

Я.В. Конечная

Е.В. Иванова

Е.В. Шахова

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОБРАБОТКИ  
ЦИФРОВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ:  
РУКОВОДСТВО ПО ОБРАБОТКЕ  
ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
НА ЗАПИСЯХ СТАНЦИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕТИ**

В 2002 г. на территории Архангельской области на базе Института экологических проблем Севера УрО РАН была установлена первая сейсмическая станция «Архангельск». Сейчас региональная Архангельская сейсмическая сеть насчитывает 11 сейсмических пунктов наблюдений. В лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН вот уже 10 лет ведется непрерывная обработка полученных записей, производится анализ, составляются бюллетени естественных и техногенной событий. Поскольку четыре сейсмические станции входят в федеральную сеть сейсмических наблюдений Геофизической Службы РАН (ГС РАН, г. Обнинск), то данные обработки телесейсмических землетрясений по записям этих станций регулярно пересылаются в обрабатывающий центр ГС РАН.

Основной целью разработанного методического пособия является помощь обучающимся в практическом освоении методики обработки сейсмических записей, в том числе формирования станционных бюллетеней для отправки в ГС РАН. В общем случае, задача настоящего издания – подготовить специалистов, способных грамотно интерпретировать сейсмические записи станций Архангельской сети.

В настоящем пособии частично описано программное обеспечение для обработки цифровых сейсмических записей WSG (Windows Seismic Grafer), с учетом потребностей интерпретаторов, работающих с записями станций Архангельской сейсмической сети.

Учебно-методическое пособие составлено на основе инструкций специалистов Геофизической Службы РАН, а также монографий и оригинальных статей, опубликованных в течение нескольких последних лет.

## Содержание

I. Теоретические основы обработки сейсмических записей.....	5
§ 1. Земля и ее внутреннее строение по данным современной науки.....	5
§ 2. Роль сейсмологических методов в изучении земных недр. Сейсмические волны.....	7
§ 3. Волновая картина при землетрясениях: общие понятия.....	13
§ 4. Понятие о микросейсмах.....	18
II. Практические основы обработки сейсмических записей.....	20
§ 1. Этапы развития сейсмологических наблюдений на Восточно- Европейской платформе. Станции Архангельской сейсмической сети.....	20
1.1 Основные этапы развития сейсмологических наблюдений на Восточно-Европейской платформе.....	20
1.2 Архангельская сейсмическая сеть.....	22
§ 2. Программное обеспечение для обработки цифровых сейсмических записей WSG.....	29
2.1 Интерфейс основного пакета обработки WSG.....	29
2.2 Интерфейс вспомогательных программ WSG.....	42
§ 3. Анализ сейсмических записей станций Архангельской сети.....	44
3.1 Выявление сейсмических событий на записях.....	44
3.2 Фильтрация и просмотр записей станций Архангельской сети, выделение фаз сейсмических событий.....	48
3.3 Ведение журнала станции при просмотре записей, заполнение каталога ССД.....	54
3.4 Анализ качества сейсмических записей.....	59
§ 4. Порядок обработки телесейсмических землетрясений на записях станций Архангельской сети.....	61
4.1 Обработка события по широкополосным каналам сейсмической станции.....	61
4.2 Обработка события по короткопериодным каналам сейсмической станции.....	66
4.3 Формирование ежедекадного станционного бюллетеня обработанных событий.....	67

III. Контрольные вопросы и упражнения.....	70
Контрольные вопросы (к разделу I).....	70
Упражнение 1 (к п. 2.1).....	71
Упражнение 2 (к п. 3.1).....	72
Упражнение 3 (к п. 3.2).....	73
Упражнение 4 (к п. 3.2).....	74
Список использованных источников.....	76
Приложения А.....	77
Приложения Б.....	80
Приложения В.....	81

# I. Теоретические основы обработки сейсмических записей

## § 1. Земля и ее внутреннее строение по данным современной науки

Земля – типичная внутренняя (наряду с Меркурием, Венерой и Марсом) планета Солнечной системы. Характеризуется наличием хорошо развитых атмосферы, гидросферы и внутренних оболочек. Имеет спутник – Луну, притяжение которого вызывает приливы и отливы в водной оболочке. Эллиптическая орбита Земли близка к круговой. Скорость вращения планеты плавно изменяется в течение года, а также периодически в многолетнем цикле.

Земля обладает совокупностью физических полей:

– *гравитационное* поле – силовое поле, обусловленное притяжением масс Земли и центробежной силой, которая возникает вследствие суточного вращения Земли; незначительно зависит также от притяжения Луны и Солнца и других небесных тел и масс земной атмосферы. По сути, это пространство, в пределах которого проявляются силы притяжения Земли. Изучением гравитационного поля Земли занимается *гравиметрия*.

– *геомагнитное* поле – магнитное поле Земли, создаваемое в основном действием источников, расположенных внутри Земли, а также в магнитосфере и ионосфере. Изучение геомагнитного поля показало, что наша планета представляет собой гигантский магнит, поле которого проявляется на ее поверхности и в окружающем пространстве. Характеризуется неоднородной структурой. Изучением магнитного поля Земли занимается *магнитометрия*.

– *тепловое* поле – сложное поле планеты, обусловленное несколькими источниками. Выделяют поверхностные и глубинные тепловые поля: поверхностное формируется в основном за счет излучения Солнца. Глубинное же тепло планеты Земля связано с источниками ее внутренней энергии, проявляющейся в виде извержения вулканов, землетрясений, движений земной коры и т.д. Таким образом, оно служит индикатором интенсивности эндогенных (внутренних) геологических процессов. Границей влияния поверхностных и глубинных факторов теплового поля является т. н. *слой постоянных температур*. Обычно он находится на глубине нескольких десятков или сот метров. Тепловое состояние Земли и распределение температуры в ее недрах изучает *геотермика*.

Принято считать, что в первом приближении наша планета имеет форму шара, поверхность которого менее чем на 30 % покрыта сушей, а вся остальная часть – морями и океанами. Впрочем, фигура шара не является точно описывающей форму Земли. В древности, а открывателем шаровидной формы планеты считается Пифагор (570–490 до н. э.), и в средневековье шарообразность считалась естественной, но уже к XVII в. английский ученый И. Ньютон (1643–1727) рассчитал, что вращение Земли обуславливает хотя и небольшое, но отклонение ее формы от точного шара и придает ей некоторую сплюснутость у полюсов. Причиной этого является центробежная сила. В середине XVII века точка зрения Ньютона была блестяще подтверждена экспериментально с помощью градусных измерений на различных широтах в организованных Французской академией наук экспедициях. Примерно в то же время, в 1743 г., появилась замечательная работа французского математика А. Клеро (1713–1765) «Теория фигуры Земли, основанная на началах гидростатики», где эти идеи получили дальнейшее развитие и стали фундаментом для современной гравиметрии. На сегодняшний день под фигурой или формой Земли понимают форму ее твердого тела, образованную поверхностью материков и дном морей и океанов, называемую *геоид*, и описываемую относительно сложными математическими уравнениями. Упрощенная же форма Земли, согласно геодезическим измерениям,

приближается к эллипсоиду вращения (сфероиду). Полярный радиус при этом составляет с точностью до одного знака 6356.8 км, экваториальный – 6378.2 км.

Внутренние части Земли, соответственно, представляют собой сферически концентричные слои различного размера, которые разделены несколькими границами.

Выделяют три главные области Земли (рисунок 1): *земная кора* (слой А), *мантия Земли* (слои В, С, D) и *ядро Земли* (слои Е, F, G).



Рисунок 1 – Внутреннее строение Земли (модель Гутенберга-Буллена)

1. **Земная кора.** Эта геосфера составляет небольшую долю от всей массы Земли. Ее толщина (мощность) и состав непостоянны, и в соответствии с этим выделяют три типа земной коры. Кора *континентального* типа мощностью 30–60 км, максимум – до 70 км, состоит из магматических, метаморфических и осадочных горных пород, образующих три слоя: верхний – осадочный (мощностью 10–15 км), средний – гранито-гнейсовый (10–20 км) и нижний – базальтовый (до 40 км соответственно). Границей раздела между гранито-гнейсовым и базальтовым слоями является так называемая *поверхность Конрада* (названа в честь австрийского сейсмолога В. Конрада (1876–1962)). Слои называются в соответствии с названием преобладающих в их составе горных пород.

Кора *океанического* типа толщиной не более 5–10 км состоит также из трех слоев. Верхняя часть коры – тонкий прерывистый слой рыхлых осадочных пород до нескольких сот метров толщиной. Второй, базальтовый, слой образован в основном продуктами извержений подводных вулканов (1.5–2 км), а третий, нижний, слой – основными и ультраосновными породами мощностью 3–5 км.

Также выделяют такой тип коры как *кора переходных областей*. Он наблюдается там, где происходит смена континентальной коры на океаническую (например, область окраинных морей, архипелагов островов и островных дуг).

2. **Мантия Земли.** Эта геосфера является самым крупным элементом Земли – занимает 83 % ее объема и составляет около 66 % ее массы, простирается на глубину приблизительно 2900 км от поверхности. Имеет достаточно сложное внутреннее строение, в составе которого выделяют несколько границ раздела. Сверху, от земной коры, ее отделяет *поверхность Мохоровичича*, открытая в 1909 г. югославским сейсмологом А. Мохоровичичем (1857–1936) и названная в его честь (сокращенно ее называют

*границей Мохо* или *границей М*); снизу она ограничивается *поверхностью Вихерта-Гутенберга* или просто *границей Гутенберга (границей Г)*, открытой в 1914 году немецким сейсмологом Б. Гутенбергом (1889-1960). По значениям физических параметров мантия делится на *верхнюю мантию* (слой В, или слой Гутенберга, мощностью 400 км и слой С, до 800-1000 км) и *нижнюю мантию* (слой D до глубины 2900 км с переходным слоем D<sub>1</sub> – от 2700 до 2900 км). Некоторые исследователи выделяют *среднюю мантию* (слой С, или слой Голицына, названный в честь российского сейсмолога Бориса Борисовича Голицына (1862–1916)).

Внутри слоя Гутенберга, на глубинах 70–150 км, наблюдается область со специфическими свойствами, где предположительно развиваются очаги плавления вещества мантии. Эту часть слоя Гутенберга также считают отдельной и называют *астеносферой*. Земная кора вместе с твердой частью слоя Гутенберга образует единый жесткий слой, лежащий на астеносфере, который называется *литосферой*, или *каменной оболочкой* Земли. По существу, литосфера является своеобразной геосферой, отделенной от остальной части мантии полужидким поясом астеносферы.

Состав вещества мантии представлен минералами, находящимися в различных модификациях в зависимости от температуры и давления на той или иной глубине, в основном силикатами, поэтому иногда мантию называют также *силикатной оболочкой* Земли.

Границы и слои внутри Земли носят названия в честь выдающихся сейсмологов, поскольку особенности глубинного строения Земли во многом были установлены именно с помощью сейсмических методов (см. раздел I, § 2).

**3. Ядро Земли.** Центральная геосфера Земли, которая занимает около 17 % ее объема и составляет 34 % ее массы. Такое соотношение долей объема и массы обусловлено резкими различиями физических параметров ядра и мантии.

Ядро состоит из трех частей: *внешнего ядра* (слой Е, от границы Гутенберга до границы на глубине 4980 км), *переходной оболочки* (слой F, в интервале глубин 4980–5120 км) и *субъядра* (слой G, глубже 5120 км). Граница раздела 5120 км называется также *границей Леман*, в честь открывшей ее датского сейсмолога Инге Леман (1888–1993).

Внешнее ядро обладает свойствами жидкости и достаточно пластично, а внутреннее ядро – твердое, отделенное от внешнего переходным слоем. В состав ядра входят, в основном, железо и никель с небольшой примесью легких элементов. Вероятно, в виде примеси оно содержит серу и, может быть, кремний. Считается, что все три зоны ядра по составу близки, хотя полного совпадения теоретически ожидать нельзя.

Таким образом, планета Земля имеет достаточно сложное внутреннее строение, которое является предметом изучения для целого комплекса научных дисциплин, называемого «науки о Земле».

## § 2. Роль сейсмологических методов в изучении земных недр. Сейсмические волны

Внутреннее строение Земли на сегодняшний день доступно изучению различными методами.

Прежде всего, строение тонкой приповерхностной части земного шара можно исследовать непосредственно, с помощью изучения естественных обнажений горных пород, разрезов шахт и рудников, керн глубоких и сверхглубоких буровых скважин, а также минеральных агрегатов, поднятых из кимберлитовых (состоящих из алмазонасных пород) трубок. Максимальная глубина пробуренной скважины на сегодняшний день достигает отметки в 12262 м (сверхглубокая скважина на Кольском полуострове). Керн, поднятый из нее, существенно расширил научные представления о глубинных горизонтах земной коры. А минеральный агрегат из кимберлитовой трубки

в Лесото (Южная Африка) рассматривается как представитель уже мантийных пород, залегающих на глубине ~250 км.

Однако проникнуть на глубину в несколько тысяч километров и извлечь оттуда образцы вещества для непосредственного изучения в настоящее время не представляется возможным. Поэтому внутреннее строение собственно недр Земли исследуется преимущественно косвенными геофизическими методами, основанными на анализе физических полей Земли: магнитного (магнитометрические методы), поля силы тяжести (гравиметрические методы), теплового (измерения теплового потока – геотермические методы) и пр. Одним из важнейших и результативных методов изучения глубинного строения Земли является сейсмический метод, основанный на изучении скоростей распространения упругих волн, возбуждаемых естественными и искусственными землетрясениями, внутри и по поверхности земного шара. Эти исследования выполняются в рамках научной дисциплины *сейсмология*.

Вообще говоря, долгое время сейсмология, одним из основателей которой является выдающийся русский физик и геофизик академик Борис Борисович Голицын, была наукой только о землетрясениях и сейсмических волнах. В настоящее время она занимается измерением и анализом любых движений, которые регистрируются сейсмографами на поверхности твердой Земли.

Деление Земли на три основные зоны – кору, мантию и ядро – основано именно на сейсмических данных; по ним же выделяют и границы раздела на более мелкие зоны, а также судят об агрегатном состоянии вещества на той или иной глубине от поверхности. Остановимся более подробно на принципах сейсмологического подхода к изучению внутреннего строения Земли.

Упрощенно теорию сейсмических волн можно изложить следующим образом. Земля непрерывно подвергается деформациям, вызываемым внутренними напряжениями, которые в ней существуют. Если эти напряжения не слишком велики, то наблюдается упругая или пластическая деформация. Однако если напряжения действуют в течение продолжительного периода времени, или достаточно велики, то в конце концов в определенной зоне произойдет разрыв или разлом. Это явление вызывает внезапное освобождение напряжений, и возмущение создает упругие волны, которые будут распространяться через Землю, вызывая сотрясения на ее поверхности, что и называется *землетрясением*. Таким образом, *сейсмические волны* представляют собой механические колебательные движения, распространяющиеся через геологические среды в виде деформаций, т.е. изменений взаимного расположения материальных частиц среды.

Такие волны будут излучаться из ограниченной области под поверхностью Земли, называемой *очагом* или *фокусом землетрясения*. Эта область может находиться на глубине от нескольких десятков метров до 700 км (глубже 720 км землетрясения не наблюдались, поскольку вещество Земли на таких глубинах переходит в другое агрегатное состояние). В соответствии с этим, землетрясения подразделяются на *мелкофокусные* и *глубокофокусные*. Глубокофокусные землетрясения были открыты в 1922 г. английским сейсмологом Тернером (1861–1930). Проекция очага землетрясения на земную поверхность называется *эпицентром* землетрясения.

Возникнув в очаге землетрясения, сейсмические волны будут распространяться с определенной скоростью по всем направлениям путем упругих перемещений частиц среды. По характеру распространения волны делятся на *продольные* и *поперечные* (рисунок 2).

*Продольные* волны характеризуются упругим объемным типом передачи возмущения, при котором перемещение частиц среды соответствует направлению распространения волны (рисунок 2а). *Поперечные* волны обладают сдвиговым упругим механизмом передачи возмущения, обеспечивающим распространение волны в направлении, перпендикулярном к перемещению частиц (рисунок 2б). Эти особенности распространения сейсмических волн проявляются, в частности, в том, что продольные



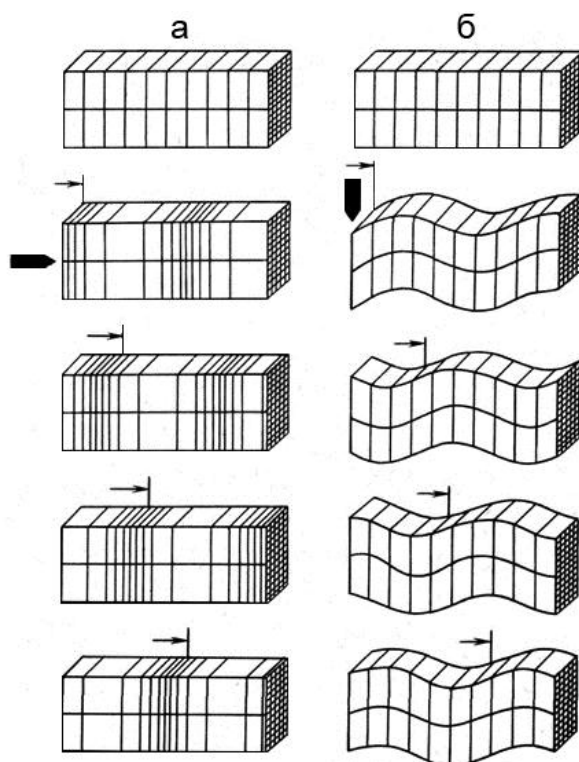
волны имеют большую скорость, чем поперечные (скорость упругих волн в твердой среде определяется плотностью  $\rho$  и упругими модулями сжатия среды  $\lambda$  и  $\mu$  как:

$$V_{\text{прод}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad V_{\text{попер}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

для многих пород, слагающих Землю,  $\lambda \approx \mu$ , поэтому

$$\frac{V_{\text{прод}}}{V_{\text{попер}}} \approx \sqrt{3}$$

Кроме того, поперечные волны не могут распространяться в жидкой среде, где упругое сопротивление сдвигу отсутствует. Так, именно по этим особенностям распространения поперечных волн внутри Земли был получен вывод о жидком внешнем ядре планеты.



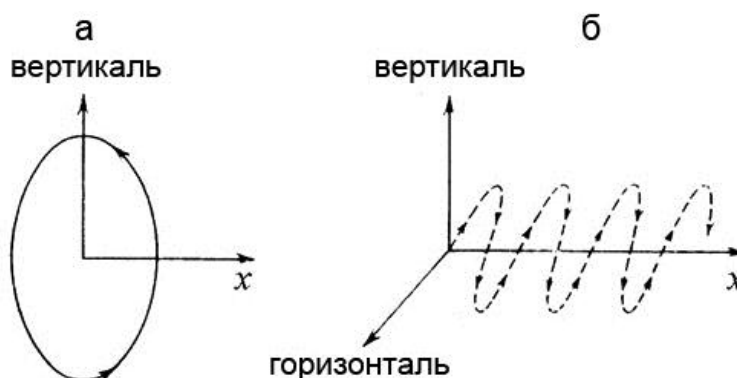
а – продольная, б – поперечная

Рисунок 2 – Схема перемещения упругих волн

Продольные и поперечные сейсмические волны пронизывают весь объем нашей планеты, поэтому их называют *объемными* волнами. Наряду с ними существуют *поверхностные* волны, которые образуются как результат интерференции продольных и поперечных волн, и распространяются только вдоль земной поверхности. Причем поверхностные волны от сильных землетрясений могут обогать земной шар несколько раз, в течение нескольких часов после землетрясения. Объемные волны образуются при любом землетрясении, а поверхностные преимущественно при мелкофокусных землетрясениях. В поверхностных волнах величина смещения частиц среды максимальна на поверхности и быстро (экспоненциально) убывает с ростом глубины.

Поверхностные волны, так же как и объемные, бывают двух типов – они получили названия *волн Релея* и *волн Лява*. Эти волны были теоретически изучены англичанами – физиком Рэлеем (1842–1919) в 1885 г. и математиком Лявом (1863–1940) в 1911 г. В релеевской волне смещение частиц среды лежит в вертикальной плоскости, а сами частицы описывают эллипс, двигаясь против часовой стрелки. Движение частиц в волне

происходит так, что они как бы «накатываются» на источник волны (рисунок 3). В волнах Лява смещение частиц происходит в горизонтальной плоскости, перпендикулярно к направлению распространения волн (рисунок 3).



а – волна Релея, б – волна Лява

Рисунок 3 – Смещения в поверхностных волнах  
( $x$  – направление распространения волн)

Волны Лява распространяются с несколько большей скоростью, чем волны Релея, соответственно, на записывающую станцию первой приходит волна Лява (причем видна она на горизонтальных каналах, поскольку вертикальной составляющей у нее нет), затем – волна Релея (она заметна прежде всего на вертикальном канале, хотя имеет как вертикальную, так и горизонтальную компоненты). Помимо волн Релея и Лява, на сейсмических записях иногда могут наблюдаться другие, особые виды поверхностных волн (каналовые, связанные, коровые и мантийные, собственные колебания Земли) [1], однако на практике их выделяют довольно редко, в основном по записям сверхдлиннопериодной аппаратуры.

По поверхностным сейсмическим волнам возможно определять осредненное строение наружных слоев Земли толщиной в сотни километров, особенно земной коры, в пределах расположения сейсмических станций и на трассах эпицентр – станция, т.е. на больших пространствах, что принципиально важно для изучения малодоступных мест участков земной поверхности (например, в Арктике, Антарктике и Океании). Такие определения возможны повсеместно, а также при сейсмических зондированиях на Луне и других планетах.

Если объемная сейсмическая волна на пути своего распространения встретит поверхность раздела, например, поверхность Земли, или границу внутри Земли (в частности, границу между ядром и мантией), то одна часть волновой энергии будет отражена, а другая преломлена, причем по законам, аналогичным законам геометрической оптики. Так образуются *отраженная* и *преломленная* волны. Отражение и преломление волн на границе раздела является надежным источником информации о положении этих границ и широко используется для изучения внутреннего строения Земли. Кроме того, в результате отражения или преломления характер передачи упругого возмущения частицами среды может измениться, и поперечная волна может превратиться в продольную или наоборот. Такую волну называют *обменной*. Существует специальный томографический метод исследования земных недр с использованием именно этого типа волн – метод обменных волн землетрясений (МОВЗ).

Для обозначения на сейсмограммах исходных, отраженных и преломленных на той или иной границе раздела сейсмических волн существует специальная сейсмологическая номенклатура (приложение 1). Так, поскольку самой первой от землетрясения на фиксирующую станцию приходит продольная волна, она на сейсмограмме обозначается буквой  $P$ , от лат. *prima* – первая, а позже приходящая поперечная волна обозначается буквой  $S$ , от лат. *secunda* – вторая. Остальные волны по аналогии обозначаются

комбинацией этих символов и нескольких других букв латинского алфавита. Поверхностные волны, обозначаемые символами  $LR$  (волна Релея) и  $LQ$  (волна Лява), приходят последними.

Теоретически волны  $P$  и  $S$  были предсказаны французским физиком Пуассоном (1781–1840) еще в 1829 г. при создании теории упругости, а поверхностные волны – Релеем в 1887 г. Для изучения прохождения в Земле сейсмических волн ирландский сейсмолог Р. Малле (1810–1881) в 1851 г. осуществил первое искусственное землетрясение, взрывая порох и наблюдая распространение колебаний на поверхности ртути в сосуде. Однако до начала XX века даже основные волны не удавалось четко выделить на имевшихся записях землетрясений. Только в 1900 г. английский сейсмолог Р. Олдгем (1858–1936) впервые выделил на записях землетрясений объемные волны  $P$  и  $S$ , а также поверхностные. Его исследования показали, что на любой станции первым указанием на землетрясение было четкое вступление волны  $P$ . Кроме того, время вступления сейсмических сигналов от одного и того же толчка (землетрясения) может быть зарегистрировано на различных станциях, находящихся на самых разных расстояниях от эпицентра. Следовательно, можно определить время распространения возмущения как функцию расстояния и построить *годограф* – зависимость времени пробега той или иной волны от расстояния в градусах или километрах по дуге большого круга между эпицентром землетрясения и станцией – приемником волн. По таблицам годографа можно вычислить скорость сейсмических волн на любой глубине внутри Земли, хотя эти расчеты довольно сложны. Олдгем составил первую приемлемую таблицу времен пробега волн  $P$  и  $S$ .

Начиная с 1910 г., учеными-сейсмологами были проведены (а для близких, локальных расстояний в конкретных областях земного шара, например, в регионах Кавказа, Арктики ведутся и до сих пор) многочисленные вычисления зависимости между скоростями сейсмических волн и глубиной. На основании этих данных разработан и применяется с 1991 г. международный унифицированный *годограф IASPEI91* [2], с помощью которого ведется аналитическая обработка землетрясений земного шара по данным всех сейсмических станций мира.

Олдгем же заметил, что при увеличении расстояния времени пробега увеличиваются медленнее, чем это происходило бы в однородной среде. Отсюда сейсмолог сделал вывод, что скорость волн существенно увеличивается с глубиной, и этот вывод вполне совпал с научными данными о том, что Земля неоднородна по своему составу.

Таким образом, благодаря тому, что скорости продольных и поперечных волн зависят от глубины из-за различной плотности вещества планеты, реальные сейсмические лучи искривлены, т.е. Земля ведет себя по отношению к сейсмическим волнам как преломляющая линза. Кроме того, реальные сейсмические волны подвержены *затуханию* – уменьшению амплитуды с увеличением расстояния между очагом землетрясения и записывающей станцией. Оно обусловлено тремя факторами – геометрическим расхождением, поглощением и рассеянием волн.

*Геометрическое расхождение* связано с тем, что энергия упругих сейсмических волн, распространяющихся из очага землетрясения, распределяется по поверхности фронта волны. *Фронт волны* – это некая поверхность, отделяющая среду, затронутую возмущением, от среды, находящейся в покое. Площадь фронта волны растет с увеличением гипоцентрального расстояния, что ведет к уменьшению плотности энергии волны (фактически это «размазывание» порции излученной в очаге энергии по все увеличивающейся площади поверхности). Это явление и есть геометрическое расхождение волны. Различные типы волн имеют различное расхождение, обусловленное геометрией поверхности фронта, численно оно выражается через зависимость амплитуды волны от расстояния. Из-за сложного строения реальной среды и из-за протяженности очага фронты сейсмических волн строго отождествить с поверхностями геометрических

фигур затруднительно, но, тем не менее, для некоторых волн при определенных условиях их можно условно принимать за сферические (поверхность сферы), цилиндрические (цилиндра), плоские (поверхность – плоскость). Затухание волны из-за расхождения максимально в случае сферического фронта, для плоского фронта его не будет совсем (коэффициент геометрического расхождения равен нулю).

Если бы Земля была однородным, изотропным (т.е. одинаковым по всем направлениям) и идеально упругим телом, то уменьшение амплитуд сейсмических волн с расстоянием было бы обусловлено только геометрическим расхождением. Однако из-за преобразования веществом Земли части энергии распространяющихся сейсмических волн в тепловую и другие виды энергии, наблюдается явление *поглощения* энергии сейсмических волн, которое быстро растет с уменьшением длины волны. *Длина волны L* определяется как произведение *скорости* ее распространения *V* на *период T* (рисунок 4):

$$L = V \cdot T$$

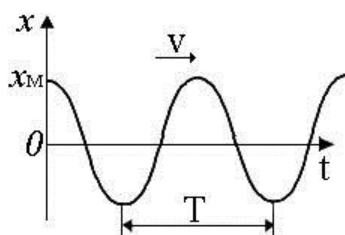


Рисунок 4 – Схематическое изображение характеристик волны  
( $x_m$  – амплитуда волны)

Неоднородностью вещества Земли обусловлено также и явление *рассеяния* волн, которое заключается в том, что, если размер неоднородного включения (препятствия на пути волны) сопоставим с длиной движущейся волны или больше ее, то часть энергии волны будет потрачена на образование отраженных от него волн, т.е. потеряна волной, рассеяна. Волны, длины которых значительно больше встречаемых неоднородностей, проходят их без потери энергии, как бы «не замечают» их.

Таким образом, научное знание в области сейсмологии начало развиваться с начала XX в. и продолжает успешно пополняться новыми сведениями по сей день. По мере усовершенствования сейсмологических приборов, к 1914 г. были установлены общая картина строения Земли и приблизительные скорости распространения объемных волн. Примерно до 1940 г. знания о слоях земной коры и структуре других оболочек планеты основывались на данных о поверхностных и обменных волнах, полученных по близким землетрясениям. С 1940 г. сейсмические данные, получаемые от близких землетрясений, пополнялись важными результатами с использованием записей взрывов. Основные сведения о внутреннем строении Земли до настоящего времени накапливаются в результате наблюдений за распространением объемных волн от удаленных землетрясений, а начиная с конца XX в. и от удаленных мощных взрывов.

Особое место среди сейсмологических методов и по кругу решаемых задач, и по масштабам применения занимает метод сейсмической разведки или *сейсморазведка*. Этот метод основан на изучении скорости распространения сейсмических волн в земной коре, которые в качестве источника возбуждения имеют искусственный источник, обычно взрыв в неглубокой скважине или удары от падения специального груза. Причем, в отличие от общих сейсмологических методов, в этом методе регистрируются только продольные волны. Данные, получаемые этим методом, широко используются при разведке месторождений полезных ископаемых.

Все эти исследования осуществляются одновременно с решением других задач и несением оперативной сейсмической службы, по данным сетей сейсмических станций, функционирующих по всему миру.

### § 3. Волновая картина при землетрясениях: общие понятия

*Землетрясение* – внезапное и резкое сотрясение участка земной коры, проявляющееся на поверхности Земли в виде толчков различной силы и обязанное своим происхождением геологическим факторам, действующим на некоторой глубине от земной поверхности. Для всей Земли ежегодно регистрируются несколько сотен тысяч землетрясений, в среднем каждую минуту происходит один–два сейсмических толчка. Продолжительность землетрясений составляет от нескольких секунд до нескольких месяцев и даже лет. Часто за начальным крупным толчком следует цепь более мелких, называемых *афтершоками*, и весь этот период называют периодом землетрясения. Афтершоки могут продолжаться в течение нескольких лет после основного толчка, обычно с убывающей частотой. Иногда выделяют толчки, предшествующие основному – *форшоки* землетрясений.

Большинство землетрясений происходит в областях современного горообразования и является следствием внезапного сдвига вдоль линий разломов отдельных блоков земной коры и верхней мантии. Землетрясения обычно приурочены к узким сейсмическим поясам, их географическое распределение явилось одним из оснований для разделения наружного жесткого слоя Земли на небольшое число литосферных плит и создания новой теории глобальной тектоники.

*Очаг землетрясения* *O* (рисунок 5) – область, в которой наблюдаются необратимые деформации. Очаги землетрясений в некотором смысле являются «датчиками» напряжений, существующих в наружной сейсмоактивной оболочке Земли. Изучая распределение первых вступлений сейсмических волн данного землетрясения на поверхности Земли, можно определить направления главного растягивающего и сжимающего напряжений в его очаге, и таким образом можно получить сведения о т. н. *механизме очага землетрясения*.

*Эпицентр* землетрясения *Э* (рисунок 5) – проекция гипоцентра на поверхность Земли. При проецировании всего очага землетрясения на поверхность Земли, в силу его объемности, на поверхности образуется *плейстосейстовая область* – область максимальной силы землетрясения. *Изосейсмическая поверхность* – поверхность, во многих точках которой сила землетрясения одинакова; пересекая поверхность Земли, изосейсмическая поверхность образует линии, называемые *изосейстами*, соединяющие точки равных сотрясений во время данного землетрясения.

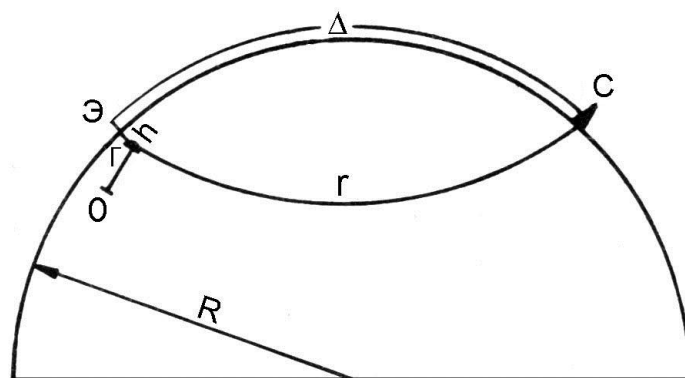
*Гипоцентральное расстояние* *r* (рисунок 5) – расстояние по прямой от гипоцентра землетрясения до сейсмической станции.

*Эпицентральное расстояние* *Δ* (рисунок 5) – расстояние от эпицентра землетрясения до сейсмической станции, измеренное по дуге большого круга, единица измерения - градус. В среднем  $1^\circ = 111.2 \text{ км}$ .

*Глубина очага* *h* (рисунок 5) – расстояние между гипоцентром и эпицентром землетрясения.

*Гипоцентр* (фокус, центр очага) землетрясения *Г* (рисунок 5) – точка (или малая область) внутри Земли, которая является источником сейсмических колебаний, формирующих запись землетрясения на *сейсмограмме* (рисунок 6).

Регистрация колебаний земной коры производится сетью сейсмических станций, на которых они отмечаются специальными приборами – сейсмографами, с высокой точностью фиксирующими время прихода волн (начало землетрясения) и их амплитуду. Обычно на сейсмической станции волны регистрируются на трех сейсмографах: на одном – вертикальные колебания, а на двух – горизонтальные, ориентированные в широтном и меридиональном направлениях (см. раздел II). Первыми фиксируются продольные волны *P*, характеризующиеся максимальной скоростью распространения, затем – поперечные *S*, и последними – поверхностные *L*, которые распространяются с небольшой скоростью и быстро затухают.



$C$  – сейсмическая станция,  $R$  – радиус Земли

Рисунок 5 – Схема, иллюстрирующая основные понятия:  $O$ ,  $Э$ ,  $Г$  и параметры  $h$ ,  $r$ ,  $Δ$  землетрясений

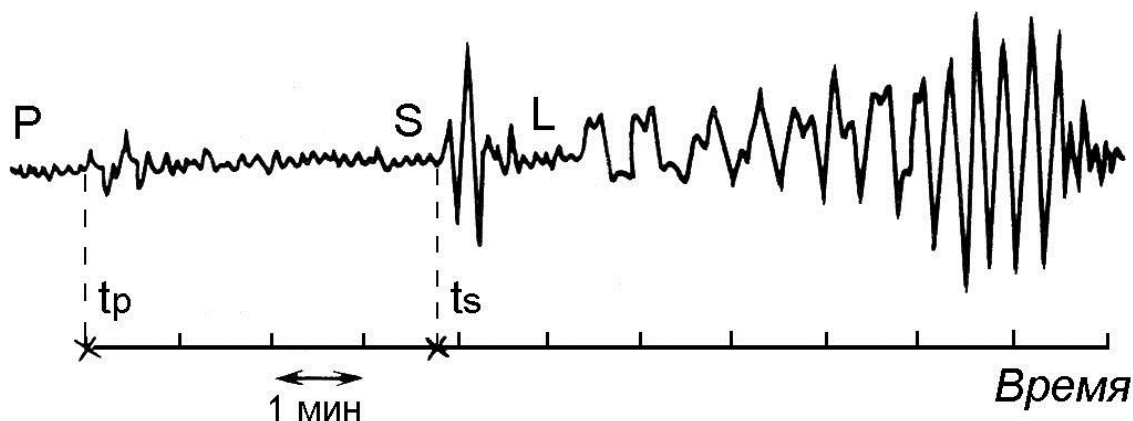


Рисунок 6 – Сейсмограмма с указанием моментов прихода волн  $P$ ,  $S$  и  $L$

Особую сложность, по сравнению с вышеперечисленными параметрами, представляет собой количественная оценка интенсивности землетрясения и выделяемой им энергии.

Прежде всего, *интенсивность* (силу), или *балльность*  $I$  землетрясения, принято оценивать по условной 12-балльной шкале MSK-64. В СССР она была принята в 1952 г. (уточнена Медведевым в 1964 г. и действует до сих пор). В сокращенном виде она приведена в таблице 1, в полном виде в [1].

Более объективную и точную оценку интенсивности землетрясений можно произвести по амплитуде смещения почвы. В качестве такого параметра принята условная безразмерная величина – *магнитуда*  $M$ , вычисляемая из логарифма отношения максимальной амплитуды смещения почвы на удалении от эпицентра в 100 км к эталонной амплитуде слабого землетрясения. При этом можно рассматривать смещения почвы, вызванные прохождением сейсмических волн различного типа, в силу чего существуют разные типы магнитуд. По способу определения различают локальную магнитуду ( $ML$ ), магнитуду по поверхностным волнам ( $M_S$ ), по объемным волнам ( $mb$ ) и др. Магнитуда, определенная по разным типам волн, имеет различное числовое значение. Существуют эмпирические формулы связи различных типов магнитуд.

Первоначально магнитуда землетрясения была определена Ч. Рихтером как логарифм максимума амплитуды, измеренной в микронах на записи стандартного крутильного сейсмографа с периодом маятника 0.8 секунд, с увеличением 2800 и постоянной затухания 0.8, расположенного на расстоянии 100 км от эпицентра. Этот стандартный прибор по имени его создателей называется сейсмографом Вуда-Андерсона. Ч. Рихтер построил калибровочную кривую для перехода от амплитуд, наблюдаемых на

произвольном эпицентральной расстоянии, к амплитудам, ожидаемым на расстоянии 100 км. Этот тип магнитуды теперь называется локальной магнитудой ***ML***.

Таблица 1 – Шкала сейсмической интенсивности (в сокращении)

Количество баллов	Землетрясение	Характеристика землетрясения
2–3	Слабое	Регистрируется только приборами
4	Интенсивное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей
5–6	Сильное	Ощущается всеми людьми; повреждение зданий, мелкие трещины в грунтах
7	Очень сильное	Значительные повреждения зданий, оползни, трещины, осыпи
8	Разрушительное	Обвалы и сильные повреждения зданий, крупные оползни
9–10	Опустошительное, уничтожающее	Разрушение зданий, повреждение домов, разрывы рельсов, трубопроводов, трещины до нескольких дециметров
11–12	Катастрофическое	Общее разрушение и обвалы зданий, изменение рельефа с вертикальным и горизонтальным смещением

В общем случае магнитуда  $M$  представляет собой логарифм максимальной скорости колебаний земной поверхности или логарифм максимальных смещений в сейсмических волнах разного типа ( $P$ ,  $S$ ,  $L$ ), отсчитанный от некоторого условного уровня, отвечающего слабому толчку, магнитуда которого принята за 0.

Магнитуда рассчитывается по формуле

$$M = \lg(A/T)_{\max} + f(\Delta, h) + \Sigma \delta M,$$

где  $A$  – амплитуда смещения почвы в микронах,  $T$  – соответствующий период в секундах,  $\Delta$  – эпицентральное расстояние,  $h$  – глубина очага землетрясения,  $f(\Delta, h)$  – калибровочная функция, выражающая изменение величины  $\lg(A/T)_{\max}$  с эпицентральным расстоянием и глубиной очага, и соответствующая нулевой магнитуде,  $\Sigma \delta M$  – сумма поправок за счет расположения очага и станции, механизма очага землетрясения и др. (обычно принимают равной нулю или вводят станционные или региональные поправки). Логарифмическая шкала позволяет охватить огромный интервал магнитуд землетрясений одной формулой. Для очень сильных землетрясений магнитуды могут достигать величин 8–8.5. Поскольку магнитуда логарифмическая величина, то она может иметь и отрицательное значение – так, магнитуды слабых толчков, которые все еще регистрируются аппаратурой, доходят до значения -3.

Расчет магнитуд по разным типам волн можно производить на основе данной формулы – для этого производятся замеры амплитуд  $A$  и соответствующих им периодов  $T$  в максимальных фазах перечисленных выше волн и к рассчитанному значению  $\lg(A/T)_{\max}$  добавляется значение соответствующей калибровочной функции.

Так, магнитуда землетрясения, определяемая по поверхностным волнам

$$M_s = \lg(A/T)_{\max} + 1,66 \lg \Delta + 3,3,$$

где  $(A/T)_{\max}$  – макс. значение отношения амплитуды смещения грунта (мкм) к соответствующему видимому периоду (с),  $\Delta$  – расстояние (км).

Еще одна важная шкала магнитуд основана на амплитуде телесейсмических объемных волн, такая магнитуда называется ***mb***. Магнитуда по объемным волнам ***m*** была введена Гутенбергом в силу необходимости энергетической оценки глубокофокусных землетрясений, не возбуждающих поверхностных волн. Более подробно вопрос о применяемых в практике рутинной обработки землетрясений различных типах магнитуд освещается во втором разделе настоящего пособия (см. раздел II, § 4).

Между магнитудой  $M$  и балльностью  $I$  землетрясения существует связь, которая выражается приближенным уравнением

$$M=1.3+0.6I.$$

Магнитуда по своему физическому смыслу характеризует энергию, выделяющуюся при упругих колебаниях, порожденных процессом в очаге – как известно, потенциальная энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды смещения, а кинетическая – квадрату амплитуды скорости. Для малых колебаний, что с позиций теории упругости всегда справедливо для сейсмических колебаний, средняя кинетическая энергия равна средней потенциальной. Соответственно, механическая энергия землетрясения  $E$  (в данном случае выраженная в Джоулях) связана с его магнитудой эмпирической зависимостью

$$\lg E \approx 4 + 1.6M.$$

Как показывают приближенные оценки, механическая энергия землетрясения – всего лишь часть энергии, выделяемой из очага, другие части поглощаются в пути, превращаются в тепло, рассеиваются во всех направлениях и т.д. Собственно, с наличием такого сложного распределения энергии и связаны трудности количественной оценки полной энергии землетрясения.

Помимо магнитуды, в сейсмологической практике принято еще использование и такой величины, как *энергетический класс землетрясения*  $K$ . В основном он используется для близких слабых землетрясений. Смысл величины  $K$  определяется как десятичный логарифм энергии землетрясения, выраженной в джоулях ( $1 \text{ Дж} = 10^7 \text{ эрг}$ ):

$$K = \lg E$$

Исторически возникли и используются несколько вариантов региональных шкал для расчета классов местных землетрясений; различия между ними обусловлены как особенностями условий в регионах, так и методическими подходами. Более подробно вопрос о применяемых на практике классах землетрясений освещен в [1]. Для рутинной обработки записей станций Архангельской сети эта величина применяется довольно редко и только в случаях местных событий.

#### **Классификация землетрясений:**

А) По параметрам.

Землетрясения классифицируются в зависимости от эпицентрального расстояния на *местные* (локальные), *близкие* (региональные) и *удаленные* (телесейсмические), и от глубины очага на *неглубокофокусные* (поверхностные и нормальные), *промежуточные* и *глубокофокусные*.

Землетрясения, для которых эпицентральные расстояния не превышают 200 км ( $\Delta \leq 2^\circ$ ), называются *местными* или *локальными*; близкими или *региональными* с эпицентральными расстояниями в диапазоне от 200 км до 2000 км ( $2^\circ < \Delta \leq 20^\circ$ ), и удаленными или *телесейсмическими* – начиная с эпицентральных расстояний 2000 км (при  $\Delta > 20^\circ$ ) [2].

Принято считать *неглубокофокусными* (неглубокими или с нормальной глубиной) землетрясения, для которых глубина очага  $h \leq 70$  км (иногда отдельно рассматривают *поверхностные* – от 0 до 10 км и *нормальные* от 10 до 70 км); *промежуточными* – с глубиной очага  $70 < h \leq 390$  км; *глубокофокусными* – с глубиной очага  $h > 390$  км.

Б) По происхождению.

В зависимости от происхождения все землетрясения подразделяются на *тектонические*, *вулканические* и *денудационные*. Кроме того, особую разновидность представляют подводные землетрясения, или *моретрясения*.

*Тектонические* – землетрясения, вызванные эндогенными (внутреннего происхождения) факторами и обусловленные вертикальными и горизонтальными подвижками отдельных блоков литосферы по зонам разломов. К этой группе относятся около 95 % всех фиксируемых землетрясений.



По современным представлениям тектонические землетрясения связаны с кратковременными разгрузками механических напряжений, возникающих при взаимных перемещениях блоков литосферы. Сила трения до некоторых пор препятствует этим перемещениям и тем самым способствует накоплению напряжений. Когда смещающие силы превышают силу трения, наступает кратковременная разгрузка этих напряжений, приводящая к смещениям блоков по глубинным разломам, образованию новых разрывов в коре. Эта разгрузка сопровождается образованием сейсмических волн, распространяющихся от гипоцентра, которым обычно является наиболее напряженный узел деформаций.

Поскольку тектонические землетрясения могут быть связаны с перемещениями блоков не только земной коры, но и литосферы в целом, они являются наиболее глубокофокусными (очаг на глубине нескольких сот километров). Вследствие большого количества накопленной и выделяющейся энергии землетрясения этого типа могут регистрироваться в самых удаленных от эпицентра точках земного шара и иметь катастрофические последствия на значительных территориях.

Постепенная прерывистая разгрузка механических напряжений при тектоническом землетрясении наглядно отражается в повторяемости подземных толчков – афтершоковых процессах.

*Вулканические* землетрясения связаны с деятельностью вулканов и возникают в результате глубинных взрывов газов, выделяющихся из магмы, гидравлических ударов магмы, движущейся по каналу сложной формы и сечения, и т.д. По глубине очага они чаще поверхностные, однако их гипоцентр иногда залегает на глубинах до 60 км. Землетрясения этого типа часто сопровождают вулканические извержения и обычно предшествуют им. Область распространения землетрясений чаще всего не превышает 50 км, а изосейсты опоясывают конус вулкана и по форме близки к окружности. Эпицентры находятся вблизи кратера.

*Денудационные* землетрясения связаны с процессами денудации (совокупность процессов сноса и переноса водой, ветром, льдом, прямым воздействием силы тяжести продуктов разрушения горных пород в пониженные участки земной поверхности, где происходит их накопление) земной коры – обвалами в горах, крупными оползнями, провалами сводов естественных пустот (например, карстовых пещер) и т.д. Они возникают за счет удара, производимого обвалившейся массой породы; наблюдаются в местностях, сложенных известняками, гипсами и легкорастворимыми породами. Эти землетрясения составляют менее 1 % от общего числа регистрируемых землетрясений, они обладают минимальной глубиной гипоцентра. Сила их в редких случаях может быть значительной, однако отмечается только в эпицентре и быстро убывает по мере удаления от него. Продолжительность не превышает нескольких секунд.

Если эпицентр землетрясения находится на дне моря или на суше, но вблизи от береговой линии, то на море возникают явления, которые называются *моретрясениями*, или подводными землетрясениями. Сильные моретрясения вызывают огромные волны, называемые *цунами*. Эти волны возникают при быстрых провалах дна, вызванных смещениями блоков. При резком провале дна в эпицентре моретрясения образуется волна, направленная вверх и приводящая к подъему уровня воды. На поверхности воды эта волна преобразуется в волну цунами, концентрически распространяющуюся от эпицентра со скоростью до 800 км/ч. В океане высота волн цунами не превышает 2 м, что при огромной длине волны (100-300 км) делает их малозаметными. Однако на мелководье цунами тормозится, вырастает до 30–40 м, принимает резко асимметричную форму и обрушивается на берег. При этом разрушительная сила волны пропорциональна ее скорости.

## § 4. Понятие о микросейсмах

Естественные микросейсмические шумы – *микросейсмы* – являются объектом изучения экспериментальной и теоретической сейсмологии, начиная с момента их открытия в конце XIX в. Они присутствуют как на поверхности Земли, так и во внутренних точках среды, проявляясь на сейсмических записях в виде постоянно наблюдающихся колебаний. По сути, это наложение множества упругих волн, распространяющихся вдоль поверхности Земли.

В соответствии со всеми теоретическими и экспериментальными данными считается, что микросейсмы возбуждаются в результате переменного давления, действующего на поверхность Земли (или дно океана) по нормали к ней. Таким образом, как результат того, что их источником являются вертикальные силы, микросейсмы, в основном, состоят из поверхностных волн Релея. Волны Лява практически не присутствуют в микросейсмах, они могут возникать только в случае сильно наклонного на значительной площади морского дна или при негоризонтальных геологических границах, т. е. волны Лява могут образовываться не в очагах генерации микросейсм, а на пути их распространения. Не исключается, что в составе микросейсм возможны и высокоскоростные объемные (продольные) волны. По данным большинства исследователей, фазовая скорость микросейсм не превышает 2.5–3.3 км/с, что соизмеримо со скоростью фундаментальной моды волн Релея. Таким образом, микросейсмы формируются в результате интерференции волн различной природы, однако основную их часть составляют поверхностные волны Релея.

Источники микросейсм принято разделять на экзогенные и эндогенные. К *экзогенным* (действующим извне) относят антропогенные, в частности, техногенные, помехи, и природные, естественные шумы от воздействия ветра, циклонов, волнения моря и даже грозовой деятельности. Прибойную гипотезу образования микросейсм впервые высказал Э. Вихерт (1861–1928) при сопоставлении их интенсивности с волнениями у берегов Норвегии. Его результаты подтверждали и другие исследователи. Они пришли к выводу, что первопричиной микросейсм является волнение поверхности моря в прибрежных зонах. Циклоны над морской поверхностью играют роль генераторов этого волнения. Наибольшее усиление длиннопериодных (т.е. низкочастотных) микросейсм связано с интенсификацией циклонов в открытых частях морей вдали от берегов, а штормовая деятельность вблизи берегов вызывает лишь слабое усиление длиннопериодных микросейсм.

*Эндогенные* (действующие изнутри) микросейсмические шумы связаны как с внешним для данного участка среды воздействием (например, т.н. сейсмическая эмиссия – излучение сейсмических волн высокой частоты – от лунно-солнечных приливов, землетрясений и взрывов), так и отражают свойства и напряженно-деформированное состояние самого участка, являясь свидетельством неоднородности и энергонасыщенности геофизической среды.

При обработке сейсмических записей стационарных станций, как правило, проще всего выделить экзогенные шумы, прежде всего по спектру записи. Спектры микросейсм представляют собой распределения по частоте либо квадрата скорости, либо квадрата амплитуды колебаний поверхности Земли.

Микросейсмы, вызываемые местными причинами, всегда имеют меньший период (и, соответственно, большую частоту), чем микросейсмы, возникающие на обширных пространствах океана. Существует следующая условная градация по источникам шумовых микросейсм от внешних источников [3]:

- шумы, наблюдаемые на частотах ниже 0.5 Гц, вызываются естественными факторами (волнение морей и океанов, крупномасштабные метеорологические явления), и их называют собственно «микросейсмами»;

- для шумов, проявляющихся на частоте  $\sim 1 \text{ Гц}$ , источниками являются ветровые воздействия и локальные метеорологические явления;
- шумы на частотах выше  $1 \text{ Гц}$  имеют антропогенные источники, этот шум называют «микротремором», или микродрожанием, чтобы отличить от микросейсм.

Однако одnogерцовая граница между микросейсмами и микротремором является весьма условной, поскольку этот предел может сместиться в область ниже  $1 \text{ Гц}$  на участках с осадочными породами, равно как и в противоположную сторону на твердых подстилающих грунтах.

Как известно, основными факторами, определяющими форму спектра любого волнового процесса, являются условия генерации волн и физические характеристики среды, в которой эти волны распространяются. И поскольку микросейсмы распространяются в земной коре, то строение земной коры влияет на спектр микросейсм. На специфических свойствах микросейсмических шумов (особенности частотного состава, временные и пространственные вариации амплитуд) основаны различные методы мониторинга геологической среды. Например, экзогенные естественные сейсмические шумы рассматриваются как зондирующий среду источник в малонаселенных местностях. В районах активных антропогенных воздействий в качестве зондирующего сигнала может применяться техногенный.

Основные источники генерации естественных длиннопериодных микросейсм для территории Севера России находятся на Скандинавском и Баренцевоморском побережьях.

**Дайте ответы на контрольные вопросы (см. раздел III)**

## **II. Практические основы обработки сейсмических записей**

### **§ 1. Этапы развития сейсмологических наблюдений на Восточно-Европейской платформе. Станции Архангельской сейсмической сети**

#### **1.1 Основные этапы развития сейсмологических наблюдений на Восточно-Европейской платформе**

В начале XX в. основоположником отечественной сейсмологии Борисом Борисовичем Голицыным, была разработана теория принципиально новых сейсмографов, которые были способны записывать малые колебания земной поверхности с необходимой разверткой по времени, и тем самым обеспечивать не только качественную, но и количественную оценку сейсмических явлений. В 1906 году были открыты первые две отечественные сейсмические станции – «Екатеринбург» и «Пулково». Инструментальная регистрация землетрясений на этих станциях началась, соответственно, 11 октября и 9 декабря. Открытие этих станций положило начало не только регулярным сейсмологическим наблюдениям в России, но и явилось основой последующего развития стационарной сейсмической сети.

Начиная с 1907 г., сейсмографы Голицына были установлены на всех новых сейсмических станциях Российской Империи («Тифлис», «Ташкент», «Иркутск» и др.). К началу 1910 г. Голицыным был разработан проект новой организации сейсмической службы в России, реализация его шла очень быстрыми темпами. Проектом предусматривалось проведение инструментальных сейсмических наблюдений на территории России сетью сейсмических станций, включавших в себя Центральную сейсмическую станцию в Пулково, семь сейсмических станций первого и 17 – второго разряда. И уже к середине 1914 г. сейсмическая служба России заняла лидирующее положение в мире.

В период с 1916 по 1967 г. развитие сейсмической сети как таковой на территории Восточно-европейской платформы практически не происходило. Из наиболее значимых событий, произошедших в тот период, стоит отметить открытие сейсмической станции «Москва» (1936 г.) и организацию системы срочного информирования директивных органов страны о произошедших сильных землетрясениях (1949 г.). К концу 60-х гг. на территории ВЕП функционировало лишь семь сейсмических станций. Причем, поскольку их главной задачей было проведение телесеизмических наблюдений за удаленными сильными землетрясениями, возможности инструментального изучения сейсмичности собственно территории ВЕП, по сравнению с периодом 1910–1915 гг. расширились крайне незначительно. Вообще, период времени 1928–1947 гг. характеризуется началом интенсивного развития сейсмических наблюдений на Северном Кавказе и в Крыму (после разрушительного Ялтинского землетрясения 1927 г.). В Северо-Кавказском регионе были открыты региональные сейсмические станции в Грозном (1932 г.), Сочи (1933 г.) и Пятигорске (1934 г.).

Развитие сейсмометрических наблюдений в 1968–1987 гг. было сосредоточено в зоне Средней Азии и обусловлено сильными разрушительными землетрясениями: в 1966 г. – в Ташкенте и 1976 г. – в Газли. В 1949 г. в специальном постановлении Правительства страны на сейсмологов была возложена важная оперативная задача – организация системы срочного информирования директивных органов страны о произошедших сильных землетрясениях. Так было положено начало действующей по настоящее время Службе срочных донесений (ССД) о сильных и разрушительных землетрясениях. С 1949 по 1956 г. в стране было открыто более 40 сейсмических станций. На территории ВЕП и его ближайшего окружения в этот период были открыты две новые

станции: в центральной части – «Михнево» (1954 г.) и на Кольском полуострове – «Апатиты» (1956 г.). В это же время начали активно развиваться сети сейсмических станций в европейских государствах. Особенно важным для регистрации событий на территории ВЕП стало развитие сетей Скандинавских государств – Финляндии и Норвегии.

В середине 60-х годов 20-го века в подмосковном наукограде Обнинске была построена и начала функционировать Центральная сейсмологическая обсерватория (ЦСО) Института физики Земли АН СССР. Она стала основным научно-методическим центром по сейсмологическим наблюдениям в СССР. В ЦСО была передана Служба срочных донесений о сильных и разрушительных землетрясениях в стране и мире, начала осуществляться сводная обработка землетрясений с регулярным изданием оперативных сейсмических бюллетеней и каталогов.

С 1988 г. на территории СССР (с 1991 г. – России) в рамках соглашения между Академией наук СССР и Корпорацией научно-исследовательских институтов США по сейсмологии (Incorporated Research Institutes of Seismology, IRIS) начались работы по переоборудованию ряда отечественных станций современным цифровым оборудованием, стандартным для станций Глобальной сейсмологической сети. Первыми станциями, оснащенными в 1988 г. широкополосным оборудованием с цифровой регистрацией, стали «Обнинск», «Арти» и «Кисловодск». В 1992 г. на территории ВЕП была открыта еще одна широкополосная станция – «Ловозеро» на Кольском полуострове.

Распад СССР в 1991 г. привел к последующей децентрализации Единой системы сейсмических наблюдений. В России в 1991–1994 гг. прекратили свою работу около 60 станций, даже в сейсмоактивных регионах. Создание в 1994 г. Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений позволило исправить сложившееся положение. Фактически сейсмическим наблюдениям был придан государственный статус.

В 1994 г. Постановлениями Президиума РАН по инициативе вице-президента РАН академика Н.П. Лавёрова были сформированы Геофизическая служба РАН (ГС РАН) и Геофизическая служба Сибирского отделения РАН (ГС СО РАН), объединившие региональные сети на всей территории России. Начался этап возрождения сети сейсмических станций и ее развития.

С 1995 г. ГС РАН в кооперации с Воронежским государственным университетом начинает развиваться сеть регионального мониторинга на Воронежском кристаллическом массиве, которая к настоящему времени насчитывает пять сейсмических станций («Воронеж», «Галичья Гора», «Дивногорье», «Новохоперск», «Сторожевое»).

С 1999 г. ГС РАН в кооперации с Горным институтом Уральского отделения РАН развивается сеть регионального мониторинга на Западном Урале, насчитывающая в настоящее время пять станций («Верхнечусовские городки», «Власы», «Добрянка», «Екимята», «Кунгур»).

С 2002 г. ГС РАН в кооперации с Институтом экологических проблем севера Уральского отделения РАН развивается сеть регионального мониторинга Архангельской области, включающая на конец 2012 года 11 сейсмических пунктов наблюдений («Архангельск», «Климовская», «Пермогорье», «Тамица», «Пермилово», «Соловки», «Лешуконское», «Амдерма», «Земля Франца-Иосифа», «Ломоносово», «Нарьян-Мар»).

С 2004 г. ГС РАН в кооперации с Санкт-Петербургским и Петрозаводским университетами и Институтом геологии Карельского научного центра РАН развивается система мониторинга территорий Ленинградской области и Карелии. К сеймостанции «Пулково», на которой в 1998 г. в рамках международного проекта GEOPHON (совместно с GeoForschungsZentrum, Потсдам, Германия) была установлена широкополосная цифровая аппаратура, добавились новые станции – «Петрозаводск», «Выборг» и «Валаам».

Дальнейшему повышению уровня представительности сейсмического мониторинга на территории ВЕП способствовало открытие сейсмостанций «Сыктывкар» (1995), «Оренбург» (2004), «Саратов» (2005), «Калининград» (2005).

В настоящее время на территории РФ находятся 16 сетей сейсмических станций, включающих 341 сейсмическую станцию. Наиболее крупные из них – Геофизическая служба РАН (42 с/с), Камчатский филиал ГС РАН (74 с/с), Сахалинский филиал ГС РАН (48 с/с) и Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН (33 с/с). В целом на сегодняшний день можно говорить о достаточно равномерном покрытии сейсмическими наблюдениями всей территории ВЕП, за исключением ее северо-восточной части.

## 1.2 Архангельская сейсмическая сеть

В настоящее время региональная стационарная сеть сейсмических наблюдений состоит из 11 станций, четыре из которых одновременно входят в состав ГС РАН.

Первая сейсмическая станция «Архангельск» (ARHR) была установлена в конце 2002 года на территории главного корпуса Института экологических проблем севера (ИЭПС) УрО РАН в г. Архангельске. В октябре–ноябре 2003 г. были запущены в эксплуатацию сейсмические станции на территории Архангельской области «Пермогорье» (PRGR) (Красноборский район), «Тамица» (TMCR) (Онежский район) и «Климовская» (KLMR) (Коношский район). В 2006–2007 гг. сейсмическая сеть была доукомплектована еще тремя станциями – «Пермилово» (PRM) (Плесецкий район), «Соловки» (SLV) (Приморский) и «Лешуконское» (LSH) (Лешуконский). Восьмая широкополосная сейсмическая станция «Амдерма» (AMD) установлена в ноябре 2010 года на побережье Карского моря, недалеко от того места, где была аналогичная станция в советское время. Девятая станция сети – «Ломоносово» (LMV), чье открытие было приурочено к 300-летию со дня рождения великого ученого М.В. Ломоносова, запущена в июне 2011 г. С/с «Нарьян-Мар» (NRM) установлена и запущена в августе 2011 г. В сентябре 2011 года в ходе проведения экспедиционных работ на архипелаге Земля Франца-Иосифа, о. Александры, была открыта самая северная стационарная сейсмическая станция России – станция ZFI.

Расположение сейсмических станций Архангельской области показано на рисунке 7, координаты, даты установки и другие параметры станций приведены в таблице 2.

Все станции Архангельской сети можно подразделить на две группы по типу их аппаратуры (а именно – сейсмических датчиков): широкополосные (KLM, LSH, AMD, LMV, ZFI) и короткопериодные (ARH, TMC, PRG, PRM, SLV, NRM). Широкополосные сейсмические датчики станций сети характеризуются принимающим частотным диапазоном от 0.003 до 10 Гц (реже 20 Гц, в зависимости от настроек станции), наиболее широким в низкочастотной области, что особенно важно для записи удаленных сейсмических событий. Короткопериодные каналы работают в диапазоне более высоких частот, от 0.1 Гц до 20 (или 25) Гц. Этот диапазон наиболее удобен для анализа проявлений на сейсмозаписях локальной и региональной сейсмичности.

Также на две группы сейсмические станции Архангельской сети можно условно разделить по признаку производства оборудования – станции сети оснащены как иностранной (производства фирм Великобритании), так и отечественной аппаратурой (фирма «Геотех+», Россия, г. Обнинск).

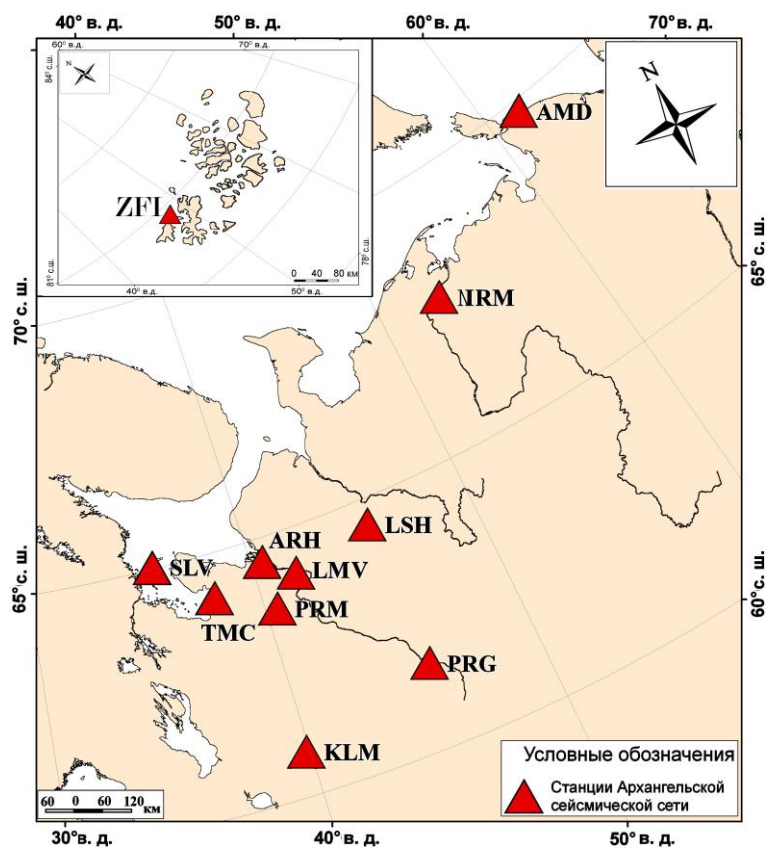


Рисунок 7 – Сейсмические станции Архангельской сети

Таблица 2 – Сведения о сейсмических станциях Архангельской сети

№	Дата открытия	Название станции	Координаты			Подпочва	Ведомственная организация
			φ, °N	λ, °E	h, м		
1	11.2002	Архангельск Arkhangelsk	64.55	40.51	23	Рыхлые отложения	ИЭПС УрО РАН
2	11.2003	Климовская Klimovskaya	60.85	39.52	157	Валунно-галечниковые отложения, глины, пески	ГС РАН
3	11.2003	Пермогорье Permogor'e	61.63	45.63	84	Оргалиты, песчаники, известняки	ГС РАН
4	11.2003	Тамица Tamitsa	64.16	38.04	23	Валунно-галечниковые отложения, глины, пески	ГС РАН
5	11.2005	Пермилово Permilovo	63.62	40.52	52	—	ИЭПС УрО РАН
6	10.2006	Лешуконское Leshukonskoe	64.87	45.73	60	—	ИЭПС УрО РАН
7	10.2007	Соловки Solovki	65.02	35.71	8	—	ИЭПС УрО РАН
8	11.2010	Амдерма Amderma	69.76	61.67	48	Морские отложения (пески, гравий, галечники)	ИЭПС УрО РАН
9	06.2011	Ломоносово Lomonosovo	64.23	41.73	20	—	ИЭПС УрО РАН
10	08.2011	Нарьян-Мар Nar'yan-Mar	67.65	53.04	10	—	ИЭПС УрО РАН
11	09.2011	Zemlya Frantza-Iosifa	80.81	47.66	17	Ледниково-морские отложения, водонасыщенные суглинки, мерзлые глины, пески	ИЭПС УрО РАН

*Параметры аппаратуры сейсмических станций типа SDAS.*

Сейсмические станции «Архангельск», «Климовская», «Пермогорье» и «Тамица» укомплектованы цифровой аппаратурой в составе регистраторов отечественного производства SDAS (разработка НПП «Геотех+» совместно с ГС РАН) и комплектами короткопериодных сейсмоприемников CM3-KB (три датчика – один вертикальный и два горизонтальных). Станция «Климовская» дополнительно оборудована вторым комплектом широкополосных сейсмометров (также три канала). Основные параметры сейсмических станций SDAS приведены в верхней части таблицы 3.

Таблица 3 – Оснащенность станций Архангельской сети аппаратурой по состоянию на 2012 г.

Название и местоположение станции	Код станции	Код станции в сети	Тип станции, сейсмометров	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса, отсч/с	Разрядность АЦП
Амдерма (п. Амдерма, Ненецкий автономный округ)	AMD	AMD	GSR-24 CMG-40T-1	SH(Z,N,E)v	1–20.6	50	24
Архангельск (г. Архангельск)	ARHR	ARH	SDAS CM3-KB	SH(Z,N,E)v	0.5–7	20	16
Земля Франца-Иосифа (о. Александры арх. Земля Франца-Иосифа)	ZFI	ZFI	GSR-24 CMG-40T-1 CMG-6TD CMG-6TD	SH(Z,N,E)v BH(Z,N,E)v BH(Z,N,E)v	1–20.6 0.033–20.6	50	24
Климовская (д. Климовская, Коношский р-н)	KLMR	KLM	SDAS CM3-KB CM3-OC	SH(Z,N,E)v BH(Z,N,E)v	0.5–16 0.02–7	40 20	16
Лешуконское (с. Лешуконское, Лешуконский р-н)	LSH	LSH	GSR-24 CMG-3ESP	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
Ломоносово (с. Ломоносово, Холмогорский р-н)	LMV	LMV	GSR-24 CMG-6TD	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
Нарьян-Мар (г. Нарьян-Мар, Ненецкий автономный округ)	NRM	NRM	GSR-24 CMG-6TD	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
Пермилово (п. Самодел, Плесецкий р-н)	PRM	PRM	CMG-3ESP	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
Пермогорье (д. Пермогорье, Красноборский р-н)	PRGR	PRG	SDAS CM3-KB	SH(Z,N,E)v	0.5–16	40	16
Соловки (п. Соловецкий, Приморский р-н)	SLV	SLV	GSR-24 CMG-3ESP	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
Тамица (д. Тамица, Онежский р-н)	TMCR	TMC	SDAS CM3-KB	SH(Z,N,E)v	0.5–16	40	16

В общем случае оборудование стационарной цифровой сейсмической станции отечественного производства состоит из следующих блоков и систем:

- блок сбора и выделения сейсмического сигнала – т.н. регистратор (DASS),
- система точного времени (GPS),
- система архивации и обработки данных на базе обычного персонального компьютера,
- комплект(ы) сейсмометров типа CM3-OC или/и CM3-KB,



–система резервного питания.

Регистрирующее оборудование SDAS v3.0 выполнено на базе дешевого стандартного процессорного комплекта класса PC, размещенного в пылевлагонепроницаемом корпусе. Оборудование обеспечивает регистрацию сейсмических сигналов в диапазоне 0–30 Гц с динамическим диапазоном не менее 90 дБ. Станция может работать как в автономном режиме, так и с обрабатывающим программным комплексом. Также возможен удаленный доступ к данным и управление режимами станции по различным коммуникационным каналам (Dial-Up, радиоканал, Ethernet) и через Интернет. Сбор информации осуществляется в одном или нескольких частотных диапазонах с программно задаваемыми коэффициентами усиления («точно–грубо») и частотой дискретизации по каждой тройке каналов. Регистрация информации производится в непрерывном и/или триггерном (запускающемся на определенное время по условному сигналу) режимах.

Сейсмические данные, записанные системой сбора, передаются в систему обработки и архивации, на которой осуществляется процесс обработки сигнала, его архивирование и управление работой всей станции. Кроме того, станция комплектуется ZIP-устройством для переноса информации сменным диском непосредственно с ее памяти. Схема соединения основных частей системы приведена на рисунке 8.

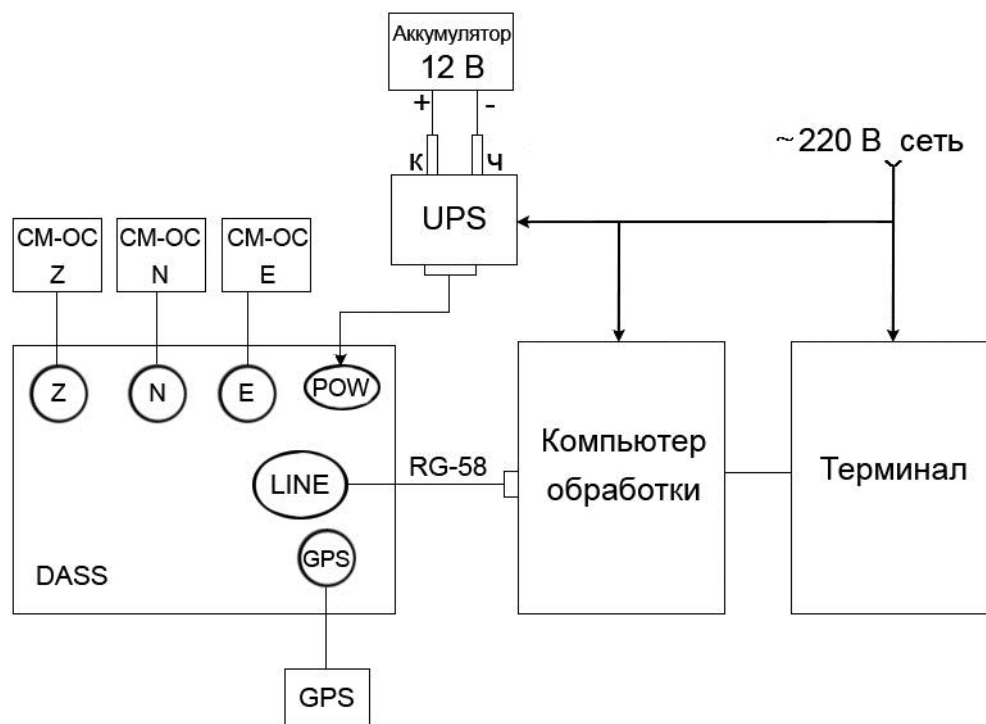


Рисунок 8 – Схема соединения основных частей системы станции типа SDAS v3.0

Блок сбора и выделения сигнала (он же – регистратор, он же – собственно станция) представляет собой пылевлагозащищенный металлический контейнер, обеспечивающий защиту от окружающих воздействий, с креплениями, позволяющими закрепить его на стене или какой-либо опоре. Внутри контейнера находится металлическая рама, на которой закреплены все электронные блоки и платы.

Система точного времени GPS представляет собой приемник сигналов спутников GPS (с антенной).

Блок резервного питания UPS (обычный, используемый для компьютеров) предназначен для обеспечения бесперебойной работы станции при бросках и отключениях электроэнергии. В качестве аккумулятора может использоваться аккумулятор емкостью до 70 А/ч.

В состав станции входят короткопериодные и широкополосные сейсмометры типа СМЗ-КВ и СМЗ-ОС соответственно, имеющие возможный диапазон регистрации 0.1–50 Гц при динамическом диапазоне не менее 120 дБ у СМЗ-КВ и соответственно диапазон регистрации 0.02–20 Гц при динамическом диапазоне не менее 120 дБ у СМЗ-ОС. На рисунке 9 представлены частотные характеристики сейсмометров на сейсмических станциях ARH, TMC, PRG и KLM.

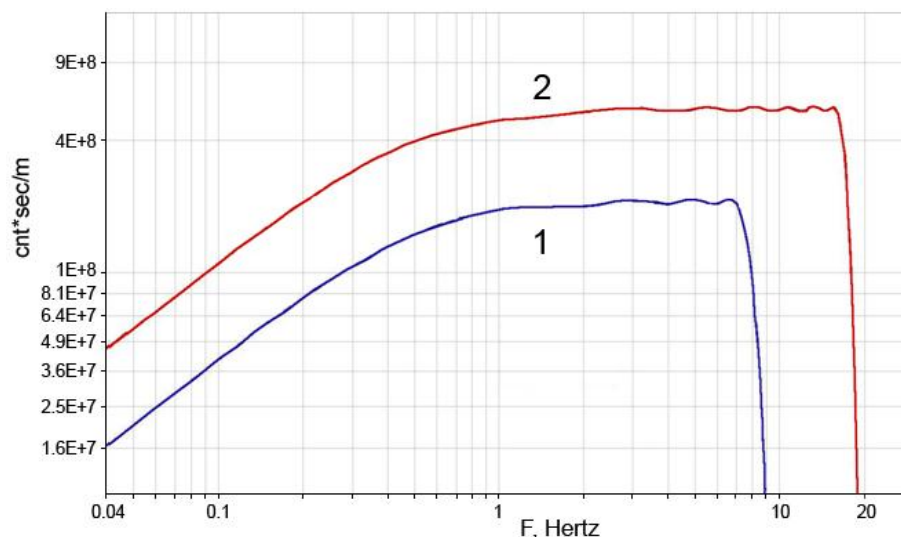


Рисунок 9 – Частотные характеристики аппаратуры на сейсмических станциях ARH (кривая 1) и TMC, PRG, KLM (кривая 2)

Внешний вид станции типа SDAS v3.0 и размещение комплектов обоих типов сейсμοприемников на постаменте показаны на рисунке 10 (оборудование сейсмостанции «Климовская»).



а – регистратор станции типа SDAS v3.0 (в термоизоляционном шкафу),  
б – два комплекта сейсмодатчиков, установленных в бункере с/с «Климовская»

Рисунок 10 – Размещение короткопериодной и широкополосной сейсмической аппаратуры на с/с «Климовская»

#### Параметры аппаратуры сейсмических станций GSR-24

Установленные позднее 2005 года сейсмические станции «Пермилово», «Соловки», «Лешуконское», «Амдерма», а также «Ломоносово», «Нарьян-Мар», «Земля-Франца-Иосифа» оснащены комплектами цифровой аппаратуры разработки зарубежной фирмы «GeoSIG LTD». Эти сейсмические станции укомплектованы цифровыми регистраторами

типа GSR-24 и оснащены короткопериодными и широкополосными датчиками типов CMG-40T, CMG-3ESP, CMG-6TD (табл. 3).

В отличие от используемой стационарной цифровой аппаратуры типа SDAS, управление работой рассматриваемой сейсмической станции производится только с компьютера. Регистратор GSR-24 подключается к компьютеру с помощью соединительного кабеля RS-232. Управление работой производится с помощью пакета специального программного обеспечения GeoDAS (GeoSIG Data Acquisition System). Данные, записанные станцией, сохраняются на флэш-карте и/или на жестком диске компьютера, которые в свою очередь с флэш-карты могут быть переписаны на компьютер, либо через соединительный кабель, либо через флэш-дисковод или модем. Обработка информации предусматривается с помощью программных комплексов GeoDAS и SEISAN. Схема соединений блоков сейсмической станции представлена на рисунке 11. Для удобства работы интерпретаторов перевод данных в форматы, используемые в пакете обработки WSG, осуществляется с помощью специально разработанной программы-конвертора.



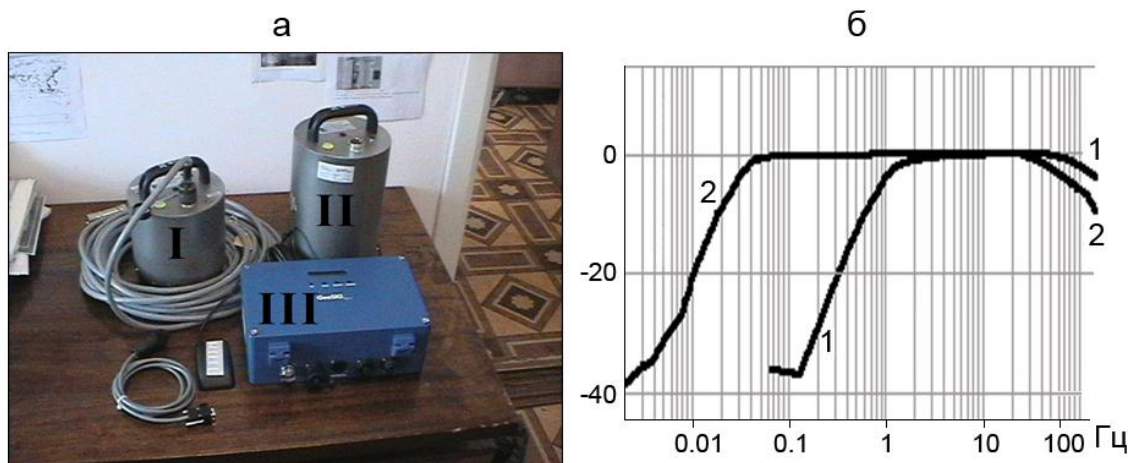
Рисунок 11 – Схема соединения основных частей системы станции типа GSR-24

Регистратор GSR-24 укомплектован приемником спутниковой навигационной системы GPS. Приемник обеспечивает точную синхронизацию внутренних часов регистратора и информацию о местоположении прибора. Использован приемник Garmin-35. Полученные GPS-импульсы позволяют синхронизировать шкалу автономного времени GSR-24 с UTC с точностью не хуже 50 мкс. Наличие стабильного внутреннего кварцевого генератора гарантирует отсутствие скачков времени и также скачков частоты отсчетов при цифровом преобразовании.

Данные выводятся в виде непрерывного ряда отсчетов и регистрируются как непрерывные в компьютер, непосредственно подключаемый последовательным портом к регистратору.

В качестве датчиков используются сейсмометры типа CMG-40T-1, имеющие возможный диапазон регистрации 0.1–100 Гц при динамическом диапазоне не менее 120 дБ и CMG-3ESPC с диапазоном регистрации 0.5–100 Гц при динамическом диапазоне также не менее 120 дБ.

Внешний вид станции и амплитудно-частотные характеристики сейсмометров CMG представлены на рисунке 12. Параметры сейсмических станций типа GSR-24 представлены в таблице 3.



а – комплект аппаратуры GSR-24: I – контейнер с тремя короткопериодными (EW, NS, Z) датчиками CMG-40T-1, II – контейнер с тремя широкополосными (EW, NS, Z) датчиками CMG-3ESP, III – регистратор; б – вид амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) датчиков станции: 1 – CMG-40T-1, 2 – CMG-3ESP

Рисунок 12 – Внешний вид станции типа GSR-24 и АЧХ датчиков CMG

*Инфраструктура Архангельского сейсмологического стационара-обсерватории (АССО).*

Основные этапы передачи данных со станций сети на компьютеры лаборатории и дальнейшая их обработка схематично представлены на рисунке 13.

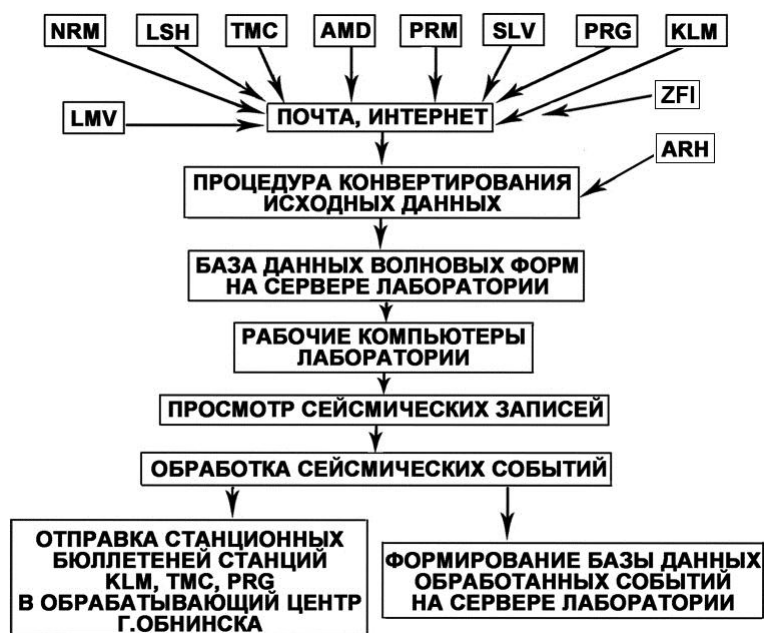


Рисунок 13 – Схема передачи исходных сейсмических данных для многоступенчатой обработки в АССО

Согласно схеме, данные станции ARHR, расположенной в здании АССО, передаются непосредственно по локальной сети; со станций TMCR, PRM, LSH, AMD организована передача данных через Интернет-канал, а с сейсмостанций KLMR, PRGR, SLV – через флеш-носители по почте, в силу недостаточного развития телекоммуникационных связей в данных районах области. Исходные данные станции KLMR также пересылаются напрямую в г. Обнинск, в ГС РАН, поскольку благодаря оснащению широкополосными каналами станция полноценно входит в систему мониторинга сейсмичности на территории РФ.

Функционирование службы обработки данных Архангельской сети включает в себя следующие основные процедуры:

- конвертация поступивших со станций сейсмических данных в единую базу данных на сервере;
- просмотр записей и обработка сейсмических событий;
- формирование бюллетеней и картотеки землетрясений;
- формирование сейсмических каталогов естественной (телесеismicкой, региональной, локальной) и техногенной сейсмичности.

Полученные результаты на всех этапах обработки сохраняются в соответствующих базах, в пределах полей системы обработки WSG.

Таким образом, на сегодняшний день региональная Архангельская сейсмическая сеть является самой крупной (по количеству сейсмических станций), технически оснащенной (в том числе аппаратурой международного уровня) из существующих сетей западной части Арктического сегмента. Тем не менее, существующего количества станций недостаточно для изучения современной сейсмогеодинамической обстановки, и остро стоит вопрос о расширении сети на северные территории.

## § 2. Программное обеспечение для обработки цифровых сейсмических записей WSG

Программное обеспечение для обработки цифровых сейсмических записей WSG представляет собой программный комплекс, включающий основной программный модуль WSG (Windows Seismic Grafer) версии 5.XXX и набор вспомогательных сервисных программ-утилит, выполняющихся под управлением операционной системы Windows 95/98/NT/2000/XP. Программный комплекс разработан в Геофизической Службе РАН (ГС РАН). Основным разработчиком является сотрудник ГС РАН Андрей Петрович Акимов [4].

В настоящем пособии программа описана частично, с учетом потребностей интерпретаторов, работающих с записями станций Архангельской сейсмической сети. Интерфейс основной программы описан в первой части параграфа, утилиты – во второй.

Более подробные инструкции [5] находятся в папке на системном диске *C* каждого рабочего компьютера, на котором установлен программный комплекс WSG. Путь к папке: *C:\Program Files\WSG\DOC*.

### 2.1 Интерфейс основного пакета обработки WSG

После установки программы WSG на «рабочем столе» компьютера установите ярлык программы WSG. Для ее запуска необходимо подвести стрелку курсора и дважды быстро нажать левой клавишей мыши на ярлыке. На экране появится рабочее окно программы (рис. 14). Запуск программы может быть произведен также обычным для WINDOWS путем – через разделы «Пуск» → «Программы», где после загрузки появится строка с названием программы WSG.

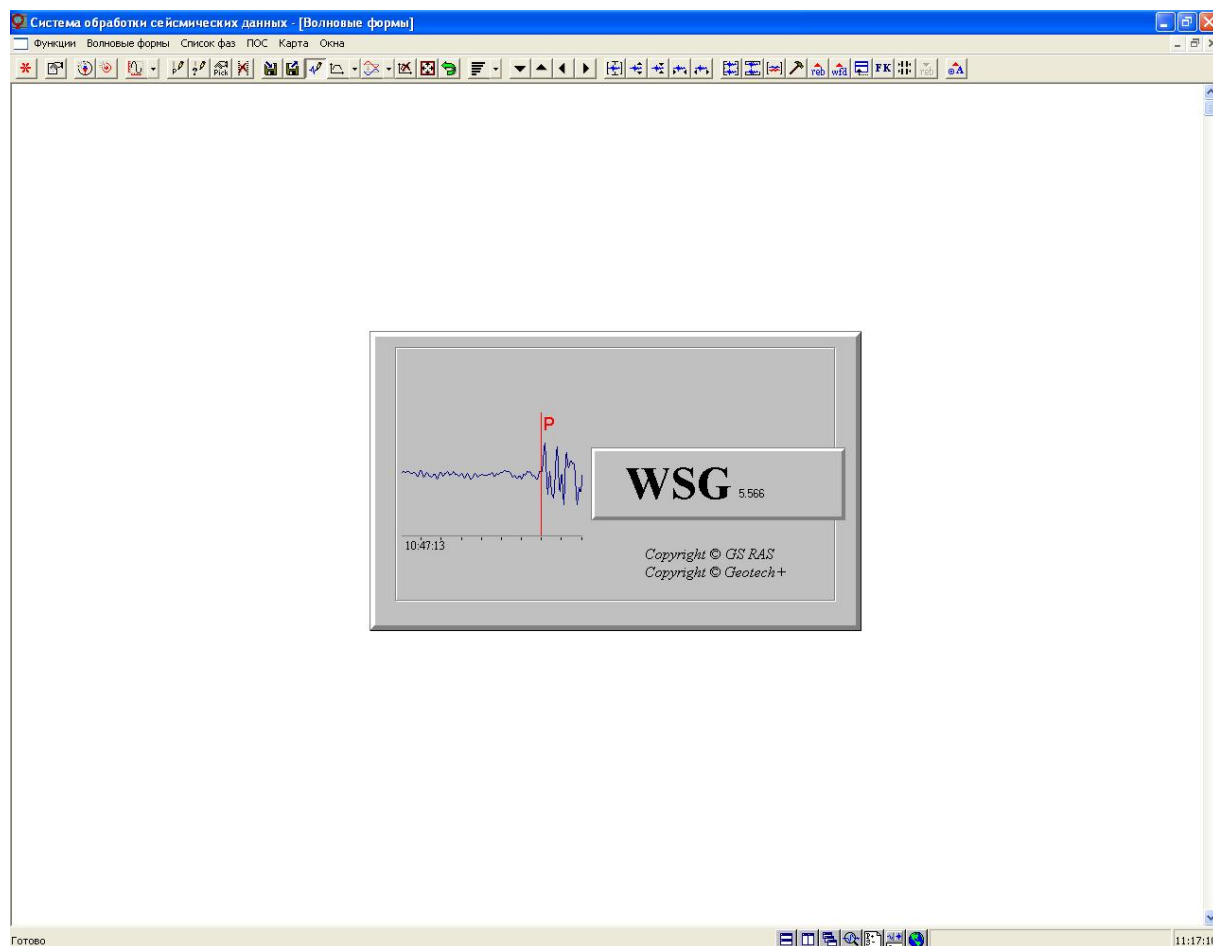


Рисунок 14 – Вид программного окна WSG в начале запуска программы

Во время первого запуска программы после установки следует установить рабочие параметры. Здесь мы не будем на них останавливаться, поскольку в ежедневной работе с сейсмическими записями они, в большинстве своем, не используются и устанавливаются однократно во время первого пуска программы.

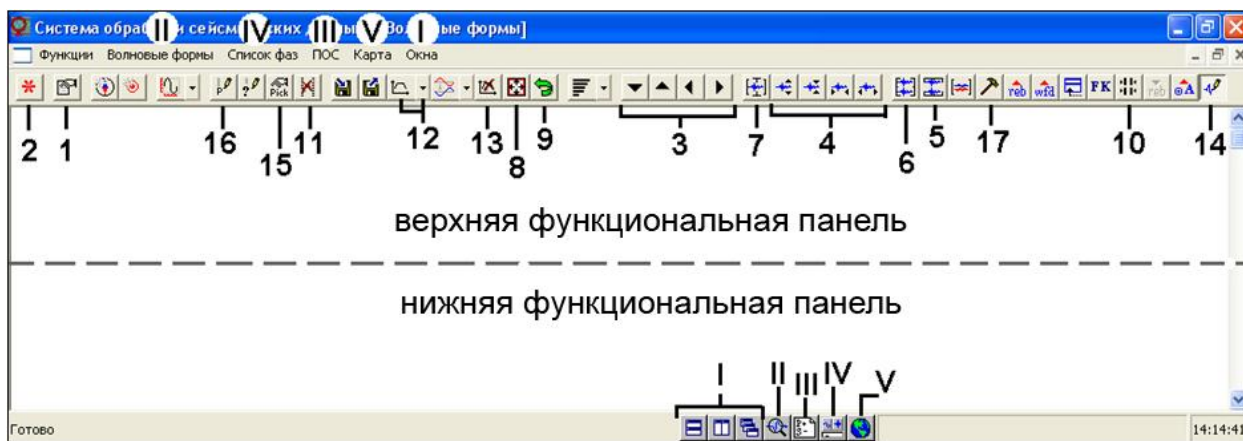
Интерфейс программы WSG содержит четыре рабочих окна:

- Волновые формы,
- Список всех фаз,
- ПОС – процессор обработки сигнала,
- Карта.

Каждое из них имеет свою панель управления с набором кнопок. Перемещение по этим окнам осуществляется с помощью нижней функциональной панели (рисунок 15).

В основном рабочем программном модуле (окно «Волновые формы») существует две функциональные панели с набором кнопок (рис. 15). Верхняя панель используется для работы непосредственно с цифровыми сейсмическими записями, нижняя – для перемещения по рабочим окнам-вкладкам программы WSG. Все кнопки снабжены **ВСПЛЫВАЮЩИМИ ПОДСКАЗКАМИ**.





- 1 – Добавить каналы для визуализации и обработки
- 2 – Начать обработку нового землетрясения
- 3 – Смещение сейсмической записи (волновой формы): вниз, вверх, назад, вперед
- 4 – Изменение масштабов визуализированной записи: растянуть по вертикали, сжать по вертикали, сжать по горизонтали (увеличить выводимый временной интервал), растянуть по горизонтали (уменьшить выводимый временной интервал)
- 5 – Выровнять по времени выводимые для визуализации каналы
- 6 – Выровнять графики волновых форм по амплитуде
- 7 – Отцентрировать график волновых форм, то есть выровнять график каждого окна по его максимальной амплитуде, вставив в размеры окна
- 8 – Расположить графики волновых форм в пределах всего окна
- 9 – Вернуться назад к предыдущему состоянию окна
- 10 – Копировать интервальную отметку на другие каналы
- 11 – Удалить все интервальные отметки
- 12 – Выбор линейного фильтра
- 13 – Убрать линейный фильтр
- 14 – Убрать отображение волновых форм (нефильтрованный канал)
- 15 – Отметить фазу
- 16 – Отображать отметки фаз из базы данных
- 17 – Установки
- I – Расположение основных окон-вкладок каскадом, горизонтальной или вертикальной мозаикой
- II – Перейти к окну «Волновые формы»
- III – Перейти к окну «Список всех фаз»
- IV – Перейти к окну «ПОС»
- V – Перейти к окну «Карта»

Рисунок 15 – Верхняя и нижняя панели WSG с набором кнопок, необходимых для работы с сейсмическими записями

Окно «Волновые формы». Основным в работе с цифровыми записями сейсмостанций является окно «Волновые формы». Для отображения имеющихся в базе данных волновых форм на экране воспользуйтесь кнопкой 1 (рис. 15) «Добавить каналы для визуализации и обработки». В главном окне появится диалоговое окно «Выбор трасс» (рис. 16).

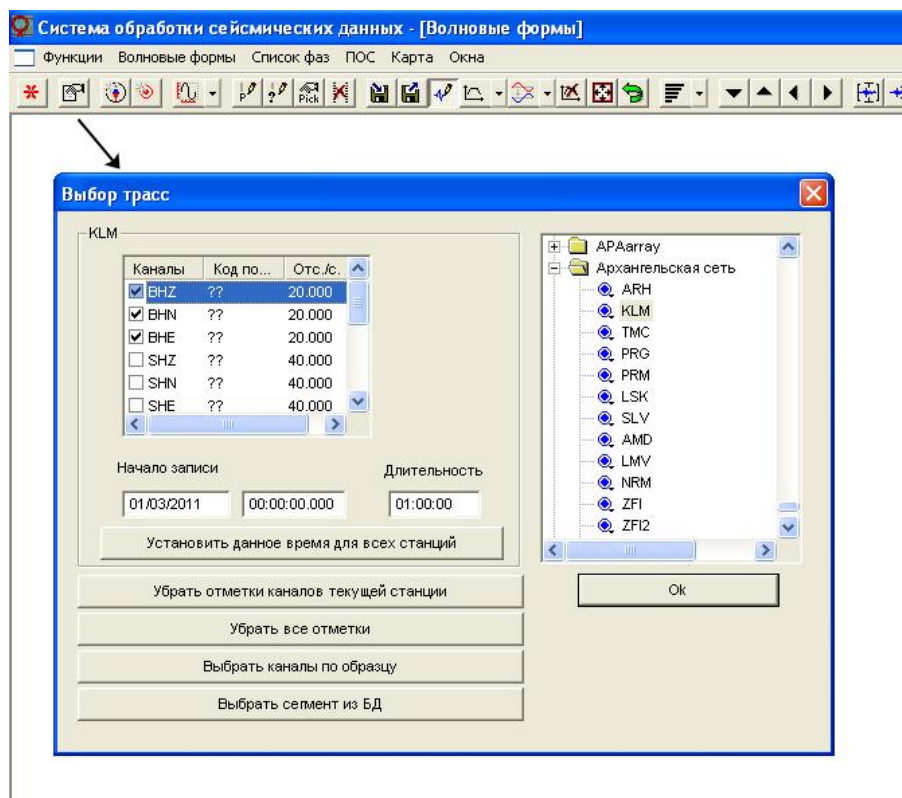


Рисунок 16 – Процедура загрузки данных для отображения волновых форм на экране

В правой части открывшегося окна отображаются списки, каждый из которых содержит набор сеймостанций. В данном случае на экране открыт список со станциями Архангельской сети. 11 из них (ARH, KLM, TMC, PRG, PRM, LSK, SLV, AMD, NRM, LNV, ZFI) – стационарные, остальные (PDG, PSS, PSS2, USR54) – полевые (§ 1, раздел II). В рутинной работе интерпретаторы работают со стационарными станциями. Итак, чтобы выбрать необходимую станцию, надо кликнуть один раз левой клавишей мыши. В левом верхнем углу отобразится выбранная станция (на рис. 16 это KLM) и список ее каналов. Широкополосные комплекты каналов имеют обозначение *BHZ*, *BHN*, *BHE* (один вертикальный и два горизонтальных), а короткопериодные соответственно *SHZ*, *SHN*, *SHE*. Чтобы выбрать нужные каналы для их визуализации, слева от названия каналов в окошечках необходимо проставить «галочки». Каналы можно открывать в любой последовательности и в любом количестве. Убрать отметки каналов можно двумя способами: повторно кликнув по квадрату слева от названия канала или нажав кнопку «Убрать отметки каналов текущей станции».

Затем в поля «Начало записи» вводятся данные о времени, которые интерпретатор выводит на экран: дата, время и длительность записи. Максимальная длительность записи, которая может быть загружена из базы данных – до нескольких суток (в ранних версиях программы WSG было ограничение до 12 часов).

В программе есть возможность загружать каналы сразу нескольких станций, что очень облегчает сводную обработку сейсмических событий. Для этого следует вернуться в правую часть окна, выбрать последовательно остальные интересующие станции и проставить галочки напротив каналов выбранной станции. Для каждой станции можно выбирать как одинаковое, так и разное время начала записи и длительность. Для удобства пользователя, чтобы не вводить одни и те же время начала записи и ее длительность для каждой станции, внизу, под полями ввода времени, есть кнопка «Установить данное время для всех станций». При ее нажатии время начала и длительность записи для текущей



станции скопируются на все остальные. Убрать все отметки, проставленные для нескольких станций, можно, воспользовавшись кнопкой «Убрать все отметки».

После того как интерпретатором выбраны все необходимые каналы станций, время начала и длительности записи, нажимается кнопка «Ok» – на экране появится окно волновых форм (рис. 17). На рисунке 17 приведен пример часовой записи широкополосных каналов станции «Климовская». Сверху вниз представлены вертикальный ( $Z$ ) и два горизонтальных канала ( $N$  и  $E$ ).

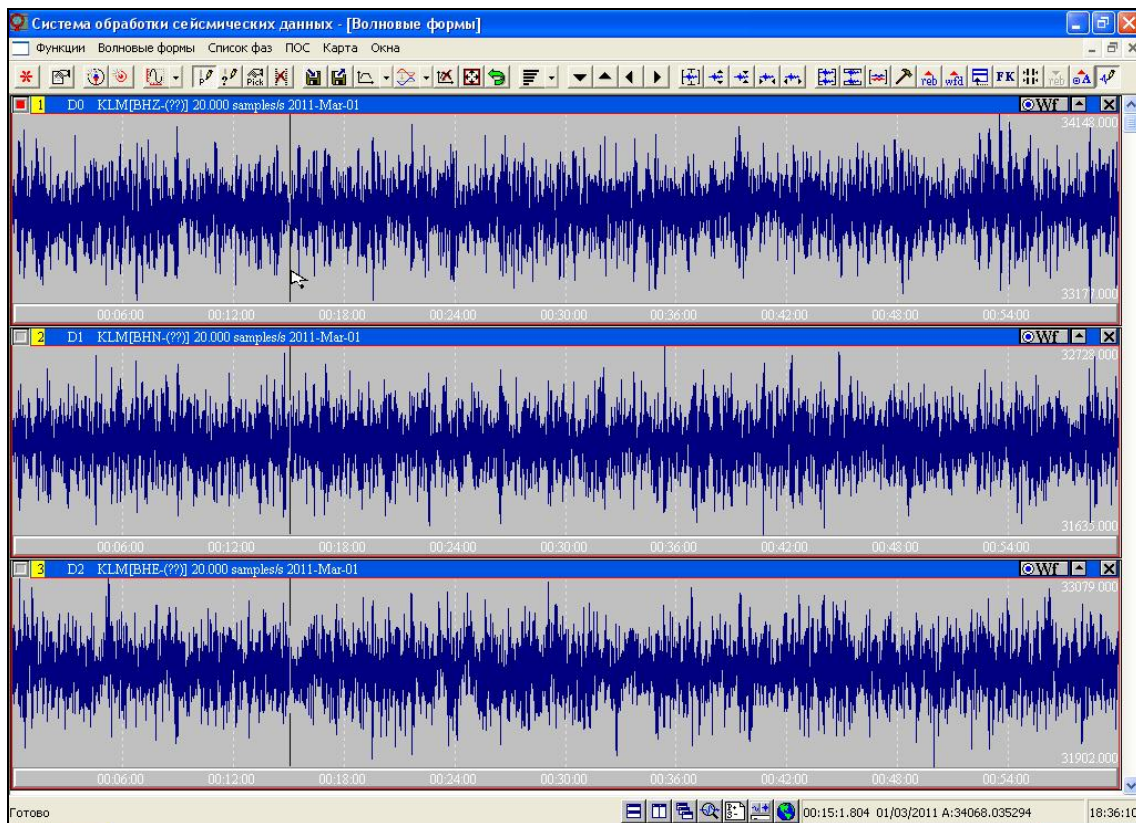


Рисунок 17 – Окно «Волновые формы»

Для того чтобы можно было работать с окнами, они должны быть активны. Активность или неактивность окна определяется цветом заголовка каждого окна (в заголовке выведена информация о названии станции, канале, количестве отсчетов в секунду, установленных на данном канале и дате, по которой приведены сейсмозаписи). Если окно активно, то заголовок имеет ярко-синий цвет, если неактивно, то заголовок «гаснет», приобретая голубой оттенок. Для активизации (или деактивизации) каждого окна необходимо кликнуть один раз левой кнопкой мыши на заголовке. Чтобы быстро деактивизировать все окна или напротив – сделать все активными, можно воспользоваться контекстным «выпадающим» меню. Наведя курсор мыши на волновые формы, кликните правой клавишей. Появится контекстное меню, в котором можно выбрать функции «Деактивизировать все окна» или «Сделать активными все окна», а также «Инвертировать выделение». На рисунке 17 все окна показаны активными.

Кроме активности окон, важно назначить одно из них главным (причем программа сама потребует этого действия, если оно сразу не было выполнено), т.к. относительно него будут совершаться все операции в программе, например, выравнивание по времени волновых форм во всех остальных активных окнах. Обычно это окно с вертикальным каналом записи.

Выбор главного окна: навести курсор мыши на крайний левый пустой квадратик в заголовке окна с волновыми формами и кликнуть по нему левой клавишей мыши.


Квадратик станет красным. Главное окно выбрано. На рисунке 17 главным окном является самое верхнее.


Крайне полезно установить перед началом работы общий для всех окон вертикальный курсор. Для этого нажмите на вкладку верхнего выпадающего меню «Волновые формы» (кнопка *II* на рис. 15), а затем выберите в нем опцию «Рисовать общий вертикальный курсор». Вместе с курсором мыши на экране будет перемещаться вертикальная линия-курсор на всех каналах одновременно.

Обратите внимание, что в правом нижнем углу экрана (правее кнопок перемещения по вкладкам), отображаются время, дата и амплитуда ТОГО УЧАСТКА ЗАПИСИ, КУДА НАВЕДЕН КУРСОР МЫШИ И ОБЩАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЛИНИЯ-КУРСОР.

Теперь с записью можно работать: двигаться по временной шкале, менять амплитуду или выполнять другие манипуляции с целью оптимизации просмотра записи.

Если запись события плохо видна на фоне помех, то для его уверенного выделения, а также для проведения динамических замеров (т.е. измерения амплитуды и периода колебаний на записи с целью определения магнитуды или энергетического класса события), эту запись необходимо подвергнуть *фильтрации* (симуляции). В программе WSG предусмотрена возможность цифровой фильтрации Баттерворта – заложены определенные математические алгоритмы преобразования имеющейся исходной записи для получения более «чистой» волновой формы. Например, т.н. полосовой фильтр Баттерворта в полосе 0.7–1.4 Гц, третьего порядка удачно применяется для выделения первых вступлений *P*-волн на телесейсмических расстояниях. Помимо *полосовой* фильтрации (построение волновых форм или спектра записи только для указанной полосы частот), в программе WSG имеется *режекторная* фильтрация («вырезающая» указанную полосу частот), а также фильтрация *нижних* и *верхних* частот («отсекающая» частоты ниже или выше указанных).

При установке программного пакета WSG по умолчанию задается целый набор фильтров. Но любой пользователь имеет возможность менять этот список, добавляя нужные ему фильтры или удаляя не требующиеся с помощью кнопки  12 на рисунке 15.

Чтобы произвести фильтрацию Баттерворта выведенной волновой формы, нужно кликнуть кнопку  (12 на рис. 15) «Линейный фильтр». Причем нажать не на саму кнопку, а на стрелочку, находящуюся справа от нее. Затем, пробежав по списку фильтров, выбрать требуемый (рис. 18).

Если же нажать непосредственно на кнопку «Линейный фильтр» (12 на рис. 15), то откроется диалоговое окно «Фильтр» (рис. 19), позволяющее как сконструировать и задать другой фильтр, не существующий в выпадающем списке, так и внести изменения в используемые фильтры, либо вообще удалить фильтр из списка. Для этого необходимо внести в соответствующие окошки нужную полосу частот, выбрать порядок (от 1 до 6, причем для просмотра записи обычно используется порядок фильтра 3, для замеров амплитуды и периода – порядок 2) и тип фильтра, указать «галочкой» наличие или отсутствие нулевой фазы (это некий специфический параметр для математической обработки сигнала, обычно для просмотра используются фильтры с нулевой фазой, а для замеров – без нее), затем нажать кнопку «Применить». При нажатии кнопок «Запомнить» или «Удалить» появится соответствующее диалоговое окно, позволяющее внести в список название нового фильтра либо удалить из него указанный фильтр.

Обычно в рутинной обработке используются следующие несколько стандартных фильтров (таблица 4).

Остальные фильтры конструируются и применяются по мере необходимости, в зависимости от решаемой задачи (например, выделение взрыва на сейсмограмме).

После того, как нужный фильтр выбран и назначен к применению, он появится на волновой форме поверх исходного синего сигнала красным цветом. Его следует сдвинуть

по вертикали относительно исходной записи (группа кнопок 3 на рис. 15) для того, чтобы интерпретатор видел оба сигнала сразу (по временной – горизонтальной шкале исходная и фильтрованная запись всегда двигаются одновременно). Для того, чтобы проводить манипуляции с фильтром, а не с исходным сигналом, необходимо в правом верхнем углу каждого канала сменить синий кружок и надпись « $Wf$ » на красный кружок и надпись « $Tf$ », кликнув левой кнопкой мыши по указанной области. Вернуться от фильтрованной записи к исходной можно аналогично. Либо, выбрать в контекстном меню опцию «Выбрать преобразованный сигнал» или «Выбрать исходный сигнал», провести эту операцию сразу для всех активных окон.

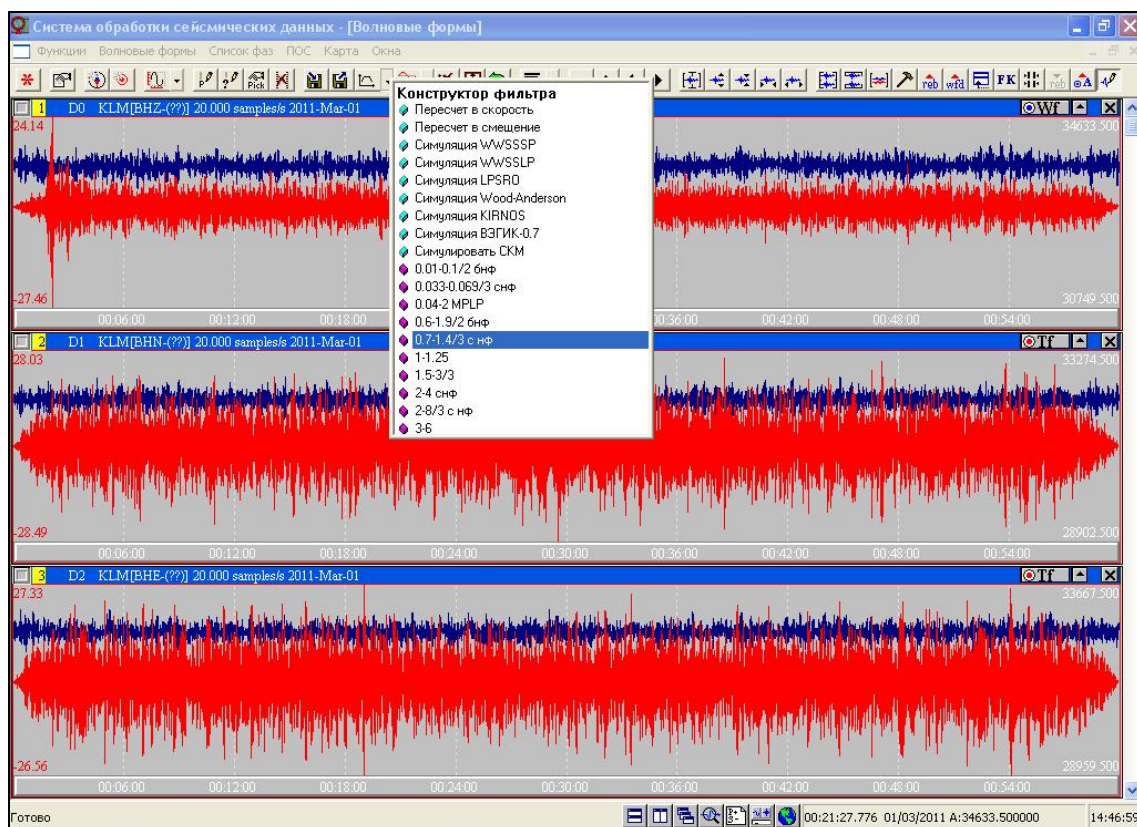


Рисунок 18 – Процедура фильтрации записи

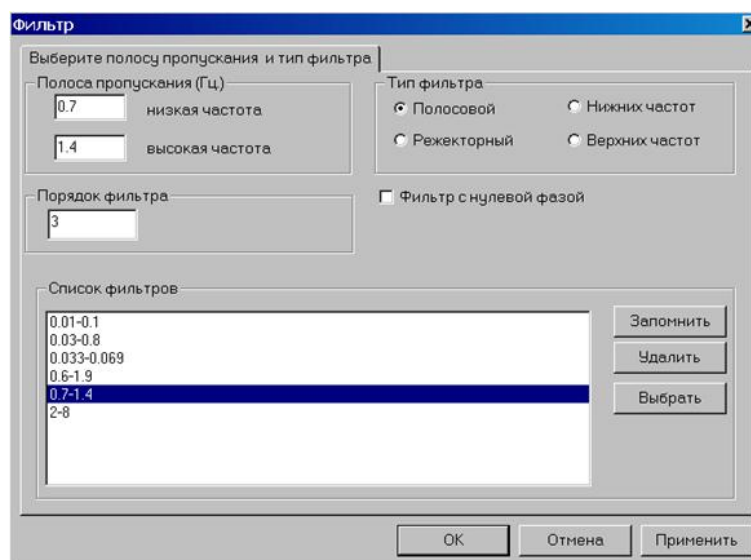


Рисунок 19 – Окно фильтров



Таблица 4 – Список наиболее часто используемых фильтров

Фильтр	Назначение	Область применения
0.7–1.4 Гц 3 порядка с нулевой фазой	Выделение событий, выставление фаз	Группы <i>P</i> - и <i>S</i> -волн телесейсмических событий на короткопериодных и широкополосных каналах; выставление <i>S</i> -фазы события на региональных расстояниях
1.5–3 Гц; 2–4 Гц 3 порядка с нулевой фазой	Выделение событий, отметки фаз	Фазы региональных событий на всех типах станций
0.033–0.069 Гц 3 порядка с нулевой фазой	Отметки фаз	Группы <i>S</i> - и поверхностных волн телесейсмических событий только на широкополосных каналах
0.6–1.9 Гц 2 порядка без нулевой фазы	Проведение динамических замеров и расчет магнитуды	Замеры в максимуме <i>P</i> -волне, расчет магнитуды <i>MPSP</i> (для $\Delta \geq 20^\circ$ )
0.01–0.1 Гц 2 порядка без нулевой фазы	Проведение динамических замеров и расчет магнитуды	Замеры в максимуме волны Релея ( <i>LRM</i> ), расчет магнитуды <i>M<sub>s</sub></i>
0.04–2 Гц 2 порядка без нулевой фазы	Проведение динамических замеров и расчет магнитуды	Расчет магнитуды в максимуме <i>P</i> - волны <i>MPLP</i> с предварительным выставлением фиктивной фазы <i>t<sub>x</sub></i> рядом с <i>P</i> -фазой (для $\Delta \geq 20^\circ$ )
3–6 Гц, 2–8 Гц 3 порядка с нулевой фазой	Выделение событий, отметки фаз	Группы <i>P</i> - и <i>S</i> -волн местных и локальных событий (землетрясений и взрывов)

На загруженных волновых формах зачастую приходится делать выделения определенных участков (рис. 20).

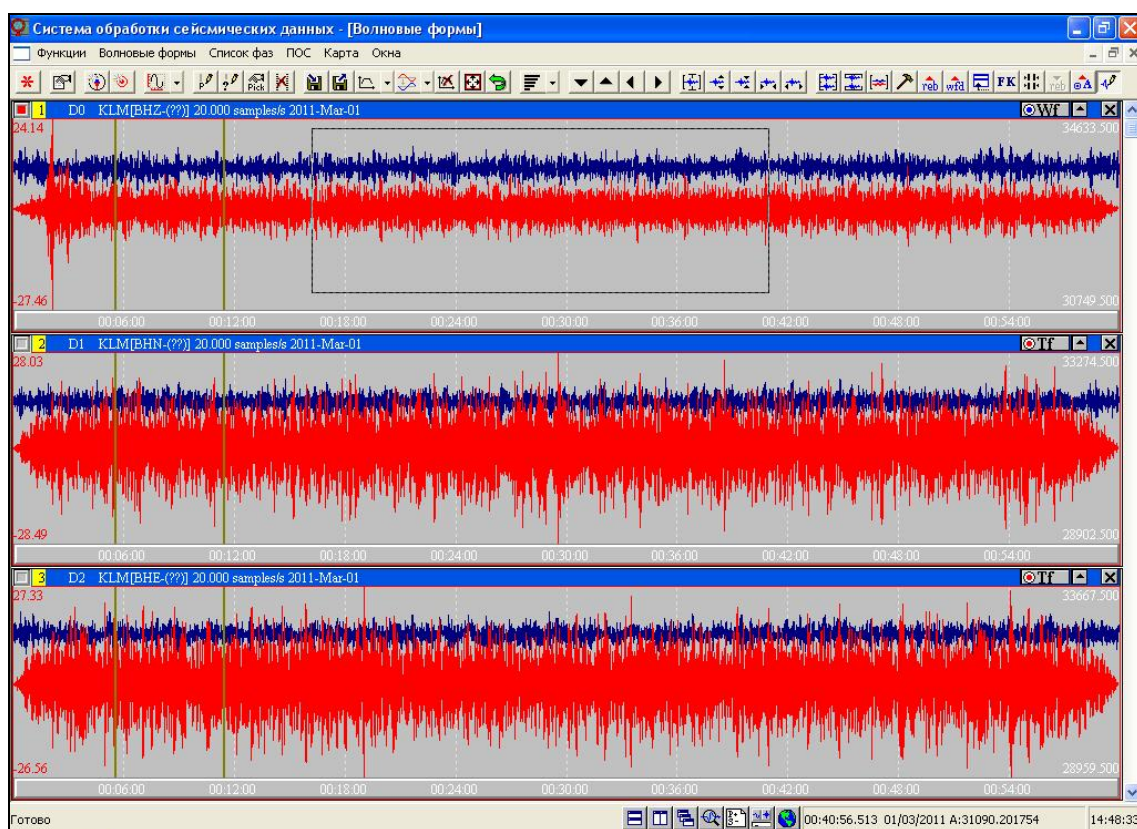



Рисунок 20 – Выделение участков сейсмической записи

Во-первых, можно выделить на экране и обозначить специальными вертикальными отметками часть волновой формы. Сделать это можно, ЗАЖАВ левую клавишу мыши в

начале выделяемого интервала и «протаскивать» курсор до конца выделяемого интервала, где левую кнопку следует отпустить. На экране в окне, где выделялся интервал, появятся две зеленые вертикальные полосы (рис. 20). Выделение отобразится (скопируется) во всех активных окнах при нажатии кнопки 10 (рис. 15). Снять отметки выделения со всех каналов можно кнопкой 11 (рис. 15).

Во-вторых, можно «приблизить» участок записи, т.е. увеличить временной масштаб для ее указанного фрагмента. Для этого надо встать курсором на предполагаемое начало фрагмента. После быстрого двойного щелчка левой кнопкой мыши по области волновых форм и небольшого диагонального движения курсора, на экране появится прямоугольник. «Растяните» его, чтобы указать с помощью него приближаемую область, как показано на рисунке 20, и снова дважды кликните левой клавишей, чтобы завершить кадрирование. Программа покажет в окне выделенную («вырезанную») прямоугольником часть записи. После этого необходимо кнопкой 5 (рис. 15) выровнять записи всех каналов по времени, чтобы откадрировались записи и для остальных окон. Вернуться в исходное положение волновых форм можно с помощью кнопки 9  (рис. 15) с изображением зеленой стрелки. При проведении всех подобных действий рекомендуется внимательно следить за тем, чтобы записи в активных окнах были все время выровнены по времени (синхронны), поскольку программа их систематически «сбивает» при проведении операций с отдельным окном.

### **Для практического освоения вышеописанных операций выполните упражнение 1 (см. блок упражнений – раздел III)**

Окно «Волновые формы» обладает еще несколькими важными функциями. В-первых, на верхней панели расположена кнопка «Начать обработку нового землетрясения». При ее нажатии на экране появляется диалоговое окно, в которое интерпретатором вводится комментарий обрабатываемого сейсмического события (рис. 21). Идентификатор вводится автоматически (см. раздел II, § 4).

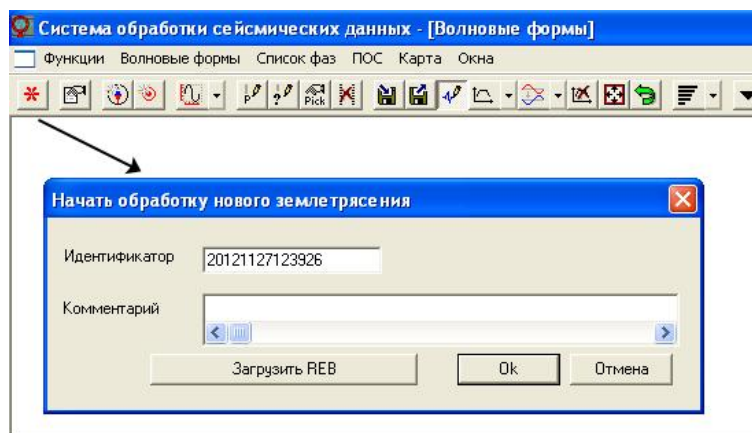


Рисунок 21 – Функциональная кнопка и соответствующее ей окно  
«Начать обработку нового землетрясения»

Во-вторых, на верхней панели расположена кнопка «Установки» (17 на рис. 15). В появляющемся при ее нажатии окне, интерпретатор выбирает используемый годограф во вкладке «Установки» в соответствии с требованиями обработки (рис. 22). Для телесеизмических землетрясений используется годограф *IASPEI-91*, для местных – *NORP*.

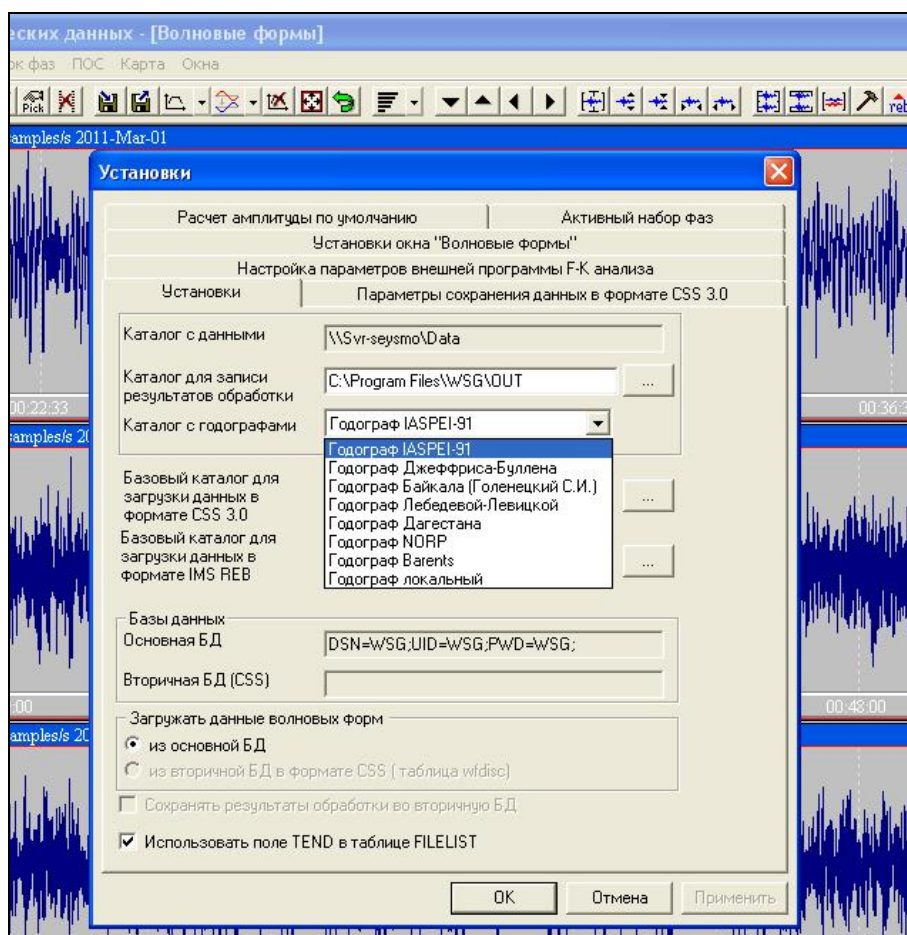


Рисунок 22 – Выбор годографа

В-третьих, немаловажной функцией является расстановка фаз. Сделать это можно самостоятельно или автоматически.

Для самостоятельной расстановки фаз (рис. 23) необходимо использовать кнопку «Отметить фазу» (15 на рис. 15). После ее нажатия в области волновых форм появится указательный значок *Pick*, который перемещается вместе с курсором мыши. Перейдя с его помощью на момент вступления фазы на записи, щелкните один раз левой клавишей мыши, и на экране появится окно, в котором необходимо выбрать название нужной фазы и указать ее параметры (рис. 23). При этом на месте выбранного момента вступления фазы останется тонкая белая линия (рис. 23). Выбрав нужное название фазы из списка и указав необходимые параметры (подробнее см. раздел II, § 4, п. 4.1), нажмите «Ok». На экране появится отметка фазы – желтый «флажок» с ее названием. Также данные о выставленной фазе и ее параметрах будут прописаны в окне «Список фаз». Чтобы вывести изображение ранее выставленных фаз во всех обработанных событиях из базы данных, нажмите кнопку «Отобразить отметки фаз из БД» (16 на рис. 15) – на экране появятся желтые указатели-отметки с названием фаз, как показано на рисунке 23.



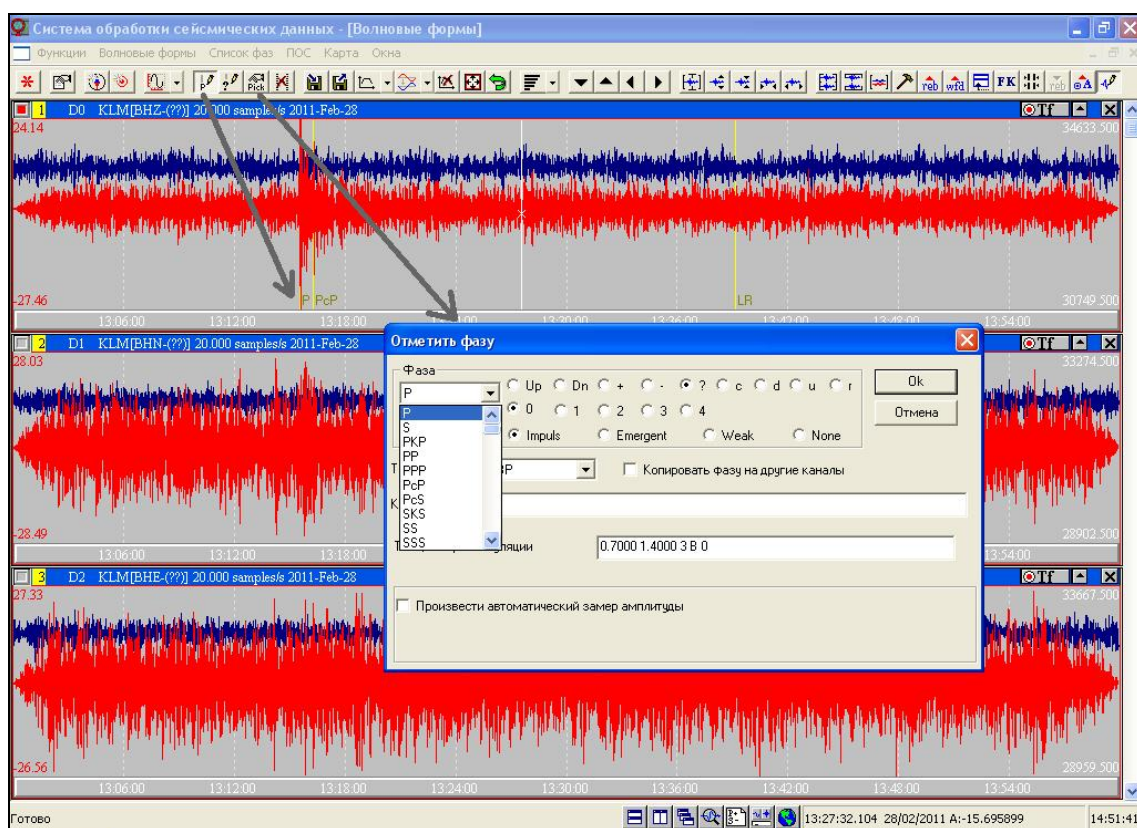



Рисунок 23 – Выставление фаз в программе WSG

Кроме самостоятельного выставления фаз, обработчику зачастую приходится прибегать к автоматической расстановке фаз (подробнее см. раздел II, § 3, п. 3.2) – это использование теоретического расчета времени вступления фазы сейсмического события на обрабатываемой станции на основе выбранного годографа. Делается этого следующим образом: в верхнем выпадающем меню «Функции» нужно выбрать «Автоматическая расстановка фаз». В появившемся окне необходимо отметить интересующие фазы (проставить «галочки»), определить относительно чего будет произведен теоретический расчет (относительно времени в очаге или относительно фазы – как правило, первого вступления  $P$ ). Также необходимо ввести эпицентральный расстояние (рассчитывается через вкладку «Карта», см. ниже настоящий пункт) и глубину (считывается из каталога ССД ГС РАН). Нажать кнопку «Расставить фазы». Обратите внимание, что ФАЗЫ ПОЯВЯТСЯ ТОЛЬКО В ТОМ ОКНЕ, КОТОРОЕ БЫЛО ВЫБРАНО ГЛАВНЫМ.

#### Окно «Список фаз».

В окне «Список фаз» (рис. 24) отображаются численные значения времен вступлений всех фаз на записи и других параметров, полученных при обработке записей всех сейсмических станций, визуализированных на экране.

Переход к окну «Список фаз» осуществляется с помощью кнопки III (рис. 15) или через верхнее меню (рис. 24). Кнопка 1 (рис. 24) позволяет загрузить созданный список фаз в базу данных, 2 – выгрузить фазы обработанного ранее события из базы.

Очистить окно «Список фаз» полностью можно через верхнее выпадающее меню «Очистить список фаз», удалить отдельные фазы из списка можно кнопкой «Удалить фазу», расположенной на верхней панели окна , предварительно выделив строку курсором.

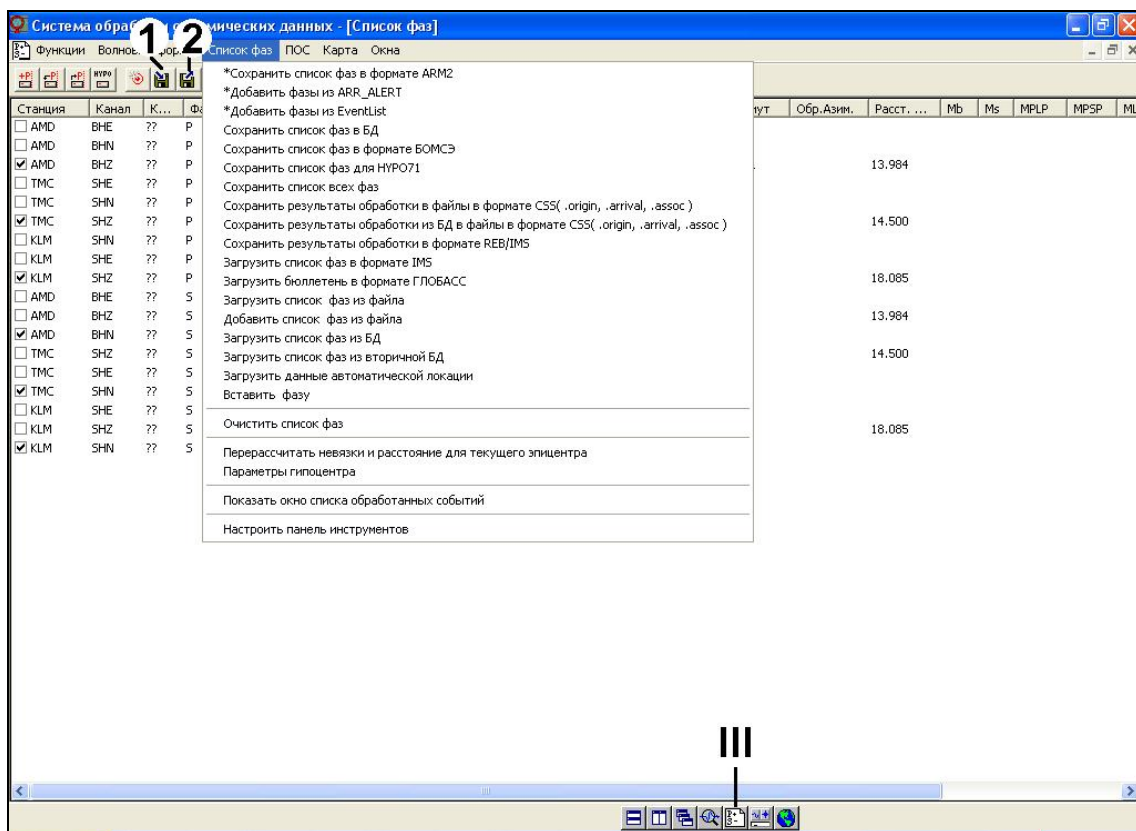



Рисунок 24 – Окно «Список всех фаз»

Окно «Процессор обработки сигналов (ПОС)» (рис. 25).

ПОС представляет собой инструмент, позволяющий применять отдельные математические функции с целью преобразования сигналов для их детального исследования и коррекции, например, спектрального исследования с помощью быстрого преобразования Фурье и сравнительного анализа как записей сейсмических волн, так и их спектров. ПОС позволяет вывести на экран до 16 рабочих окон (крайняя левая кнопка «Добавить окно в процессор обработки сигналов», либо соответствующий пункт «Добавить окно» в выпадающем меню «ПОС» в верхней части окна). Рабочим считается то окно, которое активно (заголовок окна станет темно-синим). Последовательность часто повторяющихся процедур может быть записана в рабочую область программы (Works Sheet), представляющий собой макрос, вызов которого для повторяющихся процедур анализа ускорит обработку различных записей. Через процессор обработки сигналов можно проводить сравнение исследуемой записи сейсмического явления и записи эталонного источника по данным одной и той же станции, и сравнение как во временной, так и в частотной области.

На рисунке 25 приведен пример практического использования ПОС с целью построения спектров записи. Для этого в окне «ПОС» в строке формул (она расположена внизу окна) обработчиком вводятся с клавиатуры соответствующие формулы. После построения спектра, его можно привести к логарифмической линейке с помощью кнопки  «Log».

В таблице 5 приведены основные используемые формулы. Расшифровка и более полный список формул приведены в инструкциях программного комплекса WSG (см. список рекомендуемой литературы).



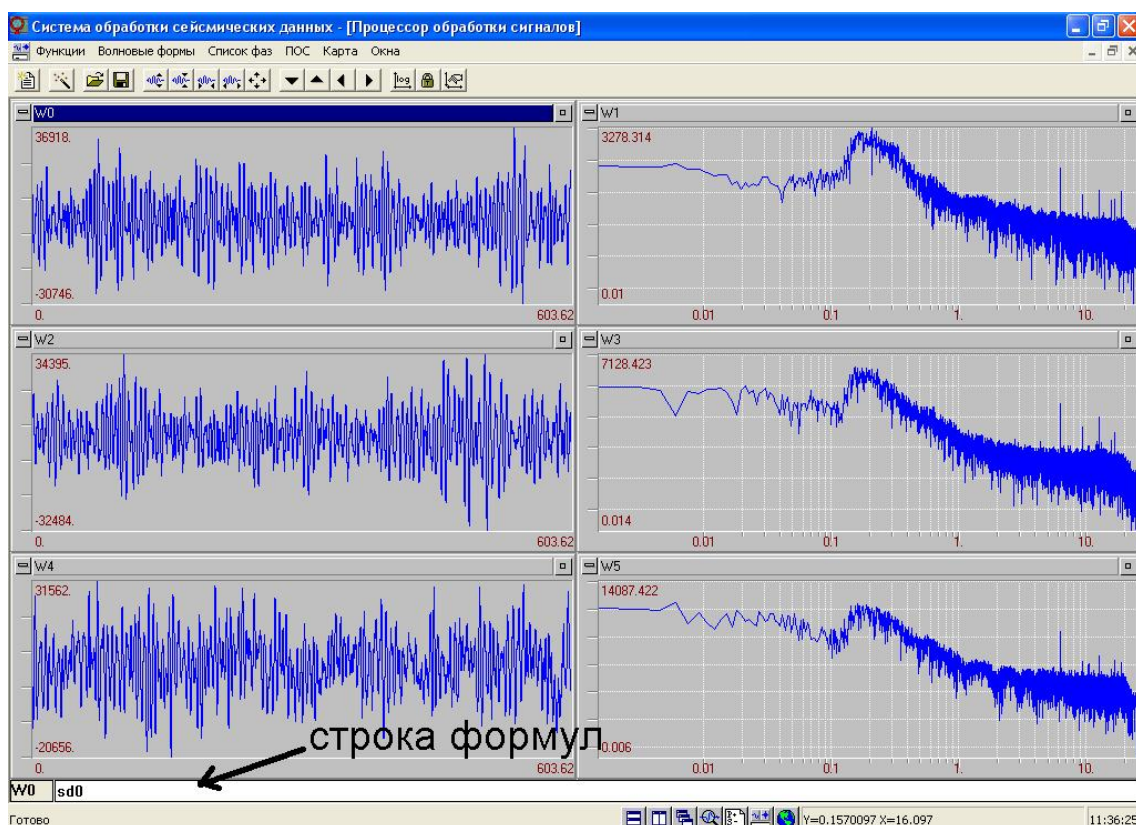



Рисунок 25 – Рабочее окно вкладки «ПОС»




Таблица 5 – Наиболее часто используемые формулы в ПОС


Формула	Расшифровка
$d0$	Вывести в окно ПОС исходный сигнал канала $d0$
$t0$	Вывести в окно ПОС фильтрованный сигнал канала $d0$
$sd0$	Вывести в окно ПОС интервальное выделение исходного сигнала канала $d0$
$st0$	Вывести в окно ПОС интервальное выделение фильтрованного сигнала канала $d0$
$sd0-mean(sd0)$	Нормирование записи относительно нуля
$spectrum(sd0-mean(sd0))$	Построение спектра нормированной записи
$smooth(spectrum(hanning(sd0-mean(sd0))),3)$	Построение спектра с использованием окна сглаживания Хэннинга, число точек для сглаживания 3

#### Окно «Карта».

В окне «Карта» (рис. 26) можно выполнить следующие операции:

а) нарисовать береговую линию (по умолчанию изображается простая карта в виде планшета с градусной сеткой в прямоугольной проекции) – нужно нажать кнопку  на верхней панели инструментов;

б) выбрать для более точного определения эпицентра небольшой кусок карты – для этого дважды быстро нажмите на левую клавишу мыши левее и выше выбираемого интервала, в графическом окне появится прямоугольник, нарисованный тонкой черной линией. Теперь курсор мыши связан с этим прямоугольником, движение курсора позволит выбрать его размер. Запись, помещенная внутри прямоугольника, будет развернута на все окно, как только вы еще раз дважды нажмете на левую клавишу мыши (процесс полностью аналогичен кадрированию волновых форм). Вернуться к исходному масштабу карты можно, нажав кнопку . Помимо этого, имеются кнопки  и  для увеличения

или уменьшения масштаба изображения карты и кнопки перемещения карты  в любом направлении.

в) приблизительно оценить расстояние (в градусах) и азимут между двумя точками на карте (например, со станции на эпицентр) – удерживая на клавиатуре клавишу «Shift», нажать в исходной точке (станция) левую клавишу мыши и, не отпуская ее, продолжая удерживать нажатой «Shift», дотянуть до конечной точки (эпицентр). В правом нижнем углу окна при этом будут отображаться значения азимута, обратного азимута и текущего расстояния (в градусах); обычно же там отображаются координаты точки, на которую наведен курсор;

г) на карте отображается рассчитанное ранее в окне «Волновые формы» эпицентральное расстояние в виде окружности синей штриховой линии;

д) ввести значения параметров гипоцентра. На карте он отобразится красной точкой (рис. 26)

е) выбрать список необходимых для отображения на карте станций можно в специальном поле  на верхней панели инструментов (по названию сети выбрать нужный список станций), а редактировать созданный ранее список сетей через опцию «Редактировать список сетей» в меню «Функции». Станции на карте отображаются синими кружочками с указанием кодов названий. Архангельскую сеть также можно вывести отдельно от всех остальных станций.

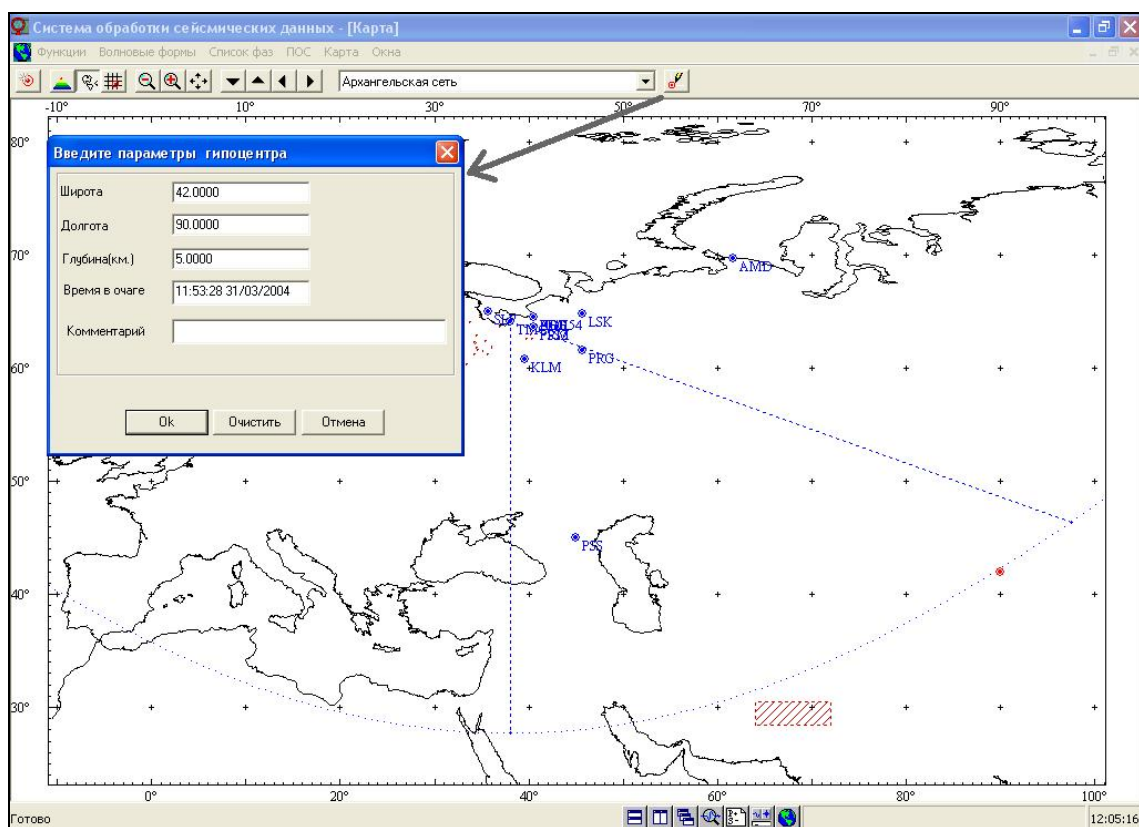


Рисунок 26 – Вкладка «Карта»

## 2.2 Интерфейс вспомогательных программ WSG

В WSG существуют следующие вспомогательные программы: Data Processor (DP), SetStaionParam (SetSta) и ResponseDB. Они находятся в системной папке компьютера *C:\Program Files\WSG\Util*.

Data Processor (DP). Утилита «Data processor» (далее DP) предназначена для работы с сейсмической информацией из базы данных WSG. Цель ее создания – получение сводок в коде MCK-85; станционных бюллетеней, а также экспортных файлов из базы данных WSG.

При первом запуске программы DP важно установить режим «многих станций». Для этого: в правом верхнем углу нажмите кнопку Startup и выберите функцию «Режим многих станций», затем «Ok». В последующих запусках этого проделывать не надо, режим сохранится автоматически.

SetStaionParam (SetSta). Утилита SetStationParam.exe (SETSTA.EXE) предназначена для включения и корректировки технических параметров сейсмической станции в базу данных пакета «Система обработки сейсмических данных» WSG. Программа работает в интерактивном режиме и запускается с помощью ярлыка на рабочем столе и/или через меню «Пуск».

При запуске программы на экране будет выведено диалоговое окно с пустым кодом станции и со значениями параметров каналов, установленных по умолчанию. При этом поле «Открыта» будет заполнено текущими значениями даты и времени.

При указании кода станции в качестве параметра программа отобразит информацию о станции и параметрах каналов, сохраненных в БД (рис. 27).

The screenshot shows the 'Установка параметров станции. Источник данных: WSG, Пользователь: WSG' dialog box. It contains a table of channel parameters and various input fields for station details.

Станция (код)	Группы каналов			Код расположения	Отсч./сек.	Тип датчика
	Z	N	E			
Международн. код: KLMR	1 BHZ	BHN	BHE	??	20	СМЗ-ОС
Широта, град: 60.854	2 SHZ	SHN	SHE	??	40	СМЗ-КВ
Долгота, град: 39.519	3 BLZ	BLN	BLE	??	20	СМЗ-ОС
Высота, м: 157	4 SLZ	SLN	SLE	??	40	СМЗ-КВ
Номер в БД: 319	5					
Название (русское): Климовская	6					
Название (английское): Klimovskaya	7					

Below the table, there are fields for 'К-во групп каналов: 4', 'Положение в сейсмической группе' (Центральная точка), 'Смещение от центральной точки к северу' (0.000), and 'Смещение от центральной точки к...'. Buttons include 'Подключ. к БД', 'Копировать', 'Записать в БД', 'Список сетей', 'Удалить из БД', and 'Выйти'.

Рисунок 27 – Внешний вид диалогового окна утилиты SetStaionParam с выведенными данными по станции «Климовская»

В диалоговом окне программы SetSta можно:

- а) внести параметры новой станции с помощью клавиатуры и/или окна прокрутки, активизируемого при нажатии клавишей мыши на управляющий элемент, заполнив значения всех полей реальными данными, соответствующими описанию станции;
- б) откорректировать имеющуюся информацию о станции в базе данных.

ResponseDB. Эта утилита используется достаточно редко, в основном для справочных целей. Данная программа (рис. 28) предназначена для вывода на экран амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) каналов сейсмической аппаратуры в формате FAP (частота–амплитуда–фаза) и SAC (нулей–полюсов), хранящихся в базе данных (область диалога «В БАЗЕ») или в файле (область диалога «ИЗ ФАЙЛА»), а также для их занесения в базу и выгрузки из базы данных.

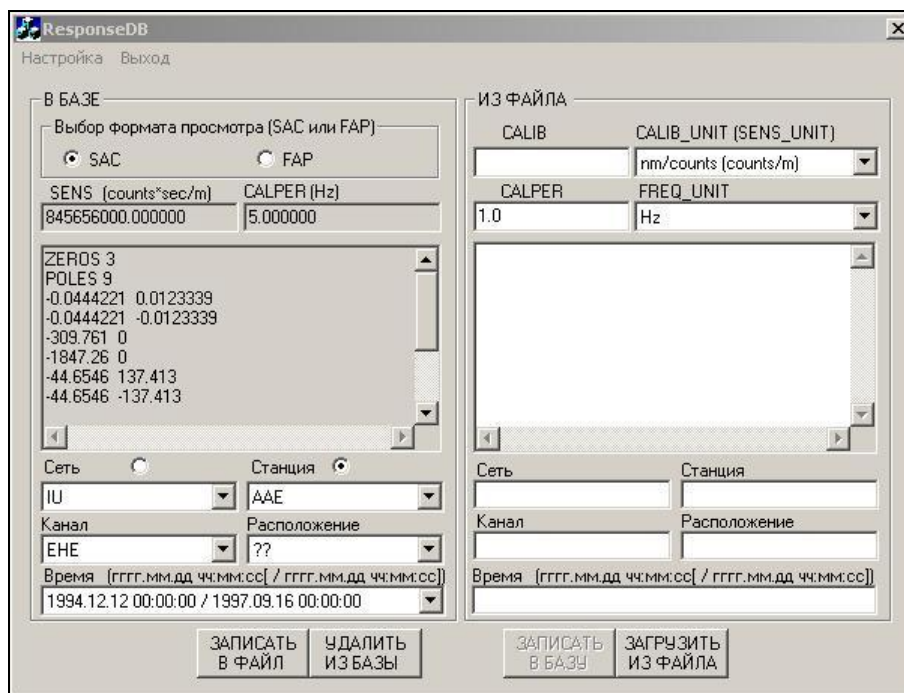


Рисунок 28 – Вид основного окна программы ResponseDB

Правая половина окна программы ResponseDB предназначена для занесения АЧХ отдельно для каждого канала станции в БД WSG. Левая половина окна отображает содержание таблицы CALIBRATION в БД WSG, т.е. выводит на экран АЧХ для каждого станции за выбранный временной интервал.

В левой половине окна переключателем SAC\_FAP изменяется режим вывода информации (АЧХ в формате SAC или FAP соответственно из полей SAC или FAP таблицы CALIBRATION в БД WSG).

Кнопка «ЗАПИСАТЬ В ФАЙЛ» служит для записи информации из области «В БАЗЕ» в файл. Кнопка «УДАЛИТЬ ИЗ БАЗЫ» служит для удаления отображенной информации из базы данных.

В поле «Сеть» заносится список всех сетей из указанной базы данных или список всех сетей для указанной станции. В поле «Станция» заносится список всех станций из указанной базы данных или список всех станций для указанной сети.

### § 3. Анализ сейсмических записей станций Архангельской сети

#### 3.1 Выявление сейсмических событий на записях

Сейсмические события – в основном под ними понимают землетрясения или взрывы – на записях сейсмических станций имеют характерный внешний вид и могут быть выделены как на нефигурованном канале, так и с применением определенной фильтрации. Как правило, на исходном сигнале уверенно можно выделить достаточно сильные, глубокие телесейсмические землетрясения или сильные региональные события. На фильтрованной записи – более слабые сейсмические события.

В самом общем случае обработка сейсмических записей ведется «с чистого листа», т.е. интерпретатор без всяких подсказок должен найти и выделить событие на просматриваемой записи, а затем обработать его. Такой режим работы применяется обычно для станций, участвующих в сейсмическом мониторинге в срочном режиме, а также станций в сейсмоактивных регионах. Получаемые данные нужны для работы оперативных служб, для своевременного оповещения о землетрясениях или взрывах и т.п.



В практике же рутинной обработки событий, регистрируемых региональными сетями, и особенно расположенными в сейсмически малоактивных регионах, применяется другая тактика. Здесь обработка ведется с использованием данных оперативных сводок – интерпретатору заранее известны время в очаге, глубина и координаты, а также магнитуда землетрясения, вычисленные с определенной погрешностью. Сводные данные рутинной обработки события по многим станциям, собираемые с обширной территории, позволяют точно установить параметры конкретного землетрясения и определить механизм его очага.

Обработка записей Архангельской сети станций ведется с применением двух основных каталогов – каталога Службы срочных донесений Геофизической Службы РАН (ССД ГС РАН), скачанного с электронного ресурса ГС РАН [6], и каталога региональных землетрясений по данным норвежской сейсмологической службы NORSAR, также скачанного с электронного ресурса службы [7]. Каталог ССД является базовым для рутинной обработки сейсмических записей, в нем содержится информация о дате, времени в очаге, широте, долготе, глубине, магнитудах  $M_s$  (по поверхностным волнам) и  $m_b$  (по объемным волнам), интенсивности и названии региона землетрясений. Большей частью землетрясения из этого каталога, регистрируемые Архангельской сетью, являются телесеismicкими, реже – региональными с эпицентральной дистанцией порядка 15–19°.

Дополнительно при просмотре записей станций Архангельской сети могут привлекаться сведения из каталога NORSAR, как правило, для выявления региональных событий из Арктического региона. Сильные землетрясения, определяемые по данным норвежской службы, могут содержаться и в каталоге ССД, причем с незначительно отличающимися параметрами и названием региона.

Таким образом, обработка записей станций Архангельской сети ведется с применением априорных сведений о сейсмических событиях, что позволяет искать последние на вполне определенных участках волновых форм (что, впрочем, никоим образом НЕ отменяет внимательного и добросовестного просмотра ВСЕЙ записи). Основным признаком наличия предполагаемого события на просматриваемом участке записи можно считать присутствие первого вступления сейсмических волн – резкого возрастания амплитуды колебаний на фильтрованной или нефильтрованной записи с последующим плавным спадом, в основном на вертикальном канале. Также признаком является возможное присутствие вступлений вторичных фаз и поверхностных волн (возмущения на записи после предполагаемого первого вступления на всех каналах). При этом важно исключить шумовые всплески колебаний на записи, чтобы не принять их за вступления сейсмических волн. Это делается методом анализа параметров землетрясения (например, магнитуды – землетрясение с небольшой магнитудой не запишется на данной станции, либо времени в очаге – данное землетрясение запишется на станции, но в другое время и т. п.), навык к которому достигается вместе с опытом обработки записей определенной сейсмостанции.

Вообще, деятельность интерпретатора сейсмических записей осваивается далеко не сразу и только опытным путем. В процессе же обучения важно сразу учесть особенности записей сейсмических волн от различных типов землетрясений.

Сейсмические волны от удаленных землетрясений. Удаленными (или телесеismicкими) называются землетрясения, произошедшие на расстояниях свыше 20°. Условно можно выделить четыре внешних критерия-признака, по которым определяется принадлежность землетрясения к телесеismicкому.

1) большая общая длительность события на записи. Если землетрясение с телесеismicкими расстояниями, то продолжительность его на записях широкополосных станций (при наличии интенсивных поверхностных волн) может достигать от 30 минут до полутора часов (рис. 29).

Если землетрясение на записи широкополосной станции не является столь сильным, как показано на рисунке 29, но поверхностные волны уверенно выделяются при помощи фильтрации, то длительность события на записи кардинальным образом не изменяется и составляет также порядка 30–90 минут.

Для короткопериодных станций, где практически не проявляются поверхностные волны, длительность телесейсмического землетрясения значительно меньше – ориентировочно до 30 минут (рис. 30).

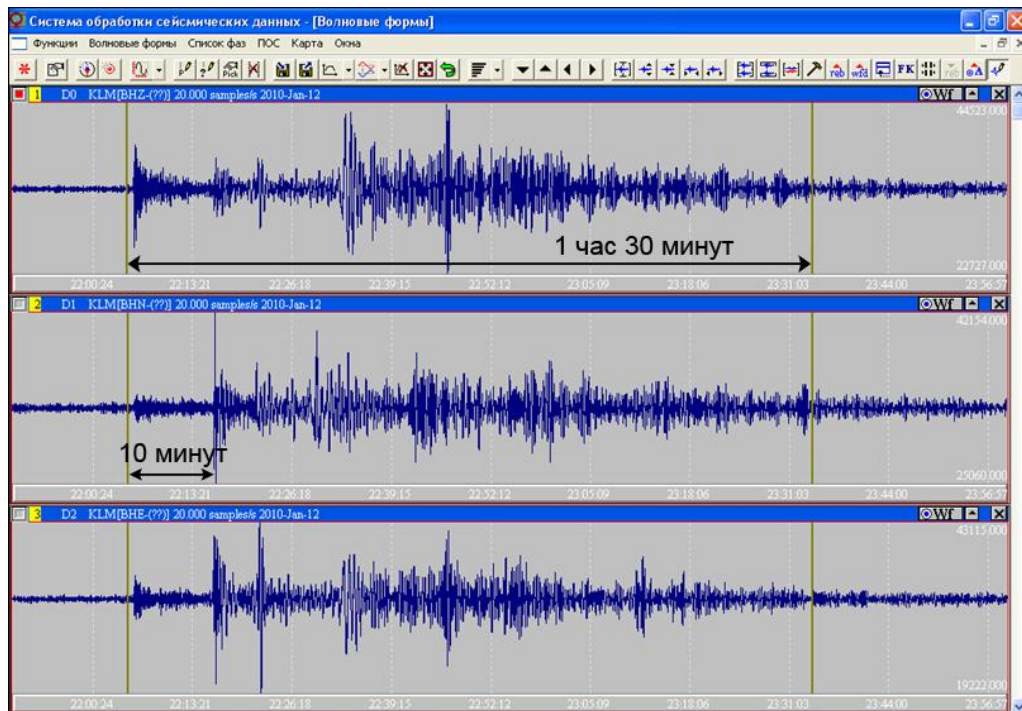


Рисунок 29 – Пример сильного телесейсмического землетрясения на записях широкополосной станции «Климовская»

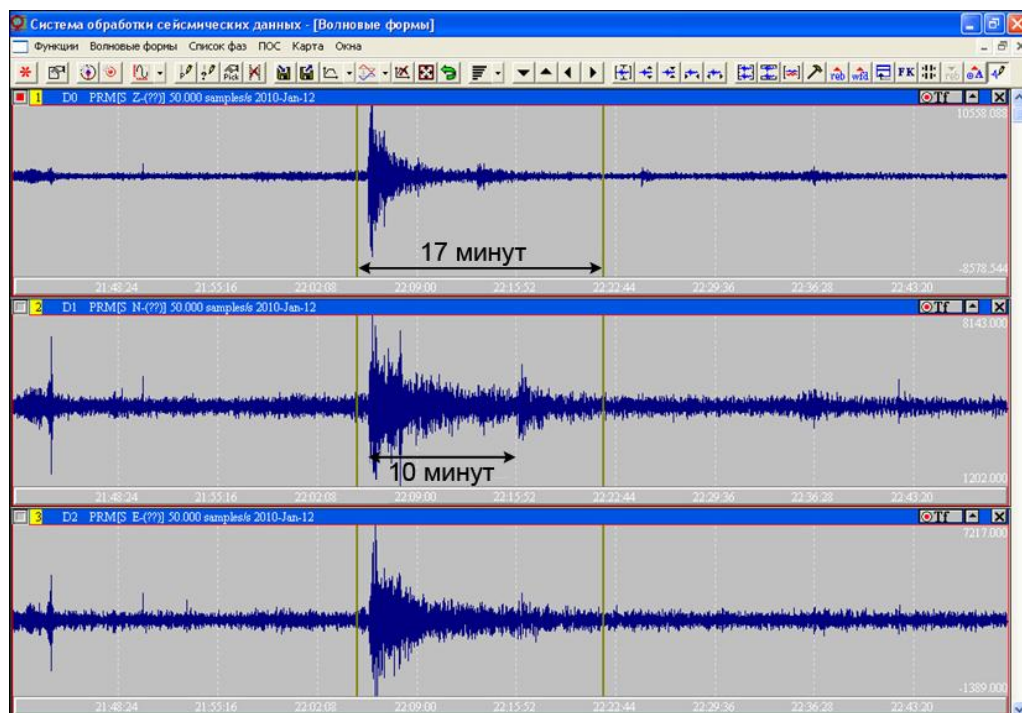


Рисунок 30 – Пример сильного телесейсмического землетрясения на записях короткопериодной станции «Пермилово»

Однако, следуя только этому критерию, сложно различить телесейсмическое и региональное землетрясение на записях короткопериодных станций, поскольку последнее также может иметь схожую длительность. В таком случае полезно воспользоваться вторым критерием, который дает надежное распознавание телесейсмических землетрясений.

2) Если разница между временами вступлений продольной ( $P$ ) и поперечной ( $S$ ) волн составляет более четырех минут, то событие однозначно относится к телесейсмическому (рис. 29, 30). Данный критерий не зависит от характеристик станций, т.е. от того, являются ли они широкополосными или короткопериодными. Это признак самого землетрясения, и он напрямую зависит от его удаленности по отношению к регистрирующей станции – чем дальше событие, тем больше разница в временах прихода волн  $P$  и  $S$ .

3) При детальном рассмотрении записи телесейсмического события, зачастую можно выделить вступления вторичных фаз:  $PP$ ,  $PcP$ ,  $SS$ ,  $SSS$  и т.д. Особенно хорошо они проявляются на широкополосных станциях. На короткопериодных, как правило, все ограничивается наличием вторичных фаз  $PP$  и  $PcP$ , но и они наблюдаются далеко не в каждом случае.

4) Если землетрясение не является достаточно сильным для регистрации его на исходном нефiltroванном сигнале и при использовании фильтров  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  (для всех типов станций) и  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  (только для широкополосных каналов) можно выделить как первые вступления, так и вторичные фазы, то землетрясение, с большой степенью вероятности, является телесейсмическим.

Сейсмические волны от региональных землетрясений. Региональными называются землетрясения, произошедшие на эпицентральных расстояниях до  $20^\circ$  включительно от принимающей станции.

Основными, но опять-таки достаточно условными признаками региональных событий [8], по которым их можно отличить от телесейсмических, являются следующие:

1). Небольшая длительность на записи. На короткопериодных каналах – от нескольких секунд до нескольких минут; для наиболее сильных событий длительность записи может достигать десяти минут (рис. 31).

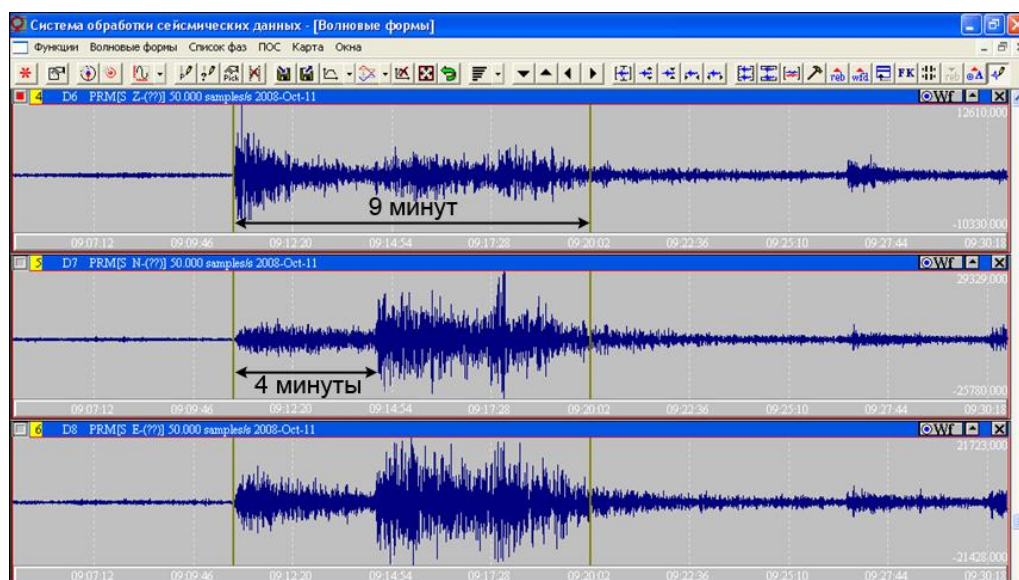


Рисунок 31 – Пример сильного регионального события на записях короткопериодной станции «Пермилово»

Поскольку очень сильные события излучают также и более значительную энергию, они хорошо записываются и на широкополосных длиннопериодных каналах с длительностями, которые могут превысить полчаса за счет наличия сильных

поверхностных волн. Пример длительности регионального сильного события на записях широкополосной станции «Климовская» приведен на рисунке 32.

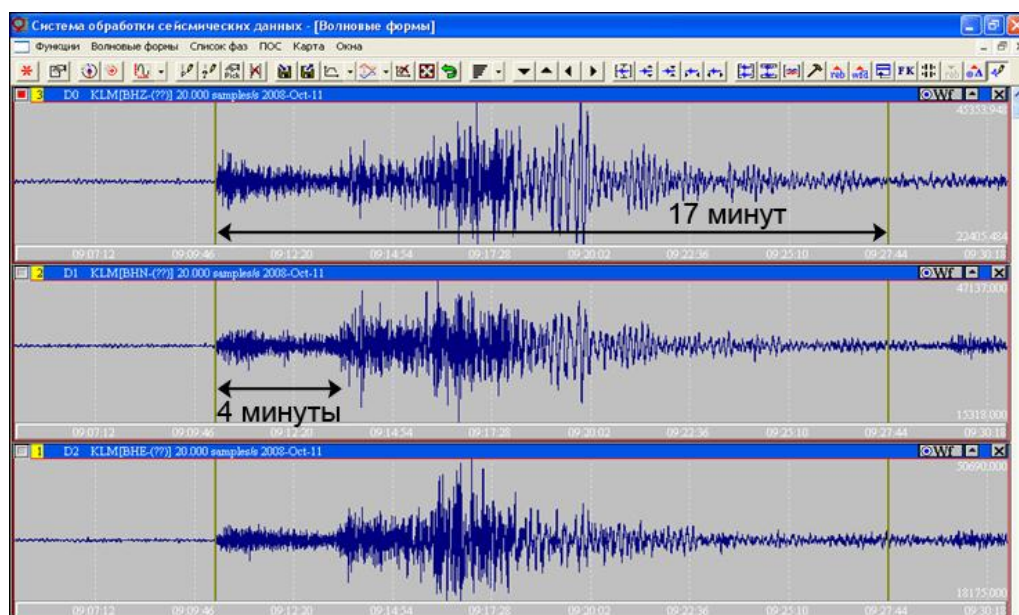


Рисунок 32 – Пример регионального события на записях широкополосной станции «Климовская»

2). Если разница во времени прихода фаз  $P$  и  $S$  составляет менее четырех минут (рис. 31, 32), то событие является региональным.

Следующие два признака являются вспомогательными и могут иметь отступления в отдельных случаях.

3). На записях станций Архангельской сети при анализе региональных событий интерпретаторами выделяются только первые вступления продольных и поперечных волн и не выделяются дополнительные вступления типа  $PP$ ,  $SS$ ,  $PcP$  др. Это следует учитывать при расстановке фаз.

4). Использование фильтрации при выделении региональных землетрясений является одним из наиболее сложных вопросов в области обработки сейсмических записей. Однако, исходя из опыта интерпретации волновых форм станций Архангельской сети, накопленного за последние годы, можно считать, что первые вступления продольных и поперечных волн региональных землетрясений наиболее уверенно выделяются по фильтру  $1.5\text{--}3\text{ Гц}$  3 порядка с нулевой фазой. Но и использование стандартной фильтрации  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  может давать надежный результат (особенно для выделения продольных  $S$ -волн).

**Для практического освоения вышеописанных операций выполните упражнение 2 (см. блок упражнений – раздел III)**

### 3.2 Фильтрация и просмотр записей станций Архангельской сети, выделение фаз сейсмических событий

Просматривать записи станций рекомендуется подекадно, т.е. непрерывными участками по 10 дней. Затем зафиксированные за декаду события рекомендуется обработать, и после этого приступить к просмотру следующей декады.

Для просмотра записей наиболее удобны следующие алгоритмы действий, в соответствии с типом обрабатываемой станции.



Для записей широкополосных станций рекомендуется вывести на экран четыре окна волновых форм, два с записями  $Z$ -канала, и по одному с записями горизонтальных  $N$  и  $E$  каналов. При этом важно, чтобы на протяжении всего последующего просмотра записи этот порядок окон не сбивался. Длительность записи в окне удобно установить в размере 30 минут, но обработчик может немного увеличить или уменьшить этот интервал для удобства интерпретации. Однако при масштабировании записей учтите, что на чрезмерно растянутом сигнале каждое более-менее выделяющееся по амплитуде колебание будет казаться вступлением волны от землетрясения, что чревато фиксированием излишних и ложных вступлений фаз на записи.

Далее, на первом, самом верхнем  $Z$ -канале, следует установить фильтр  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  3 порядка с нулевой фазой. По нему необходимо будет просматривать наличие первых вступлений волн от землетрясений на записях. Записи в остальных трех окнах (соответственно, каналов  $Z$ ,  $N$  и  $E$ ) нужно пропустить через фильтр  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  3 порядка с нулевой фазой. Он предназначен для выделения  $S$ -фазы, поверхностных и вторичных волн.

Для просмотра записей короткопериодной станции нужно загрузить три канала  $Z$ ,  $N$ , и  $E$  в окнах с аналогичной длительностью. Далее следует установить на ВСЕХ каналах фильтр  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ , и при просмотре аналогично находить первые вступления, вторичные и  $S$ -фазы. Поверхностные волны на записях аппаратуры данного типа выделять НЕКОРРЕКТНО, даже если они видны на записи, это связано со специфическими особенностями амплитудно-частотных характеристик короткопериодных сейсмометров. Именно поэтому к таким записям КАТЕГОРИЧЕСКИ НЕПРИМЕНИМА фильтрация  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  3 порядка с нулевой фазой.

Итак, после вывода на экран окон с нужными записями, можно двигаться по ним с помощью кнопки прокрутки по горизонтали, и внимательно просматривать их. Для поиска сейсмических событий удобно пользоваться функцией автоматической расстановки фаз.

Автоматическая расстановка фаз. Данная функция программного пакета WSG (раздел II, § 2, п. 2.1) позволяет рассчитать теоретическое время прихода фаз от рассматриваемого землетрясения на записывающую станцию и вывести их отметки на волновые формы. Естественно, что теоретические расчеты будут отличаться от реальных вступлений, видимых на записи, однако разница для объемных волн ( $P$ ,  $S$ , вторичные фазы) НЕ ДОЛЖНА превышать 10 секунд. Исключение составляют глубинные волны ( $pP$ ,  $pPKPdf$ ) – для них разница не должна быть более трех секунд.

Для поверхностных волн метод теоретического определения времени вступления работает не так точно, как для объемных волн. Применение автоматической расстановки фаз в случае  $LR$  и  $LQ$  может лишь помочь определить принадлежность поверхностной волны Релея к рассматриваемому событию. Но для этого надо произвести расстановку не самого вступления  $LR$ , а максимума волны –  $LRM$ . Если время теоретического максимума будет сопоставимо с реальным ( $\pm 3$  минуты), то можно считать, что волна Релея принадлежит рассматриваемому землетрясению.

Автоматическая расстановка фаз применяется в двух случаях: до обработки конкретного землетрясения, как правило, при просмотре записи, или непосредственно во время обработки. В каждом из этих случаев существует своя последовательность действий:

1) Автоматическая расстановка фаз **во время просмотра записи** предполагает, что во вкладке «Карта» вводятся параметры гипоцентра (рис. 26), которые берутся из каталогов Службы срочных донесений ГС РАН, либо NORSAR (раздел II, § 3, п. 3.1). Затем необходимо перейти во вкладку «Волновые формы» и в выпадающем меню «Функции» выбрать «Автоматическая расстановка фаз». На экране появится диалоговое окно (рис. 33).

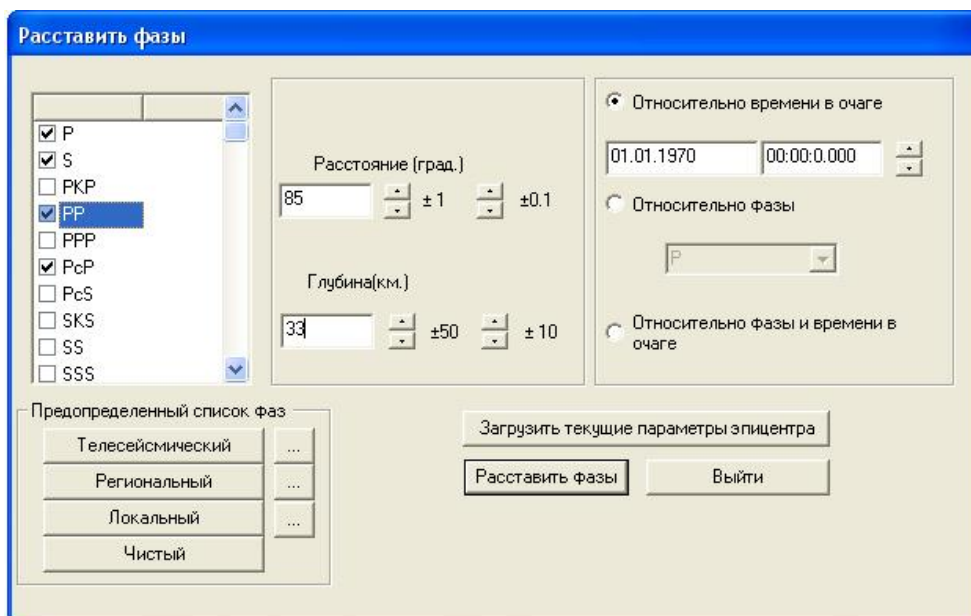



Рисунок 33 – Диалоговое окно «Расстановка фаз»

Выберите функцию «Относительно времени в очаге». Поскольку только что были введены координаты гипоцентра, программа в соответствии с введенными данными автоматически пропишет время в очаге (в правых верхних строках), глубину, и пересчитает расстояние от предполагаемого гипоцентра до станции, каналы которой выведены во вкладке «Волновые формы». Таким образом, имеются все данные для расчета времени вступления той или иной фазы на записи. В правой части окна отметьте «галочками» нужные для расстановки фазы, в соответствии с эпицентральной расстоянием и глубиной землетрясения, и нажмите «Расставить фазы». На волновых формах появятся отметки теоретически рассчитанных времен прихода фаз.

2) При использовании автоматической расстановки фаз **во время обработки землетрясения** (раздел II, § 4) ЗАПРЕЩАЕТСЯ вводить данные гипоцентра из каталога ССД ГС РАН в окне «Карта», поскольку они будут записаны как данные обработки по текущей станции, что не является верным. В этом случае, прежде чем начать процедуру автоматической расстановки фаз, рекомендуется сначала выставить на волновых формах первое вступление (*P*, *Pdif* или *PKPdf*) и оценить расстояние на карте от станции до эпицентра (удерживая на клавиатуре клавишу «Shift», нажать в исходной точке (станция) левую клавишу мыши и, не отпуская ее, дотянуть до конечной точки (эпицентр)). Запомнить или записать полученное примерное расстояние. После этого открыть диалоговое окно «Расстановка фаз», в правой части окна выбрать опцию «Относительно фазы». Здесь же необходимо указать фазу первого вступления, выставленного ранее, относительно которой будет производиться расчет. Далее вручную ввести в соответствующее поле окна только что оцененное примерное расстояние и списать глубину из каталога ССД ГС РАН. Выбрать расстановкой «галочек» набор интересующих фаз и нажать «Расставить фазы».

Очистить список отмеченных «галочками» фаз, чтобы ввести новые значения, можно с помощью кнопки «Чистый». Также в программе WSG для удобства обработчиков предусмотрены в том же диалоговом окне кнопки вызова стандартных наборов фаз «Телесейсмический», «Региональный», «Локальный». Внесение изменений в эти стандартные списки фаз может быть осуществлено после нажатия кнопки , расположенной справа от кнопки с названием набора фаз.

Какие же фазы следует автоматически расставлять и искать на записях в зависимости от эпицентрального расстояния и глубины рассматриваемого землетрясения?

### Сейсмические фазы на записях удаленных землетрясений

Телесеismicческие землетрясения (с эпицентральных расстояний от  $20^\circ$  до  $180^\circ$ ) имеют свою внутреннюю классификацию, обусловленную спецификой типа первой вступающей волны в зависимости от расстояния: события с эпицентральных расстояний от  $20^\circ$  до  $100^\circ$  условно можно назвать «обычными», а свыше  $100^\circ$  землетрясения называются *далекими*. Связано это с тем, что у событий с расстояний свыше  $100^\circ$  первой выступает не прямая  $P$ -волна, а диффрагировавшая по внешнему ядру  $Pdif$ , а у событий с расстояний свыше  $114^\circ$  – волна прошедшая через внешнее ядро  $PKPdif$ . Кроме того, у далеких землетрясений отсутствует поперечная фаза  $S$  – как таковая она уже не доходит на записывающую станцию, могут приходиться ее преобразованные компоненты ( $SS$ ,  $SSS$  и пр.).

Вначале разберем выделение фаз на записях «обычных» землетрясений ( $20^\circ < \Delta < 100^\circ$ ) на широкополосных станциях Архангельской сейсмической сети на примере записей станции «Климовская». Возьмем запись от 12.01.2010 г., начало записи 21:45:00, длительность один час (рис. 34). На рисунке приведены записи трех широкополосных каналов. К вертикальному  $Z$ -каналу применена стандартная фильтрация  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  3 порядка с нулевой фазой, к обоим горизонтальным каналам – фильтр  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  также третьего порядка с нулевой фазой.

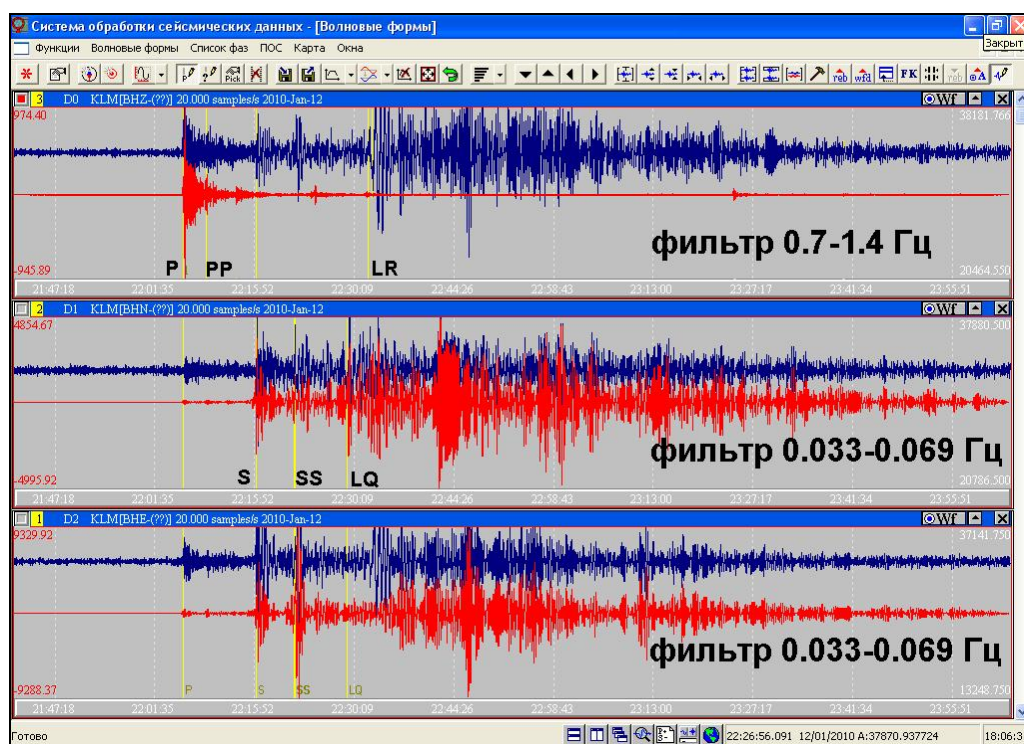


Рисунок 34 – Пример выделения фаз землетрясения на записях широкополосной станции «Климовская»

1) Первым вступлением землетрясения является вступление продольной волны, в номенклатуре данная фаза обозначена как  $P$ . Фаза, как правило, имеет четкое импульсное вступление и плавное, но быстрое затухание (примерно до 2.5 минут). На вертикальном  $Z$ -канале она вступает чуть раньше (на доли секунды) и с большей амплитудой, чем на горизонтальных каналах (рис. 34). Если  $P$ -фазу невозможно выделить по исходному синему сигналу, то к записи применяется фильтрация  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ . С применением данного фильтра фаза  $P$  телесеismicических землетрясений в большинстве случаев уверенно выделяется на записях широкополосных каналов Архангельских станций. Если событие является слабым, то фаза  $P$  может быть зарегистрирована только по фильтру  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  и только на вертикальном канале.

2) *S*-фаза (поперечная волна) на записях сильных землетрясений выделяется по синему исходному сигналу на горизонтальном канале, где она вступает раньше. На нем она имеет максимальную амплитуду (рис. 34). Вступление *S*-волны, как и в случае *P*-фазы, является резким, импульсным, а затухание плавным и быстрым (до 3 минут). В случаях событий с эпицентрными расстояниями в диапазоне 20–100° *S*-волна приходит через 4–10.5 минут после *P*-волны. В отличие от *P*-фазы, *S*-фаза видна на нефiltroванном сигнале только в случае сильных и очень сильных событий. Для ее выделения на записях широкополосных станций целесообразно использовать фильтр 0.033–0.069 Гц, но не следует пренебрегать и фильтрацией 0.7–1.4 Гц. На записях короткопериодных станций используется фильтрация ТОЛЬКО 0.7–1.4 Гц.

3) Поверхностные волны Релея (*LR*) и Лява (*LQ*). Известно (раздел I), что поверхностные волны Релея приходят на вертикальный канал записывающей станции, а Лява – на горизонтальные каналы (рис. 34). Эти фазы не имеют четкого вступления и, в связи с этим, их расстановка производится только после фильтрации 0.033–0.069 Гц всех каналов, даже если в некоторых случаях они хорошо видны без фильтра. Затухание поверхностных волн также отличается от затухания объемных волн *P* и *S*: сначала энергия волны достигает максимума (амплитуда растет), а затем происходит спад энергии (волна затухает). Весь этот процесс (рост и спад амплитуды) занимает достаточно длительный промежуток времени (от 10 до 30 минут, иногда и дольше). Стоит также отметить, что волны *LR* и *LQ* всегда приходят последними на принимающую станцию, так как их скорость ниже скорости объемных волн.

4) Вторичные фазы. Для их расстановки целесообразно воспользоваться годографом (приложение 2).

Все вторичные фазы располагаются на записи телесейсмического «обычного» землетрясения между первым *P* вступлением и поверхностными волнами *LR* и *LQ*. *S*-волна является ярким примером вторичной фазы. Кроме *S*-фазы на записях широкополосных станций регистрируются следующие типы волн:

- *PP* – выделяется на *Z*-канале по исходному сигналу, по фильтру 0.7–1.4 Гц (рис. 34), иногда (если землетрясение не глубокое), по фильтру 0.033–0.069 Гц, после первого вступления;
- *PcP* – выделяется на *Z*-канале по фильтру 0.7–1.4 Гц, практически сразу после первого вступления (через десяток секунд или до одной минуты), встречается достаточно редко по сравнению с *PP*;
- *PPP* – выделяется на *Z*-канале по фильтрам 0.7–1.4 Гц или 0.033–0.069 Гц. Вступает через некоторое время после *PP*;
- *pP* – глубинная фаза, вступает вслед за *P* и имеет аналогичный внешний вид, то есть по сути повторяет колебание от вступления *P*-фазы. Выделяется на *Z*-канале по фильтру 0.7–1.4 Гц, в отдельных случаях может быть выставлена и по исходному сигналу;
- *S* – см. описание выше;
- *SS* – вступает после *S* (рис. 34). Фазу можно выделить, как правило, по фильтру 0.033–0.069 Гц;
- *SSS* – вступает после *SS*, также выделяется, как правило, при фильтрации 0.033–0.069 Гц. После *SSS* никаких других вторичных фаз для землетрясений с рассматриваемых эпицентральных расстояний на записях обычно не регистрируется, далее вступают только поверхностные волны.

Выделение фаз на записях далеких землетрясений ( $100^\circ < \Delta < 114^\circ$ ). В данном случае можно отметить основные особенности:

- 1) Первое вступление заменяется с *P* на *Pdif*.
- 2) Отсутствует *S*-фаза. Однако часто регистрируется фаза *SS*.
- 3) Часто встречаются на записях такие вторичные вступления как *PS* и *SP*. Оба выделяются при фильтрации 0.033–0.069 Гц. Однако фаза *SP* лучше видна на *Z*-

канале, а *PS* – на *N*-канале (ПРИМЕЧАНИЕ: если название фазы заканчивается на «*S*», то ее следует искать на горизонтальном канале, поскольку эта номенклатура означает, что на станцию приходит волна, претерпевшая последнее изменение как поперечная. Соответственно, волны название которых имеют в конце названия «*P*», следует выделять на вертикальном канале).

В остальном все вторичные фазы землетрясений с расстояний от  $100^\circ$  до  $114^\circ$  аналогичны «обычным» телесейсмическим землетрясениям.

В случаях далеких телесейсмических землетрясений с эпицентрными расстояниями от  $114^\circ$  и более первой обычно вступает волна *PKPdf*. В редких случаях сильнейших событий на записях первой еще может быть зарегистрирована фаза *Pdif*, предшествующая ей, и, как правило, имеющая значительно меньшую интенсивность (рис. 35).

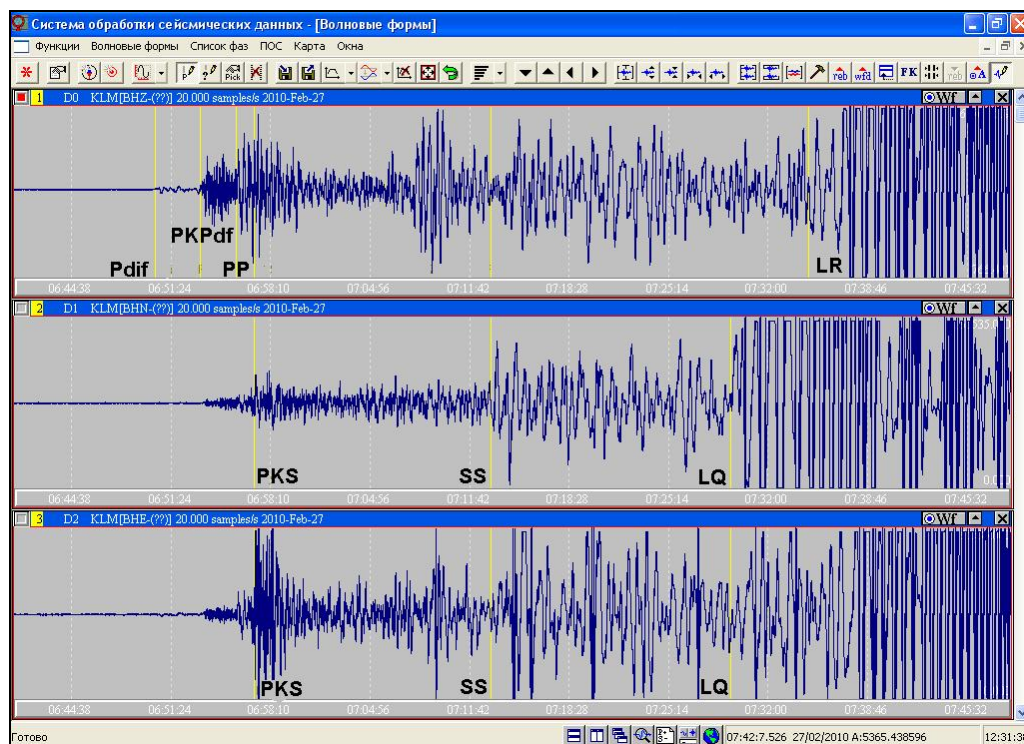


Рисунок 35 – Пример выделения фаз землетрясения на записях широкополосной станции «Климовская»

Процедура выставления фаз далеких землетрясений аналогична «обычным» землетрясениям. А именно:

1) В случае несильных землетрясений *PKPdf* выделяется либо по исходному сигналу, либо по фильтру  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ . Как и фаза *P*, имеет четкое импульсное вступление и быстрое затухание.

2) *S*-фаза отсутствует, но часто регистрируется фаза *SS*, выделяемая по фильтру  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$ .

3) Волна *PP*. Выделяется по фильтрам  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ ,  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$ . Волна *PP* приходит после *PKPdf* спустя примерно 3–4 минуты.

4) На записях сильных землетрясений часто встречаются такие сложные вторичные фазы как *PKS*, *SKKSac* и др. (приложение 1). Все они выделяются по фильтру  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$ .

5) В случаях глубоких далеких землетрясений нередко можно зарегистрировать фазу *pPKPdf* (глубинная фаза первого вступления) на фильтре  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ .



б) Поверхностные волны, как и в случае «обычного» события, приходят на станцию последними, и имеют аналогичные вид и характеристики, как и для «обычных» землетрясений.

Для короткопериодных станций ситуация с фазами телесейсмических (как «обычных», так и далеких) землетрясений значительно проще, чем для широкополосных. Как правило, на записи удастся выделить лишь первое вступление ( $P$ ,  $Pdif$  или  $PKPdf$ ), и в редких случаях  $PP$ ,  $PcP$  и глубинную  $pP$ . Если удастся выделить  $S$ -фазу, то только в сильных событиях по исходному сигналу или по фильтру 0.7–1.4 Гц. Такой скудный набор регистрируемых фаз объясняется техническими возможностями аппаратуры: повторим, что для записей короткопериодных станций НЕ может быть применен фильтр 0.033–0.069 Гц, а соответственно, не идет речь о выделении поверхностных волн  $LR$  и  $LQ$ , а также ряда вторичных фаз типа  $SS$ ,  $SSS$ ,  $PPP$  и др.

Сейсмические фазы на записях региональных землетрясений. Выделение сейсмических фаз региональных событий (до 20° включительно) относительно проще, чем для телесейсмических, даже в случае широкополосных станций. Это связано с тем, что на близких расстояниях не успевают образовываться вторичные фазы, и на записях региональных событий регистрируются только первые вступления продольных (под названием  $Pn$ ) и поперечных ( $Sn$ ) волн. Они хорошо выделяются либо по исходному сигналу, либо по фильтрам 0.7–1.4 Гц или 1.5–3 Гц. Причем, исходя из практического опыта интерпретаторов записей Архангельской сети станций, можно отметить, что  $Pn$  лучше выделяется при фильтрации 1.5–3 Гц, а  $Sn$  – 0.7–1.4 Гц. Как было указано в п. 3.1 данного параграфа, разница во времени прихода волн  $Pn$  и  $Sn$  на записи составляет менее четырех минут.

Фазы поверхностных волн от региональных землетрясений ( $Rg$  – поверхностная волна Релея,  $Lg$  – коровая каналовая волна).

Если землетрясение произошло на эпицентральной расстоянии от 18° до 20°, то обработчик имеет право выставить фазы из набора для «обычного» события, т.е.  $P$ ,  $S$ ,  $LR$ ,  $LQ$ . Это связано с очень малой разницей во временах пробега на этих расстояниях для волн из набора фаз регионального и телесейсмического событий.

### **Для практического освоения вышеописанных операций выполните упражнения 3 и 4 (см. блок упражнений – раздел III)**

#### **3.3 Ведение журнала станции при просмотре записей, заполнение каталога ССД**

Для каждой сейсмической станции Архангельской сети в обрабатывающем центре заведен свой *журнал регистрации*, который находится непосредственно у обработчика данной станции. Он представляет собой тетрадь, в которую вносится вся информация по сейсмическим записям. Страница журнала-тетради разделен на пять колонок (рис. 36):

- Дата регистрации событий (чч.мм.гг);
- Время начала регистрации сейсмического события (чч:мм:сс);
- Время окончания регистрации сейсмического события (чч:мм:сс). Используется в редких случаях, например, при регистрации какой-либо наводки или сбоя в работе станции;
- Комментарий. Данная колонка является основной, поскольку в нее вписываются все сейсмические события, зарегистрированные на записях станции;
- Примечание. Здесь проставляется отметка об обработанных событиях (крайняя правая узкая колонка, в которую вносится обозначение «Обр» напротив обработанного землетрясения).

Заполнение журнала станции идет при просмотре ее записей и последующей обработке выявленных событий. Фиксируется дата, время и дается комментарий для всех

событий, наблюдаемых на записи (рис. 36). Дата фиксируется однократно при начале суточного участка записи.

ДАТА	ВРЕМЯ НАЧАЛА	ВРЕМЯ ОКОНЧАНИЯ	КОММЕНТАРИЙ		ДАТА	ВРЕМЯ НАЧАЛА	ВРЕМЯ ОКОНЧАНИЯ	КОММЕНТАРИЙ	
22.01.10	00:51:12		S, LR	событие		08:20:14		событие	ср
	01:43:24		PKR, LR	событие		16:07:42		событие	ср
	02:26:47		нов. волна	событие		17:13:46		событие	ср
	04:08:53		LR	событие		18:52:46		колебание	
	04:42:57		колебание			21:57:53		PKR, LR, LR	событие
	06:57:46			событие		23:06:50		событие	ср
	10:58:48			событие		23:19:22		событие	ср
	11:04:25			событие					
	18:19:42		колебание						
	19:07:47		LINK		26.01.10	07:05:07		событие	ср
	20:24:49		колебание			07:34:52	07:50:25	сбоя	
								18:25-08:20 сбоя на станциях	
23.01.10	02:12:37		LINK						
	05:08:42		LINK		27.01.10	16:34:21		событие	ср
	06:44:49		LINK			17:55:21		PP, S, LR	ср
	08:22:09		LR	событие		19:01:01		PP, LR	ср
	14:15:58		LINK			19:12:35		событие	ср
	14:56:50		колебание			20:47:23		событие	ср
	16:13:56			событие		20:51:54		событие	ср
	19:02:43		колебание						
	20:35:50		событие	ср					
24.01.10	01:15:18		LR	событие	28.01.10	04:14:01		событие	ср
	02:45:04			событие		04:15:41		событие	ср
	06:33:26		нет в ссд			08:22:26		PKR, PP	ср
	07:10:28		колебание			08:32:52		колебание	
	07:28:05			событие		08:23:32		событие	ср
	13:23:26		LR	ср		10:07:47		колебание	ср
	14:31:24		нет в ссд			12:12:00		колебание	
	18:34:01		PKR, LR	ср		13:55:00			
	18:45:30		PKR, LR	ср	29.01.10	00:02:43		событие	ср
	22:55:24		PP, LR	ср		03:38:48		PKR, LR	ср
25.01.10	06:00:50	колебание	NORSAR	ср		14:42:52		PKR, LR	ср
	07:25:27		LR	ср		21:06:21		только PP	ср
				ср		22:35:41		событие	ср

Рисунок 36 – Страница журнала сейсмической станции KLM

Как упоминалось выше, рутинный просмотр записей станций сети идет с использованием данных каталога ССД ГС РАН, а при необходимости – каталога NORSAR. При этом используется функция автоматической расстановки фаз. Найденные телесеismicкие землетрясения, после фиксирования их даты и времени, обозначаются в графе «Комментарий» как «событие». Если при просмотре явно видно, что на записях присутствует не только первое вступление, но и вторичные фазы, то запись «событие» подчеркивается, и рядом в той же графе «Комментарий» прописываются названия вторичных фаз, выявленные с помощью автоматической расстановки фаз (записываются для того, чтобы при последующей обработке не пришлось вторично прибегать к автоматической расстановке фаз). Если событие является региональным, строка со временем его регистрации выделяется голубым маркером, и в случае наличия более чем одной фазы – тоже подчеркивается.

Также в графу журнала «Комментарий» вносятся сведения о:

- сбоях в работе станции, с указанием времени начала и окончания;
- регистрации взрывов в близлежащих карьерах, с указанием времени первого вступления взрывной волны;
- арктических землетрясениях, зафиксированных по данным каталога NORSAR, с пометкой «Событие NORSAR», при необходимости с указанием времени вступления первой видимой фазы (иногда на записях фиксируются только поперечные волны или только поверхностные);
- комментарии о наводках, мешающих нормальной регистрации каналов, с указанием их начала и окончания;
- комментарии о сильных помехах, с указанием начала и окончания;

- отмечается присутствие импульсных микроколебаний (далее ИМК), особенно, если они наблюдаются группами;
- комментируются колебания неизвестной природы на исходном сигнале или на фильтре, с указанием времени начала на записи.

В общем случае вклад в разнообразие сейсмических сигналов на сейсмозаписях вносят техногенная и антропогенная нагрузка территории и прилегающих к ней районов, особенности их геологического строения и тектонических процессов, а также удачность выбора места для сейсмической станции и корректность работы ее оборудования. Под воздействием этих и иных факторов на записях станций появляются как явные шумовые помехи, так и сигналы, которые можно интерпретировать как локальные сейсмические события тектонической или техногенной природы.

Для Архангельской сети станций проводились работы по изучению групп различных сейсмических сигналов на записях, результаты которых используются при рутинной обработке записей. Ниже представлены в схематично-сравнительной форме (табл. 6) и в виде краткой описательной характеристики некоторые наблюдаемые типы локальных сейсмических событий, проиллюстрированные наиболее характерными примерами (рис. 37). В процессе систематизации, чтобы присвоить им условные названия, были использованы внешние особенности сейсмических сигналов.

Сейсмическое событие 1 типа, называемое «ПОМЕХА» (рис. 37а).

Представляет собой серию «ромбовидных» пакетов длиной менее минуты, образованных совокупностью мелких, очень плотно идущих импульсов изменяющейся амплитуды. Зафиксировано на станции «Пермогорье» в апреле–мае 2007 г., а также несколько раз замечено на записях станции «Пермилово». Предполагается антропогенная природа сигнала, возможно, его источником является транспорт типа дорожно-ремонтного, причем, скорее всего, гусеничный (экскаватор, тяжелый трактор).

Сейсмическое событие 2 типа, называемое «ИМК» – импульсное микроколебание (рис. 37б). Характеризуется преимущественно четким началом, значительной амплитудой и выраженным, чаще всего экспоненциальным, затуханием. По внешнему виду на записи было подразделено на 3 типа. Встречается нередко, вне зависимости от времени суток, причем интенсификацию появления на записях в ряде случаев (на станциях «Климовская» и «Тамица») удалось связать с резким перепадом температуры воздуха в зимние периоды года [9]. На сегодняшний день классифицировано как характерное проявление микросейсмичности, спровоцированное изменением внешних условий – в частности, метеорологических в виде перепада температур. Установление закономерностей появления и тщательный анализ характеристик этого типа событий продолжают в настоящее время.

Сейсмическое событие 3 типа, называемое «Совокупность ИМК 1 рода» (рис. 37в).

На записи выглядит как серия довольно густо идущих ИМК-подобных колебаний разной амплитуды и неравномерной чередуемости. Для отдельных групп колебаний в серии иногда заметна слабо выраженная длиннопериодная огибающая по амплитуде. Встречается достаточно часто, не имеет четкое распределение по времени, однако можно отметить наличие тенденции к появлению в дневное время. С большой долей вероятности имеет антропогенное происхождение. Впрочем, нельзя отрицать и того, что это событие может быть проявлением тектонических процессов, связанных с трещиноватостью геологической среды и провоцируемых каким-то фактором, не исключено, что метеорологическим. Т.о., события данного типа могут являться более общим случаем событий 2 типа.

Сейсмическое событие 4 типа, называемое «Совокупность ИМК 2 рода» (рис. 37г).

Внешне похоже на предыдущее событие, но импульсы в серии идут с практически равномерными интервалами величиной от 5 до 25 с, а их амплитуды образуют выраженную длиннопериодную огибающую. Фиксируется не очень часто, в основном на записях станции «Пермогорье». Возможно наличие тесной связи с событиями 3 типа



(а также 2). Должно иметь антропогенную природу, на это четко указывает равномерность интервалов между импульсами в серии.

Сейсмическое событие типа 5 типа, называемое «Наводка» (рис. 37д).

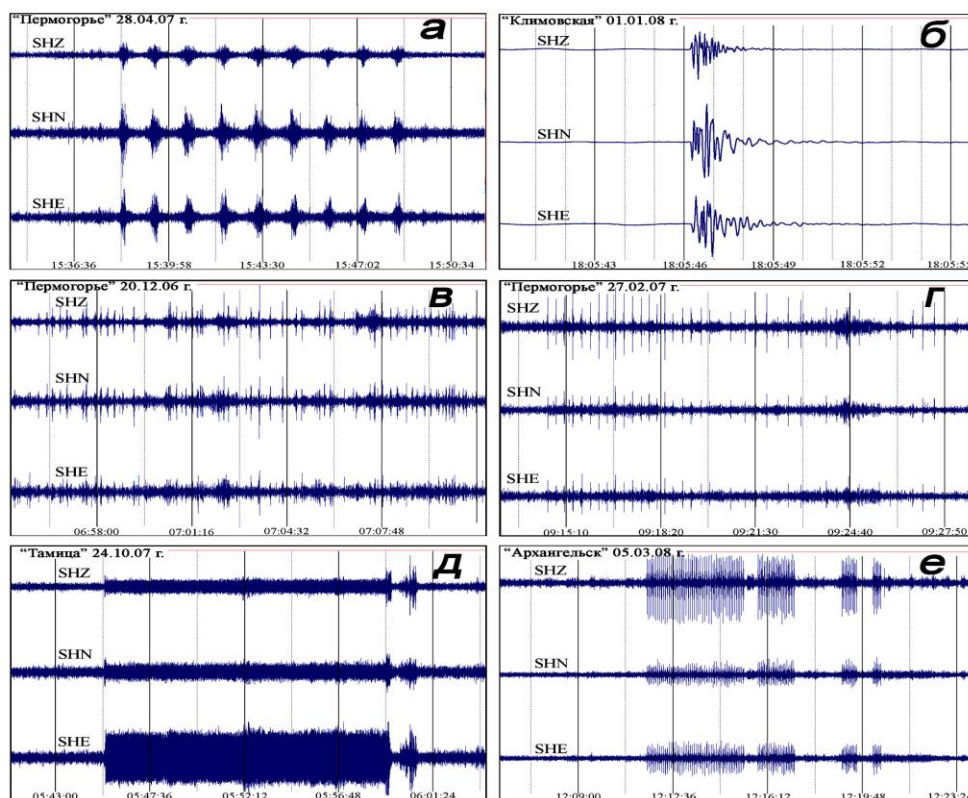
Таблица 6 – Характеристики основных типов локальных сейсмических событий, зафиксированных на записях станций Архангельской сети

Тип Параметр		1	2	3	4	5	6
Условное название		ПОМЕХА	ИМК	Совокупность ИМК 1 рода	Совокупность ИМК 2 рода	Наводка	Сваи
Наблюдается на станции		PRG, PRM	ARH, KLM, PRG, TMC, PRM, LSH, SLV	ARH, KLM, PRG, PRM, SLV	PRG	KLM, PRG, TMC	ARH, TMC
Характерное время появления		дневное	любое	чаще дневное	дневное	рабочее	рабочее
Периодичность появления		очень редко	возможна связь с метео факторами	часто	иногда	1-7 раз в день в рабочие дни	в период работ
Длительность на записи	одного элемента	35-50 с.	от 1 до 8 с.*	1-3 с.	0.5-2 с.	от 5 мин. до 2,5 ч.	~1 с.
	интервала	30-50 с.	-	0.5-20 с., неравномерные	5-25 с., почти равномерные	-	~0.5 с.; 1 с.
	серии	от 10 до 25 мин.	-	от 10 мин. до 1.5 ч.	от 5 до 50 мин.	-	от 1 до 13 мин.
Особенности вступления и затухания	одного элемента	почти симметричны	четкое вступление и плавное затухание, часто по экспоненте	довольно резкое начало и экспоненц. затухание	плавные начало и затухание	резкие начало и остановка	плавные начало и затухание
	серии	четкие начало и остановка		начало и остановка выражены неярко	легко заметны начало и остановка		резкие начало и остановка
Каналы с max амплитудой сигнала		гориз.	в зависимости и от типа ИМК	гориз. в отдельных случаях	вертик. в отдельных случаях	гориз.	вертик. в отдельных случаях
Основной частотный диапазон, Гц		10-17	от 2 до 15	7-17	5-14	4-5	2-9, 10-14
Особенности движения частиц и поляризации		слабо выражена эллиптич. поляриз.	нет	слабо выражена эллиптич. поляриз.	слабо выражена эллиптич. поляриз.	эллиптическая поляризация	эллиптич. поляриз.
Природа сигнала		антроп.	тектон.	неопр.	антроп.	техн.	техн.

\* Типизация ИМК по длительности, внешнему виду и спектральному составу дана в работе [9].

Выглядит как резкое повышение амплитуды сигнала и последующее ее постоянство в течение некоторого промежутка времени, которое затем резко прекращается. В спектрах записей проявляется в виде выраженных монохроматических пиков, иногда сопровождаясь второй и даже третьей гармониками в диапазоне высших частот. При этом наводка с частотой 4.89 Гц наблюдается на трех станциях («Тамица», «Климовская», «Пермогорье»), а наводки меньших частот – специфические для каждой из этих станций (4.24 Гц для «Тамицы», 4.53 Гц для «Пермогорья» и 4.40 Гц для

«Климовской»). В ходе исследований была установлена техногенная природа сигнала – его источником является работа лесопильного оборудования (асинхронного двигателя пильной рамы Р-63), расположенного на расстоянии нескольких километров от сейсмостанции. По сообщениям воронежских сейсмологов, аналогичные сигналы на сейсмозаписях они получали от работы мотора водокачки, который, по-видимому, также был асинхронным двигателем.



а – ПОМЕХА, б – ИМК, в – совокупность ИМК 1 рода,  
г – совокупность ИМК 2 рода, д – наводка, е – забивание свай

Рисунок 37 – Типы локальных сейсмических событий  
на записях станций Архангельской сейсмической сети

Сейсмическое событие 6 типа, называемое «Свай» (рис. 37е)

Представляет собой интенсивный шумовой сигнал из тесной совокупности импульсов практически одинаковой амплитуды, зафиксированный на записях сейсмостанции «Тамица» в августе 2006 г. Природу его удалось идентифицировать благодаря полученным сведениям о проведении сваебойных работ при строительстве вышки-передатчика компанией «МТС» вблизи (~0.5 км) от сейсмостанции. Аналогичные помехи периодически фиксируются и на записях сейсмостанции «Архангельск», расположенной в черте города, где в последние годы активизировалось проведение строительных работ. Также отмечены на записях станции «Соловки».

Все эти типы локальных событий подлежат фиксированию в журналах станций в случае присутствия на записях.

Во время анализа записи сейсмической станции важным элементом просмотра является заполнение специального *каталога зарегистрированных событий*, создаваемого на базе данных каталога Службы срочных донесений ГС РАН. Ведение журнала регистрации и заполнение каталога ССД (рис. 38) следует производить синхронно.

Каталог зарегистрированных станциями сети событий, для краткости именуемый обычно каталог ССД, представляет собой набор распечатанных листов формата А4, помещенный в специальные папки (одна для широкополосных станций, вторая – для короткопериодных). Каждый лист содержит таблицу, в левой части которой находится

информация о землетрясениях, скачанная с электронного ресурса Геофизической Службы РАН (дата, время в очаге, широта, долгота, глубина, магнитуды  $m_s$  и  $m_b$ , интенсивность, название региона). В правой части листа расположена сетка с пустыми ячейками, предназначенными для заполнения их обработчиками соответствующих станций. В ЯЧЕЙКИ ВПИСЫВАЮТСЯ ВРЕМЕНА РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ПРИНИМАЮЩИХ СТАНЦИЯХ. Они НЕ должны совпадать со временем в очаге. Если станция не записала данного землетрясения, соответствующая ячейка просто не заполняется. В случае, если зарегистрированное землетрясение оказалось по эпицентральному расстоянию региональным хотя бы для одной станции сети, ВСЮ содержащую его строку в таблице следует выделить маркером голубого цвета.

Листы каталога ССД пронумерованы в соответствии с порядком их распечатывания, при этом заполнение таблицы на каждом листе идет в направлении снизу вверх. Сортировка землетрясений идет по дате и времени.

N	date [GMT]	date [GMT]	lat	lon	depth	$m_s$	$m_b$	$M_0$	region name	TMC	PRG	KLM	PRM	ARH	LSK	SLV
1	31 дек 09	17:42:21.7	-19.49	-177.98	450	-	5.3/13	-	Западнее островов Тонга		18:01:07	18:00:28	18:00:36		18:00:32	
2	31 дек 09	14:44:06.9	1.17	126.68	33	-	4.8/11	3-3.5	Север Молуккского моря							
3	31 дек 09	12:22:25.4	19.45	122.96	33	-	5.1/14	3.5-4	Р-н Филиппинских островов		12:37:15	12:35:18	12:33:11		12:33:19	
4	31 дек 09	09:57:31.2	27.29	91.6	33	-	5.7/20	5-5.5	Бутан	10:06:22	10:05:09	10:06:01	10:06:14		10:05:57	10:06:30
5	31 дек 09	09:23:27.1	-59.78	-151	33	-	5.3/5	4-4.5	Южно-Тихоокеанское поди.							
6	31 дек 09	09:05:51.4	-7.49	127.94	100	-	5.0/9	-	Море Банда			09:18:53			09:18:56	
7	31 дек 09	06:26:10.0	-2.14	137.42	33	-	5.4/12	4.5	Западный Ириан		06:39:18	06:38:19			06:39:19	
8	31 дек 09	02:17:09.1	-8.96	117.96	33	-	4.8/10	3-3.5	Р-н Сумбавы, Индонезия							
9	30 дек 09	18:48:57.0	32.56	-115.23	10	5.9/19	5.9/18	8-8.5	Нижняя Калифорния	19:01:15	19:01:33	19:01:20	19:01:16	19:01:13	19:01:12	19:01:02
10	30 дек 09	11:37:58.3	6.42	126.41	33	-	4.9/10	3-3.5	Минданао, Филиппины						11:50:01	
11	30 дек 09	11:23:50.4	6.5	126.47	40	-	5.1/9	3.5	Минданао, Филиппины			11:36:04			11:35:53	
12	30 дек 09	11:17:48.5	6.38	126.12	40	-	5.9/20	5-5.5	Минданао, Филиппины	11:30:13	11:29:55	11:30:02	11:30:05		11:29:52	11:30:12
13	30 дек 09	10:59:09.2	-2.48	140.4	33	-	5.0/11	3.5-4	Сев. поб. Западного Ириана							
14	30 дек 09	07:48:53.0	10.52	125.27	130	-	5.4/20	2.5	Лейте, Филиппины	08:00:45	08:00:25	08:00:51	08:00:58		08:00:25	08:00:48
15	30 дек 09	05:33:49.8	55.6	-159.37	33	-	4.9/12	3-3.5	Полуостров Аляска	05:49:53	05:44:04	05:44:06	05:43:52		05:43:46	
16	29 дек 09	23:37:23.3	40.69	47.02	10	-	3.9/4	2.5-3	Восточный Кавказ							
17	29 дек 09	23:12:17.2	52.01	-171.32	60	-	5.1/15	2.5-3	Лисы острова, Алеуты			23:22:35	23:22:46		23:22:14	
18	29 дек 09	22:35:26.9	9.87	126.27	60	-	5.2/12	3-3.5	Минданао, Филиппины	22:47:34	22:49:12	22:47:19	22:47:15		22:47:11	22:47:35
19	29 дек 09	22:14:30.8	9.93	126.46	60	-	5.4/15	3.5-4	Минданао, Филиппины	22:26:32	22:26:17	22:26:30	22:26:31	22:26:31	22:26:16	22:26:40
20	29 дек 09	19:23:03.2	41.96	142.17	70	-	5.3/16	3-3.5	Район Хоккайдо, Япония	19:32:54	19:32:39	19:32:54	19:32:46		19:32:24	19:32:53
21	29 дек 09	15:50:23.5	11.02	-86.46	33	-	4.9/4	3-3.5	Побережье Никарагуа							
22	29 дек 09	13:33:18.1	34.83	72.85	33	-	4.5/6	2-2.5	Пакистан							
23	29 дек 09	11:47:59.9	39.92	20.71	10	-	4.2/8	3.5	Греция - Албания							
24	29 дек 09	11:47:31.6	-36.52	-72.74	20	-	5.0/6	4-4.5	Поб. в Центрального Чили		12:06:43	12:06:33				
25	29 дек 09	11:08:55.0	32.73	15.04	10	-	4.9/13	5-5.5	Побережье Ливии		11:15:48	11:15:21	11:15:43		11:16:10	
26	29 дек 09	10:07:58.7	-12.61	166.56	80	-	5.0/3	2-2.5	Острова Санта-Крус							
27	29 дек 09	09:30:19.1	39.46	73.01	60	-	3.9/3	-	Таджикистан - Синцзян							
28	29 дек 09	09:01:53.4	24.36	94.91	120	-	5.4/16	2.5-3	Мьянма - Индия	09:11:06	09:10:32	09:10:49	09:10:52		09:10:45	09:11:13
29	29 дек 09	08:06:14.2	4.3	127.86	130	-	5.0/11	-	Острова Талауд, Индонезия		08:19:08	08:19:11				
30	29 дек 09	05:12:30.2	-5.08	152.18	70	-	5.5/5	3.5-4	Район Новой Британии							
31	29 дек 09	04:29:51.4	-33.77	56.55	20	-	5.0/11	4-4.5	Юго-Западно-Индийский хр.							

Рисунок 38 – Регистрационный лист каталога ССД ГС РАН

### 3.4 Анализ качества сейсмических записей

Анализ качества записи предполагает выявление интерпретатором тех или иных сбоев в работе станции или отдельного канала. Сделать это можно при тщательном визуальном просмотре записи или при помощи построения спектров во вкладке «ПОС». Обычно сигналом наличия того или иного сбоя служит резкое изменение характера просматриваемой записи, или ее необычный, непривычный вид. Все сбои, обнаруженные на записи, в обязательном порядке заносятся в журнал регистрации станции, для анализа и организации дальнейших работ по устранению неполадок, а также для информирования об отсутствии корректных данных станции за определенный период в случае возникновения необходимости просмотра ее старых записей в связи с теми или иными обстоятельствами. Информация о наличии и характере сбоев на станции без промедления должна доводиться до сведения инженеров обрабатывающего центра.

Существует множество типов неисправностей и их причин. Одним из наиболее распространенных сбоев записей для цифровых станций зарубежного производства является перезагрузка станции, длительность этого процесса составляет примерно три минуты, на записях всех каналов происходит разрыв данных. Остальные неисправности не являются типовыми, особенно для отечественной аппаратуры, и определять их



необходимо в каждом конкретном случае по внешнему виду исходного сигнала и по спектрам. На рисунке 39 приведены примеры записи отдельного канала при сбое в работе станции.

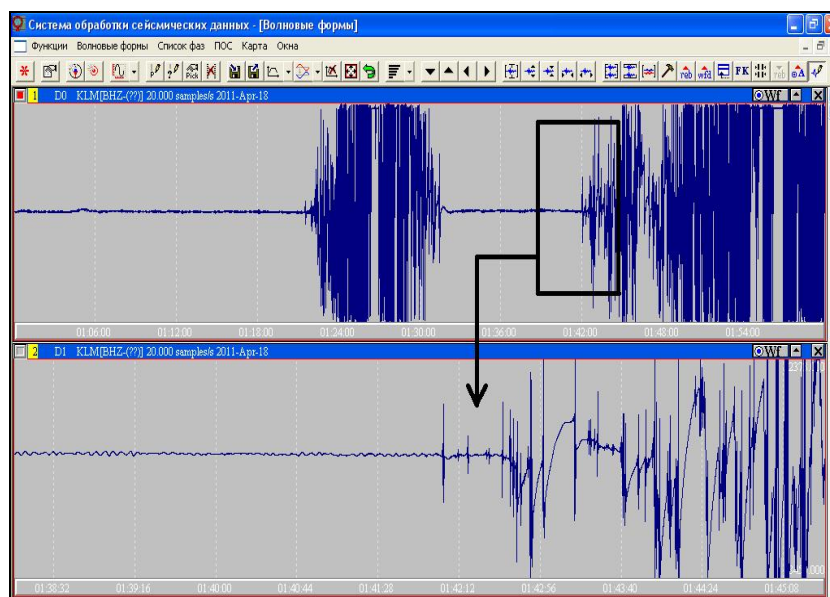


Рисунок 39 – Пример сбоя Z-канала на сейсмической станции «Климовская»

Наиболее сложной для анализа является ситуация, когда запись в «сжатом» состоянии (например, длительность записи в окне один час) выглядит более или менее нормально (рис. 40). В подобном случае необходимо «растягивать» запись до тех пор, пока не станет понятным уровень качества записи. Для уточнения рекомендуется построить спектр для участка бракованной или подозрительной записи (рис. 40). В данном примере спектр можно проинтерпретировать двояко: линейные пики на спектре свидетельствуют либо о воздействии генераторных установок, либо о неисправности датчика. Но поскольку визуальный просмотр записи однозначно дает информацию о плохом состоянии аппаратуры, то результат анализа спектра – неисправность датчика.

Рассмотренный случай не является единственно возможным. На практике встречаются ситуации, когда запись выглядит нормально, а спектр явно свидетельствует о нарушении работы станции. Или наоборот, спектр казалось бы, имеет нормальный вид, а сама запись не пригодна для выделения на ней сейсмических событий. При анализе качества записи важен комплексный подход к интерпретации данных.

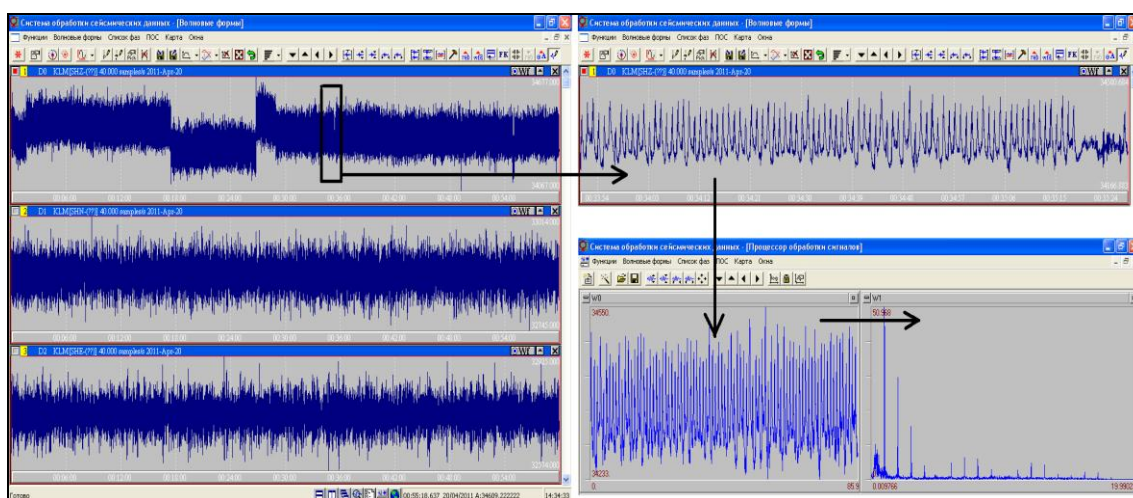


Рисунок 40 – Пример подробного анализа сейсмической записи с целью выявления факта неисправности канала


## § 4. Порядок обработки телесеismicических землетрясений на записях станций Архангельской сети

Порядок обработки разделяется на два основных этапа: просмотр записей с ведением журнала станции и заполнением каталога ССД ГС РАН (раздел II, § 3) и обработку отдельных событий с сохранением в электронную базу данных WSG. Просмотрев записи за декаду месяца, приступайте к обработке отдельных событий.

### 4.1 Обработка события по широкополосным каналам сейсмической станции

При обработке отдельных событий (землетрясений) на широкополосной станции необходимо соблюдать такую последовательность действий:

1) Загрузите 3 канала (*Z*, *N*, *E*). Пропустите через фильтр 0.7–1.4 Гц и, убедившись, что событие присутствует на записях, начинайте обработку.

2) Нажмите кнопку «Начать обработку нового землетрясения» . В диалоговом окне введите комментарий, который будет присвоен данному событию. Комментарий должен быть в формате: дата (дд.мм.гг), пробел, время (чч:мм) регистрации события на станции, пробел, трехбуквенный код станции. Например «01.01.10 12:00 klm». В случае, если событие является региональным, то необходимо отметить это в конце комментария добавлением пометки «рег.» и (желательно) указанием сокращенного названия региона, например, «12.12.05 14:57 tms reg Касп море». Разделителем в таком удлиненном комментарии также является пробел.

Нажмите «Ок». ПОСЛЕ ТОГО, КАК КОММЕНТАРИЙ БЫЛ СОЗДАН, ВСЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПОЛУЧЕННАЯ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ, ЗАПИШЕТСЯ В БАЗУ ДАННЫХ ПОД ЭТИМ КОММЕНТАРИЕМ. Поэтому будьте внимательны в ходе обработки, особенно при дальнейшей работе с автоматической расстановкой фаз. Как было указано в пункте 3.2, ни в коем случае нельзя вводить данные о параметрах гипоцентра в одноименном диалоговом окне во вкладке «Карта».

3) Выставление фаз на записи землетрясения: определите время первого вступления, воспользуйтесь подсказкой о наличии вторичных фаз в журнале станции (если такие отметки были сделаны ранее), выставьте фазы поверхностных волн *LR* и *LQ*. При отметке фазы необходимо указывать ее параметры в открывающемся окне «Отметить фазу» (рис. 41).

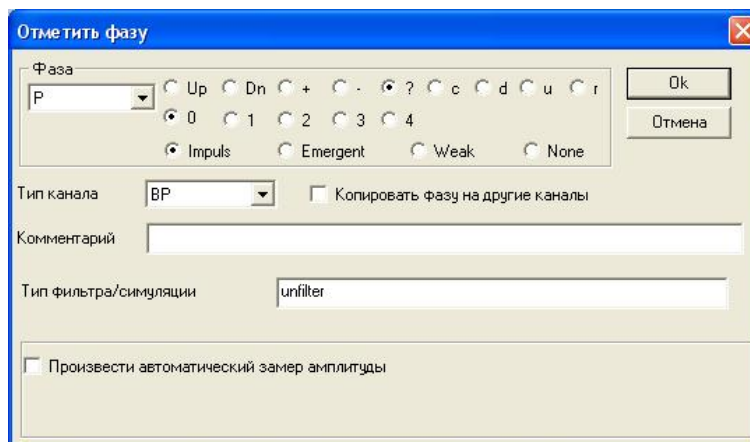


Рисунок 41 – Диалоговое окно «Отметить фазу»

– Укажите название выставяемой фазы, выбрав нужное из выпадающего окна с перечнем названий (перечень названий должен быть настроен при установке программы WSG через меню «Функции» → «Установки» → «Рабочие параметры» → «Активный

набор фаз» как «Полный» и содержать все возможные названия фаз от локальных до телесейсмических, а также вспомогательные типа  $I$ ,  $E$  и т.д. В случае, если по каким-то причинам в окне «Отметить фазу» предлагается не этот набор фаз, повторите вышеуказанные настройки или проверьте используемый годограф. Это же относится и к использованию опции «Автоматическая расстановка фаз» при возникновении аналогичных проблем с подключаемым набором фаз).

– Затем необходимо указать данные в поле «Тип канала». Если фаза выставляется по исходному сигналу широкополосной аппаратуры, выберите код  $BP$ ; если по фильтру  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  –  $SP$ ; при использовании фильтрации  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  –  $LP$ ; код  $MP$  не используется для аппаратуры станций Архангельской сейсмической сети. Для записей короткопериодной станции тип канала ВСЕГДА будет  $SP$ . Обратите внимание, что тип текущей фильтрации, на которой вы выставляете фазу, прописан в нижней строке «Тип фильтра/симуляции».

– Укажите в верхней строке с набором символов «Up Dn + - ? s d u r» знак вступления  $P$ -волны по  $Z$ -компоненте, если он есть – **ЗНАК ПЕРВОГО ДВИЖЕНИЯ ОТМЕЧАЕТСЯ ТОЛЬКО ДЛЯ ПЕРВОГО ВСТУПЛЕНИЯ И ТОЛЬКО В СЛУЧАЕ ВЫСТАВЛЕНИЯ ФАЗЫ ПО НЕФИЛЬТРОВАННОМУ СИГНАЛУ**. Для этого в верхней строке поставьте отметку «с» (при движении вверх линии волновых форм), «d» (при движении вниз линии волновых форм) или «?» (при отсутствии выраженного первого движения линии волновых форм). Остальные символы в строке являются дублирующими и не используются при обработке станций Архангельской сети. В случае, если знак указать нельзя (фаза выставляется по фильтру), по умолчанию следует оставить отметку «?».

– Не забудьте для  $P$ -волны поставить отметку в поле «Копировать фазу на другие каналы», если вступление на трех каналах одновременное и возможно указать знаки первого вступления по горизонтальным компонентам на исходном сигнале. Чтобы указать верные знаки для вступлений на горизонтальных каналах, после завершения работы с окном отметки фазы надо будет перейти на вкладку «Список фаз», встать курсором на строку с нужной фазой, двойным щелчком мыши вызвать аналогичное окно «Редактирование фазы» и проставить нужный символ. В случае, если вступление несинхронное и нельзя указать знаки для горизонтальных компонент, копирование  $P$ -волны на горизонтальные каналы не производится.  $S$ -фаза копируется тогда, когда  $P$ -волна выставлена только по  $Z$ -каналу. Для остальных вторичных фаз данная функция применяется в тех случаях, если фазу видно не только на выставляемом, но и на других каналах;

– В третьей строке с набором символов следует указать четкость вступления волны (это относится к любой фазе). *Impuls* – вступление четкое, импульсное, однозначно определяемое, при этом фаза выставляется по синему сигналу; *Emergent* – фаза уверенно выделяется по фильтру  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ , но нет четкого вступления на исходном сигнале; *Weak* – вступление выделяется слабо по фильтру  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  или фаза выставляется по фильтру  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  (например,  $S$ -волна); *None* – используется только для расстановки фаз поверхностных волн, так как они имеют наименее четкое вступление из всех фаз. По умолчанию обычно предлагается вариант *Impuls*, соответственно не забывайте изменять его надлежащим образом.

– Вторая строка, содержащая цифры от 0 до 4, кодирует т.н. вес фазы, т.е. отражает то, насколько интерпретатор доверяет вступлению фазы, насколько уверенно он ее выделяет. 0 – «говорит» о 100 % уверенности обработчика в знаке первого движения, используется только в случае наличия знака первого движения  $P$ -фазы (вверх или вниз); 1 – соответствует 80 % вероятности присутствия фазы именно в этом месте записи, используется при выставлении фаз по фильтру  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$  и нечетком первом движении; 2 – 60 %, так же как и 1 используется при применении фильтрации  $0.7\text{--}1.4\text{ Гц}$ ; 3 – соответствует 40 %, применяется в случае фильтрации  $0.033\text{--}0.069\text{ Гц}$  для слабого

вступления вторичных фаз; 4 – 20 %, используется обычно для вступлений поверхностных волн ( $LR$ ,  $LQ$ ). По умолчанию вес фазы стоит нулевой.

Чтобы каждый раз не слишком долго анализировать ситуацию с присвоением фазе четкости, процента доверия и знака первого движения, можно применять ряд сочетаний, запомнив их (табл. 7).

Таблица 7 – Присвоение знака и четкости вступлений фаз

Сочетание	Применение
<i>Impuls</i> – 0 – <i>c</i> (или <i>d</i> )	Для <i>P</i> -волны при выставлении по исходному сигналу
<i>Emergent</i> – 1 (или 2) – ?	Для фаз, выставленных по фильтру 0.7-1.4 Гц
<i>Weak</i> – 3 – ?	Для фаз, выставленных по фильтру 0.033-0.069 Гц и неуверенно выделяемых на фильтре 0.7-1.4 Гц
<i>None</i> – 4 – ?	Для поверхностных волн Релея и Лява


Все выставленные на записи фазы будут автоматически прописаны со всеми параметрами во вкладке «Список фаз». Редактирование параметров фаз осуществляется переходом в эту вкладку и вызовом соответствующего окна двойным щелчком мыши по строке с нужной фазой.

Если в обработке применялась автоматическая расстановка фаз, то эти фазы в списке будут отмечены квадратиком серого цвета слева от названия. В случае использования опции автоматической расстановки фаз нужно обязательно отредактировать выставленные таким образом вступления в списке фаз, поскольку им приписываются параметры по умолчанию, не соответствующие действительности.

4) Если на записях удалось выделить вторичные фазы или поверхностные волны, следует рассчитать эпицентральное расстояние. В меню «Функции» выберите пункт «Оценка расстояния до эпицентра». Расчет следует производить по первому вступлению ( $P$ ,  $Pdiff$ ,  $PKPdf$ ) и вторичной фазе  $S$ . Если фаза  $S$  отсутствует на записи, замер расстояния можно сделать по вторичной фазе  $PP$  (особенно актуально в случаях далеких землетрясений в комбинации с  $PKPdf$ ). В некоторых случаях для предварительной оценки удастся корректно произвести оценку расстояния по фазам  $P$  и  $LRM$  (максимум волны Релея).

РАССТОЯНИЕ И ВРЕМЯ В ОЧАГЕ СЧИТАЕТСЯ КОРРЕКТНЫМ, ЕСЛИ ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ПРЕДПОЛАГАЕМОГО ЭПИЦЕНТРАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ НЕ ПРЕВЫШАЕТ 3°, А РАЗНИЦА СО ВРЕМЕНЕМ В ОЧАГЕ ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА ССД ГС РАН СОСТАВЛЯЕТ НЕ БОЛЕЕ 10 СЕКУНД.

5) Далее необходимо провести динамические замеры для имеющихся объемных и поверхностных волн, а при известном эпицентральном расстоянии рассчитать и магнитуды землетрясения по этим волнам.

– Для динамических замеров в  $P$ -волне откадрируйте первое вступление надлежащим образом и установите на записи фильтр 0.6–1.9 Гц 2 порядка без нулевой фазы. Выделите интервал, в который попадет максимум амплитуды фильтра (но не длиннее чем 20 секунд от отметки начала  $P$ -фазы). Нажмите кнопку «Расчет периода и амплитуды» , программа автоматически выберет интервал с максимумом  $A/T$ , произведет замеры и выдаст их результаты в специальном диалоговом окне (рис. 42), а также интервальными отметками покажет на волновой форме, в каком конкретно интервале он был сделан.

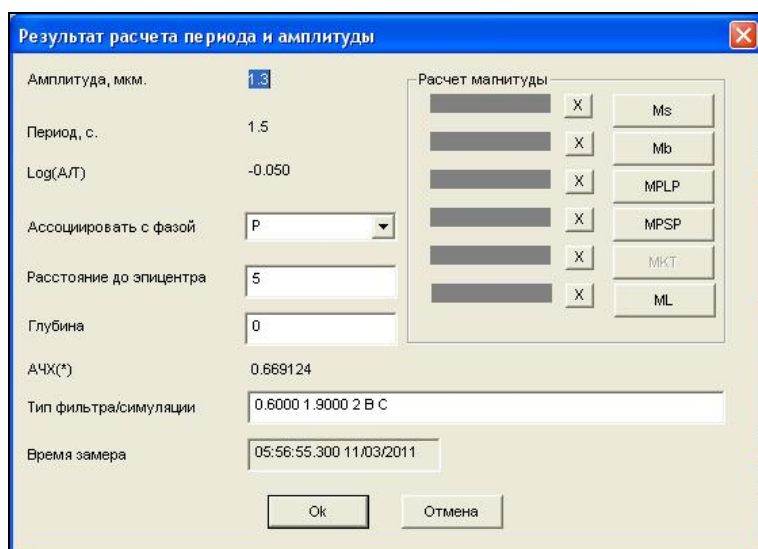


Рисунок 42 – Диалоговое окно «Результат расчета периода и амплитуды»

Обратите внимание на указанный интервал и цифры в замерах: **ВНИМАТЕЛЬНО СЛЕДИТЕ ЗА ТЕМ, ЧТОБЫ НАЧАЛО АВТОМАТИЧЕСКИ ВЫБРАННОГО ИНТЕРВАЛА НЕ ОПЕРЕЖАЛО ПЕРВОЕ ВСТУПЛЕНИЕ, А ПЕРИОД НАХОДИЛСЯ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 0.5 ДО 1.5 СЕКУНД (ДЛЯ СТАНЦИИ «КЛИМОВСКАЯ» ДО 2 СЕКУНД)**. В случае, если вас не устраивает выбранный программой интервал (в связи с неоднозначностью автоматического выбора интервала замеров, нужно сравнивать период, указанный в диалоговом окне «Результат расчета амплитуды и периода», с истинным, измеренным интервальными отметками. Если значения сильно отличаются, в указанном программой месте самостоятельно выбрать интервал замеров между точками пересечения записи с нулевой линией – в этом случае получаются наиболее устойчивые замеры) или рассчитанные значения, выделите другой интервал и повторите расчеты нажатием той же кнопки.

Далее, в диалоговом окне необходимо ассоциировать замеры с той фазой, по которой проводятся замеры. В данном случае (рис. 42) – с *P*-фазой. Если ранее было рассчитано эпицентральное расстояние, то его следует ввести в соответствующую строку, затем добавить в соответствующем поле глубину из каталога ССД ГС РАН и рассчитать магнитуду по объемным волнам *MPSP* нажатием кнопки «*MPSP*». Значение магнитуды появится в соответствующем окошке. Разница с магнитудой *mb* из каталога ССД ГС РАН может составлять  $\pm 1$ , что является нормальным из-за различной методики их определения. После нажатия кнопки «*Ok*» все рассчитанные параметры автоматически появятся в списке фаз. Проверьте их там еще раз.

– Динамические замеры в максимуме поверхностной волны Релея *LR* производятся по фильтру 0.01–0.1 Гц 2 порядка без нулевой фазы, порядок их проведения аналогичен замерам в объемной волне. Интервал для замеров максимума волны выбирается либо по исходному сигналу, либо, в случае недостаточно четких колебаний, можно воспользоваться фильтром для просмотра 0.033–0.069 Гц, а уже затем переключиться


на фильтр для измерений 0.01–0.1 Гц. После выбора интервала нажмите кнопку , сверьте полученный в диалоговом окне период в соответствии с нижеприведенной таблицей 8. Ассоциируйте замер с *LR*-фазой, если вас все устраивает, или повторите процесс замеров с другим интервалом.



Таблица 8 – Зависимость среднего периода  $T_{ср\text{ед}}$  в максимуме волны Релея ( $LRM$ ) от эпицентрального расстояния

$\Delta, ^\circ$	$T_{ср\text{ед}}$ в $LRM$ , сек
1	3–5
2	4–6
4	5–7
6	5–8
8	6–9
10	7–10
15	8–12
20	9–14
30	10–16
40	12–18
60	14–20
80	16–22
100	16–25
>140	18–25


Если известно точное эпицентральное расстояние, рассчитайте магнитуду  $M_s$ : укажите расстояние в нужном поле, введите глубину из каталога ССД ГС РАН, нажмите кнопку расчета магнитуды  $M_s$ . Нажатием кнопки «Ok» завершите процесс динамических замеров, проверьте их наличие в списке фаз.

– Если событие является очень сильным, т.е.  $P$ -фаза уверенно выделена по исходному сигналу и имеет направления первого движения на всех трех компонентах, то необходимо произвести замер дополнительной магнитуды  $MPLP$ . Для этого сначала на  $Z$ -канале рядом с  $P$ -фазой поставьте фиктивную фазу  $tx$ . Она необходима для того, чтобы приписать к ней еще одни замеры для  $P$ -фазы, поскольку к последней уже приписаны замеры для магнитуды  $MPSP$ . Поскольку фаза является фиктивной, для нее не нужно выставлять такие параметры, как тип канала, четкость вступления, вес фазы (% доверия), ее копирование на горизонтальные каналы также не требуется. Далее, для замеров установите фильтр  $0.04\text{--}2\text{ Гц}$  2 порядка без нулевой фазы. Сделайте замер в максимуме фильтрованной записи, который и необходимо ассоциировать с фиктивной фазой  $tx$ . Обычная величина периода составляет до 10 секунд. Рассчитайте магнитуду  $MPLP$  после введения эпицентрального расстояния и глубины нажатием соответствующей кнопки, завершите весь процесс нажатием кнопки «Ok».

б) При обработке события может возникнуть ситуация, когда обработчик на записи землетрясения видит явное вступление вторичной фазы, но идентифицировать ее с помощью годографа ему никак не удастся, несмотря на максимально возможную скидку на приход фазы раньше или позже расчетного времени. Аналогично, при рутинном просмотре сейсмической записи может встретиться колебание, с очень большой степенью вероятности похожее на вступление волн от землетрясения, но по данным каталогов ССД и NORSAR в это время на записи ничего не должно быть. Такие ситуации могут быть обусловлены как схожестью шумовых колебаний с реальными вступлениями сейсмических волн, так и тем, что данные об афтершоковых толчках или землетрясениях небольшой магнитуды просто не попали в соответствующие каталоги. В последнем случае обработчик, будучи НА 100 % УВЕРЕН В ТОМ, что наблюдаемое колебание является вступлением сейсмической волны, ИМЕЕТ ПРАВО указать его как некую вспомогательную фазу под названием *Unk*, *E* или *I* в списке фаз обрабатываемого землетрясения, присвоив необходимые параметры при выставлении. Название *Unk* (unknown – «неизвестный») обычно используется для отдельного вступления, наблюдаемого на записи (при этом в комментарии этого обрабатываемого события следует добавить пометку «нет в ССД», и произвести динамические замеры как для обычного первого вступления; эта же пометка необходима и в журнале станции).

Названия *I* и *E* обычно используются для «побочных» вторичных фаз в землетрясениях, данные о которых содержатся в каталогах.

7) После того как выставлены все возможные фазы, проведены динамические замеры и рассчитаны магнитуды, перейдите из окна «Волновые формы» в окно «Список фаз». Во-первых, НЕОБХОДИМО УДАЛИТЬ ОТМЕТКУ *S*-ФАЗЫ НА *Z*-КАНАЛЕ, ДАЖЕ ЕСЛИ ПО НЕЙ РАССЧИТАНО ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ. Во-вторых, еще раз проверьте всю записанную там информацию, т.к. именно она и будет помещена в базу данных. Если что-то нуждается в исправлениях, вызовите окно редактирования фаз и внесите их, либо произведите заново (например, неправильно ассоциированные замеры). Слева от названия фаз в окошечках проставьте «галочки», проверьте, чтобы не было серых окошек, отмечающих автоматически расставленные фазы (ПРИМЕЧАНИЕ: программа не дает проставить «галочки» на фиктивные и автоматические фазы). После

проверки нажмите кнопку  «Загрузить список фаз в базу данных». Выберите комментарий, созданный в начале обработки и соответствующий обработанному землетрясению, нажмите «Ok». Информация успешно записана в базу данных WSG.

8) Чтобы начать обработку следующего события, очистите список фаз с помощью одноименной функции в выпадающем меню «Список фаз». Удалите активные окна во вкладке «Волновые формы» перед загрузкой новых.


Если на записях удалось выделить только первое вступление (*P*-фазу), то процедура обработки существенно упрощается. В подобном случае остается только выставить фазу на *Z*-канале по фильтру 0.7–1.4 Гц и сделать динамический замер по фильтру 0.6–1.9 Гц (без расчета магнитуды *MPSP*) и сохранить список фаз в базу данных.

Перед окончательным сохранением события в базу данных полезным бывает проверить параметры его гипоцентра (выпадающее меню «Список фаз» → «Параметры гипоцентра»). Здесь следует обратить внимание на то, чтобы в соответствующих полях НЕ были указаны широта и долгота из каталога ССД, затем, чтобы не содержались глубина и время в очаге, если в итоге обработки после ряда попыток все-таки не были определены эпицентральное расстояние и магнитуда (в противном случае следует воспользоваться кнопкой «Очистить»). Также, здесь нужно проверить, чтобы комментарий соответствовал обработанному событию и не содержал ошибок. Если они обнаружены, то их следует исправить в этом же окне, нажать «Ok» и после этого сохранить все событие – в базе данных сохранится событие с исправленным комментарием. Вообще, любые исправления комментария можно сделать именно через меню «Список фаз» → «Параметры гипоцентра», сохраняя затем это же событие в базе данных еще раз.

#### 4.2 Обработка события по короткопериодным каналам сейсмической станции

При обработке отдельных событий (землетрясений) по данным короткопериодной станции необходимо соблюдать следующую последовательность действий:

1) Загрузите 3 канала (*Z*, *N*, *E*). Пропустите через фильтр 0.7–1.4 Гц и, убедившись, что событие присутствует на записях, начинайте обработку.

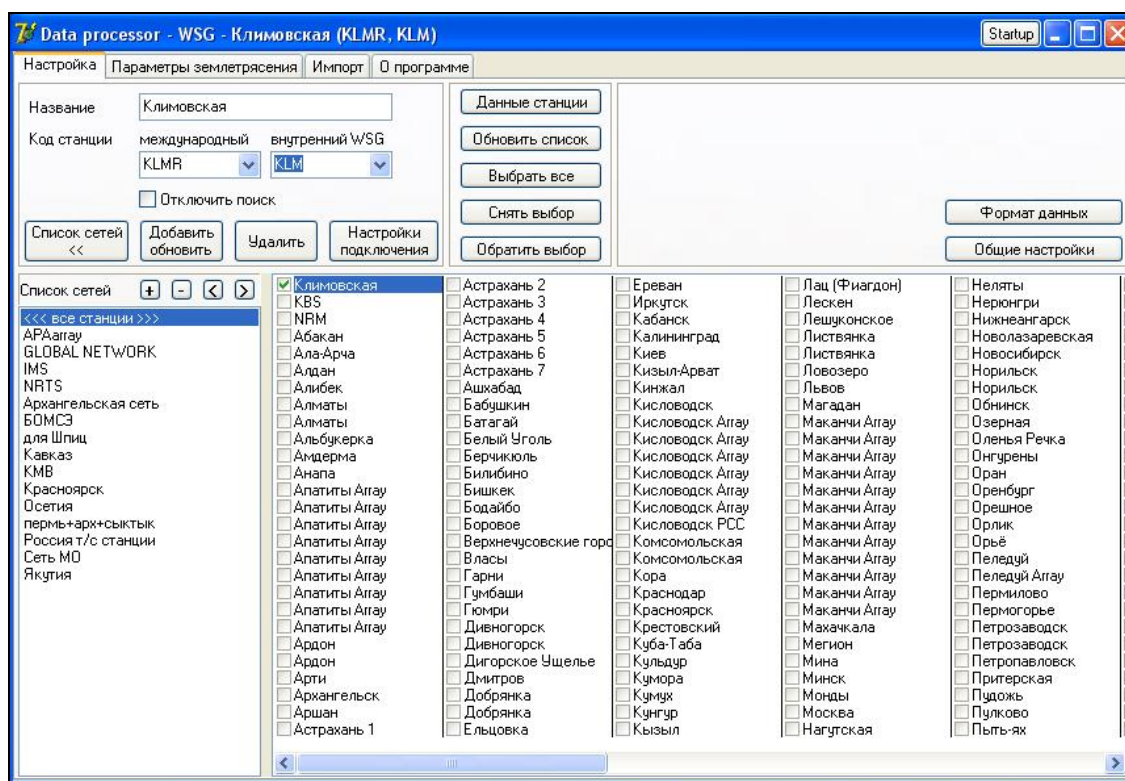
2) Нажмите кнопку «Начать обработку нового землетрясения» . В диалоговом окне введите комментарий, который будет присвоен данному событию. Комментарий должен быть в формате дата, время регистрации события на станции, код станции. Разделитель «пробел». Например «01.01.10 12:00 klm». В случае, если событие является региональным, то необходимо это отметить в конце комментария, например, «12.12.05 14:57 tmc рег Касп море».

3) Расставьте фазы землетрясения. Определите время первого вступления, воспользуйтесь подсказкой о наличии вторичных фаз в журнале станции (если такие отметки были сделаны ранее). ПОМНИТЕ, ЧТО НА КОРОТКОПЕРИОДНЫХ СТАНЦИЯХ ФАЗЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НЕ ВЫСТАВЛЯЮТСЯ, А ФИЛЬТР 0.033–0.069 ГЦ НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ!

4) Рассчитайте эпицентральное расстояние, если на записях удалось выделить вторичные фазы.

б) Перейдите в «Список фаз», проверьте выставленные фазы и корректность замеров, сохраните список фаз в базу данных (не забудьте удалить отметку *S*-фазы на *Z*-канале, если таковая была сделана).

Формирование ежедекадного бюллетеня предназначено для отправки информации по обработке в центр ГС РАН в г. Обнинск. Для начала работы запустите утилиту DP (п. 2.2).



2) Вернитесь на вкладку «Параметры землетрясения» и нажмите «Просмотр отчета» (рис. 44).

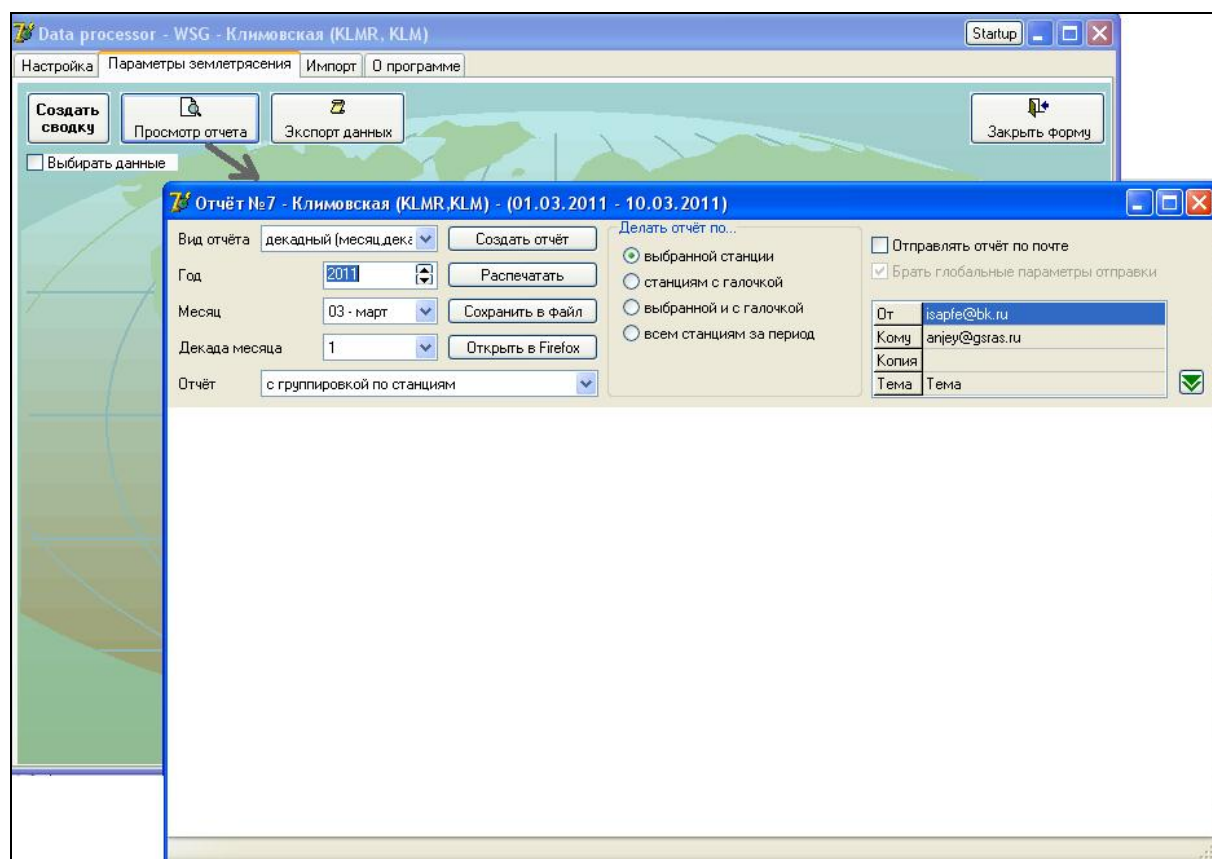


Рисунок 44 – Функция «Просмотр отчета» в программе DP

Введите в появившееся диалоговое окно следующие данные: вид отчета – декадный, соответствующие год, месяц и декаду отчета. Поставьте «галочку» напротив «выбранной станции» в опции «Делать отчет по...». Нажатием кнопки «Создать отчет» запустите процесс создания декадного отчета из базы обработанных событий.

3) Появившийся на экране отчет необходимо просмотреть и проверить на наличие ошибок (в комментариях, во временах динамических замеров, в указании типа канала, веса и др. параметров фаз и т. д.), а затем сохранить в файле \*.html с помощью кнопки «Сохранить в файл». В случае обнаружения ошибок в обработке, следует выписать комментарии содержащих их событий, вернуться в WSG, переобработать ошибочные события, поочередно загружая их из базы, а затем запустить DP еще раз. В случае же, если отчет не содержит ошибок, указываем для его сохранения путь к ранее созданной на компьютере папке. Данные в ней будут храниться временно, до перемещения в архив. В имени создаваемого файла следует указать № декады, месяц, год, код станции. Например: «1 январь 2011 klm.html». Нажать кнопку «Открыть», затем «Готово». Закрыть окно отчета, саму программу DP при этом не закрывать;

4) Далее следует открыть временную папку, в которую был сохранен html-файл. Открыть его в текстовом редакторе Microsoft Word («открыть с помощью» и выбрать название редактора). Еще раз проверить ошибки. Затем: Файл → Сохранить как \*.doc с тем же именем, что и html-файл. Закрыть документ Microsoft Word.

5) Возвращаемся в DP. Запускаем кнопку «Экспорт данных» (рис. 45).

В появившемся окне «Параметры» нужно указать: экспортировать данные по выбранной станции, дату старта (ПЕРВЫЙ день декады), дату окончания (ПОСЛЕДНИЙ день декады), директорию (путь к Вашей временной папке) и нажать «Ок» (остальные параметры в окне остаются по умолчанию). После того, как программа сформировала

файл с экспортными данными обработки из базы (с расширением wse) и сообщила об этом, еще раз нажмите «Ok». Работа по формированию декадного станционного бюллетеня в программе DP закончена.

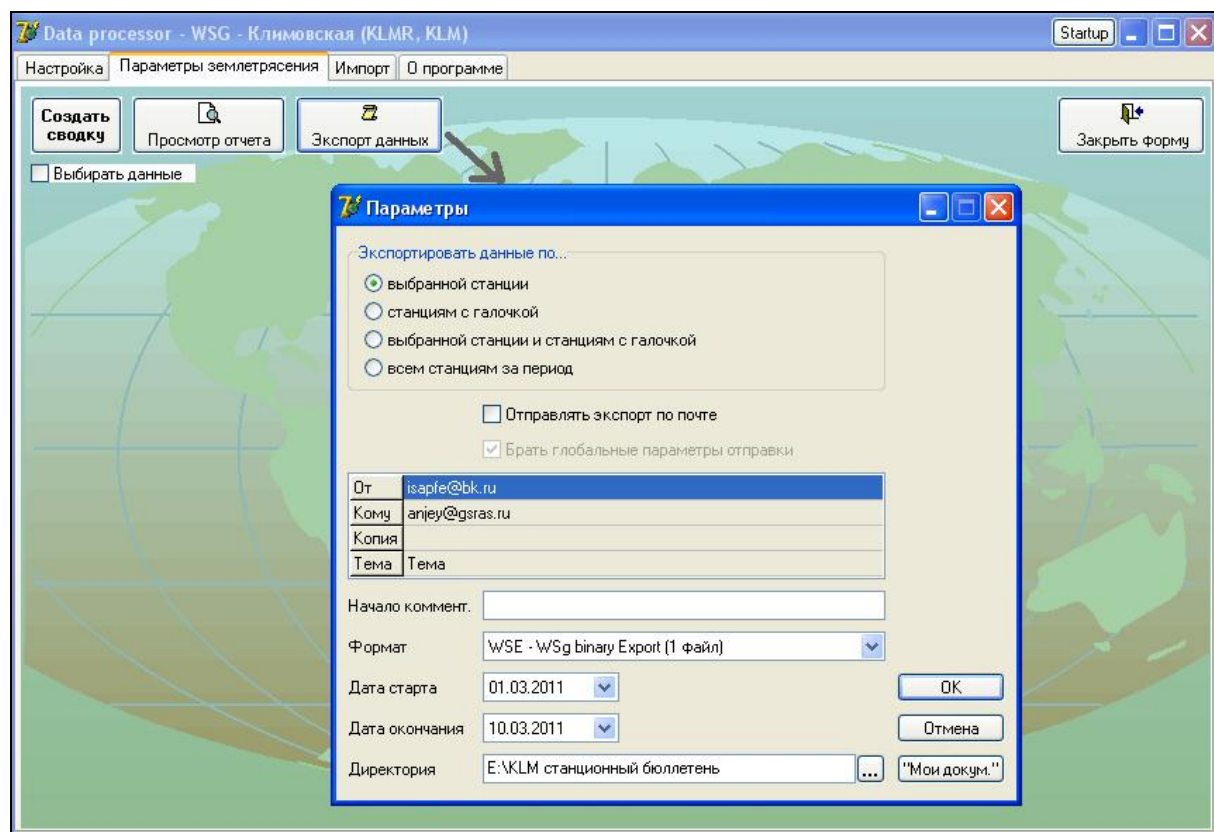


Рисунок 45 – Функция «Экспорт данных» в программе DP

б) Теперь нужно вернуться к временной папке и создать архив из двух файлов: \*.doc и \*.wse. Переименуйте этот архив согласно образцу «3 март 2010 tmc» (т. Е. номер декады, месяц, год и код станции). Все четыре созданных документа (\*.html, \*.doc, \*.wse, \*.rar) следует поместить в архивную папку «Архив Export KLM (TMC, PRG)». Во временной папке, после помещения всех документов в архив, файлы можно удалить.

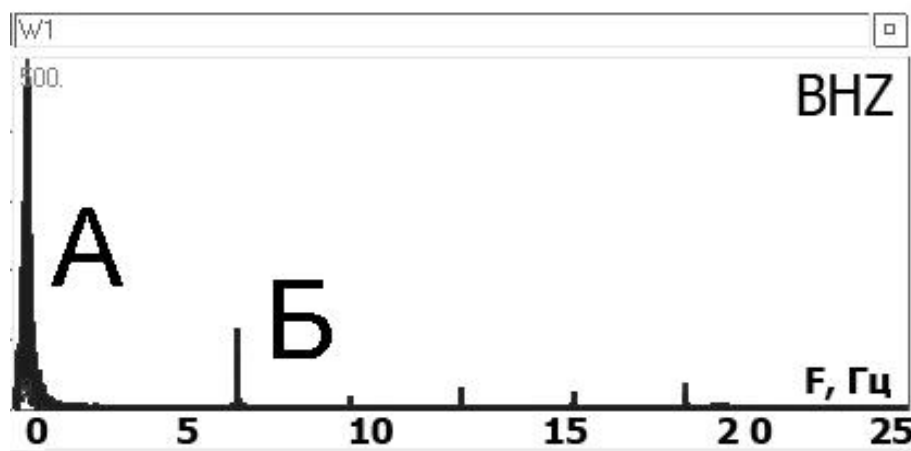
7) Наконец, заархивированный файл \*.rar отправляется в обрабатывающий центр ГС РАН г. Обнинска по электронной почте.

СТАНЦИОННЫЕ БЮЛЛЕТЕНИ СОЗДАЮТСЯ И ОТПРАВЛЯЮТСЯ В Г. ОБНИНСК ТОЛЬКО ПО ТРЕМ СТАНЦИЯМ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕТИ – КЛИМОВСКАЯ (KLM), ТАМИЦА (TMC) И ПЕРМОГОРЬЕ (PRG).

### III. Контрольные вопросы и упражнения

#### Контрольные вопросы

1. Назовите три основные области планеты Земля в соответствии с моделью Гутенберга-Буллена и проранжируйте их: а) по величине; б) по количеству слоев.
2. Расставьте внутренние границы Земли в порядке перехода от центра к поверхности: граница Мохоровичича, граница Леман, граница Гутенберга, граница 4980 км.
3. Какой тип объемных волн и почему не наблюдается в жидкой среде? О какой части Земли был получен вывод на основании этого факта?
4. Какая из поверхностных волн от землетрясения –  $LR$  или  $LQ$  – приходит раньше на записывающую сейсмическую станцию? Почему?
5. Опишите путь внутри Земли (см. Приложение 1) сейсмических волн под названием: а)  $PcP$  б)  $SKP$  в)  $sPKiKP$ .
6. Какими процессами обусловлено затухание реальных сейсмических волн при распространении внутри Земли?
7. Чем различаются понятия очаг, эпицентр и гипоцентр землетрясения?
8. Даны землетрясения со следующими параметрами: а)  $\Delta=25^\circ$ ,  $h=60$  км; б)  $\Delta=19^\circ$ ,  $h=5$  км; в)  $\Delta=56^\circ$ ,  $h=150$  км; г)  $\Delta=120^\circ$ ,  $h=450$  км. Классифицируйте их по эпицентральному расстоянию и глубине.
9. Какова максимальная наблюдаемая глубина тектонических землетрясений? Кем были открыты глубокофокусные землетрясения?
10. Какими экзогенными источниками могут быть обусловлены спектральные пики А и Б в спектре записи, показанном на этом рисунке?





## Упражнение 1

Дан список временных отрезков сейсмических записей станций Архангельской сети. В соответствии с таблицей, загрузите волновые формы, наложите фильтр и разместите фильтрованный и исходный сигналы таким образом, чтобы на экране было удобно анализировать и выделять события. В случаях нескольких станций разместите все окна в пределах экрана.

СПИСОК ВРЕМЕННЫХ ОТРЕЗКОВ

№	Сейсмическая станция	Дата_время начала записи	Длительность записи, мин	Фильтр	Перемещение по записи
1	KLM (все ВН каналы)	01.01.2010 00:00:00	30	0.7–1.4 Гц	на 1 час назад, затем еще на 3 часа вперед
2	KLM (BHZ) LSH (BHZ) PRG (SHZ)	15.04.2008 02:30:00	90	1.5–3 Гц	до 15.04.2008 00:00:00
3	KLM (BHZ, BHN) LSH (BHZ, BHN)	01.06.2010 00:00:00	60	0.033–0.069 Гц	до 03.06.2010 00:00:00
4	PRM (SHZ) SLV (SHZ) TMC (SHZ)	15.02.2010 00:00:00	60	0.7–1.4 Гц	до 17.02.2010 00:00:00
5	KLM (BHZ) LSH (BHZ) TMC (SHZ) PRG (SHZ)	01.05.2007 00:00:00	60	1.5–3 Гц	до 02.05.2010 00:00:00



## Упражнение 2

Дан список телесейсмических региональных событий, зарегистрированных с/с «Климовская» (KLM).

### СПИСОК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 1

№	Дата время	Широта, °	Долгота, °	Глубина, км	Ms	mb	Регион
1	05.05.2010 16:29:03.2	–3.91	101.20	33	6.6	6.1	Суматра
2	16.06.2010 03:16:29.1	–2.24	136.56	33	7.0	6.6	Р-н Западного Ириана
3	08.11.2009 19:41:44.7	–8.15	118.57	33	6.4	6.3	Сумбава, Индонезия
4	07.09.2009 22:41:34.9	42.63	43.33	10	6.1	6.1	Грузия
5	05.03.2010 16:07:00.7	–3.60	100.99	33	6.7	6.2	Суматра
6	12.01.2010 21:53:07.9	18.43	–72.55	10	7.1	6.9	Гаити
7	09.11.2009 10:44:54.3	–17.17	178.36	591	–	6.6	Фиджи
8	07.10.2009 22:03:12.3	–12.96	166.45	33	7.8	6.6	О-ва Вануату
9	20.08.2009 06:35:04.3	72.25	1.32	10	6.0	6.2	Норвежское море
10	13.10.2009 05:37:23.3	52.76	–167.02	33	6.2	6.3	Лисьи острова, Алеуты
11	21.02.2008 02:46:16.1	77.05	18.39	10	6.1	6.1	Район Шпицбергена
12	25.10.2009 17:47:50.2	29.6	63.85	144	4.5	5.7	Пакистан
13	24.10.2009 14:40:41.2	–6.09	130.37	119	–	6.8	Море Банда
14	12.09.2009 20:06:26.8	10.77	–67.99	32	6.3	6.4	Венесуэла
15	07.05.2008 08:00:19.4	45.42	30.87	10	4.6	5.1	Укр-Молдова-Ю-З Россия
16	19.03.2009 18:17:39.4	–23.00	–174.7	33	7.5	7.0	Тонга
17	16.10.2009 09:52:49.2	–6.40	105.24	33	5.7	6.1	Индонезия
18	28.09.2008 22:20:20.0	71.35	–4.06	10	4.9	5.4	Район острова Ян-Майен
19	14.06.2009 05:58:42.5	5.41	126.37	39	5.6	6.0	Минданао, Филиппины
20	15.07.2009 09:22:30.8	–45.71	166.65	33	7.5	6.9	Новая Зеландия

Для каждого землетрясения выполните следующие операции: загрузите волновые формы записи (широкополосные каналы, если нет данных широкополосных каналов, то используйте короткопериодные), отфильтруйте нужным образом. Определите тип события – телесейсмическое или региональное. Для этого можно воспользоваться вкладкой «Карта», определив расстояние от станции до эпицентра.

### Упражнение 3

Дан список телесейсмических событий, зарегистрированных с/с «Климовская» (KLM), обработка которых содержится в базе данных.

#### СПИСОК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2

№	Дата время	Широта, °	Долгота, °	Глубина, км	Ms	mb	Регион
1	04.10.2009 10:58:00.5	6.72	123.48	600	–	6.6	Минданао, Филиппины
2	09.08.2009 10:55:54.3	33.14	138.18	300	–	6.9	Юго-восточнее Хонсю
3	24.07.2009 03:11:58.8	31.2	86.01	10	–	5.9	Тибет
4	16.02.2009 23:16:39.0	37.48	21.04	10	–	5.6	Южная Греция
5	18.02.2009 21:53:45.2	–27.39	–176.43	33	7.1	6.8	Кермадек
6	07.12.2008 13:36:22.3	26.92	55.86	33	5.0	5.8	Южный Иран
7	06.12.2008 10:55:26.5	–7.38	124.74	410	–	6.2	Море Банда
8	29.10.2008 11:32:42.6	30.68	67.66	15	6.5	6.4	Пакистан
9	19.10.2008 05:10:33.5	–22.01	–173.91	33	7.0	7.1	Тонга
10	28.08.2008 15:22:25.0	0.51	–17.35	10	5.9	6.3	Севернее о-ва Вознесения
11	06.09.2008 05:47:37.6	36.5	70.91	180	–	6.1	Гиндукуш
12	10.09.2008 11:00:34.3	27.01	55.86	15	5.9	6.1	Южный Иран
13	19.07.2008 22:39:53.7	–16.98	–177.39	400	–	6.2	Тонга
14	11.09.2008 00:00:02.9	1.78	127.38	120	7.0	6.4	Хальмахера, Индонезия
15	22.02.2005 02:25:24.2	30.79	56.84	33	6.4	6.5	Иран
16	15.07.2008 03:26:36.8	36.18	27.83	70	–	6.5	Греция
17	30.08.2008 06:54:00.7	–6.08	147.22	33	–	6.5	Восточнее Новой Гвинеи
18	27.05.2010 17:14:46.1	–13.51	166.54	33	7.0	6.6	Вануату
19	25.10.2010 14:42:19.6	–3.49	100.13	20	7.4	6.4	Суматра
20	09.05.2010 05:59:41.1	3.83	96.09	45	7.2	6.9	Суматра

Для каждого землетрясения сделайте следующее: загрузите волновые формы записи, отфильтруйте нужным образом, выведите на экран расставленные фазы из базы данных и внимательно рассмотрите запись обработанного события.

После этого заполните соответствующую строку в следующей таблице (по образцу):

№ события	Название региона и эпицентрального расстояния $\Delta$ , °	Глубина, км	Перечень выставленных фаз	$t_{\text{вступления на записи}} - t_{\text{очага}}$ , мм:сс	Длина события на записи в целом, чч:мм	Длина на записи поверхностных волн (если есть), мм:сс	
						LR	LQ
1	Филиппины, 81.3	600	P, PP, pP, S	09:11	01:06	-	-
2							
....							

#### Упражнение 4

Дан список телесейсмических событий, зарегистрированных с/с «Климовская» (KLM), обработка которых содержится в базе данных.

#### СПИСОК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

№	Дата_время	Широта, °	Долгота, °	Глубина, км	Ms	mb	Регион
1	06.03.2005 05:21:41.2	84.97	98.73	10	6.0	6.1	Севернее Северной Земли
2	05.02.2005 03:34:24.5	15.99	145.95	150	–	6.2	Марианские острова
3	05.02.2005 12:23:14.7	5.37	123.6	500	–	6.6	Минданао
4	14.02.2005 23:38:07.1	41.68	79.34	33	6.2	6.3	Кыргызстан-Синьцзян погр. обл.
5	25.02.2005 23:04:00.9	38.12	72.73	100	–	6.1	Таджикистан
6	17.07.2006 08:19:22.0	–9.25	107.46	10	7.2	6.1	Южнее Явы
7	26.08.2005 18:16:33.0	14.43	52.26	20	6.1	5.6	Восток Аденского залива
8	30.12.2005 18:26:48.6	8.29	–82.05	33	5.6	5.9	Панама-Коста-Рика погран. обл.
9	05.06.2005 08:28:55.0	23.98	–108.55	33	5.2	5.4	Калифорнийский залив
10	18.01.2005 14:09:02.2	42.76	145.08	33	6.0	–	Хоккайдо
11	22.02.2005 02:25:24.2	30.79	56.84	33	6.4	6.5	Иран
12	26.11.2004 02:25:02.0	–3.80	135.23	33	7.1	6.0	Западный Ириан
13	23.12.2004 14:59:06	–50.15	160.56	33	7.9	6.7	Острова Маккуори
14	23.11.2004 02:26:16	40.33	20.57	33	–	5.7	Граница Греции и Албании
15	02.01.2006 06:10:50.5	–61.11	–21.38	20	7.5	-	Юго-запад Атлант. океана
16	16.05.2006 10:39:22.8	–31.67	–179.27	150	7.1	6.8	Р-н островов Кермадек
17	12.12.2006 15:48:05.0	3.63	124.77	250	–	6.2	Море Целебес
18	17.07.2006 08:19:22.0	–9.25	107.46	10	7.2	6.1	Южнее Явы
19	01.12.2006 03:58:19.1	3.41	99.1	200	–	6.2	Северная Суматра
20	29.07.2006 02:03:30.5	–22.06	–179.37	600	–	5.7	Южнее Фиджи

Для каждого землетрясения выполните следующие действия: загрузите волновые формы записи, отфильтруйте нужным образом, расставьте автоматически фазы из набора телесейсмических фаз, задав параметры землетрясения. После этого выведите на экран фазы из базы обработанных данных, внимательно проанализируйте обработку события, сопоставьте выставленные на записи и расставленные автоматически фазы.

Затем заполните соответствующую строку в следующей таблице (по образцу):

№	Регион и эпиц. расстояние $\Delta, ^\circ$	Глубина, км	$t_{\text{записи}} - t_{\text{очага}}, \text{мм:сс}$	Фазы			
				Название фазы	Время вступления выставленной фазы, чч:мм:сс и канал, на котором она вступает	Тип фильтрации для фазы: <b>б/ф</b> - без фильтра, <b>1</b> – фильтр 0.7–1.4/3 с нф, <b>2</b> – фильтр 0.033–0.069/3 с нф	Разница по времени начала выставленной на записи фазы и автоматически расставленной по годографу, секунд
1	Севернее Северной Земли, 27.04	10	05:43	<i>P</i>	05:27:24, BHZ	1 и б/ф	1
				<i>S</i>	05:32:02, BHN, BHE	2 и б/ф	0
				<i>LQ</i>	05:35:51, BHN, BHE	2	8
				<i>LR</i>	05:35:49, BHZ	2	122
				...			
...							
				...			

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1981. – 272 с.
2. IASPEI New manual of seismological observatory practice (NMSOP), V.1 / Editor P. Bormann. GeoForschungsZentrum, Potsdam, 2002.
3. Bard, P.-Y., S. Bonnefoy-Claudet, and F. Cotton. 2003. SESAME: Site effects assessment using ambient excitations. Final report, WP08, Nature of noise wavefield. European Commission. July 2003. <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>
4. Функциональные возможности программы WSG. Составители: Пойгина С.Г., Красилов С.А. [Электронный ресурс] – Режим доступа: *C:\Program Files\WSG\DOC\WSG\_ФУНКЦИИ.doc*
5. Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77-84.
6. Геофизическая служба Российской академии наук [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.ceme.gsras.ru](http://www.ceme.gsras.ru)
7. NORSAR [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.norsardata.no/NDC/bulletins/regional/>
8. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / под ред. Н.В.Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн.1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с.
9. Французова В.И., Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Иванова Е.В. Исследование волновых полей высокочастотных микросейсмических шумов, регистрируемых короткопериодной аппаратурой / Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах. Коллектив авторов под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 65-84.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Номенклатура сейсмических волн

#### А. Основные символы

**P** – продольные волны, в основном распространяющиеся в мантии

**S** – поперечные волны, в основном распространяющиеся в мантии

**L** – длиннопериодные поверхностные волны, соответственно **LQ** – Лява и **LR** – Релея

**LRM** – главный максимум волны Рэлея

**c** – символ указывает на отражение от границы между мантией и ядром (core), когда волны падают со стороны мантии

**I** – символ указывает на то, что в лучевой траектории имеется звено волны P, пересекающее внутреннее ядро Земли

**K** – волны P во внешнем ядре (Kernel)

**J** – символ, указывает на то, что часть пути, приходящуюся на внутреннее ядро Земли, сейсмическая волна проходит как волна S

**i** – символ указывает на отражение от границы между внешним и внутренним ядрами (inner core)

**E, Unk** – символы на сейсмограмме, обозначающие моменты вступления объемных волн, четко наблюдающихся на сейсмограмме и не укладывающихся в схему принятого годографа

**pP, sP, pS, sS** – глубинные фазы, т.е. волны, распространяющиеся прямо вверх от гипоцентра как продольные или поперечные, которые отражаются один раз от земной поверхности и приходят на станцию как поперечные или продольные

**P'≡PKP** – продольные волны, прошедшие через ядро (без детальной идентификации)

**P''≡PKIKP** – продольные волны, прошедшие через внешнее ядро, переходную зону от внешнего к внутреннему ядру и внутреннее ядро

**PKHKP** – продольные волны, прошедшие через внешнее ядро и переходную зону

**Pdif** – дифрагированная продольная волна от поверхностного источника, касающаяся земного ядра, появляющаяся на эпицентральных расстояниях начиная примерно со 103°. Pdif приходит приблизительно на четыре минуты ранее, чем более сильная PP. В пределах диапазона расстояний 103-143° лучи P-волн проходят земное ядро, скорость P-волн на границе мантия-ядро равна 13.7 км/с, ниже границы 8.0 км/с. Сейсмические лучи преломляются в ядро, формируя зону тени. "Тень" весьма чувствительна к короткопериодным P-волнам, в то время как длинный период P- и S – волн дифрагирован вокруг изогнутой границы ядро-мантия и может наблюдаться в случае сильных землетрясений как Pdif (Sdif) для расстояний до 150°

**Sdif** – поперечная дифрагированная вдоль границы мантия-ядро (касающаяся земного ядра) волна

**ab** – символ, указывает, что волна прошла через верхнее внешнее ядро

**bc** – символ, указывает, что волна прошла через нижнее внешнее ядро

**ac** – символ, указывает, что волна прошла через внешнее ядро

**df** – символ, указывает, что волна прошла через внутреннее ядро

**PKPdf** – фаза PKIKP, прошедшая внутреннее ядро и прибывающая на станцию первой при эпицентральных расстояниях свыше 114°

#### Б. Волны от удаленных землетрясений

**PP, PP, SS, SSS** – продольные или поперечные волны, один или два (теоретически возможно и три, четыре ...) раза отраженные от земной поверхности



**PS, SP, PPS, SPP, PSPS, PPSS, SPSP...** – объемные волны, изменившие свой тип при отражении от земной поверхности

**PcP, ScS** – продольные или поперечные волны, отраженные от границы земного ядра

**PcS, ScP** – продольные или поперечные волны, тип которых изменился при отражении от земного ядра

**PKKP** – продольные волны, отраженные от границы внутри ядра и поэтому дважды прошедшие через ядро

**PKPPKP (или P'P')** – волны PKP, отраженные от земной поверхности и дважды прошедшие через ядро

**PKiKP** – продольная волна, отраженная от внутренней границы ядра

**SKS** – поперечные волны, прошедшие через ядро как продольные

**SKKS** – поперечные волны, отраженные от поверхности ядра снизу и дважды прошедшие ядро как продольные

**PS, SP, PPS, SPP, PSPS, PPSS, SPSP ...** – объемные волны, изменившие свой тип при отражении от земной поверхности

**SKP** – поперечные волны, превратившиеся в продольные в результате преломления на границе при входе в ядро

**PKS** – продольные волны, превратившиеся в поперечные в процессе преломления на границе ядра при выходе из него

**pP, sP, sPP ...** – волны продольные и поперечные, отраженные от поверхности как продольные

**pS, sS, pSS ...** – волны продольные и поперечные, отраженные от поверхности как поперечные

Этот принцип классификации распространяется на другие последовательности отражений и превращений сейсмических волн (рисунок I; приложение 2).

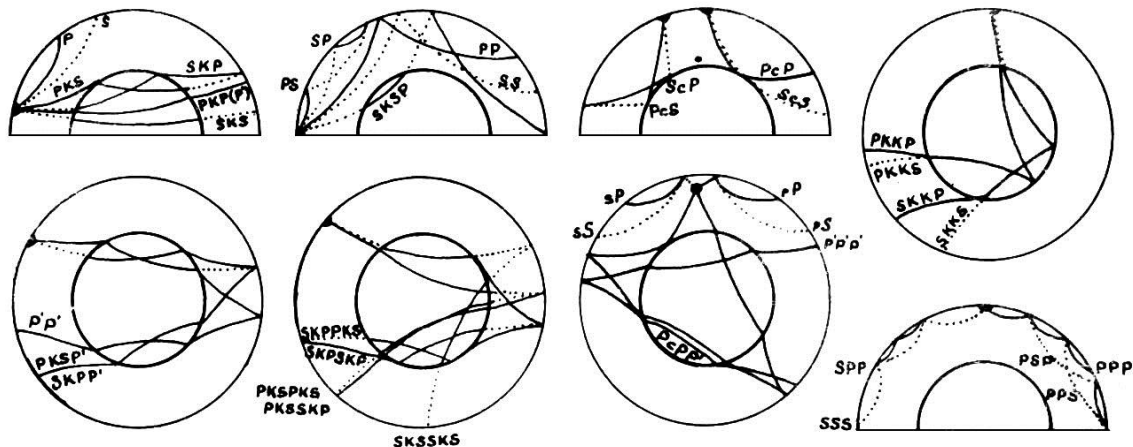


Рисунок I – Пути объемных сейсмических волн внутри Земли

#### В. Волны от местных и близких землетрясений

**Pg, Sg** – прямые продольные и поперечные волны

**Pb, Sb** – волны, дифрагированные на границе между гранитным и базальтовым слоями (граница Конрада), очаг в гранитном слое

**Pn, Sn** – волны, дифрагированные на границе земной коры (граница Мохоровичича), очаг в гранитном слое (рисунок II)

**Rg** – короткопериодная коровая волна Релея

**Lg** – коровые каналовые волны, имеющие характеристики, сходные с характеристиками поверхностных волн и распространяющиеся только по континентальным путям

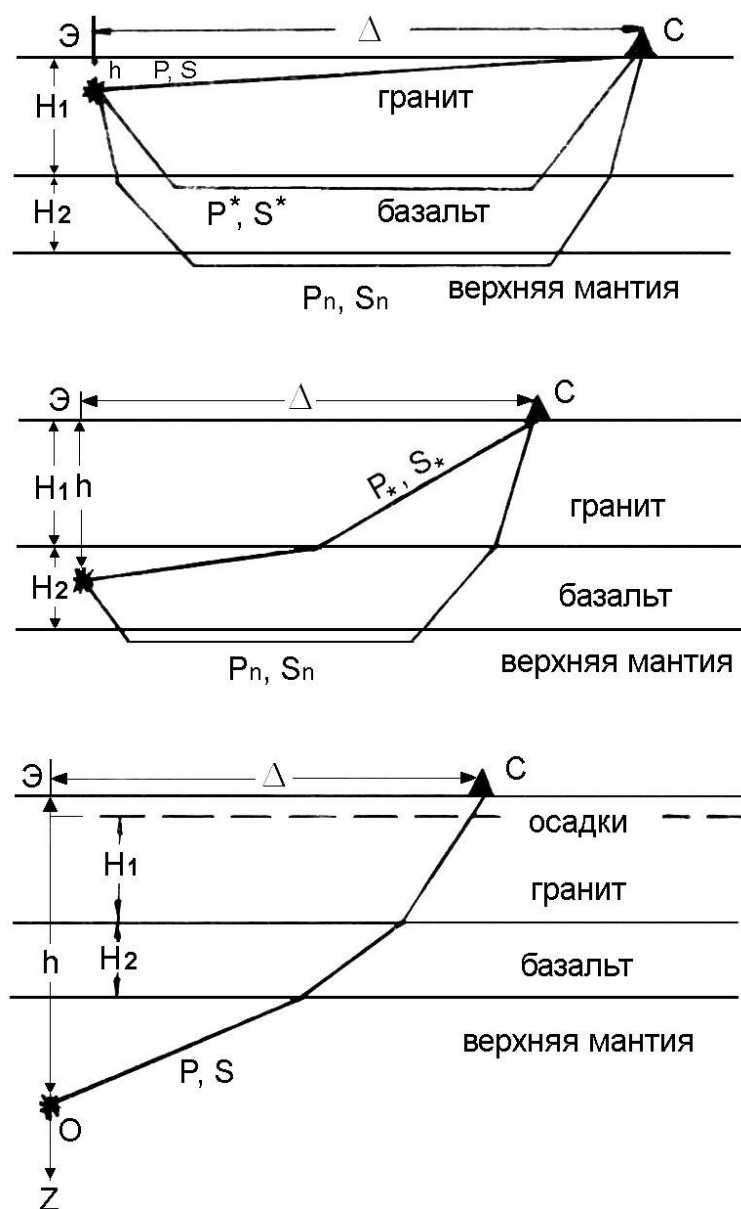


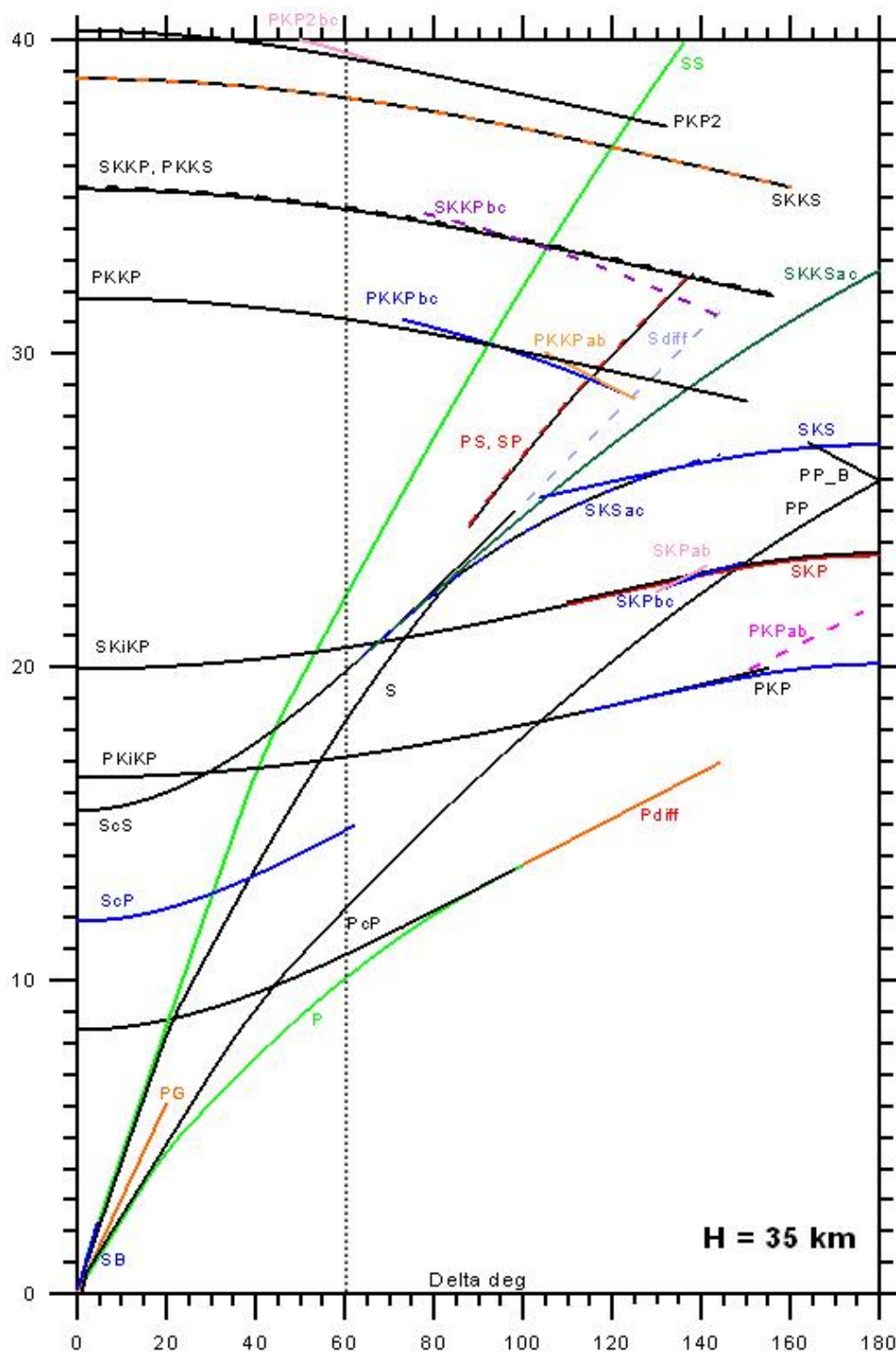
Рисунок II – Схема строения континентальной земной коры и пути распространения продольных и поперечных сейсмических волн при различном положении очага

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Годографы

Пример годографа IASPEI91 для  $h=35$  км. Полный набор графиков см. в рабочей папке лаборатории.

По оси абсцисс отложено эпицентральное расстояние в градусах. По оси ординат – время в минутах. Вертикальная линия пересечения соответствующего эпицентрального расстояния (на рисунке – тонкая штриховая для расстояния  $60^\circ$ ) с отметками фаз дает время вступления указанной фазы на записи, отсчитанное от времени в очаге.



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Список рекомендуемой литературы

1. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1981. – 272 с.
2. Джекобс Дж., Рассел Р., Уилсон Дж. Физика и геология / пер. с англ. – М.: Мир, 1964. – 481 с.
3. Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение / пер. с англ. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 486 с.
4. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.
5. Кириченко Ю. В., Щекина М. В. Наука о Земле: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 238 с.
6. Комплексные исследования по физике Земли (Институту физики Земли – 60 лет) Научное издание. – Отв. ред. акад. М. А. Садовский – М.: Наука, 1989.
7. Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли / В. А. Магницкий; науч. совет Программы фундамент. исслед. Президиума РАН «Изд. тр. выдающихся ученых»; Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. – М.: Наука, 2006. – 390 с. – (Памятники отечественной науки. XX век).
8. Мильничук В. С., Арабаджи М. С. Общая геология: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 333 с.
9. Науки о Земле: Современные проблемы сейсмологии: Сб. тр./Сост. А. В. Лавров. – М.: Вузовская книга, 2001. – 176 с.
10. Поленов Ю. А. Основы геологии: курс лекций / Ю. А. Поленов; Урал. гос. горный ун-т. – 3-е издание. Екатеринбург: УГГУ, 2008. – 227 с.
11. Строение Земли по поверхностным сейсмическим волнам. Сб. статей/ пер. с англ. под ред. Е. Ф. Саваренского - М.: Мир, 1965. – 304 с.
12. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
13. Буллен К.Е. Введение в теоретическую сейсмологию. – М.: Мир, 1966. – 460 с.
14. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К. Микросейсмические наблюдения / Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. – 64 с.
15. IASPEI New manual of seismological observatory practice (NMSOP), V.1 / Editor P. Bormann. GeoForschungsZentrum, Potsdam, 2002.
16. Надежка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Ефременко М.А. Сейсмические волновые процессы в нелинейной и неоднородной континентальной литосфере // Материалы семинаров научно-образовательного центра «Волновые процессы в неоднородных и нелинейных средах» / Отв. ред. А.С. Сидоркин. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. – С. 275-293.
17. Сейсморазведка: Справочник геофизика. В двух книгах/ Под ред. В.П.Номоконова. Книга первая. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 336 с.
18. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т.1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 520 с.
19. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введеие в общую сейсмологию / РАН, Сиб. Отд-ние, Объед. Ин-т геологии, геофизики и минералогии. Научный ред. д.г.-м.н. И.Р. Оболенцева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 301 с.
20. Функциональные возможности программы WSG. Составители: Пойгина С.Г., Красилов С.А. [Электронный ресурс] – Режим доступа: *C:\Program Files\WSG\DOC\WSG\_ФУНКЦИИ.doc*

21. Руководство оператора по обработке сети станций. Составитель: Пойгина С.Г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: *C:\Program Files\WSG\DOC\Обработка\_сети\_станций\_WSG.doc*
22. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн.1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с.
23. Гутенберг Б., Рихтер Ч. Сейсмичность Земли / Ред. Е.Ф. Саваренский. – М., Изд-во иностр. лит., 1948. – 180 с.