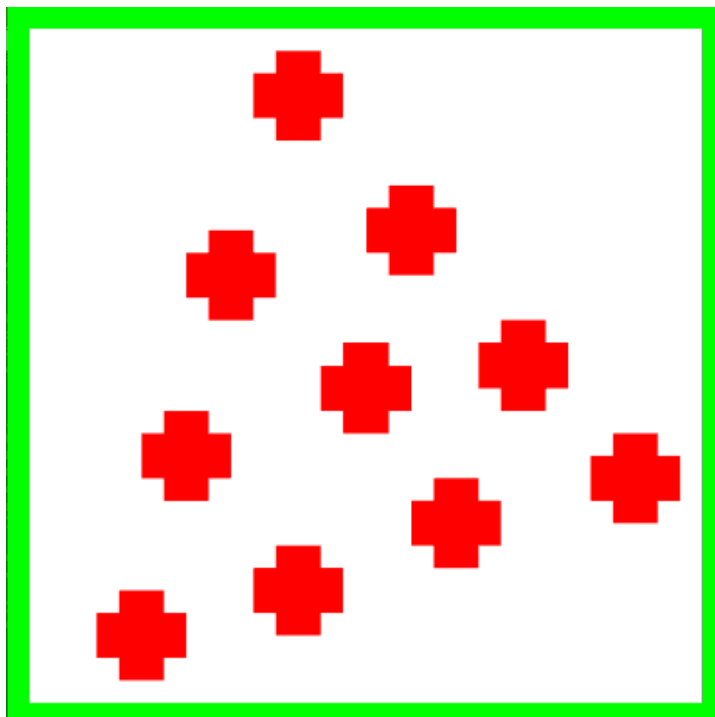


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»



SARRA

версия 1.0

Руководство пользователя

Автор: Дягилев Р.А.

Обнинск 2020

Оглавление

| | |
|--|----|
| 1. Общие сведения..... | 3 |
| 2. Используемые методы расчета..... | 4 |
| 2.1. Расчет передаточной функции сейсмической группы..... | 4 |
| 2.2. Расчет карты минимальных (представительных) магнитуд сети станций | 5 |
| 3. Работа в приложении | 8 |
| 3.1. Вкладка «Расчет»..... | 9 |
| 3.2. Вкладка «Параметры среды»..... | 10 |
| 3.3. Вкладка «Оценка уровня шума» | 12 |
| 3.4. Вкладка «Параметры расчета» | 13 |
| Литература | 14 |

1. Общие сведения

Полное название:

SArra. Программа расчета регистрационных возможностей сейсмических сетей.

Назначение:

Программа предназначена для оценки регистрационных возможностей сети сейсмических станций, опираясь на теоретические представления о распространении волн, используемые при их регистрации, локации гипоцентров и расчете энергетических параметров очагов. Область применения – планирование и оптимизация сейсмических сетей, сейсмических групп.

Решаемые задачи:

- Расчет передаточной функции сейсмической группы
- Расчет карты минимальных регистрируемых (представительных) магнитуд с учетом шумовой обстановки в месте размещения станций
- Расчет карты ожидаемых ошибок локации очагов
- Расчет карты угловых частот в спектрах землетрясений, возможных для регистрации
- Расчет карты минимальных размеров очага землетрясений
- Оценка параметров затухания волн в однородной и горизонтально-слоистой среде
- Оценка параметров затухания волн через макросейсмическое уравнение
- Оценка среднеквадратического уровня шумов станции по спектру мощности скорости смещения

Версии

0.9.0.0, 14 апреля 2005 г. Расчет передаточных функций сейсмических групп.

0.9.1.0, 13 апреля 2012 г. Расчет карт представительных магнитуд, ошибок локации, угловой частоты и размера очага, возможность учета уровня шума и параметров затухания индивидуально для каждой станции. Сохранение настроек в ini-файл.

1.0.0.0, 15 марта 2020 г. Оценка уровня шумов станции по спектру мощности. Уточнение формул трансформации коэффициентов уравнения макросейсмического поля в параметры затухания.

Авторские права

Авторское право на данный программный продукт не зарегистрировано.

Автор – Дягилев Р.А.

По вопросам использования программы *SArra* обращаться по адресу:

249035, г. Обнинск Калужской обл., пр. Ленина, 189

Контактные данные автора:

телефон: +7(484) 395-77-53

e-mail: dra@gsras.ru

2. Используемые методы расчета

2.1. Расчет передаточной функции сейсмической группы

Любую сейсмическую группу можно рассматривать как систему, обладающую свойствами дискретного преобразователя, при этом дискретизация входного сигнала (сейсмические волны) происходит в пространстве. Как и любое другое преобразующее устройство группа обладает своей характеристикой (передаточной функцией), которая определяется взаимным расположением датчиков – геометрической структурой группы. Особенность данной характеристики состоит в том, что она определена в области волнового числа – аналога частоты для временных последовательностей.

Пусть имеется сейсмическая группа, состоящая из одного центрального и M пространственно разнесенных датчиков. Линию, соединяющую центральный датчик с любым другим будем называть линией наблюдения. Тогда передаточная функция группы будет определяться выражением [NMSOP, 2002]:

$$C(k_0 - k) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M e^{i2\pi r_{j,Az}(k_0 - k)} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M [\cos(2\pi r_{j,Az}(k_0 - k)) + i \sin(2\pi r_{j,Az}(k_0 - k))], \quad (1)$$

где k – волновое число, $r_{j,Az}$ – проекция j -й линии наблюдения на выбранное направление (Az). $r_{j,Az}$ находится из выражения:

$$r_{j,Az} = r_j \cos(Az - \varphi) = x_j \cos(Az) + y_j \sin(Az), \quad (2)$$

где φ – проекция j -й линии наблюдения на выбранный азимут, x и y – разница горизонтальных и вертикальных координат, соответственно, между j -м датчиком и центральным.

Величина $C(k_0 - k)$ изменяется в диапазоне от 0 до 1, причем максимальное значение достигается в точке $k = k_0$. С увеличением отклонения $k_0 - k$ передаточная функция затухает. Поскольку волновое число имеет непосредственную связь с медленностью S и частотой волны $f(k = S f)$, на разные волны может накладываться различная величина передаточной функции. То есть при суммировании сигналов группой частота пропускания будет зависеть от скорости прихода волн.

Чтобы в расчетах получить равномерную оценку передаточной функции в плоскости волновых чисел k_x и k_y , следует пользоваться соотношением:

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}. \quad (3)$$

Азимут также будет зависеть от этих величин:

$$Az = \arctg\left(\frac{k_y}{k_x}\right). \quad (4)$$

Для удобства расчетов косинусы и синусы азимута в (2) заменим на следующие величины:

$$\cos(Az) = \frac{k_y}{k}; \sin(Az) = \frac{k_x}{k}, \quad (5)$$

что в итоге даст упрощенное выражение для $r_{j,Az}$:

$$r_{j,Az} = x_j k_y + y_j k_x. \quad (6)$$

Как и в случае дискретизации во времени передаточную функцию имеет смысл рассматривать в определенных пределах волнового числа. Так, верхний предел K , до которого характеристика системы не повторяется, равен половине обратной величины минимального расстояния между датчиками (r_{min}) в группе (аналог частоты Найквиста):

$$K_N = \frac{k_{max}}{2} = \frac{1}{2r_{min}}. \quad (7)$$

2.2. Расчет карты минимальных (представительных) магнитуд сети станций

Пусть имеется сейсмическая сеть, состоящая из N элементов (станций или пунктов приема сигнала). Каждый элемент сети характеризуется следующим набором величин:

- координаты x, y, z , определяющие местоположение пункта приема;
- зависимость, определяющая затухание сейсмических волн (коэффициенты a_i);
- уровень микросейсмических шумов A_N .

Регистрационные возможности сети формируются, исходя из следующих предпосылок:

- сейсмическое событие фиксируется одной станцией, если амплитуда регистрируемых колебаний превышает уровень внешних шумов;
- сейсмические события регистрируются сетью, если оно зафиксировано некоторым минимальным количеством станций (N_{min}), достаточным для определения параметров очага;

Таким образом, опираясь на закон затухания волн и уровень шумов, в каждой точке контролируемой области можно установить предельную чувствительность, которая в терминах магнитуды (M) или энергетического класса (K) будет являться максимальной оценкой этой величины (M или K), обеспечиваемой N_{min} станциями, дающими самые низкие оценки M . При одинаковых параметрах затухания волн на всех станциях, это будут ближайшие станции, но если это не так, в некоторых случаях возможна ситуация, когда удаленная станция будет чувствительней ближней, если на дальней уровень шумов очень низкий, а на ближней, наоборот, очень высокий.

Для простоты можно считать, что параметры затухания имеют одни значения в пределах всей контролируемой области, однако они также могут иметь различные значения, обусловленные особенностями строения массива и свойствами слагающих пород (добротность). Будем считать, что возможности одной станции (в данном примере предельная магнитуда M) определяются калибровочной кривой локальной шкалы магнитуд (по Рихтеру):

$$M = \lg(A / A_0) = \lg A + \sigma, \quad (8)$$

где A – амплитуда смещения (мм) на записи сейсмографа Вуда-Андерсона, A_0 – амплитуда стандартного землетрясения на этом же гипоцентральной расстоянии R (км), σ – калибровочная функция, описывающая затухание сейсмических волн с расстоянием. В большинстве случаев данная функция имеет вид:

$$\sigma = -\lg A_0 = a_1 \lg R + a_2 R + a_3, \quad (9)$$

где a_i – эмпирические коэффициенты.

Если предположить, что сейсмической сетью регистрируется колебание с предельной минимальной амплитудой A , которая в SNR раз больше амплитуды уровня шумов A_N , то выражение (8) будет иметь смысл предельных регистрационных возможностей сети или ее чувствительности. Перепишем (8) в вид, удобный для расчета чувствительности

$$M = a_0 \lg(A_N \cdot SNR) + a_1 \lg R + a_2 R + a_3. \quad (10)$$

Выражение (10) также можно использовать не только амплитуд сейсмографа Вуда-Андерсона (A_N^{WA} , мм), но и для истинных амплитуд колебаний грунта (true motion)

$A_N^{TM} = \frac{A_N^{WA}}{2080}$, [мм], при этом изменится только значение коэффициента a_3 :

$$a'_3 = a_3 - 3.318,$$

Коэффициент a_0 в магнитудной шкале всегда равен 1.

Часто магнитудная шкала имеет другой вид, отличный от (10):

$$M = \lg \frac{A}{A_0} = \lg A + a \lg(R/100) + b(R-100) + 3, \quad (11)$$

В таком случае соответствие между коэффициентами в разных представлениях будет определяться следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} a_1 &= a, \\ a_2 &= b, \\ a_3 &= 3 - 100b - 2a. \end{aligned} \quad (12)$$

Оценка чувствительности сети через энергетический класс.

Между магнитудой и энергетическим классом существует множество эмпирических зависимостей, характеризующих отдельные районы и применимых для различных типов магнитуд.

Широко используется формула Гуттенберга-Рихтера, связывающая энергию с магнитудой по поверхностным волнам.

$$\lg E = 1.5M_S + 4.8.$$

Для районов Средней Азии применяется формула Т.Г.Раутиан [Раутиан, 1969]

$$\lg E = 1.8M + 4.6.$$

Применительно к локальным магнитудам справедливы другие соотношения, которые, в общем, близки к теоретическим представлениям [Randall, 1973]

$$\lg E \approx 2M_L$$

Как можно видеть из приведенных примеров, между магнитудой и энергией всегда присутствует коэффициент пропорциональности, отличный от 1, что делает необходимым при построении зависимости, аналогичной (10) учитывать коэффициент a_0 :

Оценка чувствительности сети через физические свойства среды

В однородной среде затухание волны, проходящей путь x (м), можно описать так:

$$A(x) = \frac{A_{x=0}}{(1+x)^n} e^{-\alpha x}, \quad (13)$$

где $A_{x=0}$ – амплитуда колебаний в источнике (м), n – геометрическое расхождение (для объемных волн будем считать $n = 1$), α (м^{-1}) – коэффициент поглощения, который зависит от добротности Q , скорости волны V (м/с) и частоты f (Гц):

$$\alpha = \frac{\pi f}{QV}. \quad (14)$$

Формулу (13) можно преобразовать в вид, который близок к виду магнитудной шкалы (10):

$$\lg A_{x=0} = \lg A + n \lg(1+x) + \lg(e)\alpha x \quad (15)$$

или на больших расстояниях ($x \gg 0$), заменяя x (м) на R (км)

$$\lg A_{x=0} = \lg A + n \lg(1000R) + 1000\alpha \lg e R,$$

Сопоставляя (15) с (10), получим соответствие коэффициентов:

$$\begin{aligned} a_1 &= n, \\ a_2 &= 1000\alpha \lg e, \\ a_3 &= 3n. \end{aligned} \quad (16)$$

В случае, когда необходимо оценить затухание волны, проходящей через горизонтально-слоистую среду, выражение (16) преобразуется в

$$\lg A_{x=0} = \lg A + n \sum \lg x_i + \lg e \sum \alpha_i x_i.$$

Чтобы в левой части вместо смещения в очаге (амплитуды подвижки) можно было применять магнитуду, например, M_w , а также иметь возможность оценивать другие параметры очага, используются уравнения:

$$A_{x=0} = \frac{M_0}{\pi \mu r_0^2}, \quad [\text{Brune, 1970}]$$

$$M_0 = 10^{1.5(M_w + 6.07)}, \quad [\text{Hanks, Kanamori, 1979}]$$

$$r_0 = \left(\frac{7M_0}{16\Delta\sigma} \right)^{1/3}, \quad [\text{Keilis-Borok, 1959}]$$

$$\Delta\sigma = 1.7 \cdot 10^6 + 200H, \quad [\text{Ризниченко, 1985}]$$

$$f_c = \frac{2.34Vs}{2\pi r_0}, \quad [\text{Brune, 1970}]$$

где

V_s – скорость поперечных волн, м/с;

M_0 – сейсмический момент, Н*м;

r_0 – радиус очага по модели Брюна, м;

f_c – угловая частота, Гц;

$\Delta\sigma$ – сброс напряжения, Па;

μ – модуль сдвига, Па (в среднем $\mu = 10^7$ Па);

H – глубина очага, м.

Оценка чувствительности сети через макросейсмическое уравнение

Когда параметры затухания в среде не известны, их можно получить из уравнения макросейсмического поля:

$$I = aM + b \lg R + c, \quad (17)$$

где I – сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64, a , b и c – эмпирические коэффициенты (если неизвестны, используются значения $a=1.5$, $b=-3.5$, $c=3$).

Для получения взаимосвязи (17) с амплитудами будем использовать уравнения [ГОСТ Р 57546-2017]

$$I = 1.47 \lg(PGD) + 6.26, \quad (18)$$

где PGD – среднее значение пикового смещения грунта в см. Для совместимости с (10) переведем это выражение для смещений в мм:

$$I = 1.47 \lg(A_{TM}) + 7.73. \quad (19)$$

То же выражение для смещений сейсмографа Вуда-Андерсона будет иметь вид

$$I = 1.47 \lg(A_{WA}) + 2.85, \quad (20)$$

Для перевода магнитудной шкалы MLH , используемой в выражении (16), в шкалу ML можно применять следующие выражения:

$$MLH = 1.333ML - 1.733, (3 < M < 8) [\text{Ambraseys, 1990}] \quad (21)$$

$$MLH = 1.27(ML - 1) - 0.016ML^2, [\text{Gutenberg and Richter, 1956}]$$

Последняя формула будет полезна в диапазоне малых магнитуд ($-3 < M < 3$), где квадратичный член можно не учитывать. Также она будет достаточно точна (расхождение < 0.15) для магнитуд не выше 4.5:

$$MLH = 1.27ML - 1.27, (-3 < M < 4.5) \quad (22)$$

Комбинируя выражения (17) и (19), получим модель затухания для шкалы MLH в сочетании с истинными амплитудами смещения:

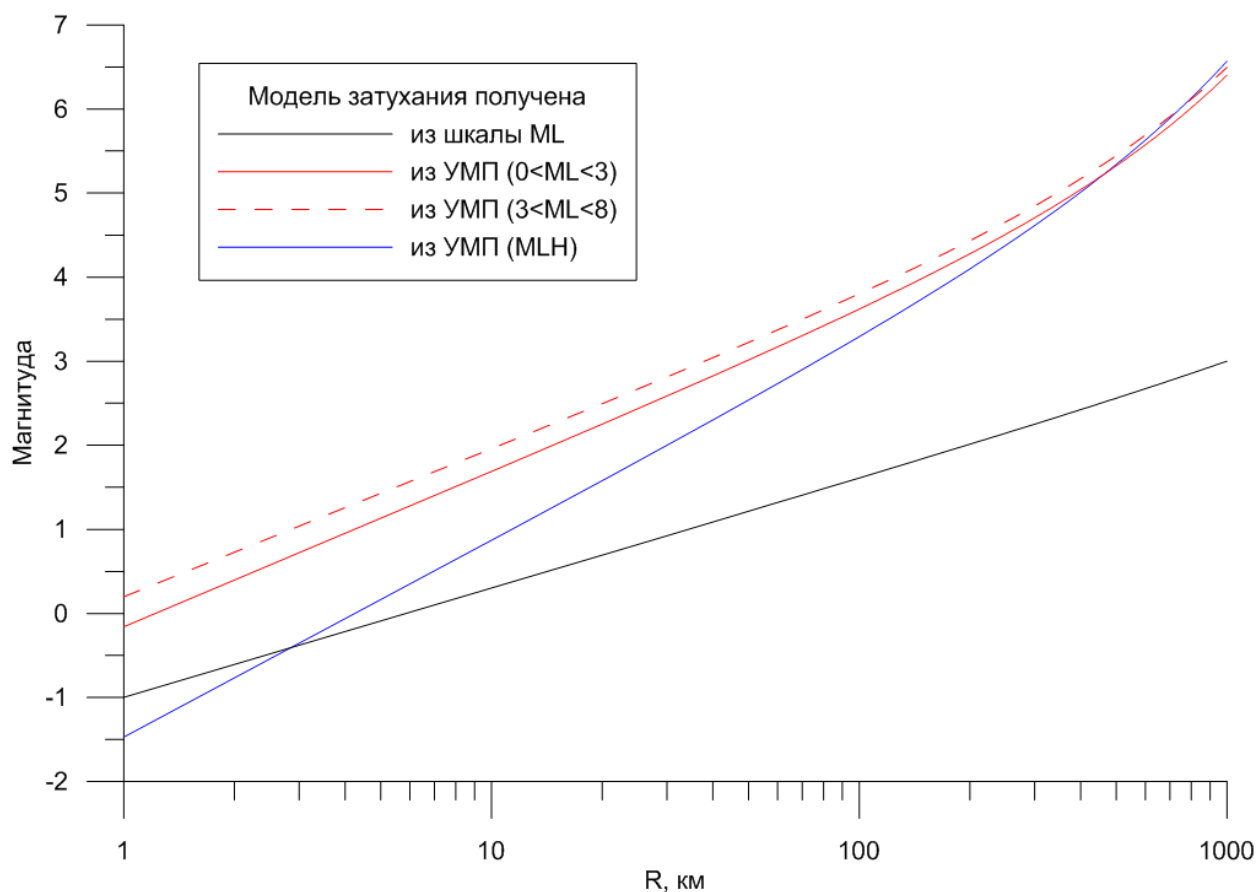
$$MLH = \frac{1.47}{a} \lg(A_{TM}) - \frac{b}{a} \lg R + \frac{7.73-c}{a}. \quad (23)$$

Комбинируя выражения (17), (20) и (21-22), получим модель затухания для шкалы ML в разных диапазонах магнитуд:

$$ML = \frac{1.47}{1.333a} \lg(A_{WA}) - \frac{b}{1.333a} \lg R + \frac{2.85-c+1.733a}{1.333a}, (3 < M < 8) \quad (24)$$

$$ML = \frac{1.47}{1.27a} \lg(A_{WA}) - \frac{b}{1.27a} \lg R + \frac{2.85-c+1.27a}{1.27a}, (-3 < M < 4.5) \quad (25)$$

Сравнительная картина для разных вариантов моделей затухания представлена на рисунке ниже. Расчет выполнен при коэффициентах макросейсмического уравнения $a=1.5$, $b=-3.5$, $c=3$.



3. Работа в приложении

Для удобства работы в приложении все используемые параметры и элементы управления разделены на 4 вкладки: **Расчет**, **Параметры среды**, **Оценка уровня шума** и **Параметры расчета**.

Во вкладке **Расчет** осуществляется выбор типа рассчитываемых карт и собственно расчет с возможностью последующего сохранения результатов в файл. Остальные вкладки служат для подготовки всех необходимых сведений для расчета.

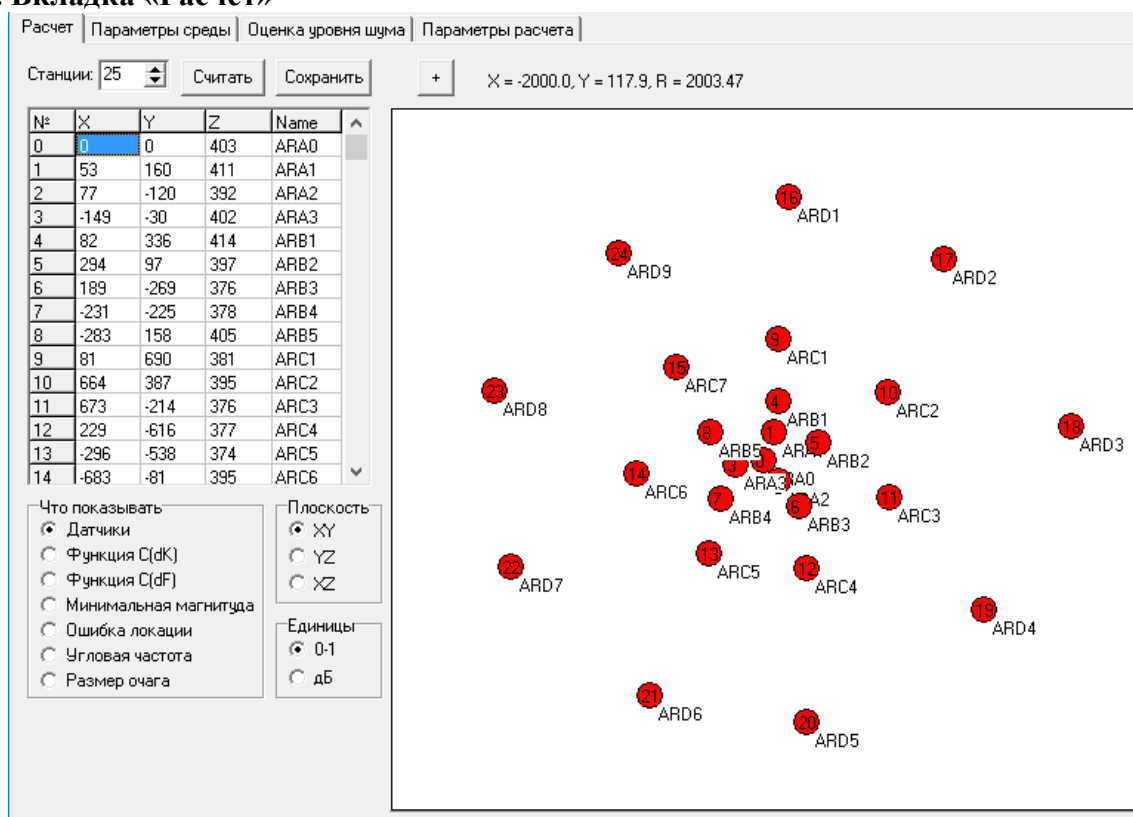
Вкладка **Параметры среды** объединяет сведения о среде, которые оказывают влияние на регистрационные возможности сети.

Во вкладке **Оценка уровня шума** имеется возможность оценить уровень шума для конкретной станции, чтобы использовать эту информацию в расчете регистрационных возможностей с учетом пространственной и частотной изменчивости шумовой картины.

Вкладка **Параметры расчета** объединяет элементы управления детальностью расчета и дает возможность сохранить все настройки во внешнем файле.

Далее приводится подробное описание элементов управления для каждой вкладки, их значимость в расчетах.

3.1. Вкладка «Расчет»



Станции – поле ввода количества станций. При обновлении значения меняется количество строк в списке станций, расположенному ниже. Список станций должен содержать сведения об их местоположении (координаты X, Y, Z) и имена для идентификации. Колонка X содержит координату вдоль оси, ориентированной на восток, независимо от того, какая система координат и единицы измерения выбраны (метры или градусы). Аналогично колонка Y содержит координату вдоль оси, ориентированной на Север. Z – колонка с высотой над уровнем моря в метрах.

Также при изменении количества станций меняется количество строк в списке Параметров модели затухания волн на вкладке Параметры среды. Все ячейки таблиц с параметрами станций и параметрами модели затухания должны быть заполнены.

При старте приложения список станций заполняется тестовым набором из 25 станций (сейсмическая группа ARCESS).

Считать – кнопка запуска расчета выбранного варианта карты. Расчет сопровождается индикацией в области отображения карты в правой части вкладки.

Сохранить – кнопка вызова диалогового окна для выбора места и файла с результатами расчета.

+ – кнопка включения режима графического ввода координат станций. Графический ввод координат – быстрая альтернатива непосредственному способу заполнения таблицы координатами, которая будет полезна при планировании сети или сейсмической группы. Перед включением режима необходимо задать нужное количество станций в поле **Станции**. При включении режима имеющийся список станций становится пустым. Добавление станций в данном режиме осуществляется простыми последовательными щелчками мыши на карте. После заполнения таблицы всеми координатами режим графического ввода автоматически выключается.

Что показывать – переключатель выбора визуализируемого варианта рассчитываемой карты.

Датчики – отображение конфигурацию сети;

Функция $C(dk)$ – передаточная функция сейсмической группы в поле координат волнового числа (см. главу 2.1);

Функция $C(df)$ – передаточная функция сейсмической группы в поле координат частоты, которые пересчитываются из координат волнового числа умножением на скорость (используется скорость Vp);

Минимальная магнитуда – карта минимальных регистрируемых магнитуд событий (см. главу 2.2);

Ошибка локации – карта распределения ошибок локации;

Угловая частота – карта распределения максимальных угловых частот регистрируемых событий.

Плоскость – переключатель выбора плоскости расчета. Варианты:

XY – горизонтальная плоскость.

YZ – вертикальная плоскость, секущая в направлении север-юг.

XZ – вертикальная плоскость, секущая в направлении восток-запад.

Единицы – переключатель выбора единиц измерения, используемых при расчете передаточной функции сейсмической группы. Варианты:

0-1 – передаточная функция считается в диапазоне от 0 до 1.

дБ – передаточная функция считается в децибелах относительно максимума.

Карта с результатами расчета располагается в правой части вкладки. Над картой отображаются координаты точки (X и Y), соответствующие текущему положению курсора мыши. R – расстояние от точки на карте, где в последний раз был сделан щелчок мыши.

3.2. Вкладка «Параметры среды»

Параметры горизонтально-слоистой среды

Параметры однородной среды

Модель среды – переключатель выбора способа задания скоростной модели среды. Возможные варианты:

Однородная – среда является однородной, лучи от очага до станции в ней распространяются прямолинейно. Затухание волн описывается уравнением моделью затухания, коэффициенты которой должны быть заданы в таблице **Параметры модели затухания волн**.

Горизонтально-слоистая – среда является горизонтально-слоистой, лучи от очага до станции распространяются по траекториям, определяемым скоростями в однородных слоях. Параметры скоростной модели (отметка поверхности, количество слоев и физические свойства пород в каждом слое) следует задать в правой части вкладки. Шумовая обстановка на каждой станции учитывается параметрами A_n , заданными в таблице с **Параметрами однородной среды**.

Параметры однородной среды – таблица, где задаются коэффициенты модели затухания волн и шумовой обстановки на станциях $M = a_0 \lg(A_N \cdot SNR) + a_1 \lg R + a_2 R + a_3$. Описание коэффициентов модели приведено справа от таблицы, а также в [главе 2.2](#). По умолчанию значения коэффициентов подобраны в соответствии со шкалой локальных магнитуд Урала, амплитуды шумов на станциях заданы в мм сейсмографа Вуда-Андерсона.

Справа от таблицы задаются коэффициенты регрессии для связи энергетического класса с магнитудой. Данные коэффициенты используются для пересчета магнитуд в класс при расчете карт минимальных магнитуд.

Трансформация $I(M,R) \rightarrow M(A_n,R)$ – группа полей, позволяющая пересчитать коэффициенты макросейсмического уравнения в параметры модели затухания однородной среды (коэффициенты a_0 , a_1 , и a_3). Такой набор коэффициентов может быть использован для расчета карты минимальных магнитуд, которые будут ощущаться человеком. Для пересчета в шкалу магнитуд MLH , применяемой с истинными смещениями (TM), используется выражение (23) (см. [главу 2.2](#)). Для пересчета в шкалу магнитуд ML , применяемой со смещениями сейсмографа Вуда-Андерсона (WA), используется выражение (25) (см. [главу 2.2](#)). Коэффициент a_2 рассчитывается через выражения (14) и (16) для двух вариантов частот (F , G): нижней границы полосы пропускания (Min) и верхней границы полосы пропускания (Max). В выражении (14) подставляется скорость поперечных волн V_s , указанная над таблицей с **Параметрами горизонтально-слоистой среды**.

Параметры горизонтально-слоистой среды – таблица, где задаются параметры горизонтально слоистой среды:

Количество слоев – количество слоев скоростной модели. Учитывается только количество слоев с известной мощностью. Ниже среда имеет свойства последнего (самого нижнего) слоя.

Layer – номер или название слоя. Нумерация начинается с верхнего слоя.

H – мощность слоя в метрах.

V_p – скорость продольных волн в слое.

V_s – скорость поперечных волн в слое.

V_t – скорость поверхностных волн в слое.

Q – добротность слоя (безразмерная величина СИ).

ρ – плотность пород в слое, г/см³.

Отметка поверхности, м – высота над уровнем моря кровли верхнего слоя в метрах.

Рассчитать средние параметры – кнопка запуска расчета средних параметров среды, которые будут отображены в соответствующих полях над колонками таблицы.

F_{max} , Гц – максимальная частота сигнала, по которой будет оцениваться степень затухания волн в горизонтально-слоистой среде. Используется также при расчете коэффициента a_2 в однородной среде.

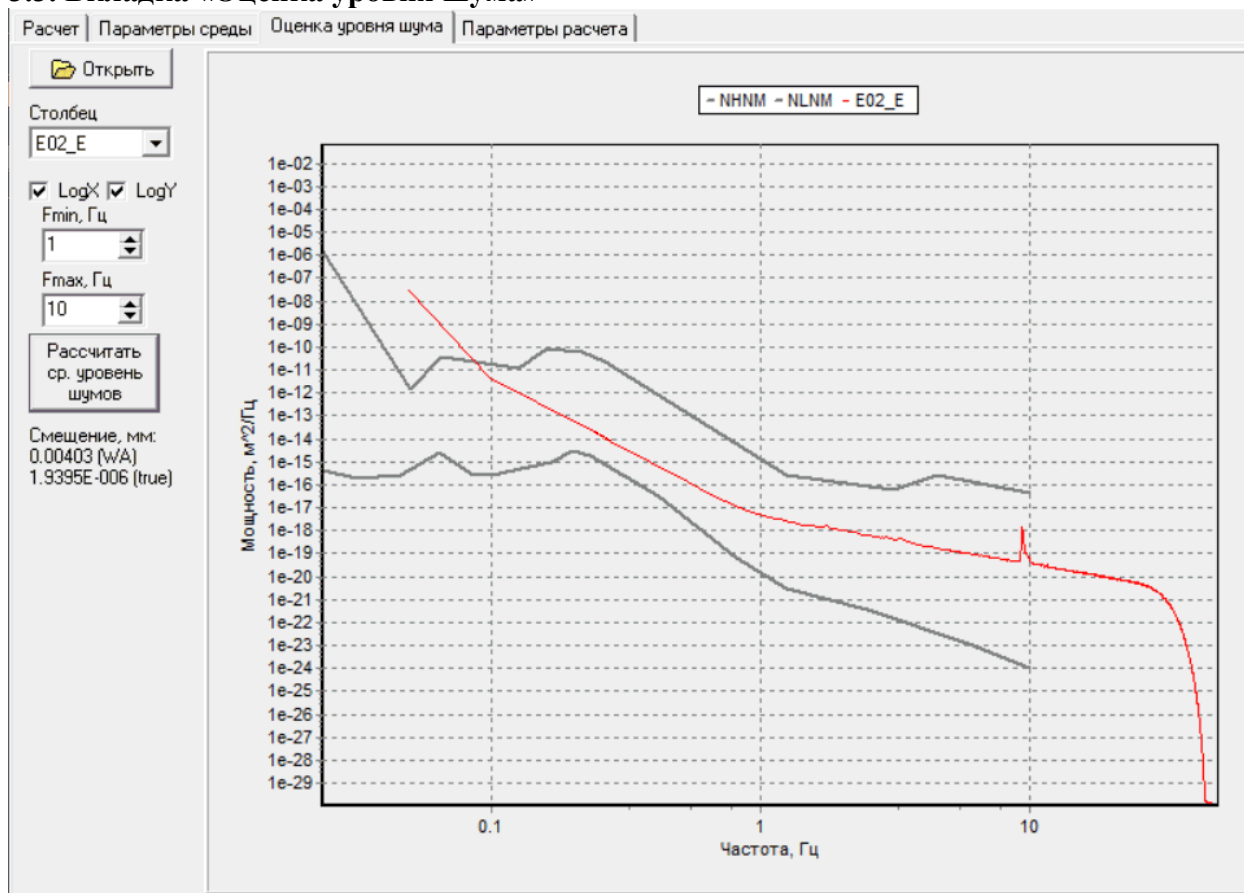
Уровень помех на станциях – переключатель способа задания уровня помех на станциях. Возможные варианты:

Задан в модели затухания – уровень шумов для каждой станции задан в таблице с Параметрами модели затухания волн в колонке A_n .

Задан источниками в файле (не реализован) – уровень шумов для каждой станции рассчитывается в зависимости от удаления от набора источников шумов, которые заданы

моделью, описывающей их пространственное положение и интенсивность. Ниже дается ссылка на файл с моделью.

3.3. Вкладка «Оценка уровня шума»



Открыть – кнопка запуска диалога выбора файла, содержащего спектр мощности шумов на станции. Файл должен иметь заголовок с подписями каждой колонки. Первая колонка – частота в Гц, вторая и последующие колонки содержат значения мощности скоростей смещения (м/с) шумов. После выбора файла, спектр отобразится на графике справа совместно с кривыми Петерсона NLNM и NHNM [Peterson, 1993]. Спектр мощности скорости смещения при загрузке автоматически пересчитывается в спектр мощности смещений (м).

Столбец – поле со списком названий столбцов в загруженном файле. Выберите нужный вариант для отображения соответствующего спектра на графике.

LogX – флаг отображения в логарифмическом масштабе горизонтальной оси графика.

LogY – флаг отображения в логарифмическом масштабе вертикальной оси графика.

Fmin, Гц – нижняя граница диапазона частот, используемых для расчета среднего уровня шумов.

Fmax, Гц – верхняя граница диапазона частот, используемых для расчета среднего уровня шумов.

Расчитать ср. уровень шумов – кнопка запуска расчета среднего уровня шумов в заданном диапазоне частот. Результаты расчета отображаются ниже в двух вариантах: смещения сейсмографа Вуда-Андерсона (WA) и истинные смещения (true). Смещения представляются в мм, их можно использовать непосредственно для вставки в колонку A_n в таблице с *Параметрами модели затухания волн* на вкладке *Параметры среды*.

3.4. Вкладка «Параметры расчета»

Загрузить – кнопка вызова диалогового окна для выбора файла с настройками. Имя загруженного файла отображается в правой части вкладки.

Сохранить – кнопка сохранения изменений в настройках в файл, который был загружен ранее. Если файл не был задан, появится диалоговое окно для задания имени такого файла.

Сохранить как – кнопка вызова диалогового окна для выбора файла, куда будут сохранены все настройки.

О программе – кнопка вызова справочного окна с информацией о версии программы.

Диапазоны – группа параметров, ограничивающих область и степень подробности расчета карт.

Строка **X** задает диапазон (**Минимум** и **Максимум**) и **Шаг** расчета по оси ориентированной в направлении восток-запад. Поле **Центр** задает координату, где будет проходить секущая плоскость, для которой ось X является нормалью. Кнопка **Авто** позволяет автоматически определить пределы расчета, исходя из координат заданных станций, при этом значения для шага выбирается так, чтобы диапазон делился на 10 частей.

Строки **Y** и **Z** аналогичным образом задают диапазоны, шаг расчета и центральные точки для осей ориентированных в направлении север-юг и верх-низ соответственно.

Расчет регистрационных возможностей в пространстве ведется на плоскости, проходящей через координату **Центра**. Ориентация плоскости задается переключателем **Плоскость** на вкладке **Расчет**.

Диап. волн. числа ± – поле, в котором задается пределы диапазона волнового числа, в поле которого ведется расчет передаточной функции сейсмической группы.

Шаг волн. числа – поле, в котором задается шаг волнового числа при расчете передаточной функции сейсмической группы.

Градусы – флаг, определяющий в каких единицах ведется расчет в пространстве (координаты X, Y и Z). Если флаг установлен, то расчет эпицентральных расстояний ведется по искривленной поверхности Земли через географические координаты станций и очагов. Если флаг снят, используется прямоугольная система координат, в которой единицей измерения расстояний являются метры.

Минимальное количество станций, достаточное для регистрации события – минимальное количество станций, на котором необходимо зафиксировать сигнал от события, чтобы считать его зарегистрированным.

Ошибка локации, % от гипоцентрального расстояния – величина, влияющая на ошибку локации при расчете регистрационных возможностей сети. Ошибка определяется максимальным гипоцентральным расстоянием до тех станций, которые зарегистрировали событие.

Множитель n – коэффициент, который задает правую границу частотного диапазона $n \cdot f_c$ (f_c – угловая частота в спектре землетрясения), достаточного для корректной оценки энергии землетрясения. От этой величины зависит степень затухания амплитуд самых высоких частот регистрируемых сигналов. Считается, что если такие высокие частоты зарегистрированы полностью (их уровень превышает шумовой фон на станции), то энергетические параметры очага, определяемые по спектру (угловая частота, размер очага, энергия), будут рассчитаны достаточно точно. Множитель используется при расчете карт возможностей регистрации угловой частоты и размера очага.

Литература

Ambraseys N.N. (1990) Uniform magnitude re-evaluation of European earthquakes associated with strong-motion records. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 1-20.

Borrmann P. (2002) *New Manual of Seismological Observatory Practice*. V.1, GeoForschungsZentrum, Potsdam, 1111 p.

Brune J.N. (1970) Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes: *Journal of Geophysical Research*, 75, 4997–5009.

Gutenberg, B., Richter, C.F. (1956) Magnitude and energy of earthquakes. *Annali di Geofisica*, 9, 1, 1-15.

Hanks T. C., Kanamori H. (1979) A moment magnitude scale, *Journal of Geophysical Research*, 84, 5, 2348 - 2350, 9B0059, doi:10.1029/JB084iB05p02348.

Keilis-Borok, V. I., (1959) On the estimation of displacement in an earthquake source and of source dimension. *Ann. Geofis.*, 12, 205-214.

Peterson J., (1993) Observation and modeling of seismic background noise, *U.S. Geol. Surv. Tech. Rept.*, 93-322, 1-95.

Randall, M. J. (1973) The spectral theory of seismic sources. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 63, 1133-1144.

ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 28 с.

Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км. *Труды ИФЗ РАН*, 1969. №32 (199). С.88-93.

Ризниченко Ю.В. *Проблемы сейсмологии*. М.: Наука, 1985. 408 с.