

УДК 550.34

15 лет оперативно–окончательному региональному каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов (2010–2024)

© 2026 г. С.Л. Сеньюков, С.Я. Дрознина, Д.В. Дрознин, Д.В. Чебров

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Поступила в редакцию 09.04.2026 г.

Аннотация. Представлены сведения о формировании окончательного каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов, а также основные результаты сейсмических наблюдений и информация о сильнейших событиях региона за 2010–2024 гг. В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН до 2010 г. формирование каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов происходило в два этапа. На первом этапе составлялся оперативный каталог в режиме, близком к реальному времени, сотрудниками отдела радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС), а с января 2001 г. — лабораторией исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА). Окончательный каталог формировался с отставанием более года лабораторией сводной обработки (ЛСО). Главная причина задержки — отсутствие данных с некоторых сейсмических станций постоянной сети Камчатского филиала в реальном времени, что удалось устранить к 2010 г. в результате её модернизации. Одновременно была разработана современная цифровая платформа, объединяющая функции сбора, хранения и анализа сейсмологических данных с интегрированной системой обмена информацией. В итоге, начиная с 2010 г. формирование окончательного регионального каталога основных параметров землетрясений Камчатки и Командорских островов выполняется в оперативном режиме сотрудниками ЛИСВА. Всего за 15-летний период с 2010 по 2024 г. в энергетическом диапазоне $2.0 \leq K_s \leq 17.2$ ($0.25 \leq ML \leq 7.9$) определены параметры 103263 землетрясений (в их числе 21015 с $K_s \geq 8.5$). Из них 100942 (18903 с $K_s \geq 8.5$) локализовано в зоне ответственности Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Каталоги землетрясений Камчатки и Командорских островов и сопровождающие их статьи ежегодно публикуются в сборниках ФИЦ ЕГС РАН «Землетрясения России» (<http://www.gsras.ru/zr/contents.html>) с $K_s \geq 6.5$ и «Землетрясения Северной Евразии» (<http://www.gsras.ru/zse/contents.html>) с $K_s \geq 8.5$.

Ключевые слова: Камчатка, окончательный каталог, сеть станций, сейсмический мониторинг, оперативный режим, сильные землетрясения.

Для цитирования: Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Дрознин Д.В., Чебров Д.В. 15 лет оперативно–окончательному региональному каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов (2010–2024) // Российский сейсмологический журнал. — 2026. — Т. 8, № 3. — С. 30–48. — DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2026.3.02>. — EDN: MFXNDK

Введение

Камчатская региональная сеть сейсмических станций (состоящая на первом этапе из пяти пунктов) начала непрерывную регистрацию 1 ноября 1961 года. С этого момента положено начало детальным сейсмологическим наблюдениям на Камчатке и Командорских островах [Федотов и др., 1964; Федотов, Шумилина, 1981; Федотов и др., 1987]. С 1961 по 1971 г. наблюдения проводились Тихоокеанской сейсмической экспедицией (ТСЭ) Института физики

Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР совместно с Институтом вулканологии (ИВ) Дальневосточного научного центра АН СССР. С 1972 по 1978 г. сейсмологические исследования выполнялись Институтом вулканологии [Гаврилов и др., 1978; Федотов, 1987; 2002]. С 1 июля 1979 г. непрерывные сейсмологические наблюдения на территории Камчатки и Командорских островов продолжила Опытно-методическая сейсмологическая партия (ОМСП) Института вулканологии ДВНЦ АН СССР, а в феврале 1997 г. ОМСП была переведена в Геофизическую службу РАН

как Камчатская ОМСП или КОМСП [Гордеев и др., 2004]. В 2005 г. КОМСП стала Камчатским филиалом (КФ) Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН), в настоящее время — КФ ФИЦ ЕГС РАН [Гордеев и др., 2006; Чебров В. и др., 2012; Чебров Д. и др., 2021].

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН до 2010 г. формирование каталога Камчатки и Командорских островов происходило в два этапа. На первом этапе составлялся оперативный каталог в режиме, близком к реальному времени, сотрудниками отдела радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС), а с января 2001 г. — лабораторией исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА). Окончательный каталог формировался с отставанием более года лабораторией сводной обработки (ЛСО). Информацию о Камчатском каталоге землетрясений в ранние периоды можно найти в публикациях [Левина и др., 2006; Levina et al., 2013; Чебров В. и др., 2016a]. Главной причиной отставания было отсутствие доступа в реальном времени к данным с некоторых сейсмических станций постоянной сети Камчатского филиала, что было устранено к 2010 году.

К 2010 г. в Камчатском филиале в ходе работ по модернизации службы предупреждения о цунами сеть постоянно действующих сейсмических станций была дополнена новыми цифровыми станциями и станциями сильных движений [Чебров В. и др., 2006; Чебров В., 2007; Чебров В. и др., 2010b]. Установлены новые радиотелеметрические станции для улучшения мониторинга вулканической активности [Яшук и др., 2009; Чебров В. и др., 2011]. В 2010–2012 гг. разработаны и опробованы технические и программные средства для демодуляции частотно-модулированных (ЧМ) сигналов на приёмных центрах РТСС методами цифровой обработки. Созданный программно-технический комплекс заменил аналоговую часть приёмных центров РТСС, что позволило расширить динамический диапазон регистрируемых сигналов и повысило долговременную стабильность характеристик сейсмометрических каналов [Дрознин и др., 2013]. Закончены работы по переоснащению всех стационарных сейсмических станций Камчатки цифровыми комплектами аппаратуры. Сейсмические данные со всех станций сети стали доступны сотрудникам регионального информационно-обрабатывающего центра в реальном времени. После тестирования различных программ локализации [Назарова, 2006; 2008] выбрана и внедрена наиболее оптималь-

ная — программа DIMAS, одним из основных преимуществ которой является возможность для пользователя проводить комплексную обработку и анализ сейсмического сигнала, а также оценивать основные параметры землетрясений, используя простой и функциональный интерфейс [Droznin, Droznina, 2011]. Разработан и внедрена новая сетевая база для хранения и доступа к данным по землетрясениям [Чебров В. и др., 2010a]. Создан архив калибровок по всем станциям сети [Шевченко, 2018], автоматически используемый программой DIMAS. Модернизирована система сбора, хранения и обработки сейсмологической информации с информационно-коммуникационной системой.

Таким образом, на основе заложенной в 1960–1970 гг. сети станций и в результате последующего большого и самоотверженного труда научного и инженерно-технического коллектива сотрудников, участвовавших в разработке оборудования, программного обеспечения, организации сетей станций и их эксплуатации, на Камчатке в КФ ФИЦ ЕГС РАН создана и успешно работает система сейсмологических наблюдений, отвечающая современным требованиям. Этапы развития системы наблюдений подробно описывались в многочисленных работах, например [Федотов, 1987; Гордеев и др., 2012; Чебров В. и др., 2013; Чебров Д. и др., 2021].

Одним из главных результатов модернизации сети стала возможность создания оперативно-окончательного каталога, который, начиная с 2010 г., формируется в оперативном режиме сотрудниками ЛИСВА как окончательный региональный каталог основных параметров землетрясений Камчатки и Командорских островов.

Целью предлагаемой работы является представление методов обработки, контроля и хранения параметров землетрясений, а также сведений о формировании окончательного каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов. Приведены основные результаты сейсмических наблюдений и информация о сильнейших событиях региона за 2010–2024 гг. Проведён анализ задержки в оперативной обработке. Актуальность и новизна составления окончательного каталога в кратчайшие сроки обусловлена, прежде всего, требованиями оценки сейсмической опасности в оперативном режиме по данным лоцированных землетрясений. Это крайне важно для такого сейсмически активного региона, как п-ов Камчатка, где происходят мегаземлетрясения с магнитудой до 9.0.

Методы обработки, контроля и хранения

В настоящее время сеть постоянно действующих сейсмических станций Камчатского филиала состоит из 85 пунктов регистрации сейсмических сигналов (рис. 1) [Чебров Д. и др., 2025a]. Разное аппаратное оснащение станций [Шевченко, 1996; 2022] позволяет регистрировать без ограничений как слабые локальные вулканические землетрясения, так и сильнейшие землетрясения региона. Для обработки региональных землетрясений, кроме сети Камчатского филиала (сеть KAGSR), используются некоторые станции Сахалинского и Магаданского филиалов ФИЦ ЕГС РАН и мировой сети IRIS (Global Seismograph Network (GSN) — IRIS/USGS (<https://doi.org/10.7914/SN/IU>)), к данным которых организован доступ в режиме реального времени. В рамках рабочего времени (с 8:00 до 18:00 по мест. вр.) происходит определение параметров всех землетрясений, зарегистрированных четырьмя и более станциями за минувшие сутки по Гринвичскому времени (UTC). В некоторых случаях землетрясение может быть обработано по трём станциям, при условии, что данных достаточно для корректной обработки.

Проводится постоянный контроль работы станций сети с учётом информации отдела РТТС и группы метрологического обеспечения. Методы организации контроля и калибровки сейсмометрических каналов станций Камчатской региональной сети представлены в работе [Шевченко, 2018]. Отделом РТТС и группой метрологического обеспечения ежедневно формируются таблицы с информацией о неисправностях и рекомендациях по использованию сейсмометрических каналов станций. С февраля 2024 г. эти материалы размещаются на служебном сайте КФ ФИЦ ЕГС РАН в виде удобной таблицы с возможностью выбора информации для конкретной станции за указанный интервал времени.

Для автоматизированной обработки сейсмических сигналов используется программа DIMAS [Droznin, Droznina, 2011] со встроенной программой локализации. Задача определения гипоцентра, в общем случае, сводится к поиску такого пространственно-временного положения очага, для которого разности наблюдаемых моментов прихода сейсмических волн и теоретических, взятых по годографу, минимальны. Локация гипоцентров землетрясений производится путём перебора глубины (h) и времени в очаге (t_0). Диапазон и шаг перебора контролируется пользователем. Для каждой точки сетки

(t_i, h_i) определяются географические координаты события. Решение с минимальным среднеквадратичным значением невязок времён пробега принимается окончательным. Размер области, в которой суммарная невязка меньше трёх минимальных значений невязки, принимается за оценку точности определения координат гипоцентра. Программа использует геоцентрическую систему координат. Таблицы времён пробега (годографа) сейсмических волн и калибровочные кривые магнитуд, а также калибровки по всем станциям сети загружаются из внешних файлов и контролируются пользователем. Определение постоянно используемых стандартных энергетических характеристик, например таких, как класс по S -волне, магнитуда по кода-волнам и др., встроено в программу. Для лоцирования региональных землетрясений используется годограф из программы Ю.Ю. Мельникова [Мельников, 1990], которая применялась для определения параметров землетрясений в оперативном режиме до 2010 года. В нём для глубин гипоцентров $h < 200$ км и эпицентральных расстояний $\Delta < 500$ км используется среднекамчатский береговой годограф [Кузин, 1974], а на больших расстояниях ($1000 \text{ км} < \Delta < 6600 \text{ км}$) и глубинах ($250 \text{ км} < h < 793 \text{ км}$) — годограф Джеффриса-Буллена [Jeffreys, Bullen, 1940]. В промежуточной зоне на глубинах 200–250 км и эпицентральных расстояниях 500–1000 км применяется сглаженный годограф, полученный плавным линейным переходом от годографа Кузина к годографу Джеффриса-Буллена.

Основные параметры землетрясений включают: дату, время в очаге, координаты гипоцентра, энергетические оценки (K_s — энергетический класс по S -волне, определяемый по номограмме С.А. Федотова) [Федотов, 1972]; M_c — магнитуда по кода-волнам, согласно методике, изложенной в работе [Гордеев и др., 1999]. Локальная магнитуда ML получается путём пересчёта из энергетического класса по формуле А.А. Гусева: $ML = K_s/2 - 0.75$ [Chubarova et al., 2010]. Для определения кинематических параметров используются времена вступления прямых P - и S -волн на станциях, а динамических — амплитуды S - и кода-волн.

В процессе многолетнего использования на практике программа DIMAS модернизируется, добавляются новые возможности с учётом пожеланий пользователей, решаемых задач и современных возможностей сети цифровых сейсмических станций. Прежде всего, программа должна отвечать повышенным требованиям работы в реальном времени. Поскольку все станции

на Камчатке работают автономно и многие находятся в труднодоступных местах, неисправности могут продолжаться несколько месяцев до посещения станции техническим персоналом. Например, такие как нарушение синхронизации времени с сигналами GPS-приёмника или NTP-сервером. Поэтому была добавлена возможность использования абсолютного значения ($S-P$) для станций с отсутствием синхронизации сейсмических записей. Разработан алгоритм и встроена в программу процедура автоматического детектирования сейсмических событий. Полезная возможность в условиях, когда стандартная рутинная обработка затруднена, например, при регистрации многочисленных афтершоковых последовательностей после сильных тектонических событий. В результате работы автоматической процедуры создаётся станционный бюллетень, который включает время и энергетическую оценку всех событий, зарегистрированных выбранной станцией. Наличие такого бюллетеня значительно упрощает создание запроса для выбора данных при оперативной обработке землетрясений и идентификацию наиболее значительных событий за рассматриваемый период в выбранном районе. Совместно с каталогом землетрясений, полученным после ручной обработки, наличие в оперативном режиме автоматически сформированного станционного бюллетеня даёт более полную информацию о характере развития афтершокового процесса, о сейсмической активности района и региона в целом. Это позволяет в оперативном режиме заметить и проследить аномалии сейсмического режима. При регистрации повышенной сейсмической активности в первую очередь лоцируются наиболее сильные землетрясения, остальные в отложенном режиме. Время задержки в обработке наиболее слабых событий афтершоковых последовательностей за рассматриваемый период указано в таблице (см. подраздел *Сильнейшие землетрясения региона*).

Параметры всех лоцированных землетрясений и станционные данные сразу после обработки помещаются в сетевую базу данных (<http://www.emsd.ru/ts/>) [Чебров В. и др., 2010а] и в единую информационную систему сейсмологических данных (ЕИССД) КФ ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.emsd.ru/sdis/main.php>) [Чеброва и др., 2020]. Без ограничений доступны параметры землетрясений Камчатки и Командорских островов с энергетическим классом $K_s \geq 8.5$. Для получения информации о более слабых событиях необходимо зарегистрироваться на сайте (<http://sdis.emsd.ru/pers/registration.php>) и оформить за

прос на расширенный доступ. Каталог землетрясений пополняется ежедневно с задержкой не более суток с момента регистрации сейсмического события. Исключение составляют многочисленные афтершоковые последовательности сильных землетрясений, когда из-за высокой интенсивности процессов на начальной стадии наиболее слабые афтершоки обрабатываются в отложенном режиме. Информация о задержке в обработке публикуется в сетевой базе данных (вкладка «Комментарии по обработке текущих землетрясений»). В каталог могут быть внесены незначительные изменения при обнаружении ошибок обработки или пропусков землетрясений, для поиска которых используются, в том числе, подсистемы ЕИССД [Токарев, Чемаев, 2013; Чеброва и др., 2020].

Результаты и сильнейшие землетрясения региона

Всего за 15-летний период с 2010 по 2024 г. в энергетическом диапазоне $2.0 \leq K_s \leq 17.2$ ($0.25 \leq ML \leq 7.9$) определены параметры 103263 землетрясений (в их числе 21015 с $K_s \geq 8.5$) (рис. 1–3). Из них лоцировано 100942 (18903 с $K_s \geq 8.5$) в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН (границы зоны: $48.0-62.5^\circ \text{ N}$; $150.5-174.0^\circ \text{ E}$) на территории Камчатки, Командорских островов и частично Курильских и Алеутских островов, Корякского автономного округа, Тихого океана, Охотского и Берингова морей. В региональный каталог включены все тектонические землетрясения и вулканические с $K_s \geq 7.5$.

Каталоги Камчатки и Командорских островов и сопровождающие их статьи ежегодно публикуются в сборниках ФИЦ ЕГС РАН «Землетрясения России» (<http://www.gsras.ru/zr/contents.html>) с $K_s \geq 6.5$ и «Землетрясения Северной Евразии» (<http://www.gsras.ru/zse/contents.html>) с $K_s \geq 8.5$.

Сильнейшие землетрясения региона

За рассматриваемый период в регионе зарегистрировано 57 сильных землетрясений с $ML \geq 6.3$ ($K_s \geq 14.0$) в их числе 15 с $ML \geq 6.8$ ($K_s \geq 15.0$), из них в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН 47 и 13 событий соответственно. Ниже приводим краткое описание 18 эпизодов, представленных на карте и вертикальном разрезе (рис. 1, 2): сильнейшие ($K_s \geq 15.0$) землетрясения региона и их афтершоки; события с $K_s \geq 14.0$ в Авачинском заливе и ближайших к нему районах.

В 2010 г. сильнейшее в регионе землетрясение года с $ML=6.3$ ($K_s=14.1$) произошло 30 июля в $03^{\text{h}}56^{\text{m}}$ (здесь и далее время приводится

по Гринвичу) в поверхностном слое сейсмоактивной области, названной сейсмофокальной зоной Курил и Южной Камчатки. Схема деления района ответственности Камчатского филиала на сейсмоактивные области и их подробное описание дано в [Levina *et al.*, 2013; Чебров В. и др., 2015]. Гипоцентр его определён на глубине

~38 км в Тихом океане, напротив Авачинского залива в ~150 км к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского. Сопровождалось форшоками (три события) и афтершоковой последовательностью (137 афтершоков, зарегистрированных до конца августа 2010 г. в радиусе 30 км от эпицентра сильного землетрясения).

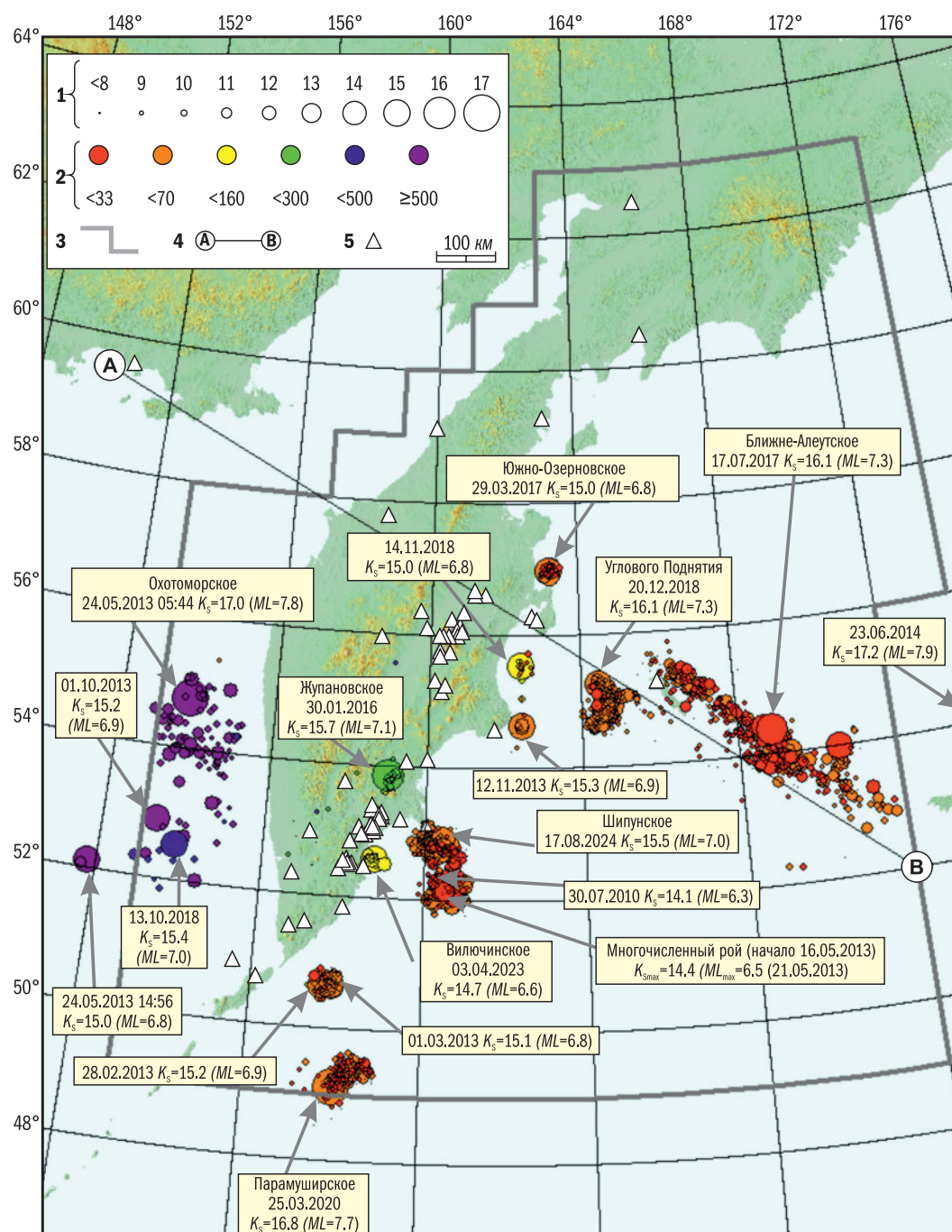


Рис. 1. Карта с эпицентрами сильных землетрясений с $ML \geq 6.8$ ($K_s \geq 15.0$) и $ML \geq 6.3$ ($K_s \geq 14.0$) в Авачинском заливе и ближайших к нему районах и их афтершоковыми последовательностями за период 2010–2024 гг.

1 — энергетический класс K_s ; 2 — глубина гипоцентра h , км; 3 — граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; 4 — линия вертикального разреза вкост фокальной зоны; 5 — сейсмические станции

В 2013 г. на Камчатке наблюдалось усиление сейсмической активности [Сильные ..., 2014], зарегистрировано шесть сильных событий с $K_s \geq 15.0$ и многочисленный рой землетрясений вблизи Авачинского залива.

28 февраля в 14^h05^m в Тихом океане напротив мыса Лопатка (крайняя южная точка полуострова Камчатка) произошло землетрясение с $ML=6.9$ ($K_s=15.2$) на глубине ~60 км. Афтершоковая последовательность включает 161 событие, зафиксированное до конца апреля 2013 г. в радиусе 30 км от его эпицентра. Сильнейший афтершок с $ML=6.8$ ($K_s=15.1$) зарегистрирован 1 марта в 13^h20^m.

Начало майского роя в Тихом океане напротив Авачинского залива можно связать с землетрясением с $ML=5.0$ ($K_s=11.4$) 16 мая в 09^h23^m. Самое сильное событие роя с $ML=6.5$ ($K_s=14.4$) произошло 21 мая в 05^h43^m. В течение 15 дней в радиусе 50 км от эпицентра максимального события было зарегистрировано 1065 землетрясений.

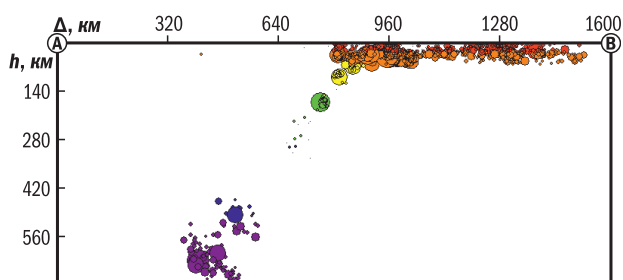


Рис. 2. Вертикальный разрез вкост фокальной зоны.

Легенда как на рис. 1

24 мая в 05^h44^m произошло глубокое Охотоморское землетрясение с $ML=7.8$ ($K_s=17.0$), гипоцентр находился под Охотским морем на глубине ~630 км. Является сильнейшим в мире землетрясением среди событий сопоставимой глубины. До конца 2013 г. в области радиусом 350 км от эпицентра Охотоморского землетрясения было зарегистрировано 130 событий. Два самых сильных из них произошли 24 мая в 14^h56^m с $ML=6.8$ ($K_s=15.0$) и 1 октября в 03^h38^m с $ML=6.9$ ($K_s=15.2$).

12 ноября в 07^h03^m у Кроноцкого полуострова на глубине ~70 км зарегистрировано сильное землетрясение с $ML=6.9$ ($K_s=15.3$). До конца декабря 2013 г. в радиусе 30 км от его эпицентра лоцировано 58 афтершоков. Самое сильное землетрясение последовательности с $ML=5.2$ ($K_s=11.9$) произошло 13 ноября в 02^h25^m.

В 2016 г. сильнейшим на территории Камчатки и Командорских островов и России стало Жупановское землетрясение [Чебров В. и др., 20166] с $ML=7.1$ ($K_s=15.7$), зарегистрированное 30 января в 03^h25^m под восточным побережьем Камчатки. Гипоцентр землетрясения определен в ~96 км к северу от г. Петропавловска-Камчатского на глубине 178 км. После основного толчка регистрировалась афтершоковая активность. До конца 2016 г. обработано и помещено в каталог 153 события из эпицентральной области (в радиусе 30 км от эпицентра главного события). Большая часть афтершоков реализовалась в первые десять суток. Самый сильный афтершок с $ML=5.1$ ($K_s=11.6$) зарегистрирован 30 января в 03^h42^m.

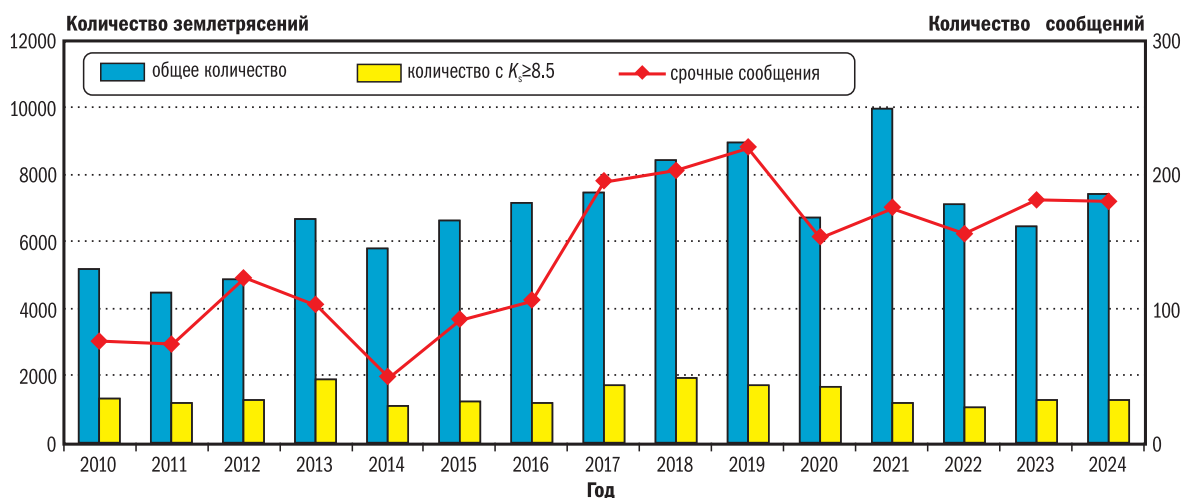


Рис. 3. Диаграмма количества землетрясений в Камчатском оперативно-окончательном каталоге (левая шкала) и график количества срочных сообщений о сильных землетрясениях региона (правая шкала) за период 2010–2024 гг.

В 2017 г. в регионе произошло два сильных события с $K_s \geq 15.0$ [Чебров Д. и др., 2017а].

29 марта в 04^h09^m в западной части Берингова моря зарегистрировано землетрясение с $ML=6.8$ ($K_s=15.0$). Его гипоцентр находился в южной части залива Озерной, в ~90 км к северо-востоку от села Усть-Камчатск на глубине ~43 км, сейсмическое событие названо Южно-Озерновским землетрясением (ЮОЗ) [Чебров Д. и др., 2017с]. До конца года в очаговой области ЮОЗ (в зоне радиусом 30 км от его эпицентра) зарегистрировано 480 событий. Около 40% афтершоков произошло в первые сутки после основного толчка, в том числе два сильнейших афтершока с $ML=5.5$ ($K_s=12.4$ и 12.5).

17 июля в 23^h34^m на границе малой литосферной плиты Берингии и Командорского блока Алеутской островной дуги произошло сильное землетрясение с $ML=7.3$ ($K_s=16.1$), названное Ближне-Алеутским (БАЗ) [Чебров Д. и др., 2017б; Chebrov D. et al., 2019]. Землетрясению предшествовала форшоковая активность, к которой относится землетрясение 2 июня в 22^h24^m с $ML=6.6$ ($K_s=14.7$) и его афтершоки. За 12.5 часа до основного толчка, начиная с землетрясения в 11^h05^m с $ML=6.6$ ($K_s=13.8$), стала регистрироваться интенсивная последовательность форшоков (32 события), пространственно совпадающая с эпицентром главного события. Ближне-Алеутское землетрясение сопровождалось серией афтершоков. До конца года удалось обработать и поместить в каталог параметры 754 событий, зарегистрированных в северо-западной части Алеутской дуги, большинство из которых является афтершоками. Полоса форшоков и афтершоков растянулась на ~500 км от Командорских островов на западе до Ближних островов — на востоке. Самый сильный афтершок с $ML=5.8$ ($K_s=13.0$) зарегистрирован 18 июля в 06^h02^m вблизи о. Медный.

2018 г. — один из наиболее активных интервалов за рассматриваемый 15-летний период, зарегистрировано три сильных землетрясения с $K_s \geq 15.0$.

13 октября в 11^h10^m зарегистрировано сильное событие с $ML=7.0$ ($K_s=15.4$) в эпицентральной зоне Охотоморского землетрясения. Гипоцентр его определён в Охотском море на глубине ~500 км [Чебров Д. и др., 2019]. Был лоцирован единственный афтершок с $ML=4.2$ ($K_s=9.9$) 14 октября в 01^h28^m.

14 ноября в 21^h21^m в Камчатском заливе произошло сильное землетрясение с $ML=6.8$ ($K_s=15.0$). Его гипоцентр определён в 79 км к югу от пос. Усть-Камчатск на глубине ~75 км.

До конца 2018 г. года в радиусе 30 км от эпицентра сильного события лоцировано 217 афтершоков, из них 128 — в первые двое суток. Самый сильный афтершок с $ML=5.1$ ($K_s=11.7$) зарегистрирован через восемь минут после главного события 14 ноября в 21^h29^m.

Сильнейшее в каталоге Камчатки и Командорских островов в 2018 г. землетрясение с $ML=7.3$ ($K_s=16.1$) произошло 20 декабря в 17^h01^m. Гипоцентр его определён в Тихом океане на глубине ~54 км, южнее области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг в 88 км на юго-запад от села Никольское (о. Беринга, Командорские о-ва). Эпицентральной область землетрясения пересекла небольшое Угловое поднятие, возвышающееся на океанической стороне Камчатского и Алеутского желобов в районе их сочленения. Поэтому рассматриваемое сейсмическое событие было названо Землетрясением Углового Поднятия (ЗУП) [Чебров Д. и др., 2020]. ЗУП сопровождалось многочисленным роем афтершоков. С 20 декабря 2018 г. по 31 мая 2019 г. в радиусе 70 км от эпицентра главного землетрясения зарегистрировано 3600 событий афтершоковой последовательности, 2695 из них произошло до конца января 2019 года. Большинство наиболее слабых афтершоков было обработано в отложенном режиме из-за высокой интенсивности процесса на его начальной стадии. Задержку в обработке удалось устранить только к концу апреля 2019 года.

В 2020 г. сильнейшее в каталоге Камчатки и Командорских островов землетрясение с $ML=7.7$ ($K_s=16.8$) произошло 25 марта в 02^h49^m. Гипоцентр его определён в Тихом океане, напротив Четвёртого Курильского пролива на южной границе зоны ответственности Камчатского филиала на глубине ~48 км. В научной литературе землетрясение известно под названием «Парамуширское» [Прытков, Василенко, 2021; Чебров Д. и др., 2023]. Событие сопровождалось большим количеством афтершоков. До конца мая 2020 г. в очаговой области сильного землетрясения (в радиусе 70 км от его эпицентра) лоцировано 519 событий, из них более 80% произошло в первые две недели. Из-за высокой интенсивности процесса на его начальной стадии наиболее слабые афтершоки были обработаны в отложенном режиме. Самое сильное землетрясение с $ML=5.7$ ($K_s=12.9$) афтершоковой последовательности зарегистрировано 25 марта в 17^h21^m.

В 2023 г. 3 апреля в 03^h06^m у восточного побережья п-ва Камчатка в южной части Авачинского залива произошло сильное землетрясение

с $ML=6.6$ ($K_s=14.7$). По данным Камчатского филиала гипоцентр находился в ~ 47 км к юго-востоку от г. Вилучинска и в ~ 50 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского на глубине $h \sim 105$ км. Землетрясение получило название «Вилучинское» (ВЗ) [Чебров Д. и др., 2025б]. После основного толчка последовал рой афтершоков. До конца мая 2023 г. в очаговой области сильного землетрясения (в радиусе 30 км от его эпицентра) лоцировано 186 событий, из них более 50% произошло в первые двое суток. Самое сильное с $ML=5.5$ ($K_s=12.4$) землетрясение афтершоковой последовательности зарегистрировано 11 апреля в 11^h39^m.

В 2024 г. 17 августа в 19^h10^m произошло землетрясение с $ML=7.0$ ($K_s=15.5$), гипоцентр определён в акватории Тихого океана в ~ 120 км восточнее г. Петропавловска-Камчатского на глубине $h \sim 43$ км. Мощный афтершоковый процесс начался через 4 минуты после основного толчка; до конца 2024 г. в каталог было помещено 1318 землетрясений, локализованных в радиусе 50 км от эпицентра главного события. Более половины из них были зафиксированы в первые трое суток. Облако афтершоков вытянулось в субширотном направлении приблизительно вкост простирания северной части Камчатской сейсмофокальной зоны юго-восточнее мыса Шипунский. Землетрясение получило название «Шипунское» (ШЗ) [Chebrov D. et al., 2025].

Время задержки в обработке событий афтершоковых последовательностей за рассматриваемый период указано ниже в таблице. За 15 лет наблюдений (или 5479 суток) суммарная задержка в обработке более 100 000 событий составила только 294 дня или 5%, что свидетельствует о высокой оперативности обработки региональных землетрясений.

Методические проблемы точности локации региональных землетрясений

Благодаря проведённому в 2015 г. эксперименту KISS [Shapiro et al., 2015], появилась возможность оценить реальные ошибки определения параметров землетрясений по данным постоянно действующей сети сейсмических станций KAGSR. В работе [Senyukov et al., 2024] был проведён анализ совместных решений из каталогов, полученных только по данным станций постоянной сети KAGSR и более плотной сейсмической сети, включающей станции проекта KISS и станции KAGSR. В результате сравнительного анализа двух каталогов были построены распределения разницы параметров землетрясений, определённых по станциям сети KAGSR и станциям гораздо более плотной сети KAGSR и KISS (рис. 4). Реальные ошибки определения параметров землетрясений по данным постоянно действующей сети сейсмических станций KAGSR,

Таблица. Информация о задержках в обработке землетрясений

Дата и время землетрясения, дд.мм.гггг чч.мм	Описание	Количество афтершоков/землетрясений роя в первые пять суток после главного события/начало роя	Время задержки в обработке землетрясений, количество дней	Обработка
28.02.2013 14:05		101	10	ЛИСВА
16.05.2013 09:23	Рой землетрясений	665	10	ЛИСВА
24.05.2013 05:44	Охотоморское землетрясение	77	4	ЛИСВА
29.03.2017 04:09	Южно-Озерновское землетрясение	277	14	ЛИСВА
17.07.2017 23:34	Ближне-Алеутское землетрясение	375	14	ЛИСВА
20.12.2018 17:01	Землетрясение Углового Поднятия	1484	120	ЛИСВА, с участием ЛСО
25.06.2019 09:05	Дуплет	582	30	ЛИСВА, с участием ЛСО
26.06.2019 02:18				
25.03.2020 02:49		341	14	ЛИСВА
16.03.2021 18:38		510	14	ЛИСВА
19.03.2021 03:16		1432	14	ЛИСВА
17.08.2024 19:10	Шипунское землетрясение	171	50	ЛИСВА

по-видимому, сравнимы с полученными оценками. Значительная разница в результатах наблюдается при регистрации землетрясений малым количеством станций. По причине использования в расчётах упрощённого годографа, и одностороннего расположения сети сейсмических станций по отношению к фокальной зоне, реальные ошибки могут оказаться ещё больше. В случае сейсмической активизации, регистрируемой малым количеством станций, это следует учитывать при выполнении исследований, связанных с пространственно-временными распределениями очагов землетрясений.

В то же время, использование статистического метода [Droznin *et al.*, 2019] для расчёта положения гипоцентра и времени в очаге показало хороший результат. В этом случае решением является распределение вероятности расчётных величин. Наличие хорошего окружения эпицентра землетрясения большим количеством станций позволяет получить более точные оценки, чем при стандартной обработке, принятой в настоящее время в КФ. На рис. 5, 6 приведён пример использования этого метода для определения положения гипоцентра и времени в очаге ЗУП. Линейный размер 90-процентной доверительной области составил около 10 км в горизонтальной плоскости и около 15 км по глубине. Стандартная оперативная оценка точности

локации гипоцентра составила ~25 км в плане и по глубине.

Срочные сообщения

В работе подразделений КФ ФИЦ ЕГС РАН, занятых сбором и оперативной обработкой сейсмологической информации, в зависимости от уровня сейсмической и вулканической опасности, устанавливаются три режима: 1) повседневной деятельности; 2) повышенной опасности; 3) чрезвычайный. Режим повышенной опасности вводится приказом по КФ на основании заключений о состоянии сейсмической и вулканической опасности на территории Камчатского края Камчатским филиалом Российского экспертного совета (КФ РЭС). Чрезвычайный режим работы вводится приказом по КФ после произошедшего сильного землетрясения или извержения вулкана [Chebrov V. *et al.*, 2013].

В рамки повседневной деятельности ЛИСВА включён режим Службы срочных донесений (ССД). Если в рабочее время произошло землетрясение с $ML \geq 4.0$ ($K_s \geq 9.5$) в Авачинском заливе или $ML \geq 4.5$ ($K_s \geq 10.5$) в районе ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН или $ML \geq 6.0$ ($K_s \geq 13.5$) в районе Дальнего Востока или любое землетрясение, для которого имеются данные об ощущениях сейсмических воздействий, то определение его параметров производится немедленно.

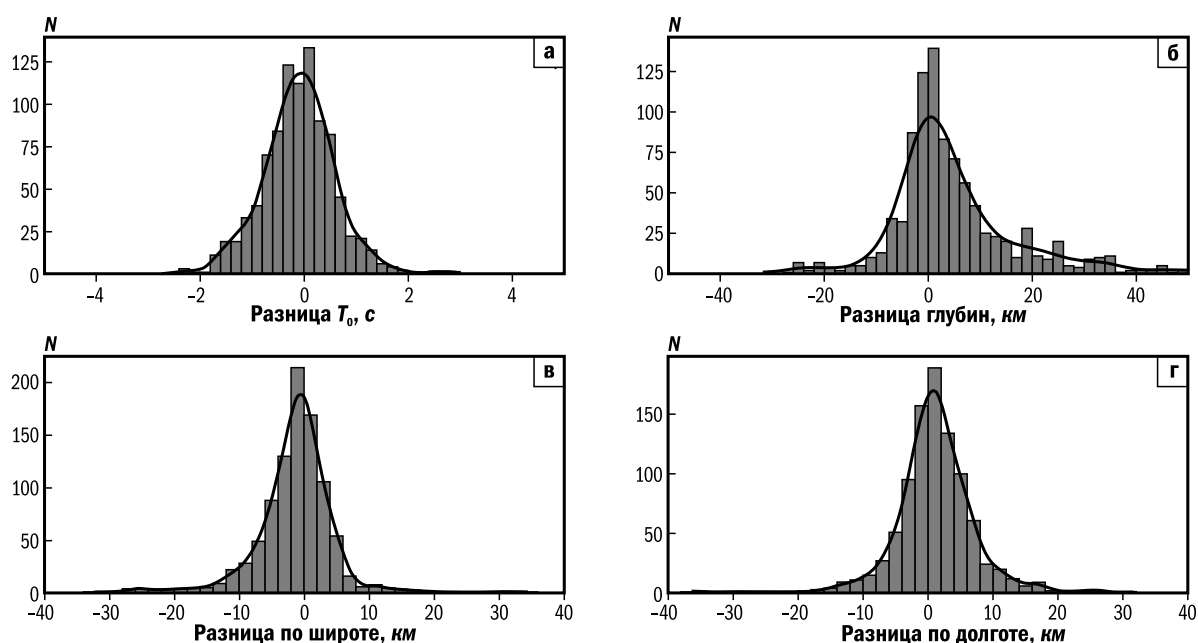


Рис. 4. Гистограммы распределения разности параметров региональных землетрясений, определённых по станциям сети KAGSR и станциям сети (KAGSR+KISS): а — разность значений времени в очаге t_0 ; б — разность глубин; в — разность значений по широте; г — разность значений по долготе.

N — количество событий. Чёрная линия — результат аппроксимации методом оценки формы распределения с помощью ядра Гаусса

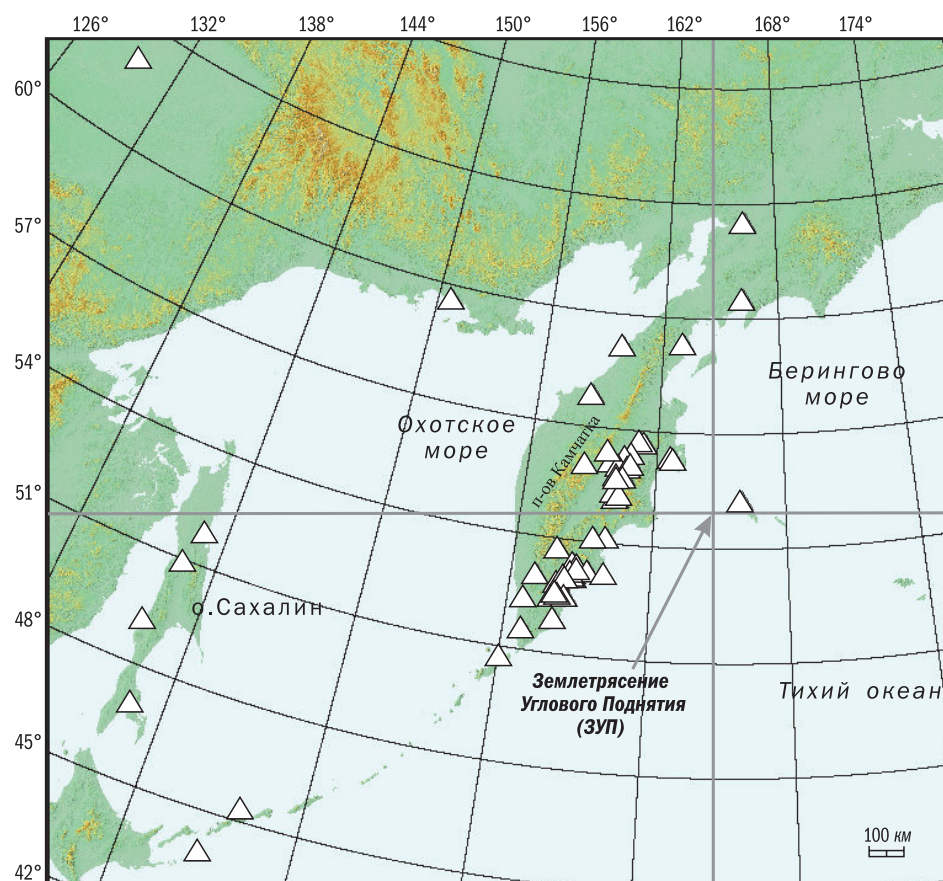


Рис. 5. Карта с расположением станций, данные которых использованы для решения статистическим методом.

Область решения – положение ЗУП – показана перекрестием и стрелкой

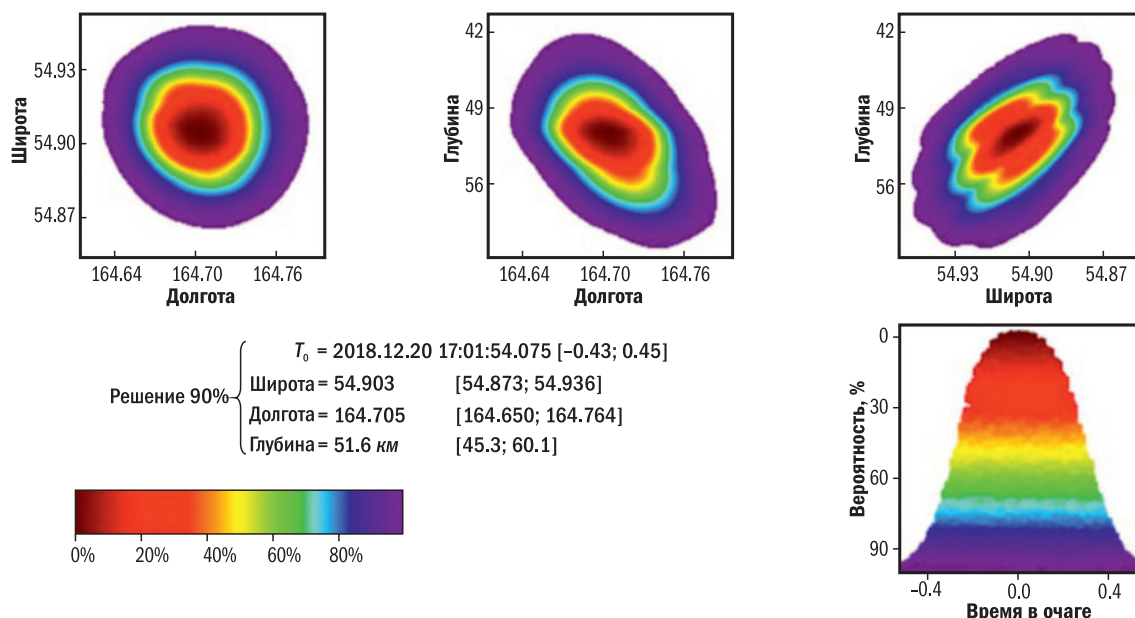


Рис. 6. Апостериорные распределения вероятностных оценок положения гипоцентра и времени в очаге ЗУП (рис. 5).

Показаны линии уровня апостериорной вероятности для трёх проекций, а также линии уровня маргинального распределения для времени в очаге. Линии уровня от 0 до 90% показаны цветом в соответствии со шкалой внизу слева

Быстро реагировать на регистрацию сильного землетрясения помогает программа автоматического определения гипоцентра землетрясения (автор Дрознин Д.В.), которая производит вычисление основных параметров события в первые минуты после его возникновения. Алгоритм поиска решения реализован с использованием времён первых вступлений продольных волн. Результат представляется в виде карты с положением эпицентров и приведением основных параметров последних 20 лоцированных программой землетрясений. В дополнение к этому на экран выводится карта с расположением станций сети Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН и автоматической оперативной оценкой (информация за последние пять минут) расчётной интенсивности сотрясений в пунктах по инструментальным данным [Droznin et al., 2018]. Срабатывание звукового сигнала по итогам работы автоматической программы позволяет сотруднику оперативно реагировать на ситуацию. Информация о сильных землетрясениях передаётся в Главное управление МЧС Камчатской области и по электронной почте по утверждённому списку адресов в течение 30 минут после начала события. Параметры землетрясений с $ML \geq 5.3$ ($K_s \geq 12.0$) в пределах зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН дополнительно рассылаются в виде СМС-сообщений в соответствии с утверждённым для рассылки списком телефонов. Если перечисленные выше землетрясения произошли вне рабочего времени, то определение их параметров производится в первую очередь в начале рабочего дня. Информация передаётся только по электронной почте.

За рассматриваемый период режим повышенной опасности не объявлялся.

Чрезвычайный режим вводился 3 раза: в мае 2013 г. в связи с обработкой многочисленного роя ощутимых землетрясений (начало 16 мая) в ~200 км к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского и афтершоков Охотоморского землетрясения, произошедшего 24 мая; в марте 2021 г. для обработки роёв землетрясений за период с 16 по 22 марта из районов Кроноцкого п-ова и Тумрокских источников; 18 августа 2024 г. в связи с обработкой афтершоков Шипунского землетрясения.

Заключение

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН разработана и внедрена современная цифровая платформа, объединяющая функции сбора, хранения и анализа сейсмологических данных с интегри-

рованной системой обмена информацией, обеспечивающая на высоком уровне решение задач мониторинга сейсмической активности.

К сожалению, в течение последних лет в отсутствие целевого специального финансирования затруднено наращивание, модернизация и обслуживание наблюдательной сети, многие пункты которой находятся в труднодоступных местах, поэтому основные усилия направлены на поддержание устойчивой работы существующей сети сейсмических станций, а также на развитие программно-аппаратного комплекса системы хранения данных, создание новых алгоритмов для обработки сейсмической информации, новых сервисов и информационных систем.

Начиная с 2010 г. формирование окончательного регионального каталога основных параметров землетрясений Камчатки и Командорских островов выполняется в оперативном режиме. Всего за 15-летний период с 2010 по 2024 г. в энергетическом диапазоне $2.0 \leq K_s \leq 17.2$ ($0.25 \leq ML \leq 7.9$) определены параметры 103263 землетрясений (в их числе 21015 с $K_s \geq 8.5$). Из них лоцировано 100942 (18903 с $K_s \geq 8.5$) в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН. В региональный оперативно-окончательный каталог входят все землетрясения (в том числе и вулканические с $K_s \geq 7.5$), произошедшие в зоне ответственности. Региональные каталоги Камчатки и Командорских островов и сопровождающие их статьи ежегодно публикуются в сборниках ФИЦ ЕГС РАН «Землетрясения России» (<http://www.gsras.ru/zr/contents.html>) с $K_s \geq 6.5$ и «Землетрясения Северной Евразии» (<http://www.gsras.ru/zse/contents.html>) с $K_s \geq 8.5$.

За 15 лет наблюдений (или 5479 суток) суммарная задержка в обработке более 100000 событий составила только 294 дня или 5%, что свидетельствует о высокой оперативности обработки региональных землетрясений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00609-26) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu>).

Литература

Гаврилов В.А., Малкин А.П., Чебров В.Н., Сорокин В.В. Радиотелеметрическая система сбора сейсмической информации на Авачинско-Корякском

полигоне // Бюллетень вулканологических станций. — 1978. — № 54. — С. 22–26.

Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Шевченко Ю.В., Степанов В.В. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. — М.: ГС РАН, 1999. — С. 102–114.

Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Козырева Н.П., Левина В.И., Сергеев В.А., Сеньюков С.Л., Яцук В.В. Сбор, обработка и хранение сейсмологической информации // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН / Отв. ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. — Петропавловск-Камчатский, 2004. — С. 43–61.

Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Яцук В.В. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. — 2006. — № 3. — С. 6–27. — EDN: HTUGUH

Гордеев Е.И., Федотов С.А., Чебров В.Н. Основные результаты сейсмологических исследований на Камчатке по данным детальных наблюдений 1961–2011 гг. // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений РАН / Отв. ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. — Петропавловск-Камчатский, 2012. — С. 9–35. — EDN: YMUDCN

Дроздин Д.В., Шевченко Ю.В., Яцук В.В. Оценка работы цифрового демодулятора в аналоговых каналах радиотелеметрической сейсмической станции // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. — Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2013. — С. 45. — EDN: VCCJTV

Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. — М.: Наука, 1974. — 145 с.

Левина В.И., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Лепская Т.С. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов: пересмотр событий 1971–1988 гг. // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Материалы научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров, Г.Н. Копылова. — Петропавловск-Камчатский: Оттиск, 2006. — С. 21–28.

Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. — 1990. — № 5. — С. 103–112.

Назарова З.А. Оценка результатов определения координат гипоцентров программами HIPO, GIP и ARC в условиях Камчатской сети радиотелеме-

трических станций // Вестник Камчатской региональной ассоциации учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. — 2006. — № 2, вып. 8. — С. 188–194. — EDN: HVQSCZ

Назарова З.А. Тестирование программ расчёта координат гипоцентров землетрясений (DIMAS, ARC) на точность и устойчивость в условиях камчатской сети радиотелеметрических станций // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Труды региональной научно-технической конференции, 11–17 ноября 2007 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Т. 2. — Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. — С. 191–195. — EDN: VCDINX

Прытков А.С., Василенко Н.Ф. Парамуширское землетрясение 25 марта 2020 г. $M_w=7.5$ // Геосистемы переходных зон. — 2021. — Т. 5, № 2. — С. 113–127. — DOI: 10.30730/gtr.2021.5.2.113-120.121-127. — EDN: UAZZFG

Сильные камчатские землетрясения 2013 года / Под ред. В.Н. Чеброва. — Петропавловск-Камчатский: Холдинговая компания «Новая книга», 2014. — 252 с. — EDN: VXCNCG

Токарев А.В., Чемарёв А.С. Подсистема ЕИС для поиска и исправления ошибок в результатах обработки землетрясений // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. — Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2013. — С. 356–358. — EDN: VCCQYU

Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. — М.: Наука, 1972. — 117 с.

Федотов С.А. К 25-летию детальных сейсмологических исследований на Камчатке и Командорских островах, XI.1961 — X.1986: история, развитие и задачи // Вулканология и сейсмология. — 1987. — № 6. — С. 3–10.

Федотов С.А. К 40-летию детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. — 2002. — № 3. — С. 73–79.

Федотов С.А., Кузин И.П., Бобков М.Ф. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961–1962 гг. // Известия АН СССР. Серия: Геофизическая. — 1964. — № 9. — С. 1360–1375.

Федотов С.А., Феофилактов В.Д., Гордеев Е.И., Гаврилов В.А., Чебров В.Н. Развитие сейсмометрических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. — 1987. — № 6. — С. 11–28.

Федотов С.А., Шумилина Л.С. Развитие сейсмологических наблюдений на Камчатке // Проблемы современной сейсмологии: Голицынские чтения, 1981. — М.: Наука, 1985. — С. 71–86.

Чебров В.Н. Развитие системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Вестник Камчатской региональной ассоциации учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. — 2007. — № 1, вып. 9. — С. 27–36. — EDN: IAGJFL

Чебров В.Н., Бахтиярова Г.М., Дрознин Д.В., Дубровский Н.И., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Пантюхин Е.А., Сенюков С.Л., Сергеев В.А. Информационные ресурсы Камчатского филиала Геофизической службы РАН в Internet // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. — Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010а. — С. 302–305. — EDN: VCCYXR

Чебров В.Н., Воропаев В.Ф., Дрознин Д.В., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В. Развитие сети цифровых сейсмических станций Камчатки // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Материалы научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров, Г.Н. Копылова. — Петропавловск-Камчатский: Оттиск, 2006. — С. 13–20.

Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Захарченко Н.З., Мишаткин В.Н., Сергеев В.А., Сеницын В.И., Шевченко Ю.В. Опорная сейсмическая станция Петропавловск для службы предупреждения о цунами // Сейсмические приборы. — 2010б. — Т. 46, № 1. — С. 5–15. — EDN: MQOTVR

Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сенюков С.Л., Сергеев В.А., Сеницын В.И., Шевченко Ю.В., Ящук В.В. Детальные сейсмологические наблюдения на Камчатке. Современное состояние (2011 г.) // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений. — Петропавловск-Камчатский: Холдинговая компания «Новая книга», 2012. — С. 36–69. — EDN: YOXGTX

Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сенюков С.Л. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2009 году. — Обнинск: ГС РАН, 2011. — С. 50–57. — EDN: UAGCXD

Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сенюков С.Л., Ландер А.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2013 году. — Обнинск: ГС РАН, 2015. — С. 58–65. — EDN: VBAERB

Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сенюков С.Л., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962–2010 гг.: технология и методика создания // Землетрясения Северной Евразии, 2010. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016а. — С. 396–406. — EDN: XWSGRX

Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Матвеев Е.А., Митюш-

кина С.В., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сенюков С.Л., Серафимова Ю.К., Скоркина А.А., Титков Н.Н., Чебров Д.В. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_s=5.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник Камчатской региональной ассоциации учебно-научный центр. Серия: Науки о Зе, N: ZGPSXH

Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К., Титков Н.Н. Землетрясение углового поднятия 20 декабря 2018 г. $M_w=7.3$ в зоне сочленения Камчатского и Алеутского океанических желобов // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. — 2020. — № 1, вып. 45. — С. 100–117. — DOI: 10.31431/1816-5524-2020-1-45-100-117. — EDN: EZPIWI

Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Рябинин Г.В., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Вилучинское землетрясение 3 апреля 2023 г. $M_w=6.6$ в Авачинском заливе (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. — 2025б. — № 6. — С. 31–49. — DOI: 10.7868/S3034513825060031. — EDN: GMQXCH

Чебров Д.В., Тихонов С.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Салтыков В.А., Сенюков С.Л., Серафимова Ю.К., Сергеев В.А., Ящук В.В. Система сейсмического мониторинга и прогнозирования на Камчатке и её развитие. Основные результаты наблюдений в 2016–2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 3. — С. 28–49. — DOI: 10.35540/2686-7907.2021.3.02. — EDN: RUYRWU

Чебров Д.В., Чеброва А.Ю., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Копылова Г.Н., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Сенюков С.Л. Глубокое ($H\sim 500$ км) землетрясение 13.10.2018 г. с $M_w=6.7$ в Камчатской зоне субдукции с эпицентром в Охотском море // Вестник Камчатской региональной ассоциации учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. — 2019. — № 1, вып. 41. — С. 5–11. — DOI: 10.31431/1816-5524-2019-1-41-5-11. — EDN: ZCNQDJ

Чеброва А.Ю., Чечмарёв А.С., Матвеев Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. — 2020. — Т. 21, № 3. — С. 66–91. — DOI: 10.21455/gr2020.3-5. — EDN: QQHRZU

Шевченко Ю.В. Сейсмический канал для регистрации слабых событий // Вулканология и сейсмология. — 1996. — № 4. — С. 119–121.

Шевченко Ю.В. Организация метрологического обеспечения на камчатской сети сейсмических

станций // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Физико-математические науки — 2018. — № 4, вып. 24. — С. 226–234. — DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-226-234. — EDN: YSQADZ

Шевченко Ю.В. Камчатская сеть сейсмических станций. Опыт эксплуатации // Российский сейсмологический журнал. — 2022. — Т. 4, № 3. — С. 44–51. — DOI: 10.35540/2686-7907.2022.3.04. — EDN: JTEYYR

Ящук В.В., Дрознин Д.В., Ляник Ю.А., Головицкова И.А., Пудов А.Л. Сеть радиотелеметрических сейсмических станций на Камчатке // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тезисы докладов Второй региональной научно-технической конференции, 11–17 октября 2009 г. — Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2009. — С. 50.

Chebrov V.N., Droznin D.V., Kugaenko Yu.A., Levina V.I., Senyukov S.L., Sergeev V.A., Shevchenko Yu.V., Yashchuk V.V. The system of detailed seismological observations in Kamchatka in 2011 // Journal of Volcanology and Seismology. — 2013. — V. 7, N 1. — P. 16–36. — DOI: 10.1134/S0742046313010028

Chebrov D.V., Kugaenko Yu.A., Lander A.V., Abubakirov I.R., Gusev A.A., Droznina S.Ya., Mityushkina S.V., Ototyuk D.A., Pavlov V.M., Titkov N.N. Near Islands Aleutian earthquake with MW=7.8 on July 17, 2017: I. Extended rupture along the Commander block of the Aleutian Island Arc from observations in Kamchatka // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2019. — V. 55, N 4. — P. 576–599. — DOI: 10.1134/S1069351319040037. — EDN: ZTXCXT

Chebrov D.V., Matveenko E.A., Abubakirov I.R., Droznina S.Ya., Lander A.V., Mityushkina S.V., Pavlov V.M., Raevskaya A.A., Saltykov V.A., Senyukov S.L., Titkov N.N. The MW 7.0 Shipunsky earthquake of August 17, 2024 off the East coast of Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. — 2025. — V. 19, N 3. — P. 271–280. — DOI: 10.1134/S0742046325700101. — EDN: VBEYBM

Chubarova O.S., Gusev A.A., Chebrov V.N. The ground motion excited by the Olyutorskii earthquake of April 20, 2006 and by its aftershocks based on digital recordings // Journal of Volcanology and Seismology. — 2010. — V. 4, N 2. — P. 126–138. — DOI: 10.1134/S0742046310020065. — EDN: MXKDJD

Droznin D.V., Droznina S.Ya. Interactive DIMAS program for processing seismic signals // Seismic Instruments. — 2011. — V. 47, N 3. — P. 215–224. — DOI: 10.3103/S0747923911030054

Droznin D.V., Chebrov D.V., Droznina S.Ya., Ototuk D.A. Automated estimation of seismic shaking intensity from Instrumental data in quasi-real-time mode and its use in the operation of the of seismic early warning service in the Kamchatka region // Seismic Instruments. — 2018. — V. 54, N 3. — P. 239–246. — DOI: 10.3103/S0747923918030088

Droznin D.V., Droznina S.Ya., Senyukov S.L., Chebrov D.V., Shapiro N.M., Shebalin P.N. Probabilistic estimates of hypocenters from the data of Kamchatka seismic network station // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. — 2019. — V. 55, N 4. — P. 677–687. — DOI: 10.1134/S1069351319040049. — EDN: DBESOA

Jeffreys H., Bullen K.E. Seismological Tables. — London: British Association for the Advancement of Science, 1940. — 50 p.

Levina V.I., Lander A.V., Mityushkina S.V., Chebrova A. Yu. The seismicity of the Kamchatka region: 1962–2011 // Journal of Volcanology and Seismology. — 2013. — V. 7, N 1. — P. 37–57. — DOI: 10.1134/S0742046313010053. — EDN: RFDFQD

Senyukov S.L., Droznin D.V., Droznina S.Ya., Shapiro N.M., Nuzhdina I.N. The KISS network in 2015–2016: catalogs and comparison of processing results with operational estimates from permanent network // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2024. — V. 60, N 2. — P. 300–313. — DOI: 10.1134/S1069351324700320. — EDN: OZYNSY

Shapiro N.M., Sens-Schönfelder C., Lühr B.G., Weber M., Abkadyrov I., Gordeev E.I., Koulakov I., Jakovlev A., Kugaenko Y.A., Saltykov V.A. Klyuchevskoy volcanic group experiment (KISS). GFZ Data Services. Other/Seismic Network. — 2015. — DOI: 10.14470/K47560642124

Сведения об авторах

Сенюков Сергей Львович, канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр., зав. лаб. Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: ssl@emsd.ru

Дрознина Светлана Ярославовна, науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: sva07@emsd.ru

Дрознин Дмитрий Валериевич, ст. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: ddd@emsd.ru

Чебров Данила Викторович, канд. физ.-мат. наук, директор КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: danila@emsd.ru

15 years of the operational-final regional earthquake catalog of Kamchatka and the Commander Islands (2010–2024)

© 2026 S.L. Senyukov, S.Ya. Droznina, D.V. Droznin, D.V. Chebrov

KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Received April 24, 2026

Abstract This article presents information on the development of the final earthquake catalog for Kamchatka and the Commander Islands, including the main results of seismic observations and information on the strongest events in the region for 2010–2024. Until 2010, the Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (KB GS RAS) developed the Kamchatka and Commander Islands earthquake catalog in two stages. During the first stage, an operational catalog was compiled in near-real-time by staff of the Department of Radio Telemetry Seismic Stations (RTSS), and, starting in January 2001, by the Laboratory for Seismic and Volcanic Activity Research (LSVAR). The final catalog was compiled with a delay of more than one year by the Laboratory for Summary Processing (LSP). The main reason for the delay was the lack of real-time data from some seismic stations in the Kamchatka Branch's permanent network, which was eliminated by 2010 as a result of its modernization. At the same time, a modern digital platform was developed that combines the functions of collecting, storing and analyzing seismological data with an integrated information exchange system. As a result, since 2010, the formation of a final regional catalog of the main parameters of earthquakes in Kamchatka and the Commander Islands has been carried out in real time by LSVAR staff. In total, over the 15-year period from 2010 to 2024, the parameters of 103263 earthquakes (including 21015 with $K_s \geq 8.5$) were determined in the energy range of $2.0 \leq K_s \leq 17.2$ ($0.25 \leq ML \leq 7.9$). Of these, 100942 (18903 with $K_s \geq 8.5$) were located in the area of responsibility of KB GS RAS. Catalogues of earthquakes in Kamchatka and the Commander Islands and accompanying articles are published annually in the collections of the Geophysical Surveys of RAS "Earthquakes in Russia" (<http://www.gsras.ru/zr/contents.html>) with $K_s \geq 6.5$ and "Earthquakes in Northern Eurasia" (<http://www.gsras.ru/zse/contents.html>) with $K_s \geq 8.5$.

Keywords Kamchatka, final earthquake catalog, station network, real-time monitoring, strong earthquakes.

For citation Senyukov, S.L., Droznina, S.Ya., Droznin, D.V., & Chebrov, D.V. (2026). [15 years of the operational-final regional earthquake catalog of Kamchatka and the Commander Islands (2010–2024)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 8(3), 30–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2026.3.02>. EDN: MFXNDK

References

- Gavrilov, V.A., Malkin, A.P., Chebrov, V.N., & Sorokin, V.V. (1978). [Telemetry system for collecting seismic data at the Avacha Koryaksky test site]. *Biulleten' vulkanologicheskikh stantsii* [Bulletin of Volcanic Stations], 54, 22–26. (In Russ.).
- Gordeev, E.I., Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Kozyreva, N.P., Levina, V.I., Sergeev, V.A., Seniukov, S.L., & Iashchuk, V.V. (2004). [Collection, processing, and storage of seismological data]. In *Kompleksnye seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniia Kamchatki. K 25-letiiu Kamchatskoi opytно-metodicheskoi seismologicheskoi partii GS RAN. Otv. red. V.N. Chebrov, E.I. Gordeev* [Complex seismological and geophysical surveys of Kamchatka. On the 25th anniversary of the Kamchatka Experimental and Methodological Seismological Party of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. Eds. E.I. Gordeev, V.N. Chebrov] (pp. 43–61). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: KB GS RAS Publ. (In Russ.).
- Gordeev, E.I., Chebrov, V.N., Levina, V.I., Seniukov, S.L., Shevchenko, Iu.V., & Iashchuk, V.V. (2006). [Seismological Observation System in Kamchatka]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 3, 6–27. (In Russ.). EDN: HTUGUH
- Gordeev, E.I., Levina, V.I., Chebrov, V.N., Ivanova, E.I., Shevchenko, Iu.V., & Stepanov, V.V. (1999). [Earthquakes in Kamchatka and the Commander Islands]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii v 1993 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1993] (pp. 102–114). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Gordeev, E.I., Fedotov, S.A., & Chebrov, V.N. (2012). [The main results of seismological studies in Kamchatka

- based on detailed observations from 1961 to 2011]. In *Seismologicheskies i geofizicheskie issledovaniia na Kamchatke. K 50-letiiu detaľnykh seismologicheskikh nabludenii. Otv. red. V.N. Chebrov, E.I. Gordeev* [Seismological and geophysical research in Kamchatka. 50th anniversary of detailed seismological observations. Eds. E.I. Gordeev, V.N. Chebrov] (pp. 9-35). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: KB GS RAS. (In Russ.). EDN: YMUDCN
- Chebrov, D.V., Abubakirov, I.R., Gubanova, A.A., Glukhov, V.E., Lander, A.V., Matveenkov, E.A., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., & Titkov, N.N. (2023). [The Paramushir Mw=7.4 earthquake of March 25, 2020]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 2(58), 49-66. (In Russ.). DOI: 10.31431/1816-5524-2023-2-58-49-66. EDN: VDUVNW
- Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Shevchenko, Yu.V., & Mityushkina, S.V. (2025a). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletryaseniia Rossii v 2023 godu* [Earthquakes in Russia, 2023] (pp. 84-96). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: WUONYC
- Chebrov, D.V., Kugaenko, Iu.A., Abubakirov, I.R., Lander, A.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., & Titkov, N.N. (2017b). [Near Aleutian earthquake on July 17, 2017, with Mw=7.8, at the boundary of the Commander Seismic Gap]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 3(35), 22-25. (In Russ.). EDN: ZGPSYB
- Chebrov, D.V., Kugaenko, Iu.A., Abubakirov, I.R., Voropaev, P.V., Gusev, A.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ia., Ivanova, E.I., Kravchenko, N.M., Lander, A.V., Matveenkov, E.A., Mityushkina, S.V., Ototiuk, D.A., Pavlov, V.M., Raevskaia, A.A., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Serafimova, Iu.K., Skorkina, A.A., & Titkov, N.N. (2017a). [Strong earthquakes in Kamchatka in 2016–2017]. In *Problemi kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dalnego Vostoka Rossii. Trudy Shestoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Otv. red. D.V. Chebrov* [Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia. Proceedings of VI science conference. Ed. D.V. Chebrov] (pp. 89-96). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: XNDSZN
- Chebrov, D.V., Kugaenko, Iu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ia., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., Serafimova, Iu.K., & Titkov, N.N. (2020). [Uglovogo podnitiia earthquake on December 20, 2018, with Mw=7.3 at the junction of the Kamchatka and Aleutian trenches]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 1(45), 100-117. (In Russ.). DOI: 10.31431/1816-5524-2020-1-45-100-117. EDN: EZPIWI
- Chebrov, D.V., Kugaenko, Yu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Gusev, A.A., Droznina, S.Ia., Mityushkina, S.V., Ototyuk, D.A., Pavlov, V.M. & Titkov, N.N. (2019) Near Islands Aleutian Earthquake with MW=7.8 on July 17, 2017: I. Extended rupture along the Commander block of the Aleutian Island Arc from observations in Kamchatka. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 55(4), 576-599. DOI: 10.1134/S1069351319040037. EDN: ZTXCXT
- Chebrov, D.V., Kugaenko, Iu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Voropaev, P.V., Gusev, A.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ia., Ivanova, E.I., Kravchenko, N.M., Matveenkov, E.A., Mityushkina, S.V., Ototiuk, D.A., Pavlov, V.M., Raevskaia, A.A., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Skorkina, A.A., & Serafimova, Iu.K. (2017c) [Yuzhno-Ozernovskoye earthquake, March 29, 2017, Mw=6.6, $K_s=15.0$, $I=6$ (Kamchatka)]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 3(35), 7-21. (In Russ.). EDN: ZGPSXH
- Chebrov, D.V., Matveenkov, E.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ia., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Raevskaia, A.A., Riabinin, G.V., Saltykov, V.A., & Serafimova, Iu.K. (2025b). [Vilyuchinskoye earthquake on April 3, 2023, with Mw=6.6 in Avacha bay (Kamchatka)]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 6, 31-49. (In Russ.). DOI: 10.7868/S3034513825060031. EDN: GMQXCH
- Chebrov, D.V., Matveenkov, E.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., & Titkov N.N. (2025). The Mw=7.0 Shipunsky earthquake of August 17, 2024 off the East Coast of Kamchatka. *Journal of Volcanology and Seismology*, 19(3), 271-280. DOI: 10.1134/S0742046325700101. EDN: VBEBYM
- Chebrov, D.V., Tikhonov, S.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ia., Matveenkov, E.A., Mityushkina, S.V., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Serafimova, Yu.K., Sergeev, V.A., & Yashchuk, V.V. (2021). Kamchatka seismic monitoring and Earthquake prediction system and its evolution. Main results of observations in 2016–2020. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 28-49. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2021.3.02. EDN: RUYRWU
- Chebrov, D.V., Chebrova, A.Iu., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ia., Mityushkina, S.V., Kopylova, G.N., Ototiuk, D.A., Pavlov, V.M., & Senyukov, S.L. (2019). [Deep (H~500 km) earthquake on October 13, 2018, with Mw=6.7 in the Kamchatka subduction zone, with

- its epicenter in the Sea of Okhotsk]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 1(41), 5-11. (In Russ.). DOI: 10.31431/1816-5524-2019-1-41-5-11. EDN: ZCNQDJ
- Chebrov, V.N. (Ed.) (2014). *Sil'nye kamchatskie zemletraseniia 2013 goda* [Strong Kamchatka earthquakes of 2013]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Khold. komp. "Novaia kniga" Publ., 252 p. (In Russ.). EDN: VXCNCG
- Chebrov, V.N. (2007). [Development of seismological observation system for tsunami warning purposes in the Russian Far East]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 1(9), 27-36. (In Russ.). EDN: IAGJFL
- Chebrov, V.N., Bakhtiarova, G.M., Droznin, D.V., Dubrovskii, N.I., Kugaenko, Iu.A., Levina, V.I., Pantiukhin, E.A., Seniukov, S.L., & Sergeev, V.A. (2010a). [Information resources of the Kamchatka branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences on the Internet]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Vtoroi regional'noi nauchno-tehnicheskoi konferentsii. Otv. red. V.N. Chebrov* [Problems of complex geophysical monitoring in the Russian Far East. Proceedings of the Second regional scientific and technical conference. Ed. V.N. Chebrov] (pp. 302-305). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: VCCYXR
- Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Kugaenko, Yu.A., Levina, V.I., Senyukov, S.L., Sergeev, V.A., Shevchenko, Yu.V., & Yashchuk, V.V. (2013). The System of Detailed Seismological Observations in Kamchatka in 2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7(1), 16-36. DOI: 10.1134/S0742046313010028
- Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Kugaenko, Iu.A., Levina, V.I., Seniukov, S.L., Sergeev, V.A., Sinitsyn, V.I., Shevchenko, Iu.V., & Iashchuk, V.V. (2012). [Detailed seismological observations in Kamchatka. Current status (2011)]. *Seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniia na Kamchatke. K 50-letiiu detal'nykh seismologicheskikh nabludenii* [Seismological and geophysical research in Kamchatka. On the 50th anniversary of detailed seismological observations] (pp. 36-69). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Khold. komp. "Novaia kniga" Publ. (In Russ.). EDN: YOXGTX
- Chebrov, V.N., Droznina, S.Ya., & Senyukov, S.L. (2011). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletryaseniia Rossii v 2009 godu* [Earthquakes in Russia in 2009] (pp. 50-57). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: UAGCXD
- Chebrov, V.N., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., & Lander, A.V. (2015). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletryaseniia Rossii v 2013 godu* [Earthquakes in Russia in 2013] (pp. 58-65). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: VBAERB
- Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Zakharchenko, N.Z., Mishatkin, V.N., Sergeev, V.A., Sinitsyn, V.I., & Shevchenko, Iu.V. (2010b). [Petropavlovsk seismic station for tsunami warning]. *Seismicheskie pribory* [Seismic Instruments], 46(1), 5-15. (In Russ.). EDN: MQOTVR
- Chebrov, V.N., Kugaenko, Iu.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ia., Ivanova, E.I., Matveenko, E.A., Mitiushkina, S.V., Ototiuk, D.A., Pavlov, V.M., Raevskaia, A.A., Saltykov, V.A., Seniukov, S.L., Serafimova, Iu.K., Skorina, A.A., Titkov, N.N., & Chebrov, D.V. (2016b). [Zhupanovskoye Earthquake, January 30, 2016, with $K_s=5.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Kamchatka)]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 1(29), 5-16. (In Russ.). EDN: VSNTCB
- Chebrov, V.N., Levina, V.I., Lander, A.V., Chebrova, A. Yu., Senyukov, S.L., Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2016a). [Regional earthquakes catalogue of Kamchatka and Komandor Islands in 1962–2010: technology and method of formation]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2010 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 396-406). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: XWSGRX
- Chebrov, V.N., Voropaev, V.F., Droznin, D.V., Sergeev, V.A., & Shevchenko, Iu.V. (2006). [Development of the digital seismic stations network in Kamchatka]. In *Kompleksnye seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniia Kamchatki. Materialy nauchno-tehnicheskoi konferentsii. Otv. red. V.N. Chebrov, G.N. Kopylova* [Complex seismological and geophysical surveys of Kamchatka. Proceedings of the scientific and technical conference. Eds. V.N. Chebrov, G.N. Kopylova] (pp. 13-20). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Ottisk Publ. (In Russ.).
- Chebrova, A.Iu., Chemarev, A.S., Matveenko, E.A., & Chebrov, D.V. (2020). [Unified information system for seismological data in the Kamchatka branch of the Geophysical Surveys of the Russian Academy of Sciences: organizational principles, main elements, key functions]. *Geofizicheskie issledovaniia* [Geophysical research], 21(3), 66-91. (In Russ.). DOI: 10.21455/gr2020.3-5. EDN: QQHRZU
- Chubarova, O.S., Gusev, A.A., & Chebrov, V.N. (2010). The ground motion excited by the Olyutorskii earthquake of April 20, 2006 and by its aftershocks based on digital recordings. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4(2), 126-138. DOI: 10.1134/S0742046310020065. EDN: MXKDJH
- Droznin, D.V., Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., & Ototuk, D.A. (2018). Automated estimation of seismic shaking intensity from Instrumental data in quasi-real-time

- mode and its use in the operation of the seismic early warning service in the Kamchatka region. *Seismic Instruments*, 54(3), 239-246. DOI: 10.3103/S0747923918030088
- Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47(3), 215-224. DOI: 10.3103/S0747923911030054
- Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Chebrov, D.V., Shapiro, N.M., & Shebalin, P.N. (2019). Probabilistic estimates of hypocenters from the data of Kamchatka seismic network station. *Physics of the Solid Earth*, 55(4), 677-687. DOI: 10.1134/S1069351319040049. EDN: DBESOA
- Droznin, D.V., Shevchenko, Iu.V., & Iashchuk, V.V. (2013). [Evaluation of the digital demodulator operation in analog channels of a radio telemetry seismic station]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Chetvertoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Otv. red. V.N. Chebrov* [Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Fourth scientific and technical conference. Ed. V.N. Chebrov] (p. 45). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: VCCJTV
- Fedotov, S.A. (1972). *Energeticheskaya klassifikatsiya Kurilo-Kamchatskikh zemletriasenii i problema magnitud* [Energy classification of the Kuril-Kamchatka earthquakes and the problem of magnitudes]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 117 p. (In Russ.).
- Fedotov, S.A. (1987). [25th anniversary of detailed seismological research in Kamchatka and the Commander Islands, November 1961–October 1986: history, development, and objectives]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 6, 3-10. (In Russ.).
- Fedotov, S.A. (2002). [40th anniversary of detailed seismological research in Kamchatka and the Commander Islands]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 3, 73-79. (In Russ.).
- Fedotov, S.A., Feofilaktov, V.D., Gordeev, E.I., Gavrilov, V.A., & Chebrov, V.N. (1987). [Development of seismometric observations in Kamchatka]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 6, 11-28. (In Russ.).
- Fedotov, S.A., Kuzin, I.P., & Bobkov, M.F. (1964). [Detailed seismological studies in Kamchatka in 1961–1962]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya: Geofizicheskaya* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Series: Geophysical], 9, 1360-1375. (In Russ.).
- Fedotov, S.A., & Shumilina, L.S. (1985). [Development of seismological observations in Kamchatka]. *Problemy sovremennoi seismologii: Golitsynskie chteniya, 1981* [Problems of modern seismology: Golitsyn readings, 1981] (pp. 71-86). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Iashchuk, V.V., Droznin, D.V., Liannik, Iu.A., Golovshchikova, I.A., & Pudov, A.L. (2009). [Kamchatka seismic radio telemetry station network]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Tezisy dokladov Vtoroy regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East. Abstracts of the Second regional scientific and technical conference] (p. 50). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Jeffreys, H., & Bullen, K.E. (1940). *Seismological Tables*. London: British Association for the Advancement of Science, 50 p.
- Kuzin, I.P. (1974). *Fokal'naya zona i stroenie verkhnei mantii v raione Vostochnoi Kamchatki* [Focal zone and upper mantle structure in the region of Eastern Kamchatka]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 145 p. (In Russ.).
- Levina, V.I., Ivanova, E.I., Mitiushkina, S.V., & Lepskaya, T.S. (2006). [Catalog earthquakes in Kamchatka and the Commander Islands: revision of events from 1971 to 1988]. In *Kompleksnye seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniya Kamchatki. Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Otv. red. V.N. Chebrov, G.N. Kopylova* [Complex seismological and geophysical surveys of Kamchatka. Proceedings of the scientific and technical conference. Eds. V.N. Chebrov, G.N. Kopylova] (pp. 21-28). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Ottisk. (In Russ.).
- Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2013). The seismicity of the Kamchatka region: 1962–2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7(1), 37–57. DOI: 10.1134/S0742046313010053. EDN: RFDFQD
- Mel'nikov, Iu.Iu. (1990). [Software package for determining the coordinates earthquake hypocenters Kamchatka on a computer]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 5, 103–112. (In Russ.).
- Nazarova, Z.A. (2006). [Evaluation of hypocenter coordinate determination results using HIPO, GIP, and ARC programs under conditions the radio telemetry network Kamchatka]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 2(8), 188-194. (In Russ.). EDN: HVQSCZ
- Nazarova, Z.A. (2008). [Testing earthquake hypocenter coordinate calculation programs (DIMAS, ARC) for accuracy and stability under conditions the Kamchatka radio telemetry network]. In *Geofizicheskii monitoring i problemy seismicheskoi bezopasnosti Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy regional'noi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, 11–17 noiabria 2007 g. Otv. red. V.N. Chebrov. T. 2* [Geophysical monitoring and seismic safety issues in the Russian Far East. Proceedings of the regional scientific and technical

- conference, November 11–17, 2007. Ed. V.N. Chebrov. Vol. 2] (pp. 191–195). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: VCDIHX
- Prytkov, A.S., & Vasilenko, N.F. (2021) [The March 25, 2020 MW=7.5 Paramushir earthquake]. *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 5(2), 113–127 (In Russ.). DOI: 10.30730/grz.2021.5.2.113-120.121-127. EDN: UAZZFG
- Senyukov, S.L., Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Shapiro, N.M., & Nuzhdina, I.N. (2024). The KISS network in 2015–2016: catalogs and comparison of processing results with operational estimates from permanent network. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 60(2), 300–313. DOI: 10.1134/S1069351324700320. EDN: OZYNSY
- Shapiro, N.M., Sens-Schönfelder, C., Lühr, B.G., Weber, M., Abkadyrov, I., Gordeev, E.I., Koulakov, I., Jakovlev, A., Kugaenko, Y.A., & Saltykov, V.A. (2015). Klyuchevskoy volcanic group experiment (KISS). GFZ Data Services. Other/Seismic Network. DOI: 10.14470/K47560642124
- Shevchenko, Iu.V. (1996). [Seismic channel for recording weak events]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 4, 119–121. (In Russ.).
- Shevchenko, Iu.V. (2018). [Organization of metrological assurance on the Kamchatka seismic network]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii uchebno-nauchnyi tsentr. Fiz.-mat. Nauk* [Bulletin of Kamchatka Regional Association “Educational-Scientific Center”. Phys. Math. Sciences], 4(24), 226–234. (In Russ.). DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-226-234. EDN: YSQADZ
- Shevchenko, Iu.V. (2022). [Kamchatka Seismic Station Network: Operational Experience]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(3), 44–51. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2022.3.04. EDN: JTEYYR
- Tokarev, A.V., & Chemarev, A.S. (2013). [The EIS subsystem for detecting and correcting errors in earthquake processing results]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Chetvertoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii. Otv. red. V.N. Chebrov* [Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Fourth scientific and technical conference. Ed. V.N. Chebrov] (pp. 356–358). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: VCCQYJ

Information about authors

Senyukov Sergey Lvovich, PhD, Leading Researcher, Head of Laboratory of the Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (KB GS RAS), Petropavlosk-Kamchatsky, Russia. E-mail: ssl@emsd.ru

Droznina Svetlana Yaroslavovna, Researcher of the KB GS RAS, Petropavlosk-Kamchatsky, Russia. E-mail: sva07@emsd.ru

Droznin Dmitry Valerievich, Senior Researcher of the KB GS RAS, Petropavlosk-Kamchatsky, Russia. E-mail: dddv@emsd.ru

Chebrov Danila Viktorovich, PhD, Director of the KB GS RAS, Petropavlosk-Kamchatsky, Russia. E-mail: danila@emsd.ru