



Общероссийский математический портал

Ю. Ф. Шевченко, Организация метрологического обеспечения на Камчатской сети сейсмических станций, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2018, номер 4, 226–234

DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-226-234

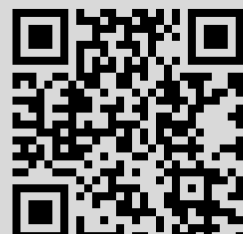
Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.89

16 марта 2025 г., 10:15:45



УДК 550.34

**ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА
КАМЧАТСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Ю. В. Шевченко

Камчатский филиал Геофизической службы РАН 683006 Петропавловск Камчатский, бульвар Пийпа, 9

E-mail: klb@emsd.ru

Региональная сеть сейсмических станций Камчатки обеспечивает непрерывные наблюдения за сейсмичностью Камчатского региона и выполнение задач в рамках Службы срочных сейсмических донесений, Службы предупреждения о цунами и сейсмический мониторинг вулканов с целью прогноза извержений и контроля их состояния. Представлено краткое описание методов калибровки и организация структуры данных метрологии на сейсмических станциях Камчатки.

Ключевые слова: станции, сейсмометр, калибровка

© Шевченко Ю. В., 2018

PACS 43.40.Ph

**ORGANIZATION OF METROLOGICAL ASSURANCE ON THE KAMCHATKA
SEISMIC NETWORK**

Yu., V. Shevchenko

Kamchatka Branch of the Geophysical Survey RAS 683006 Petropavlovsk Kamchatsky, Piip Boulevard, 9

E-mail: klb@emsd.ru

The regional network of seismic stations in Kamchatka provides continuous observations of the seismicity of the Kamchatka region and the fulfillment of tasks within the framework of the Emergency Seismic Reporting Service, Tsunami Warning Service and seismic monitoring of volcanoes in order to predict eruptions and monitor their condition. A brief description of calibration methods and organization of the metrology data structure at seismic stations in Kamchatka are presented.

Key words: stations, seismometer, calibration

© Shevchenko Yu., V., 2018

Введение

Создание Камчатской региональной сети сейсмических станций началось в 1961 году ТСЭ ИФЗ АН СССР совместно с Комплексной геолого-геофизической обсерваторией СО АН СССР под руководством начальника ТСЭ С.А. Федотова. С 1972 года сеть сейсмических станций была передана в лабораторию сейсмометрии Института вулканологии (ИВ) ДВНЦ АН СССР под руководством В.Д. Феофилактова. С 1979 года сейсмические наблюдения проводились в рамках Опытно-методической сейсмометрической партии под руководством Е.И.Гордеева. В настоящее время в составе Камчатской региональной сети сейсмических станций применяются цифровые сейсмические станции (ЦСС) и радиотелеметрические сейсмические станции (РТСС) [1]. Данные со всех сейсмических станций доступны в цифровой форме. Станции РТСС имеют существенно более узкую полосу регистрируемых частот, чем станции ЦСС и меньший динамический диапазон регистрации (50 дБ и более 100 дБ). В начале 2018 года сотрудниками Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН поддерживалась работа 80 сейсмических станций. Данные с этих станций обеспечивают непрерывные наблюдения за сейсмичностью Камчатского региона и выполнение задач в рамках Службы срочных сейсмических донесений, Службы предупреждения о цунами [2], сейсмический мониторинг вулканов с целью прогноза извержений и контроля их состояния [3]. Все станции работают автономно и обслуживаются при выявлении неисправности в работе.

Определение местоположения землетрясения, масштаб сейсмического источника предполагает привязку сейсмических трасс к точному времени и знание динамических характеристик сейсмометрической аппаратуры. В статье представлены методы организации контроля и калибровки сейсмометрических каналов на Камчатской региональной сети сейсмических станций.

Калибровка сейсмометрических каналов

Сейсмометр и аппаратура регистрации сейсмического сигнала составляют сейсмометрический канал, который характеризуется своей передаточной функцией. Передаточные функции каналов станций Камчатки представлены в виде дробно-рационального полинома:

$$H(i\omega) = AB \frac{\prod_{k=1}^n (i\omega - z_k)}{\prod_{j=1}^m (i\omega - p_m)}$$

здесь ω - круговая частота, p_j - значения полюсов, z_k - нулей, A - коэффициент увеличения, B - нормирующий коэффициент.

Значения коэффициентов A и B , нулей и полюсов передаточных функций заносятся в архив калибровок, состоящий из группы файлов. Каждый файл содержит данные для одного сейсмометрического канала некоторой станции. В названии файла, например РЕТ.00-ННЕ.Д0, содержатся код станции (РЕТ), код сети (Д0), код канала (ННЕ), код локализации (00). Данные калибровок в файлах располагаются в хронологическом порядке. Первые записи в архиве относятся к началу 1996 года, когда была внедрена цифровая регистрация сигналов станций РТСС. С 1987 и до этого момента велся бумажный архив.

Калибровка каналов РТСС

Начало активного развития существующей сети автономных станций РТСС относится к середине 80-х годов [4]. Аппаратура, обеспечивающая передачу сейсмических сигналов, позволяет использовать до 4 датчиков. Спектры низкочастотных сигналов сейсмометров, после частотной модуляции, переносятся в полосу частот телефонного канала. На приемных центрах происходит демодуляции и восстановление исходных сигналов сейсмометров. В это же время стала применяться импульсная калибровка каналов станций РТСС [5], [6]. На станциях используются сейсмометры СМЗ и СМЗ_{вч} [7] с периодом 1.2 сек и 0.2 сек. Нормированные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) каналов показаны на рис. 1.

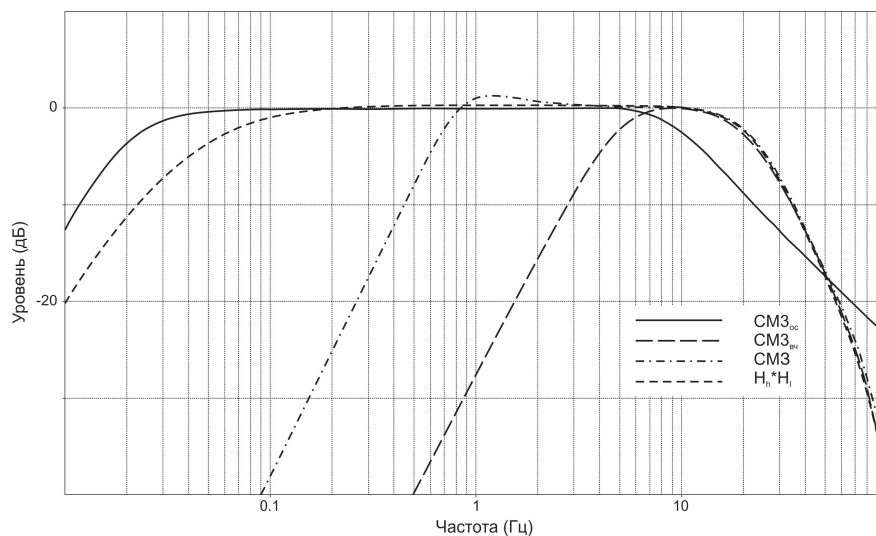


Рис. 1. Нормированные АЧХ сейсмометрических каналов с датчиками СМЗ, СМЗ_{вч}, СМЗ_{ос} для скорости смещения грунта и фильтров усилителя станций РТСС

Каналы РТСС имеют сравнительно узкий динамический диапазон (около 50 дБ), тем не менее, в настоящее время действует 37 станций. Станции РТСС размещаются в труднодоступных местах высокогорья или на побережье, поэтому регламентные работы на них удается выполнить довольно редко, в среднем раз в два года. Потребляемая мощность станции, с учетом аппаратуры УКВ (ультракороткие радиоволны) связи, небольшая, около 1 Вт., что в основном определило живучесть сети РТСС.

По существу, импульсная калибровка состоит в исследовании откликов сейсмометрического канала при воздействии на его вход сигналов заданной формы и амплитуды [8]-[11]. Для каналов РТСС используются калибровочные сигналы в форме ступеньки. Анализ реакции канала без датчика на ступеньку опорного напряжения (известного с точностью 2%) позволяет получить оценки уровня передачи и параметры фильтров канала без сейсмометра. Переходная характеристика сквозного канала на ступеньку тока, подаваемую в калибровочную обмотку датчика, используется для оценки периода и затухания сейсмометра.

Передаточная функция сейсмометрического канала РТСС имеет вид:

$$H(i\omega) = H_s(i\omega) \cdot H_l(i\omega) \cdot H_h(i\omega),$$

$$H_s(i\omega) = \frac{S_s k \cdot (i\omega)^3}{\omega_s^2 + (i\omega)^2 + 2\varepsilon \cdot i\omega}, \quad H_l(i\omega) = \frac{(i\omega)^2}{(i\omega + \alpha_3) \cdot (i\omega + \alpha_4)},$$

$$H_h(i\omega) = \frac{V \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (\gamma_1^2 + \beta_1^2) \cdot (\gamma_2^2 + \beta_2^2)}{\left((i\omega + \gamma_1)^2 + \beta_1^2 \right) \cdot \left((i\omega + \gamma_2)^2 + \beta_2^2 \right) \cdot (i\omega + \alpha_1) \cdot (i\omega + \alpha_2)},$$

$$H_l(i\omega) = k_l \left(\frac{G_s G_c \cdot i\omega}{K_s \left(\omega_s^2 + (i\omega)^2 + 2\varepsilon \cdot i\omega \right)} L_{sc} \cdot i\omega \right),$$

Здесь $H_s(i\omega)$ – передаточная функция сейсмометра для смещения грунта, $H_l(i\omega)$ – передаточная функция сейсмометра для тока калибровки, $H_l(i\omega)$ и $H_h(i\omega)$ – передаточные функции фильтров низких (ФНЧ) и высоких частот (ФВЧ) соответственно. Постоянные сейсмометра: S_s – чувствительность; K_s – момент инерции; G_s, G_c – магнитоэлектрические постоянные рабочей и калибровочной обмоток; k – коэффициент передачи э.д.с. рабочей обмотки сейсмометра на вход усилителя; k_l – коэффициент, зависящий от значений сопротивлений шунтов рабочей и калибровочной обмоток; L_{sc} – взаимоиנדукция обмоток. Параметры сейсмометра: ω_s – круговая частота; ε – коэффициент затухания. Параметры фильтров: $V, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \gamma_1, \gamma_2, \beta_1, \beta_2$. Этим функциям соответствуют выражения во временной области [12]:

$$F_l(t) = \frac{\alpha_3 e^{-\alpha_3 t} - \alpha_4 e^{-\alpha_4 t}}{\alpha_3 - \alpha_4}, \quad F_h(t) = 1 - \sum_{j=1}^2 B_j e^{\alpha_j t} - \sum_{j=1}^2 C_j e^{-\gamma_j t} \sin(\beta_j t + \theta_j),$$

$$F_l(t) = \frac{G_s G_c}{K_s} \left(\sum_{j=1}^4 B'_j e^{-\alpha_j t} - \sum_{j=1}^3 C'_j e^{-\gamma_j t} \sin(\beta_j t + \theta'_j) \right) -$$

$$- L_{sc} \left(\sum_{j=1}^4 B''_j e^{-\alpha_j t} - \sum_{j=1}^2 C''_j e^{-\gamma_j t} \sin(\beta_j t + \theta''_j) \right).$$

Здесь $B_j, B'_j, B''_j, C_j, C'_j, C''_j, \theta_j, \theta'_j, \theta''_j$ – являются комбинациями параметров $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \gamma_3 = \varepsilon, \beta_3 = \omega_s \left(1 - (\varepsilon/\omega_s)^2 \right)^{0.5}$.

Через сравнение наблюдаемых откликов с этими математическими моделями определяются оценки значений 2 параметров датчика и 9 параметров фильтров. При этом применяется оптимизирующий поиск методом наименьших квадратов для нелинейных функций [13]. Для оценки параметров ФВЧ используются 30 значений на участке фронта отклика длительностью 0.3 сек (Рис 2в). Для оценки параметров ФНЧ используются 20 значений отклика на участке длительностью 12 сек (рис 2б). Для оценки параметров сейсмометра используются 50 значений отклика сквозного канала на участке длительностью 2.5 сек (рис 2а).

Использование метода оценки параметров модели позволяет сжать информацию о десятках отсчетов сигналов откликов в оценки небольшого числа параметров канала, что позволяет ослабить влияние случайного шума и получить устойчивые оценки параметров. Обычно шум в канале, который в основном зависит от качества УКВ связи, позволяет реализовать динамический диапазон в 50 дБ. В этом случае среднеквадратичная ошибка оценки периода T и затухания D маятника сейсмометра составляет менее 1 %. Для параметров ФНЧ стандартные отклонения оценки около 2 %, для ФВЧ около 10 %. Кроме оценок параметров передаточной функции, сигналы цикла калибровки позволяют получить служебные данные: положения аттенуаторов усилителя; уровень питания станции; шум канала без сейсмометра. Обработка цикла

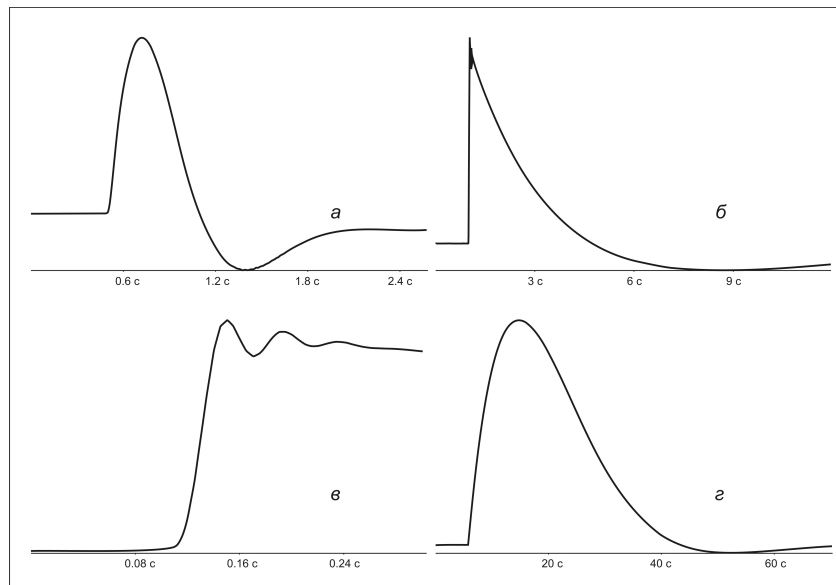


Рис. 2. Нормализованные по амплитуде отклики каналов. а – отклик сквозного канала РТСС с датчиком СМЗ на ступеньку ускорения, б – отклик канала РТСС без сейсмометра на ступеньку напряжения, в – фронт отклика канала РТСС без сейсмометра на ступеньку напряжения, г – отклик сквозного канала с сейсмометром СМЗ_{ос} на ступеньку ускорения

калибровки процедура довольно трудоемкая и для всей группы станций РТСС выполняется за 2-3 дня, поэтому проводится один раз в месяц. Но, при необходимости, можно обработать запись калибровки за любые сутки.

В 2013 году была выполнена модернизация сети РТСС [14]. Аналоговые демодуляторы сейсмометрических каналов были заменены на цифровые. Это позволило избавиться от необходимости регулярной настройки и ремонта аналоговой аппаратуры приемных центров и соответствующих пропусков в регистрации (по причине ухода номиналов деталей электронных схем от расчетных значений) и соответствующих пропусков в регистрации. Также шире на несколько децибел стал динамический диапазон каналов.

Сейсмометры и аппаратура передачи сигналов датчиков на многих станциях РТСС установлены 20-30 лет назад, поэтому в последние годы ведется работа по уточнению уровней передач каналов. Для этого непосредственно на станции проводится регистрация сейсмических сигналов эталонным датчиком. В качестве эталонного датчика используется велосиметр СМГ6ТD. В сертификатах для СМГ6ТD уровень передачи этого датчика приводится с 4 значащими цифрами, т.е. с точностью не хуже 1%. Сравнение записей канала РТСС с эталонной показало различие в уровне передачи до 15%. Основной причиной такого расхождения являются неточные значения постоянных датчика, чувствительности и шунтов сейсмометра. Возможное ослабление со временем магнитного поля в зазоре постоянного магнита сейсмометра также влияет на коэффициент передачи. После сравнения с эталоном, выполнялась коррекция уровня передачи канала в соответствующих файлах калибровок. К настоящему моменту, в силу труднодоступности станций РТСС, удалось выполнить коррекцию уровня передач на 11 станциях РТСС.

Калибровка цифровых сейсмических станций

Более 10 лет на станциях Камчатской сети используются в качестве датчиков широкополосные велосиметры с обратной связью СМЗ_{ос}, разработанные НПП ГЕОТЕХ (г. Обнинск) на базе сейсмометра СМЗ. Эти датчики использовались с цифровыми регистраторами SDAS и GSR24. Для калибровки каналов на основе этих датчиков также применялась импульсная калибровка через подачу ступеньки тока в калибровочную обмотку сейсмометра. Эта процедура выполнялась вручную один раз в месяц.

Передаточная функция сейсмометра СМЗ_{ос} имеет вид:

$$H_{soc}(i\omega) = C \cdot \frac{n_2(i\omega)^2 + n_3(i\omega)^3 + n_4(i\omega)^4}{1 + d_1(i\omega) + d_2(i\omega)^2 + d_3(i\omega)^3 + d_4(i\omega)^4 + d_5(i\omega)^5}.$$

Здесь $H_{soc}(t)$ – передаточная функция сейсмометра для скорости смещения грунта; $n_2, n_3, n_4, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ – коэффициенты. Отклику на ступеньку ускорения для сейсмометра с такой передаточной функцией соответствует следующее выражение [13]:

$$F_{soc}(t) = -B\alpha e^{-\alpha t} + C_1 e^{-\nu_1 t} [\lambda_1 \cos(\lambda_1 t + \phi_1) - \nu_1 \sin(\lambda_1 t + \phi_2)] + \\ + C_2 e^{-\nu_2 t} [\lambda_2 \cos(\lambda_2 t + \phi_2) - \nu_2 \sin(\lambda_2 t + \phi_2)]$$

Значения параметров $B, \alpha, C_1, \nu_1, \lambda_1, \phi_1, C_2, \nu_2, \lambda_2, \phi_2$ являются комбинацией коэффициентов передаточной функции. Для оценки параметров сейсмометра используются 50 значений на участке отклика длительностью 70 сек (рис 2, г). Стандартные отклонения оценок параметров низкочастотного склона сейсмометра СМЗ_{ос} составляет менее 1 %.

В паспорте на сейсмометр СМЗ_{ос} приводится значение чувствительности датчика S_{s0} , полученное по результатам испытаний на вибростенде. Такая чувствительность соответствует штатному значению периода свободных колебаний маятника сейсмометра. При отклонении периода от этого значения чувствительность меняется. Обозначим через A_0 оценку максимального значения отклика на ступеньку ускорения при эталонной настройке периода маятника, а через A оценку максимального значения отклика на такую же ступеньку ускорения при текущей калибровке. За оценку чувствительности сейсмометра при текущей калибровке принимается значение $S_s = S_{s0} \cdot A/A_0$. В случае отклонения уровня S_s более чем на 5% от значения S_{s0} выполнялась настройка периода датчика.

К настоящему времени силами Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН обслуживается 69 комплектов цифровых сейсмометров с акселерометрами СМГ5Т (39 датчиков), велосиметрами СМГ6Т (17 датчиков), велосиметрами СМГ3ТВ (6 датчиков), акселерометрами АС-73i ННВ (5 датчиков), велосиметрами STS2 и KS2000. Для расчета передаточных функций цифровых сейсмических станций используются паспортные данные предоставленные производителем аппаратуры.

Названия и внутренняя структура файлов с данными калибровки для цифровых станций такая же, как и для станций РТСС.

Информация о составе сети сейсмических станций и контроле состояния сейсмометрических каналов

К метрологическому обеспечению Камчатской сети относится также группа следующих таблиц:

1. Станции действующие. Содержит данные о названиях, кодах и координатах станций.

2. Станции закрытые. Содержит данные о названиях, кодах и координатах станций (63 станции).

3. Каналы регистрируемые. Содержит данные о типе канала и датчика, код сети и код локализации, тип регистрации, дату начала работы канала.

4. Снятые с регистрации каналы. Содержит данные о типе канала и датчика, код сети и код локализации, тип регистрации, дату начала и дату конца работы канала. В этой таблице также приведены данные о каналах с гальванометрической регистрацией и каналах для регистрации сильных движений на основе аналоговых приборов [15]-[18]. Использование приборов этого типа завершено в 2006 году.

5. История замен цифровых приборов. Приведены сведения о сейсмометрах и регистрирующей аппаратуре с указанием серийных номеров и дат начала и конца работы.

6. Ежемесячные таблицы состояния станций РТСС (фрагмент представлен в Таблице) и ЦСС. Таблицы состояния станций в основном используются инженерами при техническом обслуживании станций. На основе данных этих таблиц формируется сводная таблица о работе станций за год.

7. Ежедневно формируемые таблицы неисправностей и рекомендаций по использованию сейсмометрических каналов станций для службы оперативной обработки. Состояния каналов цифровых станций оценивается по следующим позициям: наличие синхронизации записи с сигналами GPS приемника или NTP сервером; пропуски в данных; анализ сглаженных спектров мощности фонового шума в полосе 0.05 ÷ 5Гц для разных компонент и комплектов, а также сравнения с уровнем шума на ближайших станциях. Состояния каналов станций РТСС оценивается по наличию полезного сигнала (канал отключен, неисправность в канале передачи, лег маятник), пропускам в данных, искажению формы откликов при калибровке, динамическому диапазону канала (относительно шума аппаратуры).

Заключение

Система организации метрологического обеспечения отражает изменения передаточных функций каналов на сейсмометрических станциях Камчатской сети в форме групп параметров, размещенных хронологически в файлах калибровок сейсмических каналов. Для каналов сети станций РТСС используется импульсная калибровка.

Проводится регулярный контроль и калибровка каналов станций. Результаты проверки сводятся в таблицы, в которых отражены состояние и неисправности каналов, рекомендации по использованию сейсмических записей. В несколько таблиц сведена информация о станциях и каналах сейсмометрической сети, как существующих, так и закрытых в настоящее время.

В КФ ФИЦ ЕГС РАН для оперативной и детальной обработки землетрясений применяется программа «DIMAS» [18]. При использовании этой программы необходимые данные калибровки загружаются автоматически.

Список литературы

- [1] Чебров В. Н., Дрознин Д. В., Кугаенко Ю. А., и др., “Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г.”, *Вулканология и сейсмология*, 2013, № 1, 18–40. [Shebrov V. N., Droznin D. V., Kugaenko YU. A., i dr., “Sistema detal’nyh seismologicheskikh nablyudenij na Kamchatke v 2011 g.”, *Vulkanologiya i sejsmologiya*, 2013, № 1, 18–40].
- [2] Чебров В. Н., Гусев А. А., Гусяков В. К., и др., “Концепция развития системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России”, *Сейсмические приборы*, **45:4** (2009), 41-57. [Shebrov V. N., Gusev A. A., Gusyakov V. K., i dr., “Konceptsiya razvitiya sistemy seismologicheskikh nablyudenij dlya celej preduprezhdeniya o cunami na Dal’nem Vostoke Rossii”, *Sejsmicheskie pribory*, **45:4** (2009), 41-57].
- [3] Сеньюков С. Л., “Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдения в 2000–2004 гг.”, *Вулканология и сейсмология*, 2006, № 3, 68–59. [Senyukov S. L., “Monitoring aktivnosti vulkanov Kamchatki distancionnymi sredstvami nablyudeniya v 2000–2004 gg.”, *Vulkanologiya i sejsmologiya*, 2006, № 3, 68–59].
- [4] Гаврилов В. А., Воропаев В. Ф., Головшикова И. А., и др., “Комплекс радиотелеметрической аппаратуры ТЭСИ-2”, *Сейсмические приборы*, 1987, № 19, 5-17. [Gavrilov V. A., Voropaev V. F., Golovshchikova I. A., i dr., “Kompleks radiotelemetrichejskoj apparatury TEHSI-2”, *Sejsmicheskie pribory*, 1987, № 19, 5-17].
- [5] Шевченко Ю. В., Гаврилов В. А., Ляник Ю. А., “Импульсная калибровка сейсмометрических каналов радиотелеметрической системы”, *Вулканология и сейсмология*, 1987, № 4, 98–103. [Shevchenko Yu. V., Gavrilov V. A., Lyannik YU. A., “Impul’snaya kalibrovka sejsmometrichejskich kanalov radiotelemetrichejskoj sistemy”, *Vulkanologiya i sejsmologiya*, 1987, № 4, 98–103].
- [6] Шевченко Ю. В., “Метрологическое обеспечение сейсмотелеметрических сетей станций на Камчатке”, *Вулканология и сейсмология*, 1995, № 1, 90–105. [Shevchenko YU. V., “Metrologicheskoe obespechenie sejsmotelemetrichejskich setej stancij na Kamchatke”, *Vulkanologiya i sejsmologiya*, 1995, № 1, 90–105].
- [7] Шевченко Ю. В., “Сейсмический канал для регистрации слабых событий”, *Вулканология и сейсмология*, 1996 4, 119–121. [Shevchenko YU. V., “Sejsmicheskiy kanal dlya registracii slabyh sobytij”, *Vulkanologiya i sejsmologiya*, 1996 4, 119–121].
- [8] Дараган М. А., Осадчий А. П., “Импульсная калибровка и контроль сейсмического канала”, *Вычислительная сейсмология*, 1967, № 4, 245-252. [Daragan M. A., Osadchij A. P., “Impul’snaya kalibrovka i kontrol’ sejsmicheskogo kanala”, *Vychislitel’naya sejsmologiya*, 1967, № 4, 245-252].
- [9] Mitchel B. J., Landisman M., “Electromagnetic seismograph constants by least squares inversion”, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **59:3** (1969), 1335-1349.
- [10] Фремд В. М., Троицкий П. А., Рыскулов Д. Р. и др., “Система контрольной импульсной калибровки каналов регистрации сильных землетрясений на сейсмических станциях СССР”, *Сейсмические приборы*, 1975, № 8 pages 85-98. [Fremd V. M., Troickij P. A., Ryskulov D. R. i dr., “Sistema kontrol’noj impul’сноj kalibrovki kanalov registracii sil’nyh zemletryasenij na sejsmicheskikh stanciyah SSSR”, *Sejsmicheskie pribory*, 1975, № 8 pages 85-98].
- [11] Аранович З. И., *Импульсная калибровка сейсмометрических каналов*, Наука, М., 1976, 236 с. [Aranovich Z. I., *Impul’snaya kalibrovka sejsmometrichejskich kanalov*, Nauka, M., 1976, 236 pp.]
- [12] Макаров И. М., Менский Б. М., *Таблица обратных преобразований Лапласа и обратных L-преобразований: подробно рациональные изображения*, Высшая школа, М., 1978, 247 с. [Makarov I. M., Menskij B. M., *Tablica obratnyh preobrazovanij Laplasy i obratnyh L-preobrazovanij: drobno racional’nye izobrazheniya*, Vysshaya shkola, M., 1978, 247 pp.]

- [13] Химмельблау Д. М., *Анализ процессов статистическими методами*, Мир, М., 1973, 756 с. [Himmel'blau D. M., *Analiz processov statisticheskimi metodami*, Mir, M., 1973, 756 pp.]
- [14] Дрознин Д. В., Шевченко Ю. В., Ящук В. В., “Оценка работы цифрового демодулятора в аналоговых каналах радиотелеметрической сейсмической станции”, *Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России*, Четвертая научно-техническая конференция, Петропавловск-Камчатский, 2013. [Droznin D. V., Shevchenko YU. V., Yashchuk V. V., “Ocenka raboty cifrovogo demodulyatora v analogovyh kanalah radiotelemetrichejskoj sejsmicheskoj stancii”, *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii*, SHevertaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya, Petropavlovsk-Kamchatskij, 2013].
- [15] Аранович З. И., Кирнос Д. П., Фремд. В. М., *Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР*, Наука, М., 1974, 244 с. [Aranovich Z. I., Kirnos D. P., Fremd. V. M., *Apparatura i metodika sejsmometrichejskih nablyudenij v SSSR*, Nauka, M., 1974, 244 pp.]
- [16] Федотов С. А., Феофилактов В. Д., Гордеев Е. И и др., “Развитие сейсмометрических наблюдений на Камчатке”, *Сейсмические приборы*, 1987, № 6, 11-28. [Fedotov S. A., Feofilaktov V. D., Gordeev E. I i dr., “Razvitie sejsmometrichejskih nablyudenij na Kamchatke”, *Sejsmicheskie pribory*, 1987, № 6, 11-28].
- [17] Гордеев Е. И., Чебров В. Н., Левина В. И и др., “Система сейсмологических наблюдений”, *Комплексные сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке*, Петропавловск-Камчатский, 2004, 445 с. [Gordeev E. I., Shebrov V. N., Levina V. I i dr., “Sistema sejsmologicheskij nablyudenij”, *Kompleksnyje sejsmologicheskie i geofizicheskie issledovaniya na Kamchatke*, Petropavlovsk-Kamchatskij, 2004, 445 pp.]
- [18] Дрознин Д. В., Дрознина С. Я., “Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS”, *Сейсмические приборы*, **46**:3 (2010). [Droznin D. V., Droznina S. YA., “Interaktivnaya programma obrabotki sejsmicheskih signalov DIMAS”, *Sejsmicheskie pribory*, **46**:3 (2010)].

Для цитирования: Шевченко Ю. В. Организация метрологического обеспечения на камчатской сети сейсмических станций // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2018. № 4(24). С. 226-234. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-226-234

For citation: Shevchenko Yu., V. Organization of metrological assurance on the Kamchatka seismic network, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2018, **24**: 4, 226-234. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-226-234

Поступила в редакцию / Original article submitted: 15.06.2018