), \quad (12)$$

где r_i - расстояние от элементарного источника до приемника, а величина E_i есть «энергия» элементарного источника, определяемая как A_i для единичного расстояния.

Можно полагать, что основной вклад в движение грунта вносят S- волны, диаграмма направленности которых (для квадрата длины вектора ускорения) центрально симметрична и не имеет нодальных линий. Практически она достаточно близка к сферической, поскольку анизотропия источника, связанная с диаграммой направленности, почти никогда не проявляется в поле изосейст. Поэтому мы сочли возможным использовать здесь модель изотропного элементарного источника.

Теперь, если известна функция затухания $\Phi(r)$ и задано определенное размещение в пространстве элементарных источников с некоторыми E_i , на основе формул (8), (10) и (12) можно решать практические задачи по расчету поля интенсивности. Так, можно проводить подгонку модельных карт изосейст для конкретных очагов, решая в сущности методом подбора обратную задачу о структуре излучателя. Можно также изучать осредненную зависимость $I(M_w, r)$, строя поля балльности для простейших вариантов структуры очага при изменении магнитуды как параметра. Эта вторая возможность и будет предметом дальнейшего рассмотрения. Но прежде чем перейти к схеме расчета, обсудим проблему выбора функции $\Phi(r)$.

Как видно из реальных карт изосейст, само описание затухания через функцию расстояния является переупрощенным и не может объяснить нередко весьма прихотливую структуру таких карт. Но для ограниченных целей данной работы подобный подход можно считать приемлемым. Известные модели затухания балльности Блейка-Шебалина и Ковеслигети-Шебалина [15]:

$$I(r) = \Phi_1(M) - C \lg r, \quad (13a)$$

$$I(r) = \Phi_2(M) - C \lg r - qr, \quad (13b)$$

из коих вторая обобщает первую, наводят на мысль принять чуть модифицированную традиционную модель затухания:

$$\Phi(r) = r^{-2n} \exp(-r/r_Q) \equiv g(r, n, r_Q). \quad (14)$$

Если показатель степени расхождения волн в среде « n » выбран корректно и акселерограмма узкополосная (средняя частота f_1), тогда

$$r_Q = cQ(f_1)/2\pi f_1, \quad (15)$$

где c - скорость, а Q - добротность S- волн. Если $Q(f_1) = Q_0 f_1^1$, что нередко близко к реальности, r_Q (расстояние, на котором «энергия» поглощается средой в « e » раз) по (15) не зависит от частоты и (15) корректно даже при широкополосном спектре ускорения.

Если ни одна из этих возможностей не реализуется, а также в случаях, когда параметр « n » или коэффициент C_A выбраны не вполне правильно, оценка r_Q по эмпирическим данным теряет прямую связь с Q для S - волн и приобретает характер подгоночного коэффициента.

В некоторых регионах возможна более сложная модель затухания, предполагающая две ветви с разными n и r_Q :

$$\Phi(r) = \begin{cases} g(r, n_1, r_{Q1}) & \text{при } r < r_c \\ c_g g(r, n_2, r_{Q2}) & \text{при } r > r_c \end{cases} \quad (14a)$$

где $c_g = g(r_c, n_1, r_{Q1}) / g(r_c, n_2, r_{Q2})$ и r_c - расстояние, на котором происходит переключение закона затухания с первой ветви с параметрами n_1, r_{Q1} на вторую с параметрами n_2, r_{Q2} .

Способ расчета средней зависимости (M_w, r)

При моделировании средней зависимости $I(M_w, r)$ мы будем исходить из простейшего представления об очаге (рис.1), принимая его в виде прямоугольника длины $L = L(M_w)$ и ширины $W = W(M_w)$. «Светимость» источника примем одинаковой в пределах его площадки;

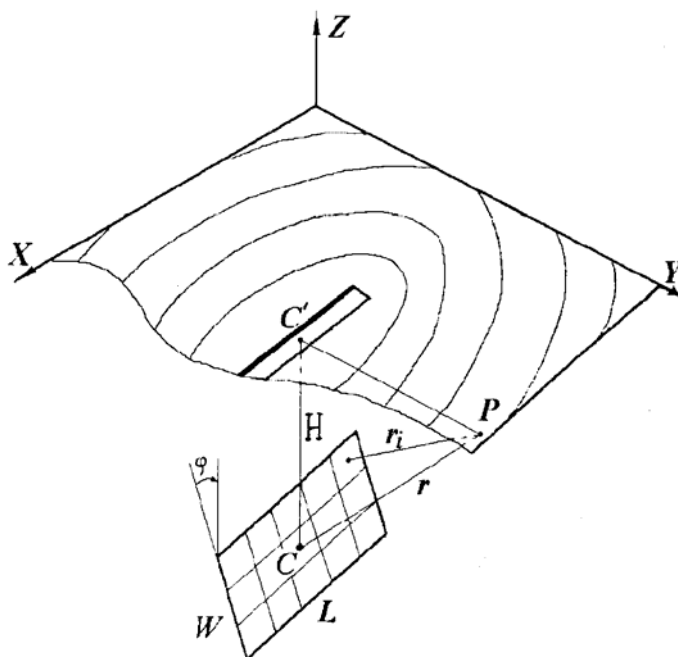


Рис.1 Схема расчета интенсивности. C - гипоцентр, а C' - эпицентр прямоугольного очага длины L и ширины W на глубине H , наклоненного под углом φ . Плоскость XY -дневная поверхность. P - точка наблюдения («приемник»). r - гипоцентральное расстояние, r_i - расстояние до i -ого субисточника, на которые разбит очаг. Прямоугольник на плоскости XY - проекция очага на дневную поверхность, утолщенная сторона - проекция верхней кромки очага. Кривые на плоскости XY - изосейсты от данного очага.

это значит, что энергия E_i пропорциональна площади S_i элементарного излучателя номер i :

$$E_i = C_S S_i. \quad (16)$$

Модельные элементарные излучатели будем формировать на основе прямоугольной сетки, образуемой путем деления L и W на N_L и N_W одинаковых отрезков; тогда общее число излучателей $N = N_L N_W$, а все S_i одинаковы:

$$S_i = S/N, \quad (17)$$

где $S = LW$.

В [4] была высказана гипотеза постоянства среднего потока короткопериодной мощности $P = \partial\varepsilon/\partial S \partial t$ (ε - короткопериодная сейсмическая энергия очага) в очагах землетрясений разных магнитуд. При постоянном P_M , предполагая геометрическое и кинематическое подобие:

$$L \sim W \sim T \sim M_O^{1/3} \sim 10^{0,5M_w} \quad (18)$$

(T - время работы очага) и полагая также $E = \sum E_i \sim \varepsilon$, имеем

$$E \sim \varepsilon = P_M L W T \sim M_O \sim 10^{1,5M_w}. \quad (19)$$

Отсюда, используя последовательно (12), (10), (8), получим для дальней зоны источника:

$$I = C_M M_w + \text{const} \quad (20)$$

с $C_M = 2,5$, что явно противоречит традиционной эмпирической связи $I = 1,5 M_{LH} + \text{const}$, поскольку $\partial M_{LH} / \partial M_w \approx 1$. Этот неправдоподобный результат, как и другие аргументы (см, [5]), приводит к отказу от идеи постоянства P_M .

Более правдоподобной в настоящее время выглядит гипотеза постоянства плотности короткопериодной энергии ε очага [5]: удельная (на единицу площади) короткопериодная сейсмическая энергия ($P_\varepsilon = \partial\varepsilon/\partial S$), излучаемая участком поверхности очага за все время очагового процесса, в среднем не зависит от того, в очаге какого размера (магнитуды) находится этот участок.

Гипотеза постоянства плотности энергии дает вместо (19) :

$$E \sim \varepsilon = P_\varepsilon L W \sim M_O^{2/3} \sim 10^{M_w} \quad (21)$$

и $C_M = 1,667$ в (20), что вполне приемлемо. Далее, в силу предположения $F_{\text{MAX}}^2 \sim A \sim E$, (21) также дает (в дальней зоне):

$$F_{\text{MAX}} \sim a(f) \sim M_O^{1/3}, \quad (22)$$

что согласуется со свойствами известной спектральной модели ω^{-2} Аки-Бруна [18]. Кроме того, отметим, что в нашем базовом предположении близости A (6) и $A_{\text{АШ}}$ (7) мы пренебрегли тем фактом, что $A_{\text{АШ}}$ включает пиковое ускорение, а не среднеквадратическое. Анализ показывает, что по этой причине следует ожидать, что эмпирическое C_M будет отлично от

оценки по (21), слегка превышая ее. Поэтому значение C_M целесообразно определять на эмпирической основе. Это и будет предпринято далее.

В соответствии с гипотезой подобия (18) будем также принимать

$$M_W = \lg S + C_{MS}. \quad (23)$$

Здесь $C_{MS} = 4,1$ при S в км^2 . Значение C_{MS} взято из [6], где оно было получено на основе обобщения литературных данных, в первую очередь [26].

Итак, задав M_W или S очага и используя (16), можно было бы теперь рассчитать E_i , по E_i через (12) - A_i , по A_i через (10) - A , по A через (8) - I , но для этого необходимо определить численные значения постоянных в (8) и (16). Это можно в принципе сделать, проведя расчет параметров поля излучения на основе реалистических очаговых спектров и свойств среды, а затем использовать зависимость $I(a_{\text{MAX}}, d)$, табулированную Аптикаевым и Шебалиным [2]. Этот путь строгий, но очень громоздкий. На данном этапе мы решили пойти обходным путем и использовать для калибровки связей (8) и (16) некоторое опорное эмпирическое значение балльности I_B , соответствующее некоторой фиксированной базовой комбинации $(M_W, r) = (M_B, r_B)$.

Покажем, что теперь I действительно можно определить, и построим соответствующие расчетные формулы. Пусть задана комбинация (M_B, r_B) и известно значение $I_B = I(M_B, r_B)$, также заданы L и W очага и его положение в пространстве (см. рис.1). Необходимо найти I в некоторой точке («P» на рис.1) - «приемнике». Значение r будем определять как расстояние от точки до центра очага. Находим $S = L \cdot W$ и площади элементарных излучателей по (17). По магнитуде M_B из (23) находим площадь опорного очага S_B . Задав разумное соотношение длина/ширина для опорного очага, находим его размеры L_B и W_B .

Чтобы связать I с I_B , удобно перейти на время в дальнюю зону. Выберем некоторое большое $r' \gg L, r' \gg L_B$; тогда все r_i будут приблизительно равными r' . На расстоянии r' значения $I = I'$ и $A = A'$ определяются лишь магнитудой M_W . Зафиксируем условно неизвестное I' , и выразим $I = I(r)$ через $I' = I(r')$. В силу гипотезы изотропности I' не зависит от выбора луча.

Для поля элементарного излучателя номер i на удалении r' , помня, что $C_A \equiv \partial I / \partial A$, из (10) и (8) получим:

$$A_i' = A' / N, \quad (24)$$

$$I_i' = C_A \lg(1/N \cdot 10^{I'/C_A}) = I' - C_A \lg N. \quad (25)$$

Поле того же элементарного излучателя на удалении r_i есть:

$$A_i = A_i' \Phi(r_i) / \Phi(r'), \quad (26)$$

$$I_i = I' - C_A \lg N + C_A \lg(\Phi(r_i) / \Phi(r')). \quad (27)$$

Суммируя в приемнике эффекты от всех элементарных излучателей, получим:

$$A = \sum A_i = \sum A_i' \Phi(r_i) / \Phi(r') \quad (28)$$

$$I = C_A \lg \sum_{i=1}^N 10^{I_i/C_A} = I' + C_A \left\{ \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi(r_i) \right] - \lg \Phi(r') \right\} \quad (29)$$

Совершенно аналогично, разбив очаг «опорного» землетрясения на K элементарных излучателей, получим связь I_B с балльностью I'_B на удалении r' для «опорного» землетрясения:

$$I_B = C_A \lg \sum_{i=1}^K 10^{I_i/C_A} = I'_B + C_A \left\{ \lg \left[\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \Phi(r_{Bi}) \right] - \lg \Phi(r') \right\} \quad (30)$$

где r_{Bj} - значение расстояния от приемника до элементарного излучателя номер j в опорном очаге. Приемник мы будем считать расположенным на определенном (опорном) луче на расстоянии r_B от центра опорного очага, а опорный луч направим вдоль нормали к плоскости очага.

Чтобы связать I' и I'_B , предположим согласно (20) наличие связи вида:

$$I' = I'_B + C_M (M_w - M_B), \quad (31)$$

где C_M не должно сильно отличаться от 1,67. Комбинируя (29), (30) и (31), получим, наконец:

$$I = I_B + C_M (M_w - M_B) + C_A \left\{ \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi(r_i) \right] - \lg \left[\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \Phi(r_{Bi}) \right] \right\} \quad (32)$$

Это и есть основная расчетная формула для интенсивности I в точке на удалении r от центра прямоугольного очага размером LW .

Целесообразно рассмотреть и несколько более общий случай - элементарные излучатели (эи) с переменной энергией («светимостью»). Удобно описывать светимость элементарных излучателей через эффективную (эфф) площадь:

$$S_{эфф,i} = p_i S_{эи}, \quad (33)$$

где p_i - вес (до сих пор все веса были равны единице). Матрица p_i определяет распределение светимости по площадке очага. Легко видеть, что в общем случае, чтобы (32) осталось справедливым, достаточно заменить там $\lg(1/N) \sum \Phi(r_i)$ на $\lg(\sum p_i \Phi(r_i) / \sum p_i)$. Магнитуду M_w такого очага можно было бы определить как

$$M_w = \lg \sum S_{эфф,i} + C_{MS} \quad (34)$$

В (34) M_w - «макросейсмическая магнитуда»; теперь она не обязана быть равна или близка истинной моментной магнитуде, так как мы здесь отказались от пропорциональности (16).

По формуле (32), перемещая приемник по поверхности Земли, можно теперь вычислить I в наборе точек и построить карту изосейст, а выбрав один или несколько характерных лучей,

построить зависимость $I(M_w, r)$. Для разных M_w есть основание принимать отношение L/W различным. Далее в расчетах мы плавно меняли L/W от единицы при $M_w \leq 5$ до трех при $M_w = 9$.

Описание неоднородной структуры очага через матрицу p_i позволяет в принципе решать прямые, а в дальнейшем и обратные задачи для одной-двух первых изосейст. Для последующих изосейст нет надежды промоделировать реальные карты, задавая затухание как $\Phi(r)$, надо учитывать пространственную структуру затухания в среде. Эти возможности в данной работе не исследовались.

На рис.2 приведен пример построения карты изосейст по описанному алгоритму от прямоугольного источника с $L = 155$ км и $W = 52$ км, наклоненного под углом 30° к вертикали; его центр на глубине 40 км, длинная ось горизонтальна, число субисточников - 61×21 . Принято $C_A = 1,667$, $C_M = 1,85$, затухание - по закону (14) с $n = 1$ и $r_Q = 90$ км, $I_B(M_w = 8, r_B = 100 \text{ км}) = 7,75$ балла.

На рис.3 показаны зависимости интенсивности от расстояния вдоль профиля для нескольких различно расположенных относительно очага профилей. Местоположение и номера профилей приведены на рис.2. Кроме того, мы определяли традиционную при обработке карт изосейст зависимость I от радиуса круговой изосейсты, охватывающей ту же площадь, что и фактическая. Оказалось, что эта кривая очень близка к профилю 2, построенному от центра очага под 45° к его оси.

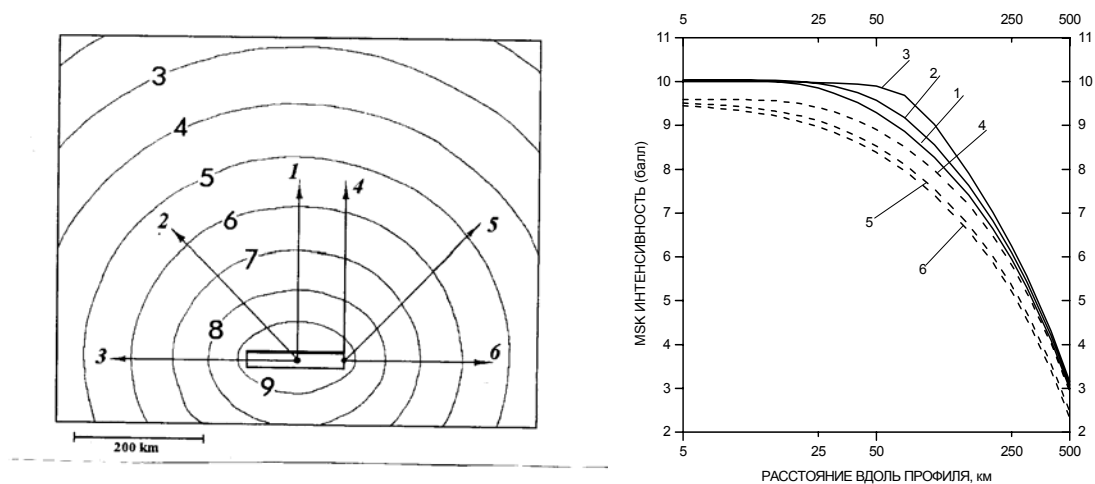


Рис.2 Модельная карта изосейст от очага с $M_w = 8.0$ на глубине 40 км. Стрелками показаны профили от первого (1) до шестого (6).

Рис.3 Графики спада интенсивности с расстоянием по профилям, соответствующие карте изосейст рис.2. Цифры у кривых - номера профилей, показанных на рис.2.

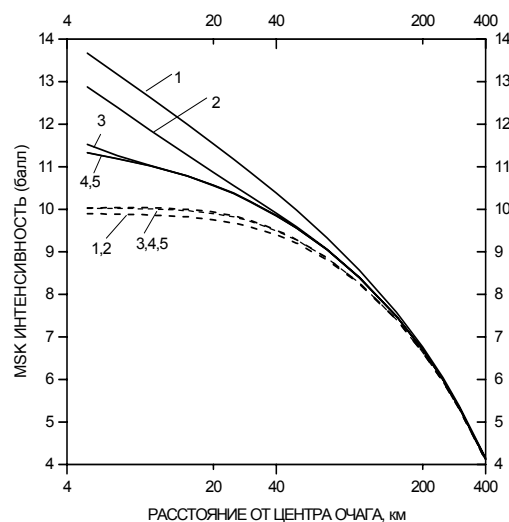


Рис.4 Зависимость интенсивности от числа субисточников. Профиль 1 по рис.2. Сплошные кривые для очага на глубине 0 км, пунктирные - 40 км. Число субисточников: 1 - 1x1; 2 - 3x1; 3 - 11x3; 4 - 21x7; 5 - 61x21.

Важный элемент расчетов - правильный выбор шага сетки элементарных излучателей. При недостаточно мелком шаге возможны искажения, проиллюстрированные на рис. 4. Практически, шаг должен быть чуть мельче, чем расстояние от ближайшей точки на профиле до очага. Кроме того, сам способ расчета опирается на идею некогерентного излучения, а она становится плохо обоснованной при расстояниях до источника порядка длины волны [4, 5]. С учетом этих соображений, мы не вели расчетов для расстояний менее 5 км.

Определение эмпирической зависимости $I(M_w, r)$ и подбор параметров теоретического закона $(I-M-r)$ для региона Камчатка-Курилы-Япония

Практическое опробование развитого выше подхода было проведено при построении $I(M, r)$ для сейсмоактивного региона Камчатка - Курилы - Япония. Принималось, что регион однороден в отношении исследуемых свойств. Сначала проверялось наличие постулированной в (20) линейной связи между баллом вдали от очага и M_w и определялся коэффициент этой связи. Для этого использовался подход Кавасуми [26]: с M_w сопоставлялась величина I_{100} - значение интенсивности на фиксированном удалении - 100 км от очага. Определив таким путем на первом этапе связь $I(M_w)$, затем по независимым данным отыскивалась связь $I(r)$.

Материалы по определению $I_{100}(M_w)$ обобщены на рис.5; использованы землетрясения Камчатки и Курил (табл.1). Для определения I_{100} в основном использовались данные $r(I)$ индивидуальных землетрясений из [9], при этом в отсутствие значения балльности на расстоянии 100 км оно находилось путем интерполяции или экстраполяции ближайших (не дальше 20 км) значений. Стоит отметить, что даже при неплохо известной балльности на побережье, для многих сильных землетрясений I_{100} невозможно определить уверенно из-за ненадежных координат эпицентра и вызванной этим неопределенности в расстоянии.

Существенной проблемой был переход от значений магнитуды M_{LN} , характеризующей данные большинства каталогов, к моментной магнитуде M_W , имеющей, как отмечалось, большие преимущества в данной проблеме. Были привлечены все известные по литературе значения сейсмического момента M_0 или M_W . В остальных случаях выполнялся пересчет от M_{LN} к M_W по региональным регрессионным кривым из [6], специально построенным для этой цели. Макросейсмические данные по землетрясениям Японии привлечены в виде уже осредненной зависимости $J(M)$:

$$J_{100} = 1,5 M_J - 6,2 \quad (35)$$

Эта зависимость получена Хашидой [22, 23] при обобщении большого объема макросейсмических данных; в ней использованы значения интенсивности J по Японской семибалльной шкале JMA и магнитуда по японской шкале $M_{JMA}(M_J)$. Для перехода от шкалы интенсивности JMA к 12-балльной шкале MSK проведена прямая интерпретация текста описания каждого балла шкалы JMA [3] в баллах шкалы MSK [7]. В результате получены соотношения, приведенные в табл.2.

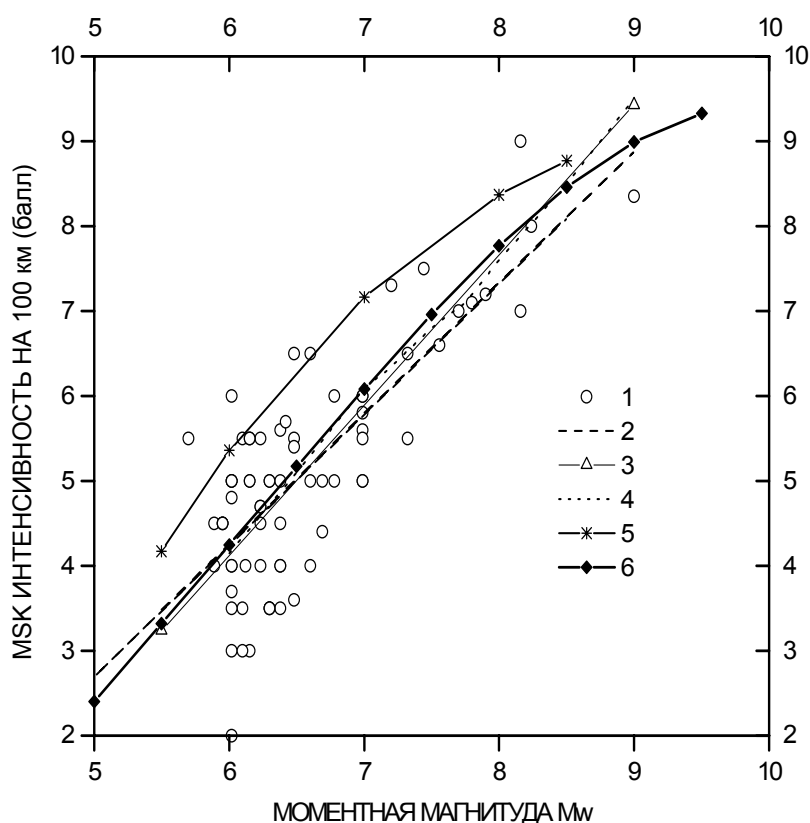


Рис.5 Зависимость от M_W интенсивности на расстоянии 100 км для Курил, Камчатки и Японии. 1 - наблюдаемые точки; 2 - линейная регрессия и 3 - ортогональная регрессия для наблюдаемых точек; 4 – преобразованная зависимость Хашида для Японии [22, 23] ; 5 - кривая для Камчатки по [13]; 6 - рекомендуемая зависимость $I_{100}(M_W)$.

Таблица 2 Соотношение между шкалами интенсивности MSK и JMA

шкала	балл						
	1	2	3	4	5	6	7
JMA	1	2	3	4	5	6	7
MSK	2	3,8	4,7	6,0	7,0	9,0	(10,5)

С небольшой погрешностью эти соотношения можно представить в виде ломаной:

$$I = \begin{cases} 7,1 + 1,2(J - 5) & J < 5 \\ 7,1 + 1,9(J - 5) & J < 5 \end{cases} \quad (36)$$

Используя эти соотношения, а также регрессионные кривые связи между M_{LH} и M_J из [6], соотношение Хашида (35) было приведено к шкалам M_{LH} и MSK. Как видно из рис.5, экспериментальные точки для Камчатки и Курил (пустые кружки) очень хорошо согласуются с преобразованной зависимостью Хашида для Японии (точечная кривая 4 на рис.5), что позволяет уверенно считать эти регионы однотипными.

При сопоставлении наблюдаемых данных с зависимостью $I_{100}(M_{LH}(M_W))$ (№ 5 на рис.5), построенной в соответствии с принятым для Камчатки макросейсмическим уравнением [13]:

$$I = 1,5M_{LH} - 2,631gr - 0,0087r + 2,5, \quad (37)$$

видно, что принятая ранее кривая (37) является верхней границей наблюдаемых точек, в среднем завышает балльность относительно наблюдений и требует замены.

Для вывода новой рекомендуемой зависимости сначала выполнили линейную регрессию $I(M_W)$ по приведенным наблюдаемым точкам. Результат можно записать в виде:

$$I_{100} \pm 0,85 = (1,54 \pm 0,15) M_W + (-5,0 \pm 0,998) \quad (38)$$

Эта прямая (штриховая на рис.5) неплохо описывает совокупность данных об I_{100} для Курил, Камчатки и Японии. Несколько лучше соответствует им прямая, отображающая ортогональную регрессию (прямая с треугольниками на рис.5):

$$I_{100} \pm 0,87 = (1,77 \pm 0,15) M_W + (-6,5 \pm 1,0) \quad (39)$$

Но развитая выше теория позволяет аккуратно учесть не только линейную связь $I_{100}(M_W)$ в дальней зоне, но и тенденцию к насыщению I_{100} , когда размер очага становится порядка или более 100 км. Была построена теоретическая зависимость I_{100} от M_W (профиль1) в предположении $C_M=1,85$. Данное значения C_M определили методом подбора. Затем подобрали и уровень кривой по критерию наименьшей средней ошибки. Уровень подобранной кривой фиксируется условием $I_{100}(M_W=8)=7,75$ балла. Полученная кривая (номер 6 на рис.5), представляет собой нашу рекомендуемую оценку $I_{100}(M_W)$.

Далее был проведен подбор закона затухания $\Phi(r)$. Надо отметить, что в условиях данного региона неоднородность затухания в пространстве выражена очень ярко, так что результат данной части работы дает лишь самую сглаженную картину. Предполагалось, что кривая затухания [13], ранее подобранная по наблюдательным данным Камчатки и Курил, хорошо отражает эмпирическую тенденцию. К этой кривой была подобрана аппроксимация простым законом (14). В этом законе было принято $n=1$ на основе представления о ведущей роли объемных S-волн (прямых или рассеянных на малые углы). Таким образом, подбор свелся к оценке r_Q . На рис.6 приведена серия расчетных кривых $I(r)$ для $M_W=8$ и для разных значений r_Q . Там же приведена соответствующая эмпирическая кривая (37), описывающая наблюдения в интервале расстояний 50-500 км. Все кривые имеют общую точку $I_{100}(M_W=8) = 7,75$. ($I_B=7,75$ при $M_B=8$ и $r_B=100$ км). Сравнение расчетных кривых с эмпирической позволяет принять значение $r_Q = 90$ км как оптимальное. Принимая характерную частоту спектра ускорения в данных условиях $f_1=2$ Гц, приходим к значению $Q = 2\pi f_1 r_Q / c = 280$ при условном $c = 4$ км/с (среднее между корой и мантией). Это значение очень хорошо согласуется с оценками Q для S волн в литосфере Камчатки [17].

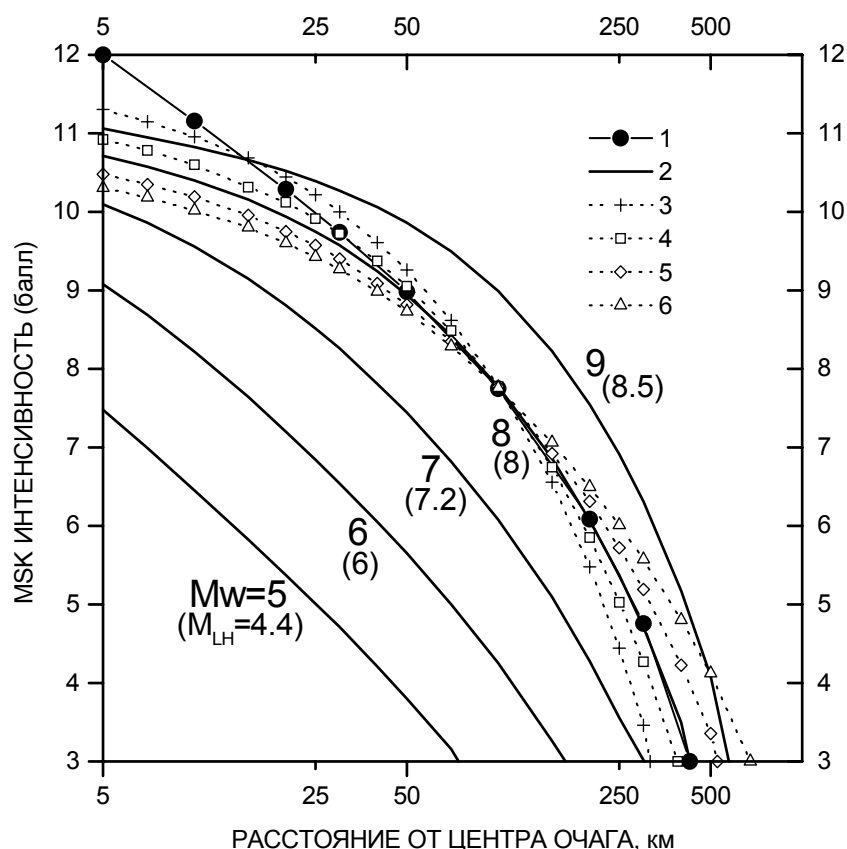


Рис.6 Графики спадания балльности с расстоянием для Курило-Камчатско-Японского региона. 1 - по [13]; 2 - по модели, предлагаемой в настоящей работе, с $r_Q=90$ км; 3-6 - расчет по модели для $M_W=8$ и r_Q , соответственно, 50, 70, 130, 200 км.

На рис. 6 также приводятся расчетные кривые $I(r)$ для других значений M_w , фиксированного значения $r_Q=90$ и тех же I_B , M_B и r_B . Полученное семейство кривых позволяет наглядно представить влияние протяженности очага на характер спада балла с расстоянием. Кривые для $M_w=8$ и тем более $M_w=9$ выполаживаются вблизи очага по сравнению с кривыми для малых магнитуд, демонстрируя эффект насыщения

Определение эмпирической зависимости $I(M_w, r)$ и подбор параметров модели (I-M-r) для материковой части Северной Евразии

Подбор параметров модели для материковой части Северной Евразии методически проведен аналогично подбору для региона Камчатка-Курилы-Япония. К материковой части Северной Евразии мы отнесли континентальные сейсмические области бывшего СССР. Прежде всего анализировались зависимости $I(M_w)$ на двух расстояниях от очага -30 км (I_{30}) и 100 км (I_{100}). Для построения этих зависимостей наблюдаемые данные взяты из [9] и обработаны так же, как описано выше для региона Камчатка-Курилы-Япония. Перевод магнитуд каталога M_{LH} в магнитуды M_w осуществлен по нелинейным корреляционным связям из [6].

На рис.7 отображены данные о соотношении магнитуды M_w и интенсивности сотрясений (I_{100}) на расстоянии 100 км от очага (использовано 303 землетрясения). Соотношение $I(M_w)$ в соответствии со стандартной (средней) зависимостью Н.В.Шебалина [9]

$$I = M_{LH} - 3.5 \lg r + 3.0 \quad (40)$$

(линия 2) находится в хорошем согласии с наблюдаемыми данными (пустые кружки). Исходя из этого, в качестве эталонного уровня кривой $I(M_w)=I_B(M_{wB})$ выбрана хорошо обеспеченная экспериментальными данными точка, соответствующая $M_{LH} = 6.0$ ($M_w = 6.23$), $r = 50$ км, $I_r = 6$ баллов. Теоретическая зависимость $I(M_w)$ (линия 5) построена подобно тому, как это было сделано в предыдущем разделе, включая предположение, что $C_M = dI/dM = 1.85$. Эта зависимость практически совпадает со стандартным соотношением Шебалина, исключая область самых больших магнитуд. Стандартная линейная регрессия $I(M_w)$ по приведенным экспериментальным точкам дает $C_M = 1.42$. Соответствующая ей прямая линия на рисунке (линия 3) плохо описывает данные в области больших M_w . Ортогональная регрессия $I(M_w)$ дает $C_M = 1.68$ и ее прямая линия на рисунке (линия 4) хорошо описывает весь диапазон M_w и достаточно близка к стандартному соотношению Шебалина.

Была также предпринята попытка выявить различия в ходе зависимости $I_{100}(M_w)$ в отдельных субрегионах Северной Евразии, таких, как Кавказ, Копет-даг, Байкал и др. По имеющемуся объему макросейсмических данных нам не удалось обнаружить каких либо существенных региональных различий ни в наклоне прямой, ни в ее абсолютном уровне.

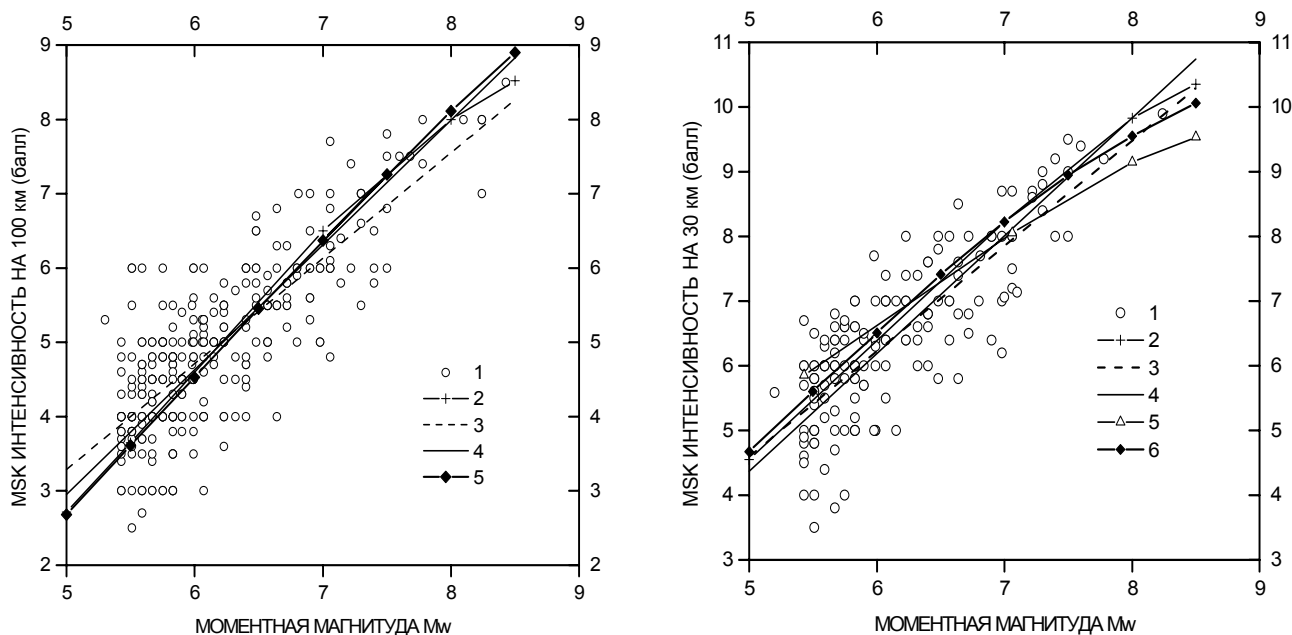


Рис.7 Зависимость от M_W интенсивности на расстоянии 100 км для материковой части Северной Евразии. 1-наблюденные точки; 2 - зависимость по Н.В.Шебалину [9], 3 - линейная регрессия и 4 - ортогональная регрессия для наблюдаемых точек; 5-рекомендуемая зависимость $I_{100}(M_W)$.

Рис.8 Зависимость от M_W интенсивности на расстоянии 30 км. для материковой части Северной Евразии 1 - наблюдаемые точки; 2 - зависимость по Н.В.Шебалину [9], 3- линейная регрессия и 4 - ортогональная регрессия для наблюдаемых точек; 5 - зависимость по Т.Г.Раутиан [9a]; 6 - рекомендуемая зависимость $I_{100}(M_W)$.

На рис.8 приведены данные о соотношении M_W и интенсивности сотрясений (I_{30}) на расстоянии 30 км от очага по данным о 164 землетрясениях. В этом случае стандартная линейная регрессия (линия 3) дает $C_M = 1,63$ и также не удовлетворяет данным при больших M_W . Ортогональная регрессия (условное обозначение - 4) лучше осредняет экспериментальные точки и дает $C_M = 1,82$. Формула Шебалина (линия 2) неплохо осредняет наблюдаемые данные. Зависимость по формуле Т.Г.Раутиан [9a], (аргумент которой пересчитан к шкале M_W), слишком полого (линия 5). Теоретическая зависимость $I_{30}(M_W)$ (линия 6) с $C_M = 1,85$ лучше всего описывает поле наблюдаемых точек.

Итак, теоретические кривые с $C_M = 1,85$ хорошо описывают данные по материковой части Северной Евразии на расстояниях 30 и 100 км, хотя не вполне согласуются с результатами формальной линейной регрессии. Но последняя по методу построения игнорирует малое число точек при больших магнитудах. Поэтому оценку C_M по стандартной линейной регрессии можно рассматривать как нижний предел оценки.

Далее был проведен подбор функции затухания $\Phi(r)$. Попытка задать закон затухания в соответствии с формулой (14) привела к неудовлетворительному результату - завышение I на

больших r при больших M . Применение формулы (14a) с $n_1 = 1$, $n_2 = 0,5$ и $r_{Q1} = r_{Q2}$ и $r_c = 70$ км дает результат, хорошо согласующийся с наблюдаемыми данными. Путем подбора (см рис 9) определили значение r_Q ; величина $r_Q=100$ км оказалась оптимальной. Ей соответствует $Q=314$ для условной характерной частоты 2 Гц.

Наличие независимых наборов данных для расстояний 30 и 100 км дало возможность выполнить внутренний контроль методики. Мы уже отмечали хорошее согласие наклона зависимостей балла от магнитуды. Столь же хорошо согласуются и значения абсолютных уровней зависимостей, полученных по двум наборам данных. Поясним, что наборы использованных землетрясений для расстояний 30 и 100 км заметно различаются.

На рис.9 приведены расчетные кривые $I(r)$ для $M_W = 5 \div 8$, а также эмпирические кривые согласно формуле Н.В. Шебалина. Теоретические и эмпирические кривые находятся в приемлемом согласии, за исключением малых и больших расстояний при больших M_W . На малых расстояниях формула Шебалина заведомо неточна и завышает эффект, не учитывая насыщение амплитуд колебаний вблизи протяженного очага. На больших расстояниях она неточно отражает затухание в среде. Модельные кривые, как и следует ожидать, четко отражают влияние протяженности очага - кривые для $M_W \geq 8$ выполаживаются вблизи очага по сравнению с кривыми для меньших магнитуд.

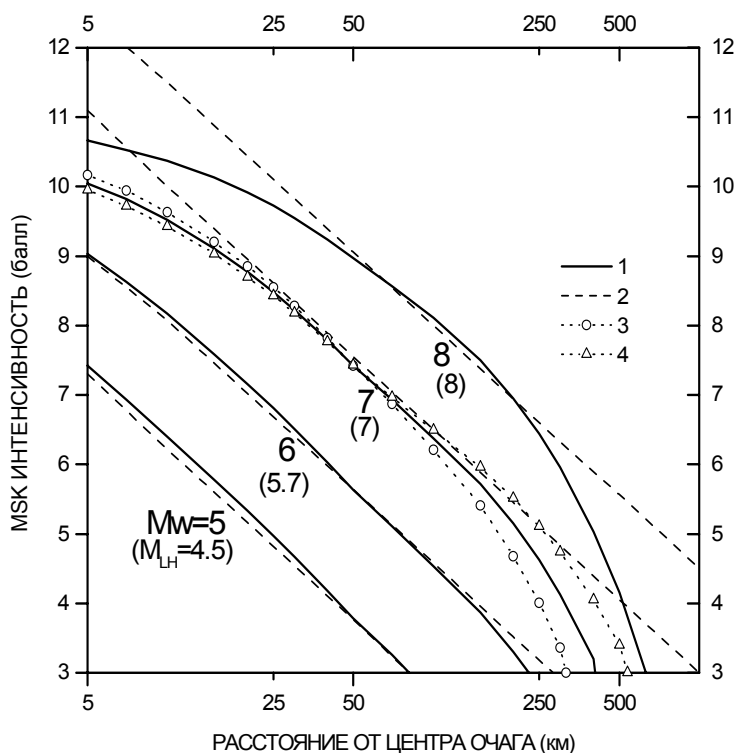


Рис.9 Графики спада балльности с расстоянием для материковой части Северной Евразии. 1 - по предлагаемой модели с $r_Q=100$; 2 - по Н.В.Шебалину [9]; 3-4 - расчет по модели для $M_W = 7$ и r_Q , соответственно, 70 и 150, км.

Обсуждение результатов

Обоснование макросейсмических закономерностей путем использования волновой теории для некогерентного излучателя - назревшая проблема. Описанная выше первая попытка ее решения оказалась успешной. Определены следующие значения параметры расчетной модели (32):

1. Общие для двух регионов:

$$C_A=1,667; C_M=1,85; C_{MS} = 4,1.$$

2. Для региона Камчатка - Курилы - Япония:

$$n=1, r_Q = 90 \text{ км}, I_B = I(M_{LHB}=M_{WB}=8, r_B=100\text{км})=7,75 \text{ балл.}$$

3. Для материковой части Северной Евразии:

$$n_1=1; n_2=0,5; r_{Q1} = r_{Q2}= 100 \text{ км}; r_C = 70 \text{ км};$$

$$I_B = I(M_{LHB}=6 (M_W=6,23), r_B=50 \text{ км})=6,0 \text{ балл.}$$

При этом все проверки моделей на корректность оказались успешными, а именно:

- зависимость $I(M_W)$ при $r=100$ км близка к линейной;
- наклон этой линии близок к 1.85 (по трем группам данных из двух больших регионов;
- зависимость $I(r)$ согласуется с предположением о распространении короткопериодной энергии от точечного источника как S-волн в однородной среде со значением Q около 300 для 2 Гц.

Примечательно неплохое согласие значений Q двух больших регионов, наряду с качественным различием между ними в характере геометрического расхождения. При этом следует отметить, что приводимые нами оценки Q по макросейсмическим данным достаточно содержательны. Они опираются на затухание (спектральной) энергии, а не на затухание пиковых амплитуд, и поэтому вполне согласуются с определением параметра Q , который описывает именно затухание энергии. (Поясним что в случае распространения сейсмических волн на региональные расстояния имеет место удлинение волновых групп с расстоянием за счет рассеяния и дисперсии в среде. Так возникает различие между законами затухания для пиковых амплитуд и для спектров: рост длительности записи дополнительно снижает пиковую амплитуду.

Выводы

На основе двух теоретических концепций: (1) представления очага землетрясения в виде некогерентного излучателя с постоянной по площади плотностью сейсмической энергии и (2) прогноза связи балла и параметров колебаний на основе модифицированного подхода Аптикаева и Шебалина удалось промоделировать основное макросейсмическое соотношение -

связь I-M-r - для конкретных регионов - Камчатка-Курилы и материковая часть Северной Евразии.

Важным преимуществом описанного подхода является автоматический учет трех нелинейностей, которые имеют тенденцию исказить результаты интерпретации макросейсмических данных традиционными способами. Это - (1) эффекты насыщения интенсивности вблизи очага, (2) нелинейная зависимость I(r) и (3) эффекты насыщения магнитуды при больших M_0 .

Простота предложенной расчетной схемы позволяет непосредственно включать ее (вместо расчетных формул I(M,r)) в алгоритмы решения задач сейсмического районирования и оценки сейсмического риска. При этом снимается проблема завышения балла при малых расстояниях, и автоматически моделируется эллиптичность изосейст, обусловленная протяженностью очага. Эта возможность была недавно реализована при создании новой карты сейсмического районирования Северной Евразии [11, 12], часть которой для территории Российской Федерации (ОСР-97) - должна послужить основой будущей новой редакции Строительных норм и правил (СНиП-П-7).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 97-05-65056).

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Учет длительности колебаний при инструментальной оценке сейсмической интенсивности // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С. 234-239
2. Аптикаев Ф.Ф. Шебалин Н.В. Уточнение корреляций между уровнем макросейсмического эффекта и динамическими параметрами движения грунта // Исследования по сейсмической опасности. М.: Наука, 1988. С. 98-107. (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 29).
3. Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдональд Г.А. Скотт Р.Ф. Геологические стихии. М.: Мир, 1978. 440 с.
4. Гусев А.А. Описательная статистическая модель излучения очага землетрясения и ее применение к оценке сильного движения. Вулканология и сейсмология. 1984, N1, с. 3-22.
5. Гусев А.А. Модель очага землетрясения со множеством неровностей. Вулканология и сейсмология. 1988, N1, с.41-55.
6. Гусев А.А. Мельникова В.Н. Связи между магнитудами - среднемировые и для Камчатки. Вулканология и сейсмология. 1990, N6, с. 55-63.

7. Ершов И.А., Шебалин Н.В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов. Прогноз сейсмических воздействий. М.: Наука, 1984.С.78-89. (Вопросы инженерной сейсмологии.Вып.25).
8. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. Стройиздат. 1962.
9. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977.535с.
- 9а Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Дотсев Н.Т. Макросейсмическая магнитуда. // Вопросы инженерной сейсмологии, вып.30. М.: Наука, 1989. С.98-109.
10. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования Северной Евразии // Физика Земли, 1998, № 10, с.92-96.
11. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство, 1998 б, № 4. С.30-34.
12. Федотов С.А., Шумилина Л.С. Сейсмическая сотрясаемость Камчатки.//Изв. АН СССР, Физика Земли, 1971, № 9.С. 3-16.
13. Чернов Ю.К. О влиянии спектрально-временных характеристик колебаний грунта на макросейсмическую балльность землетрясений // Макросейсмические и инструментальные исследования сильных землетрясений. М.: Наука, 1985.С.150-158.(Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.26).
14. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968.С.95-111.
15. Шебалин Н.В. О равномерности шкалы балльности // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С.222-233.
16. Abubakirov I.R. and Gusev A.A. 1990. Estimation of scattering properties of lithosphere of Kamchatka based on Monte-Carlo simulation of record envelope of a near earthquake. // Phys.Earth Planet. Interiors, 64, p.52-67.
17. Аки К. Scaling law of seismic spectrum // J.Geophys.Res., 1967 , v. 72, p.1217-1231.
18. Arias A.1970. A measure of Seismic intensity. In : Seismic design for Nuclear power plants, Cambridge a.o., M.I.T.Press. 438 - 483.
19. Gutenberg B. And Richter C.F. 1942. Magnitude, intensity, energy and acceleration as parameters of earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Amer. V.32, N3, 163-191.
20. Evernden J.F. 1975 Seismic intensities, size of earthquakes and related phenomena. Bull.Seismol.Soc.Amer. 65, 1287-1315.
21. Hashida T. 1987. Determination of 3D attenuation structure and source acceleration by inversion of seismic intensity data : Japanese Islands. Bull.Earthq.Res.Inst. 62, 247-287.

22. Hashida T. and Shimazaki K. 1987. Predicting JMA seismic intensities based on 3D attenuation structure and surface amplifying factor: the Tohoku district Japan ..J.Phys.Earth. 35, 367-379.
23. Housner G.W. 1955. Properties of strong motion earthquakes. Bull.Seismol.Soc.Amer. 45, 197
24. Kanai K. Destruction system of building by earthquake // Bull.of the earthquake research institute, Tokyo Univers., 1951, v.21, pt. 2, p. 393-401.
25. Kanamori H. and Anderson D.L. 1975. Theoretical basis for some empirical relations in seismology. Bull.Seismol.Soc.Amer. 65, 1073-1095.
26. Kawasumi H. 1951. Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times. Bull.Earthq.Res.Inst. 29, 469-482
27. Papageorgiou A.S. and Aki K. 1985. Scaling law of far-field spectra based on observed parameters of specific barrier model. Pure Appl. Geophys. V. 123,N3, 353-374.

Таблица 1. Список землетрясений, использованных для определения I_{100}
для региона Камчатка-Курилы

год	мес	M_{LN}	M_W	I_{100}					
КАМЧАТКА					1964	03	6.0	6.02	2
1928	10	6.1	6.1	5.5	1964	05	6.8	6.6	6.5
1929	11	6.1	6.1	5.5	1964	06	7.2	6.99	6.
1934	03	6.3	6.23	4.	1966	03	5.9	5.95	4.5
1947	08	6.2	6.15	5.	1966	06	6.0	6.02	6.
1952	11	8.5	9.	8.35	1968	01	7.2	6.99	5.
1959	05	7.6	7.44	7.5	1968	02	6.5	6.38	3.5
1969	10	7.7	7.56	6.6	1968	07	6.0	6.02	4.
1971	12	7.8	7.7	7.	1969	08	8.2	8.16	7.
1974	09	5.8	5.89	4.5	1971	08	6.4	6.3	5.
1975	04	6.0	6.02	3.	1973	02	7.5	7.32	6.5
1975	04	6.2	6.15	3	1973	03	6.3	6.23	4.7
1976	01	6.3	6.23	5.5	1973	04	6.3	6.23	4.5
1980	01	6.1	6.1	3.5	1973	06	7.9	7.8	7.1
1980	01	6.0	6.02	3.5	1973	06	6.5	6.38	5.6
1980	03	5.7	5.7	5.5	1973	06	6.0	6.02	5.
1980	11	6.8	6.6	4.	1973	06	6.4	6.3	3.5
1983	01	6.1	6.1	3.	1973	06	7.4	7.2	7.3
1984	12	7.5	7.32	5.5	1973	06	6.0	6.02	5.
1989	01	6.4	6.3	3.5	1973	07	6.5	6.38	4.
1989	05	6.4	6.3	5.	1973	08	5.8	5.89	4.
КУРИЛЫ					1974	09	7.2	6.99	5.
1952	03	8.3	8.24	8.	1975	06	7.2	6.99	5.6
1952	03	6.8	6.6	5.	1975	06	6.7	6.48	5.5
1952	03	6.5	6.38	5.	1975	06	7.0	6.78	5.
1952	03	7.2	6.99	5.8	1975	06	6.7	6.48	3.6
1952	03	5.9	5.95	4.5	1976	01	7.2	6.99	5.5
1952	03	6.0	6.02	3.7	1978	03	7.9	7.8	7.2
1952	04	6.0	6.02	5.	1980	02	7.2	6.99	6.
1952	04	6.2	6.15	5.5	1980	02	6.4	6.3	3.5
1952	05	6.5	6.38	4.	1980	12	6.9	6.69	4.4
1952	07	6.2	6.15	5.5	1981	09	6.7	6.48	6.5
1953	05	6.2	6.15	5.	1981	11	6.0	6.02	4.
1953	07	6.9	6.69	5.	1983	02	6.3	6.23	4.7
1953	10	6.0	6.02	4.8	1983	03	6.1	6.12	4.
1958	11	8.2	8.16	9.	1983	04	6.6	6.42	5.7
1961	01	5.9	5.95	4.5	1984	12	6.5	6.38	4.5
1961	02	7.0	6.78	6.	1985	05	6.7	6.48	5.4
1963	10	8.1	8.1	7.					