

УДК 550.34, 004.6

ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В КАМЧАТСКОМ ФИЛИАЛЕ ФИЦ ЕГС РАН: ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ, ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, КЛЮЧЕВЫЕ ФУНКЦИИ

© 2020 г. А.Ю. Чеброва¹, А.С. Чемарёв¹, Е.А. Матвеев¹, Д.В. Чебров^{1,2}

¹ Камчатский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В Камчатском филиале Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН” с 2010 г. ведется разработка Единой информационной системы сейсмологических данных (далее – ЕИССД) с целью объединения в единое информационное пространство всех данных, полученных и получаемых в результате сейсмического мониторинга Камчатки, ускорения и облегчения повседневной деятельности за счет максимальной автоматизации процессов сбора, систематизации, анализа, управления и доступа к сейсмологическим данным на основе современных информационных технологий.

На момент подготовки публикации (2020 г.) ЕИССД представляет собой совокупность подсистем, каждая из которых обеспечивает выполнение конкретных действий по одному из направлений сейсмического мониторинга: автоматическое формирование Бюллетеня Камчатского филиала ЕГС РАН; дополнение Бюллетеня различными параметрами землетрясений, предоставленными мировыми сейсмологическими агентствами *ISC*, *NEIC*, *GCMT* и др.; автоматическое создание волновых форм из непрерывных записей сейсмометрических каналов; автоматизированный сбор и систематизация макросейсмических данных; подготовка данных для расчета механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений объемных волн и сохранение результатов расчёта; ведение автоматизированного контроля и корректировки данных, поступающих в ЕИССД; осуществление удобного доступа разных категорий пользователей к данным ЕИССД через интернет (<http://sdis.emsd.ru>); визуализацию всех занесенных данных с помощью интерактивной карты.

Описаны принципы организации базы данных, ключевые функции и особенности работы отдельных подсистем Единой информационной системы сейсмологических данных. В настоящее время при продолжающейся работе по совершенствованию ЕИССД она применяется не только для сейсмологических исследований, но и для решения широкого круга других научных задач в рамках комплексного геофизического мониторинга Курило-Камчатского региона.

Ключевые слова: сейсмология, сейсмологические данные, информационная система, база данных, параметры землетрясения.

Введение

Основное направление деятельности Камчатского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН” (КФ ФИЦ ЕГС РАН) – фундаментальные и прикладные научные исследования в области сейсмологии и геофизики. К приоритетным задачам, решаемым Камчатским филиалом, относятся проведение комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений; развитие и совершенствование методов и технических средств наблюдений, сбора и обработки данных; оптимизация хранения первичных данных наблюдений и результатов их обработки

с созданием многоуровневого доступа к ним как для внутренних, так и внешних пользователей. Важнейшим моментом при этом является качество организации информационной системы Камчатского филиала ЕГС РАН, от которого в значительной степени зависит эффективность работы всех подразделений филиала.

Первая информационная система была создана в начале девяностых годов прошлого столетия [Гордеев и др., 2004] и работала в рамках общей системы сбора, систематизации и доступа к сейсмологической информации КФ ФИЦ ЕГС РАН (в то время – Камчатской опытно-методической сейсмологической партии, КОМСП). Эта система называлась “Банк региональных сейсмологических данных о землетрясениях Камчатки, Командорских островов и Северных Курил” (Банк сейсмологических данных) [Гордеев и др., 2008]. При создании Банка сейсмологических данных был сформирован цифровой архив сейсмологической информации, к которому представлялся доступ пользователей. Пополняемый в полуавтоматическом режиме Банк сейсмологических данных в первое десятилетие XXI в. включал уже несколько баз данных, управляемых с помощью СУБД *FOXPRO2*, несколько цифровых архивов и файлы с сопутствующей дополнительной информацией. Доступ к данным осуществлялся по локальной сети. Доступ через интернет был организован только к основному результату Службы сейсмического мониторинга Камчатки – окончательному каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов.

Со временем используемые в Банке сейсмологических данных подходы к сбору, систематизации и организации доступа к информации устарели, в связи с чем в 2010 г. Камчатский филиал ЕГС РАН приступил к разработке новой современной Единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД) [Токарев и др., 2011]. Весь материал по землетрясениям Камчатки и Командорских островов, накопленный к этому времени в упоминаемом выше Банке сейсмологических данных, был полностью перенесен в базу данных создаваемой единой системы.

При разработке ЕИССД, в частности, при проектировании ее интерфейсов и сервисов, авторы ориентировались на информационные системы международных агентств, работающих с сейсмологической информацией: *ISC (International Seismological Centre, <http://www.isc.ac.uk>)*, *USGS (United States Geological Survey, <https://earthquake.usgs.gov>)*, *IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology, https://ds.iris.edu/wilber3/find_event)*.

Среди российских систем наиболее близкой к разрабатываемой в КФ ФИЦ ЕГС РАН является информационная система, созданная в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН [Хритова, 2015]. Главное отличие этой системы от представляемой нами состоит в отсутствии сейсмологической информации, накопленной в период до начала её работы.

Информационная система “Активная сейсмология” [Брагинская, Григорюк, 2012; Брагинская, Григорюк, Ковалевский, 2015] по своей основной цели также близка к разрабатываемой в Камчатском филиале, но она не решает задачи автоматизации процессов обработки информации и ориентирована преимущественно на активную сейсмологию с мощными вибрационными источниками. Этой системе посвящено довольно много публикаций, она позиционируется как открытый и развивающийся ресурс, но представленные в ней сведения¹ последний раз обновлялись несколько лет назад – в частности, доступные экспериментальные данные ограничены 2011 г., а последние публикации, представленные на сайте, относятся к 2017 г.

Еще одна система для решения задач хранения сейсмической информации и организации доступа к ней разработана в ОАО НК “Роснефть” [Лапушов и др., 2013]. Однако

¹ <http://opg.sccc.ru> (дата обращения: 06.08.2020).

данные этой системы закрыты для большинства пользователей; известна лишь общая структура ее работы и узкий набор используемого программного обеспечения.

Главная цель создания Единой информационной системы сейсмологических данных – объединение в одном информационном пространстве всей сейсмологической информации, получаемой (и полученной ранее) при проведении наблюдений на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей Камчатского филиала ЕГС РАН, включая результаты наблюдений, обработки и анализа сейсмологических данных. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- разработка структуры хранения информации в Базе данных (БД);
- максимальная автоматизация процессов, обеспечивающих сбор сейсмологических данных, их систематизацию и организацию доступа к ним;
- реализация удобного управления информационными ресурсами;
- создание инструмента комплексного анализа сейсмологических данных.

Структурно ЕИССД представляет собой совокупность подсистем, решающих задачи сбора, хранения и организации доступа к сейсмическим данным и результатам их обработки, а также включает в себя инструменты для постобработки и анализа данных. Архитектура ЕИССД допускает масштабирование и расширение, обеспечивая тем самым возможность создания единого информационного пространства для всех геофизических данных, получаемых в Камчатском филиале ЕГС РАН.

В данной статье сделана попытка зафиксировать современное состояние Единой информационной системы сейсмологических данных, обеспечивающей доступ к данным сейсмического мониторинга Камчатки.

Принципы организации Базы данных Единой информационной системы сейсмологических данных

Основной элемент любой информационной системы – База данных (БД), принципы организации которой и функциональные возможности системы управления ею в значительной мере определяют эффективность работы с информацией. База данных в составе ЕИССД работает под управлением открытой, свободно доступной клиент-серверной мультиплатформенной системы управления *PostgreSQL*. Сервер, на котором располагается данная СУБД, является частью системы сбора, обработки, хранения и представления данных сейсмологических наблюдений Камчатского филиала [Чебров и др., 2014]. Резервное копирование данных происходит раз в сутки; наиболее часто запрашиваемые данные так же раз в сутки копируются на дополнительный сервер, выполняющий роль “зеркала” основного.

При разработке структуры Базы данных ЕИССД принимались во внимание мировые стандарты обмена данными о землетрясениях (*Standard for the Exchange of Earthquake Data, SEED* – http://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual_V2.4.pdf) и параметрической сейсмологической информации (*IASPEI Seismic Format, ISF* – <http://www.isc.ac.uk/standards/isf/>). Соответствие форматов хранения мировым стандартам позволяет дополнять получаемые Камчатским филиалом данные по региональным землетрясениям информацией из мировых сейсмологических центров. Наличие структурированной информации о землетрясениях из разных источников открывает широкие возможности для проведения разнообразных исследований, не требуя длительных затрат на подготовку данных к анализу.

Особенностью структуры Базы данных ЕИССД является наличие двух логических центров, один из которых – Сейсмическое событие, другой – Пункт наблюдения (рис. 1).

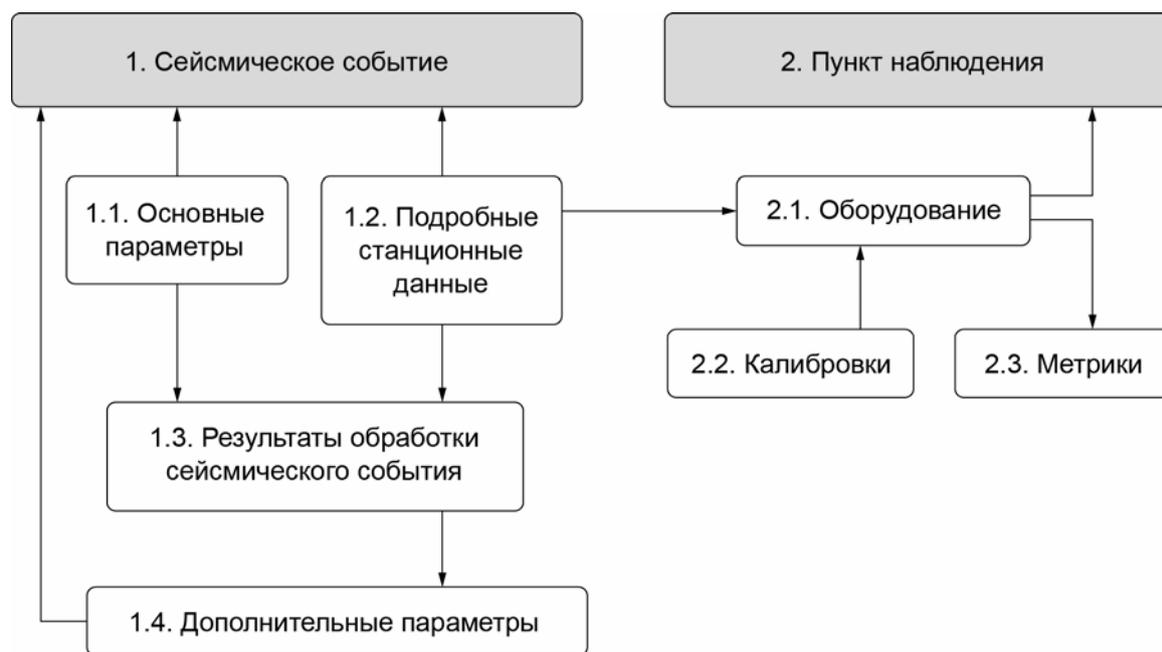


Рис. 1. Общая схема структуры Базы данных Единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД) Камчатского филиала ЕГС РАН

Fig. 1. The general scheme of the SDIS database structure (Kamchatka Branch of GS RAS): 1 – seismic event (1.1 – main parameters, 1.2 – detailed station data, 1.3 – results of processing a seismic event, 1.4 – additional parameters); 2 – observation station (2.1 – equipment, 2.2 – calibrations, 2.3 – metrics)

Сейсмическое событие (СС) – это тектоническое или вулканическое землетрясение, взрыв и т.п. с определенными основными параметрами, к которым относятся координаты и энергетические оценки. Дополнительно рассчитываются проявления сейсмических воздействий, механизм очага. Поскольку одно и то же событие может быть обработано разными исследователями и разными методами, в Базе данных одному СС может соответствовать более одного определения его параметров.

Пункт наблюдения (ПН) – программно-аппаратный комплекс, предназначенный для регистрации геофизических полей, оснащаемый специализированными датчиками и приборами (сейсмометры, видеокамеры, наклонометры, приемник ГНСС, микробарограф и т.п.), оборудованием связи, системой электропитания, а также любыми другими дополнительными устройствами. На момент публикации статьи в Базе данных ЕИССД содержится информация только о станциях, используемых для сейсмического и вулканического мониторинга.

Набор СС, произошедших за время наблюдений, и набор ПН, используемых для сейсмического мониторинга, составляют основу структуры Базы данных ЕИССД, согласно которой организована вся содержащаяся в ней сейсмологическая информация.

В настоящее время в Базе данных ЕИССД созданы таблицы для следующих характеристик СС: основные параметры гипоцентра, подробные станционные данные (информация о кинематических и динамических характеристиках сейсмических фаз), энергетические характеристики, макросейсмические проявления, механизмы очагов. Ряд таблиц содержит информацию о результатах обработки СС с указанием автора (оператор, организация и т.п.), методики получения результата (программа обработки, использованная скоростная модель и др.), задачи, при решении которой результат получен (формирование сейсмологического бюллетеня КФ ФИЦ ЕГС РАН, создание

уточненного каталога афтершоков при исследовании очаговой области сильного землетрясения и т.п.).

Таблицы, созданные для ПН, содержат информацию о сейсмометрическом оборудовании, используемом в пункте за весь период инструментальных наблюдений, включая название ПН, код сейсмометрического канала в соответствии с форматом *SEED* (код станции, сеть, код установки, тип канала), координаты ПН, даты начала и окончания работы, название и тип датчика, тип регистрации, информацию о калибровках.

По мере развития ЕИССД планируется внесение в таблицы информации о других типах оборудования, установленного в ПН, – о каналах передачи данных, системах электропитания, видеокамерах, *GPS*-приемниках и т.п. Предполагается создание таблиц с новыми характеристиками СС, включая результаты обработки записей станций сильных движений, косейсмические смещения по данным *GNSS*-наблюдений и т.д. Помимо этого, планируется расширение структуры Базы данных для сохранения результатов анализа ранее обработанных сейсмологических данных (изменение во времени уровня надежной регистрации камчатской сети, выделение афтершоков и др.). Отметим, что архитектура Базы данных допускает её практически неограниченное расширение.

База данных ЕИССД непрерывно пополняется данными в режиме реального времени – информацией о произошедших сейсмических событиях, об открывающихся сейсмостанциях. Кроме того, проводится работа по внесению в БД архивных сейсмологических данных, приведение которых к современным мировым стандартам – длительный и кропотливый процесс, требующий индивидуального подхода в зависимости от периода регистрации и типа данных. В рамках данной статьи вопрос внесения архивных данных в Базу данных не рассматривается.

Подсистемы Единой информационной системы сейсмологических данных

По структуре Единая информационная система сейсмологических данных (ЕИССД) – это комплекс проблемно-ориентированных взаимоувязанных (или взаимодействующих) полностью автоматических (или автоматизированных) подсистем, предназначенных для выполнения определенных задач, каждая из которых включает набор программ и/или приложений, взаимодействующих с Базой данных ЕИССД. Каждая из подсистем функционально ориентирована на формирование разных типов сейсмологических данных (сейсмологический бюллетень, макросейсмические данные, волновые формы землетрясений и т.д.), а также на выполнение операций с данными (сбор и систематизация, доступ, корректировка и т.д.). На момент подготовки статьи в ЕИССД внедрены следующие подсистемы (рис. 2).

1. Автоматическая подсистема БЮЛЛЕТЕНЬ, формирующая бюллетень Камчатского филиала ЕГС РАН на основе исходных данных и результатов обработки цифровых сейсмограмм и контролирующая корректность данных, поступающих в БД. На результаты работы этой подсистемы опирается большинство других подсистем.

2. Автоматическая подсистема МЕЖДУНАРОДНЫЕ ДАННЫЕ, обеспечивающая дополнение бюллетеня Камчатского филиала ЕГС РАН параметрами землетрясений, представляемыми в интернет мировыми агентствами *ISC*, *NEIC*, *GCMT* и др.

3. Подсистема ВОЛНОВЫЕ ФОРМЫ, осуществляющая автоматическое создание волновых форм из непрерывных записей сейсмометрических каналов для всех событий, появляющихся в Базе данных ЕИССД, и осуществляющая проверку и дополнение уже имеющихся волновых форм отрезками записей сейсмометрических каналов, которые по той или иной причине не вошли в волновую форму при первичном её создании.



Рис. 2. Подсистемы Единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД)

Fig. 2. Subsystems of the SDIS: 1 – bulletin; 2 – international data; 3 – waveforms; 4 – macroseisms; 5 – mechanisms; 6 – control and adjustment; 7 – access to the SDIS

4. Автоматизированная подсистема МАКРОСЕЙСМИКА, выполняющая автоматический сбор и систематизацию макросейсмических данных, которая включает в себя локальное приложение для обработки и анализа поступившей в Базу данных ЕИССД макросейсмической информации.

5. Автоматизированная подсистема МЕХАНИЗМЫ, осуществляющая подготовку данных к расчёту механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений и сохраняющая полученные результаты.

6. Подсистема КОНТРОЛЬ И КОРРЕКТИРОВКА, предназначенная для просмотра и исправления возникающих при работе ЕИССД ошибок, которые не могут быть исправлены автоматически, поскольку для этого необходимо участие опытного специалиста. Подсистема представляет собой приложение, работающее в локальной сети, и является важным инструментом обеспечивающим качество информации в ЕИССД.

7. Подсистема ДОСТУП К ДАННЫМ ЕИССД, представляющая собой веб-сайт с широкими функциональными возможностями, который состоит в настоящее время из трех разделов, обеспечивающих широкому кругу пользователей доступ к данным ЕИССД из любой точки мира – КАТАЛОГИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ПУНКТЫ НАБЛЮДЕНИЙ, ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.

По выполняемым функциям перечисленные подсистемы могут быть разделены на три группы:

- подсистемы, обеспечивающие поступление и систематизацию сейсмологической информации разного типа (подсистемы 1–5);
- подсистемы, обеспечивающие администрирование ЕИССД (подсистема 6);
- подсистемы, обеспечивающие доступ к данным ЕИССД (подсистема 7).

В настоящее время все семь подсистем используются в Камчатском филиале ЕГС РАН при выполнении рутинных операций и проведении научных исследований.

Далее приводится последовательное описание подсистем 1–7.

Подсистема 1: БЮЛЛЕТЕНЬ

Сейсмический каталог и бюллетень Камчатского филиала ЕГС РАН (далее – Бюллетень) – основной результат мониторинга сейсмичности Камчатки и наблюдений за мировой сейсмичностью в рамках Службы срочных донесений и Службы предупреждения о цунами, формируемый по результатам обработки землетрясений, полученных разными подразделениями, среди которых:

лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности Камчатского филиала ЕГС РАН (ЛИСВА), обрабатывающая в оперативном режиме, близком к реальному времени, все регистрируемые землетрясения Камчатки и Командорских островов, включая вулканические;

лаборатория сводной обработки Камчатского филиала ЕГС РАН (ЛСО), выполняющая при необходимости повторную обработку землетрясений за весь период детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке, начиная с 1962 г., и занимающаяся поиском пропущенных землетрясений для повышения полноты и качества каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов;

региональные информационно-обрабатывающие центры “Петропавловск” Камчатского филиала ЕГС РАН, “Сахалин” Сахалинского филиала ЕГС РАН и “Владивосток” Единой геофизической службы РАН, обрабатывающие в режиме реального времени наиболее сильные события Дальнего Востока.

Поступающие из названных подразделений подробные станционные данные (времена вступлений волн на разных каналах, амплитуды максимальных колебаний сейсмических волн и их преобладающие периоды) и полученные на их основе параметры события (дата, время в гипоцентре, координаты, глубина и ошибки определения, магнитуды) в рамках ЕИССД будем называть Результатом обработки сейсмических событий (РОСС). В подсистеме БЮЛЛЕТЕНЬ для каждого РОСС формируется соответствующая запись.

Все результаты обработки сейсмического события, поступившие из разных источников, а также полученные при повторной обработке (например, при обнаружении ошибок определения времен вступлений на сейсмограммах или при появлении дополнительной исходной информации), вносятся в Базу данных ЕИССД и в дальнейшем сохраняются неизменными. Если в рамках выполнения какой-либо задачи от автора для одного и того же сейсмического события в базу данных ЕИССД поступило несколько результатов, то один из них должен быть определен как окончательный (единственно верный).

В настоящее время атрибут “окончательный” может быть присвоен результату обработки двумя способами. Один из этих способов – экспертный, осуществляемый специалистом, который из всех имеющихся результатов обработки сейсмического события выбирает “окончательный” с помощью специального автоматизированного веб-приложения.

Второй способ автоматический – подсистема БЮЛЛЕТЕНЬ “сама” присваивает атрибут “окончательный” результату обработки, который поступил в БД последним.

Признанные окончательными результаты обработки сейсмического события, полученные от одного и того же автора в рамках выполнения одной задачи, образуют то, что мы будем называть “сейсмологическим продуктом” (далее – Продукт). Так, из Бюллетеня Камчатского филиала в настоящее время могут быть выделены несколько Продуктов, например, каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, каталог сильных землетрясений по данным РИОЦ “Петропавловск” и ряд других.

Таким образом, Бюллетень, являющийся основным результатом мониторинга сейсмичности Камчатки и наблюдений за мировой сейсмичностью, содержит все окончательные результаты обработки сейсмических событий, включенные в Базу данных ЕИССД.

Автоматическая подсистема БЮЛЛЕТЕНЬ последовательно осуществляет следующие действия:

сохраняет все вновь полученные Результаты обработки сейсмических событий (РОСС) в Базе данных ЕИССД;

группирует РОСС по Событиям. Алгоритм группировки осуществляет поиск “похожих” РОСС с учетом набора признаков, среди которых количество близких по времени вступлений *P*- и *S*-волн на одинаковых сейсмических приборах, близость координат и времени в очаге гипоцентра, автор полученного результата обработки и др.;

контролирует наличие окончательного РОСС в каждом Продукте для каждого События;

проверяет окончательные Результаты обработки сейсмических событий на наличие методологических ошибок обработки и ошибок формата данных.

Алгоритмы подсистемы БЮЛЛЕТЕНЬ настроены на основе принципа минимизации ошибок; поэтому при её работе возможно возникновение ситуаций (или задач), в которых автоматические программы не могут “самостоятельно” принять окончательное решение. Информация о таких ситуациях направляется в журнал ошибок вместе с исходными данными для обработки специалистом. Анализ и обработка журнала ошибок выполняются в приложении *Elman (Error Log Manager)*, языке разработки *Delphi 7*), являющемся частью подсистемы КОНТРОЛЬ И КОРРЕКТИРОВКА.

Подсистема 2: МЕЖДУНАРОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для проведения научных исследований и решения разного рода служебных задач в рамках сейсмического мониторинга часто возникает необходимость сравнения параметрических данных землетрясений из регионального каталога с мировыми. Поэтому, как отмечалось выше, наличие в БД систематизированной информации о землетрясениях из разных источников минимизирует временные затраты при подготовке данных к анализу.

Бюллетень Международного сейсмологического центра *ISC*¹ считается окончательным отчетом о сейсмичности планеты Земля. Центр *ISC* аккумулирует бюллетени о землетрясениях более чем от 130 агентств мира и обеспечивает научное сообщество удобным сервисом доступа к собранной сейсмологической информации [*Willemann, Storchak, 2001*]. Камчатский филиал в рамках международного сотрудничества также ежедневно отправляет в *ISC* оперативный бюллетень о камчатских землетрясениях² с $M_L \geq 3.5$.

В подсистеме МЕЖДУНАРОДНЫЕ ДАННЫЕ ежедневно формируется запрос к бюллетеню *ISC*, содержащий параметры запрашиваемой выборки, – задаются область камчатского региона, времени и список агентств. Получаемые из *ISC* результаты загружаются в Базу данных ЕИССД с помощью программы *isf2sdis*, разработанной на языке *Java*. Служебная программа подсистемы, написанная в среде *Matlab*, автоматически связывает События, попавшие в Базу данных из бюллетеня *ISC*, с Событиями из бюллетеня Камчатского филиала.

Алгоритм соединения бюллетеней *ISC* и Камчатского филиала включает два блока, первый из которых предназначен для поиска одинаковых РОСС в двух бюллетенях, поскольку в бюллетене *ISC* для большинства событий камчатского региона имеются собственные результаты.

¹ *ISC – International Seismological Centre*, www.isc.ac.uk

² В Базе данных *ISC* Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН имеет код агентства *KRSC*.

Второй блок обеспечивает поиск в бюллетенях “похожих” РОСС путем сопоставления времени возникновения события и местоположения его гипоцентра. Этот блок запускается только в случае, если по какой-то причине в бюллетене *ISC* не оказалось результатов, представленных Камчатским филиалом.

Если бюллетень *ISC* содержит событие, для которого в Базе данных ЕИССД нет ни совпадающих, ни похожих РОСС, подсистема МЕЖДУНАРОДНЫЕ ДАННЫЕ отправляет это событие в подсистему КОНТРОЛЬ И КОРРЕКТИРОВКА, где специалист с помощью приложения *Elman* или соединяет его с уже имеющимся в Базе данных ЕИССД, или решает, что оно является пропущенным в бюллетене Камчатского филиала ЕГС РАН.

Подсистема 3: ВОЛНОВЫЕ ФОРМЫ

Волновой формой События называется файл (или набор файлов), содержащий сейсмические записи сейсмостанций Камчатского филиала ЕГС РАН, станций Дальнего Востока России, участвующих в Службе предупреждения о цунами (СПЦ), и некоторых станций глобальной сети *GSN*¹. Волновые формы всех Событий из Базы данных ЕИССД образуют цифровой архив сейсмических записей, состоящий из файлов в формате *miniSEED*. Этот архив начал создаваться в 2000 г. в рамках старой системы сбора, систематизации и доступа к сейсмологической информации, используемой в Камчатском филиале ЕГС РАН [Бахтиярова, 2006]. Для ведения такого архива в рамках ЕИССД и была создана подсистема ВОЛНОВЫЕ ФОРМЫ, отвечающая за формирование и организацию хранения волновых форм Событий.

Для каждого События, сформированного в рамках работы подсистемы БЮЛЛЕТЕНЬ, осуществляется сбор необходимой информации для создания волновых форм с помощью первого модуля приложения *Worm*². По обновленной методике, основы которой заложены в [Бахтиярова, 2006], рассчитываются их параметры – время начала сейсмической записи и её длина. Из суточных записей сейсмических станций выделяются соответствующие рассчитанным параметрам фрагменты сейсмограмм, которые объединяются в волновые формы в формате *miniSEED*. После завершения работы первого модуля приложения *Worm* в Базу данных ЕИССД заносятся информация о наличии волновой формы, данные о составляющих её сейсмометрических каналах, параметрах и локации. Физически созданные волновые формы хранятся в файловом архиве на одном из серверов системы сбора, обработки, хранения и представления данных сейсмологических наблюдений Камчатского филиала ЕГС РАН.

Второй модуль приложения *Worm* проверяет волновую форму на полноту данных – если после завершения работы первого модуля в ней отсутствует сейсмическая запись какого-либо канала, то делается попытка восполнить недостающую информацию.

Запуск первого и второго модулей приложения *Worm*, обеспечивающих наполнение архива данными, происходит автоматически раз в полчаса.

Для надежного контроля и управления заносимыми в архив данными, а также для улучшения качества архива приложение *Worm* было дополнено еще двумя модулями, запускаемыми либо вручную, либо отдельным приложением, настроенным на решение определенной задачи. Один из дополнительных модулей отвечает за исправление ситуации, когда в Базе данных ЕИССД отсутствует информация о какой-либо станции и ее каналах и, как следствие, данные этой станции не попали в волновые формы.

¹ *GSN* – Глобальная сейсмологическая сеть (*Global Seismological Network*); www.iris.edu/hq/programs/gsn.

² Приложение *Waveform Archive Manager*, язык разработки *Java*.

Другой модуль обеспечивает физическое восстановление волновой формы в случае ее потери – такая ситуация может возникнуть, если ошибочно была сформирована пустая волновая форма или если сформированная волновая форма была впоследствии удалена.

Подсистема ВОЛНОВЫЕ ФОРМЫ была внедрена в конце 2016 г., и с этого момента формирование волновых форм ведется автоматически по обновленной методике в режиме близком к реальному времени. Параллельно в автоматизированном режиме выполняется переформирование волновых форм за предшествующие годы для создания однородного архива.

Подсистема 4: МАКРОСЕЙСМИКА

Успешно функционирующая в настоящее время подсистема МАКРОСЕЙСМИКА, внедренная в сейсмологическую службу Камчатского филиала ЕГС РАН в 2013 г., включает три основных логических элемента – веб-страницу для сбора макросейсмической информации, программу для загрузки собранной информации в БД и её систематизации, приложение для обработки и анализа макросейсмической информации.

Макросейсмическая информация – это сведения о последствиях землетрясений, получаемые без помощи приборов (ощущения людей, реакция бытовых предметов, повреждения зданий и т.д.). Вся информация о проявлениях землетрясений на Камчатке и прилегающих территориях поступает в Базу данных ЕИССД с веб-страницы, представляющей собой онлайн-опросник “Сообщение о землетрясении”¹, где любой респондент, основываясь на личных ощущениях, может заполнить соответствующую анкету. Кроме этого, существует локальная версия веб-страницы, предназначенная для специалистов, проводящих опрос жителей полуострова. Собранные таким образом данные однородны.

Загрузка данных заполненной анкеты “Сообщение о землетрясении” происходит автоматически посредством программы *Automatic Intensity* (язык разработки *PHP 7.3*), обеспечивающей внесение полученных данных в Базу данных ЕИССД и автоматическую оценку макросейсмической интенсивности I_{AUTO} в пункте сбора информации (подробнее см. в [Митюшкина и др., 2011, 2013]). Автоматическая оценка интенсивности землетрясения выполняется с использованием алгоритма, заложенного в сейсмической шкале интенсивности землетрясений *MMSK-92* (проект) [Шебалин, Антикаев, 2003].

Для специалистов, занимающихся обработкой и анализом макросейсмической информации, разработано приложение *The Poll Viewer* (язык разработки *Delphi 7*), предоставляющее возможность просмотра всей имеющейся макросейсмической информации и быстрого реагирования на поступление сообщений об ощутимых землетрясениях от независимых респондентов в режиме онлайн. Поскольку функционал приложения *The Poll Viewer* подробно описан в [Митюшкина и др., 2013], здесь мы кратко перечислим решаемые с его помощью задачи.

Итак, приложение *The Poll Viewer* позволяет работать:

с получаемыми анкетами “Сообщение о землетрясении” (просматривать, редактировать, распечатывать, удалять ошибочные или повторяющиеся сообщения);

с информацией о пунктах, для которых собираются макросейсмические данные (редактировать, создавать новые, просматривать расположение на карте);

с данными макросейсмического каталога (связывать поступившие анкеты с событиями из каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов, давать экспертную

¹ <http://sdis.emsd.ru/poll>, язык разработки *PHP 7.3*.

оценку интенсивности в конкретном пункте по всем полученным анкетам, просматривать карты “Пункт–Баллы” по данным макросейсмического каталога, создавать выборки и т.д.).

Отметим, что интерфейс приложения *The Poll Viewer* удобен для специалистов, анализирующих макросейсмические данные. В качестве примера на рис. 3 отображен снимок экрана приложения с представленной на нем картой “Пункт–Баллы”.

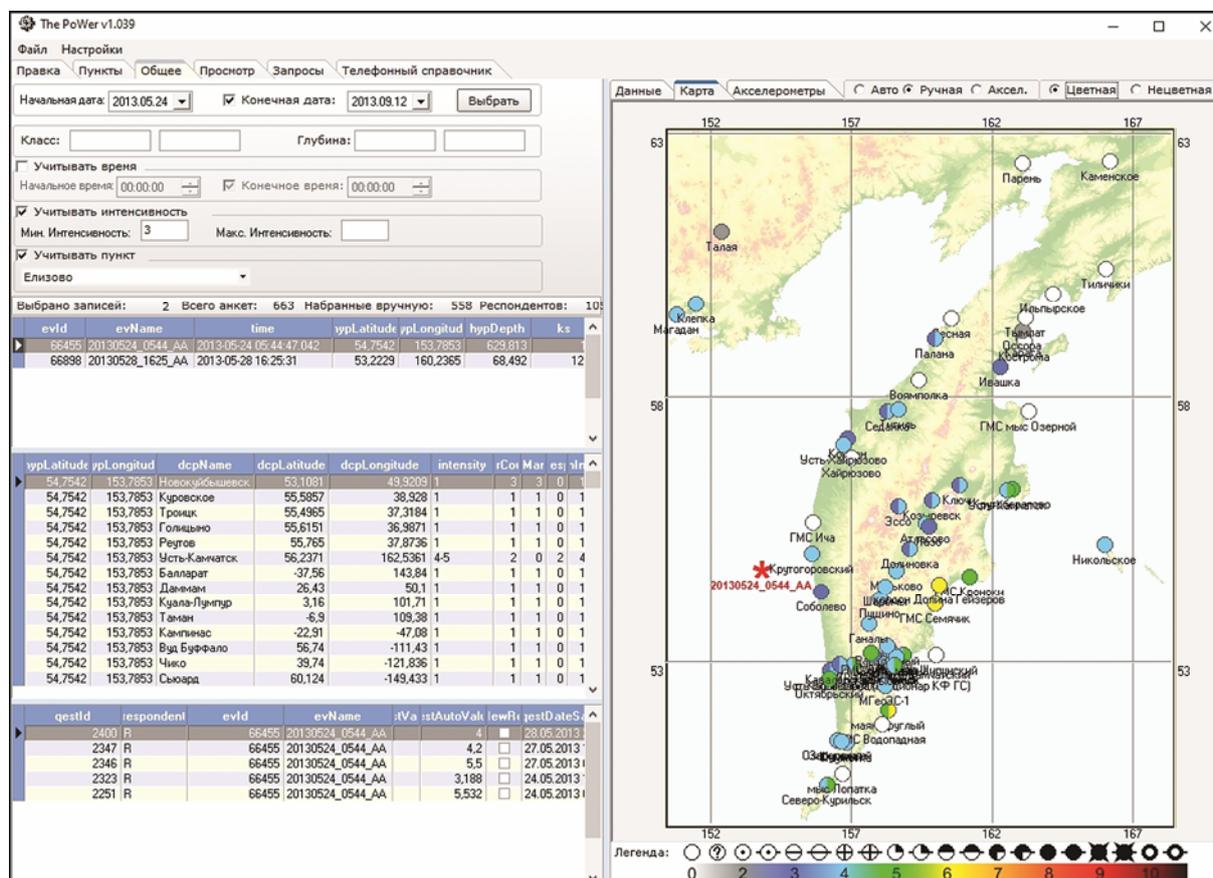


Рис. 3. Интерфейс приложения *The Poll Viewer* с выведенной картой “Пункт–Баллы” для землетрясения, произошедшего 24.05.2013 г. с $M_w=8.3$ (эпицентр отмечен на карте красной звездочкой)

Fig. 3. The *Poll Viewer* application interface with displayed “Point–Intensity” map for the earthquake 24.05.2013 with $M_w=8.3$ (the epicenter is marked on the map with a red asterisk)

Организация сбора макросейсмических данных через интернет увеличила количество респондентов, откликающихся после ощутимых событий. Локальное приложение *The Poll Viewer* подсистемы МАКРОСЕЙСМИКА обеспечивает как решение служебных задач в целях сейсмического мониторинга, так и проведение исследовательских работ.

Подсистема 5: МЕХАНИЗМЫ

В Камчатском филиале много лет ведется работа по созданию каталога механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов по знакам первых вступлений объемных волн на записях станций Камчатской региональной сети с привлечением аналогичных данных глобальных сейсмических сетей [Иванова и др., 2011].

Процесс расчета механизма очага землетрясения включает три этапа.

Этап 1. Подготовка файла со знаками вступления *P*-волн, а именно:

а) выделение знаков вступления *P*-волн на записях станций, доступных в локальной сети Камчатского филиала ЕГС РАН, и внесение их в файл;

б) поиск в бюллетене *ISC* и добавление в файл знаков вступления *P*-волн на записях станций, расположенных по всему миру.

Этап 2. Расчет механизма очага землетрясения с помощью программы *FA*, предоставленной нам её автором А.В. Ландером¹, и анализ полученного результата путем сравнения с механизмами, приводимыми в международных сейсмологических центрах.

Этап 3. Внесение результатов расчета механизма в Базу данных ЕИССД.

В процессе разработки ЕИССД этап подготовки исходных данных, необходимых для расчета механизмов очага землетрясения, был автоматизирован. На интерактивной карте землетрясений, речь о которой пойдет ниже, оператор выбирает событие для расчета механизма очага и переходит на соответствующую этому событию веб-страницу подготовки данных². Эта страница является частью того же ресурса, что и интерактивная карта, и построена на том же стеке технологий (см. раздел Организация доступа к данным ЕИССД).

На странице подготовки данных оператор имеет возможность:

выбирать необходимые для расчета основные параметры гипоцентра землетрясения, знаки вступления *P*-волн на загруженных из бюллетеня *ISC* записях станций, расположенных по всему миру;

получать изображения стереограмм механизмов очага землетрясения по данным разных источников;

сохранять выбранные данные на компьютере в виде автоматически сформированного файла со знаками вступлений;

открывать волновую форму землетрясения в интерактивной программе *DIMAS* [Дрознин, Дрознина, 2010], используемой в Камчатском филиале для обработки сейсмограмм, выделять с её помощью знаки вступлений *P*-волн на станциях Камчатской региональной сети и добавлять их в итоговый файл.

После работы с вышеописанной страницей оператор должен запустить программу расчета механизмов и проанализировать полученный результат. Результаты расчета сохраняются в специальной директории, обрабатываются программой импорта результатов и в случае их корректности попадают в Базу данных ЕИССД.

Подсистема 6: КОНТРОЛЬ И КОРРЕКТИРОВКА

Для просмотра и обработки лога ошибок, выявленных любой из подсистем, используется уже упоминаемое выше вспомогательное приложение *Elman*. Мультипользовательский режим позволяет вести персонифицированный журнал изменений в системе. Реализована возможность индивидуальных настроек интерфейса, а также одновременная работа нескольких пользователей с разных рабочих мест.

Первоначальные возможности приложения *Elman* ограничивались анализом и исправлением ошибок, возникающих при обработке сейсмических событий и при группировании РОСС в События [Токарев, Чемарёв, 2013], но в процессе развития ЕИССД они были расширены и в настоящее время предусматривают контроль работы всей ЕИССД, включая исправления информации в Базе данных.

¹ Свидетельство о Госрегистрации № 2018662004, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39302769>

² <http://sdis.emsd.ru/project/applications/mechanism.php>

Интерфейс приложения *Elman*¹ предоставляет пользователю комплексную информацию по каждой конкретной ошибке и удобный функционал для их исправления, включая подсказки, выделение цветом и т.п.

Основные функции приложения *Elman* сводятся к следующему.

1. Просмотр ошибок работы программ и приложений ЕИССД.
2. Отслеживание появления новых станций, внесение дополнительных данных по ним.
3. Инструмент для группирования и объединения РОСС в События в тех случаях, когда алгоритмы в подсистемах БЮЛЛЕТЕНЬ и МЕЖДУНАРОДНЫЕ ДАННЫЕ не справились с этим автоматически.
4. Анализ и исправление ошибок, связанных с наличием единственного окончательного РОСС для События, а также методических ошибок в окончательных Результатах обработки землетрясений.
5. Автоматическое исправление некоторых видов ошибок подсистемы БЮЛЛЕТЕНЬ.
6. Организация взаимодействия различных подразделений Камчатского филиала ЕГС РАН, занимающихся обработкой землетрясений.
7. Ведение журнала изменений в Базе данных ЕИССД, отслеживание нерегламентированных изменений.

Подсистема 7: Доступ к данным ЕИССД

Для широкого круга пользователей создан веб-сайт Единой информационной системы сейсмологических данных², который обеспечивает доступ к информации, хранящейся в её Базе данных (рис. 4). Разработка сайта ведется на языке *PHP* (версия 7.3.4); работа обеспечивается веб-сервером *Apache* (версия 2.4.38) под управлением сервера с операционной системой *Windows 7*.

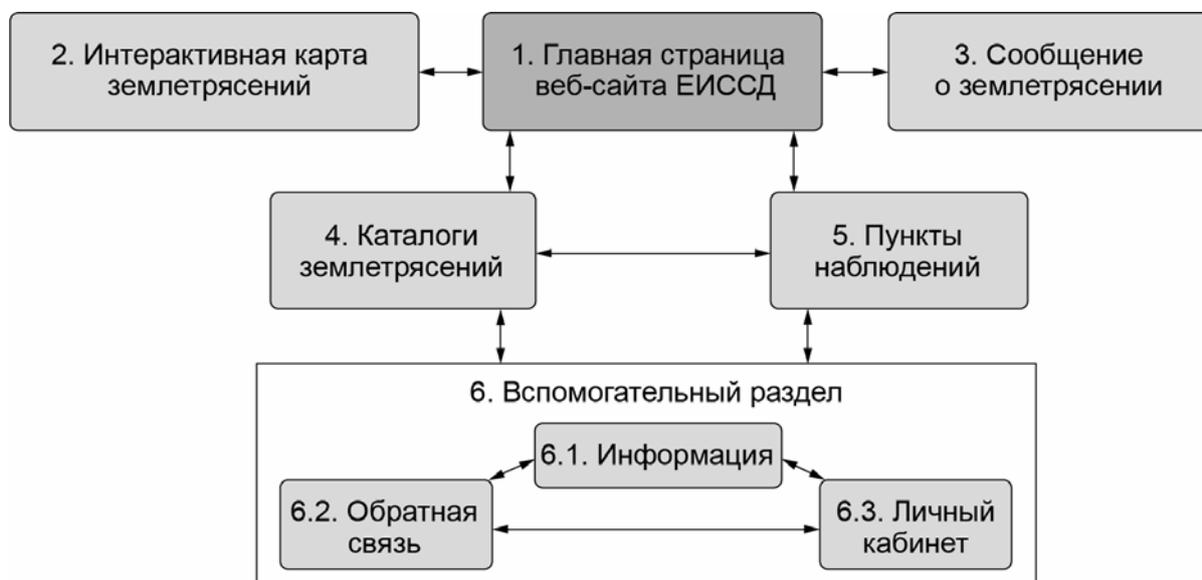


Рис. 4. Структура сайта Единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД)

Fig. 4. The structure of the SDIS site: 1 – main page of the SDIS site; 2 – interactive earthquake map; 3 – earthquake message; 4 – earthquake catalogs; 5 – observation stations; 6 – auxiliary section (6.1 – feedback, 6.2 – help information, 6.3 – user account)

¹ <http://sdis.emsd.ru/project/applications/elman.php>

² <http://sdis.emsd.ru>

Разделы Каталоги землетрясений и Пункты наблюдений, в первую очередь, предназначены для специалистов, занимающихся исследованиями сейсмичности и сейсмической опасности. В приводимой ниже таблице содержится краткое описание сейсмологических продуктов ЕИССД, для которых в двух названных разделах созданы поисковые страницы. Для каждого из продуктов 1–9 в таблице, помимо описания, указаны координаты областей, к которым они относятся. При этом введены следующие обозначения:

зона отв. КФ ФИЦ ЕГС РАН – полигон с координатами 48.0° с.ш., 150.5° в.д.; 58.0° с.ш., 150.5° в.д.; 58.0° с.ш., 157.0° в.д.; 59.0° с.ш., 157.0° в.д.; 59.0° с.ш., 159.0° в.д.; 60.0° с.ш., 159.0° в.д.; 60.0° с.ш., 161.0° в.д.; 61.0° с.ш., 161.0° в.д.; 61.0° с.ш., 163.0° в.д.; 63.0° с.ш., 163.0° в.д.; 63.0° с.ш., 174.0° в.д.; 56.0° с.ш., 174.0° в.д.; 56.0° с.ш., 172.0° в.д.; 48.0° с.ш., 172.0° в.д.; 48.0° с.ш., 150.5° в.д.;

зона 1 – круговая зона радиусом 200 км и центром в 53.02° с.ш., 158.65° в.д.;

зона 2 – круговая зона радиусом 2200 км и центром в 53.02° с.ш., 158.65° в.д.;

зона 3 – полигон с координатами в диапазоне 48.0–62.5° с.ш.; 150.5–174.0° в.д.

Описание сейсмологических продуктов, доступных на сайте ЕИССД
в разделах Каталоги землетрясений и Пункты наблюдений

| № | Название продукта | Содержание | Регион/магнитуда | Временной интервал |
|--------------------------------------|--|--|--|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Раздел Каталоги землетрясений | | | | |
| 1 | Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов | Основные параметры землетрясений, зарегистрированных Камчатской региональной сетью (включая вулканические). | <i>Зона отв.</i> КФ ФИЦ ЕГС РАН / Без ограничения по <i>M</i> | 1962 г. – наст. вр. |
| 2 | Каталог сильных землетрясений ¹ | Основные параметры землетрясений и магнитуды, согласно регламенту службы срочных донесений о сильных землетрясениях и службы предупреждения о цунами в КФ ФИЦ ЕГС РАН. | <i>Зона 1 / M</i> ≥4; <i>Зона отв.</i> КФ ФИЦ ЕГС РАН / <i>M</i> ≥4.5; <i>Зона 2 / M</i> ≥5; <i>Весь мир / M</i> ≥6 | 2011 г. – наст. вр. |
| 3 | Макросейсмический каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов | Информация об интенсивности макросейсмических проявлений землетрясений в пунктах Камчатского края и о. Парамушир. | Административная территория Камчатского края и о. Парамушир / Без ограничения по <i>M</i> | 1962 г. – наст. вр. |
| 4 | Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов | Параметры механизмов очагов землетрясений, определенных по знакам первых вступлений объемных волн на станциях Камчатской региональной сети и на станциях мировых сетей. | <i>Зона отв.</i> КФ ФИЦ ЕГС РАН / <i>M_L</i> ≥5 | 1970 г. – наст. вр. |
| 5 | Информация о камчатских землетрясениях по данным различных агентств | Основные параметры землетрясений, полученные различными сейсмологическими агентствами в камчатском регионе (КФ ФИЦ ЕГС РАН, СФ ФИЦ ЕГС РАН, <i>ISC</i> , <i>NEIC</i> , <i>GCMТ</i> , <i>IPGP</i> , ФИЦ ЕГС РАН). | <i>Зона 3 /</i> Без ограничения по <i>M</i> | 1962 г. – наст. вр. |

¹ Каталог землетрясений, формируемый в рамках регламента работы службы срочных донесений о сильных землетрясениях и службы предупреждения о цунами в КФ ФИЦ ЕГС РАН.

| Окончание таблицы | | | | |
|---------------------------------|--|--|-----------------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Раздел Пункты наблюдений | | | | |
| 6 | Бюллетень землетрясений Камчатки и Командорских островов | Подробные станционные данные (времена вступлений волн; амплитуды максимальных колебаний сейсмических волн, их периоды) и полученные на их основе параметры землетрясения (дата, время в гипоцентре, координаты, глубина, ошибки определения, энергетическая оценка); дополнительные параметры (механизмы очагов, макросейсмические данные и др.). | Зона отв. КФ ФИЦ ЕГС РАН | 1962 г. – наст. вр. |
| 7 | Информация о сейсмических станциях | Информация о пунктах наблюдений (название и код, координаты, дата открытия и закрытия станций). | Зона отв. КФ ФИЦ ЕГС РАН | 1962 г. – наст. вр. |
| 8 | Информация о сейсмических датчиках | Информация о сейсмических датчиках в пунктах наблюдений (название и код станции; код, тип, координаты, дата начала и окончания работы датчика; тип регистрации). | Зона отв. КФ ФИЦ ЕГС РАН | 1962 г. – наст. вр. |
| 9 | Спектрально-временные характеристики сейсмического шума | Результаты расчета годовых, месячных и суточных функций плотности вероятности спектральной плотности мощности шума (<i>Power Spectral Density Probability Density Functions, PSD PDF</i>) для сейсмометрических каналов КФ ФИЦ ЕГС РАН за период времени с 2013 г. по настоящее время. Для каждого канала построены модель сейсмического шума и графики суточных и сезонных вариаций сейсмического шума. | Зона отв. КФ ФИЦ ЕГС РАН | 2013 г. – наст. вр. |

Поиск данных на веб-страницах осуществляется по стандартным параметрам (временной интервал, географическое положение, энергетические оценки). Возможно использование дополнительных параметров, характерных для выбранного раздела. Результаты поиска выводятся на экран в виде таблицы, карты или же сохраняются в файле [Матвеевко и др., 2017].

В качестве примера на рис. 5 приведен интерфейс веб-страницы, обеспечивающей доступ к каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов (см. продукт 1 в таблице). В верхней части страницы пользователь вводит параметры своего поиска, задавая дату, класс, энергетические характеристики, район выборки и т.п. В нижней части слева находится область выбора землетрясений по другим параметрам (зоне сейсмичности, глубине). На рис. 6 показана страница с результатами поиска землетрясений, представленными в виде карты.

Информационная поддержка работы разделов Каталога землетрясений и Пункты наблюдений обеспечивается страницами со справочной информацией о ЕИССД, техническая – страницей обратной связи с разработчиками.

Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.)

Параметры поиска

Дата и время
 Начальная дата и время: 2015 05 19 00 : 00
 Конечная дата и время: 2015 05 26 23 : 59

Вулканические землетрясения
 Включить
 Исключить
 Только вулканические

Энергетический класс / Магнитуда
 Ks Минимум: 8,5 Максимум:
 и или
 Mc Минимум: Максимум:

Прямоугольный район выборки
 Север
 Запад Восток
 Юг

Глубина (км)
 Минимальная
 Максимальная

Круговой/кольцевой район выборки
 Центральная широта
 Центральная долгота
 Минимальный радиус, км
 Максимальный радиус, км

Выбрать землетрясения по зоне сейсмичности

Выбрать все / Снять выделение

- 1) Сейсмофокальная зона – Южный сегмент;
 - Мелкофокусные землетрясения;
 - Промежуточные землетрясения;
 - Глубокие землетрясения;
- 2) Сейсмофокальная зона – Северный сегмент;
 - Мелкофокусные землетрясения;
 - Промежуточные землетрясения;
 - Глубокие землетрясения;
- 3) Командорский сегмент Алеутской дуги;
 - Мелкофокусные землетрясения;
 - Промежуточные землетрясения;
- 4) Тихий океан;
- 5) Мелкофокусные землетрясения Северных Курил;
- 6) Мелкофокусные землетрясения Камчатки;
- 7) Корякский сейсмический пояс;
- 8) Берингово море;
- 9) Залив Шелихова;
- 10) Охотское море;
- 11) Северо-Восток России;

Схема разбиения Камчатского региона на зоны сейсмичности

Форма вывода
 таблица карта файл

Поиск **Задать параметры по умолчанию**

Рис. 5. Веб-страница, обеспечивающая доступ к каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов в разделе Каталоги землетрясений (комментарии см. в тексте)

Fig. 5. Web page providing access to the catalog of earthquakes of Kamchatka and the Komandorski Islands in the section “Catalogs of earthquakes”. Above is an area for entering basic search parameters; below – for selection by additional parameters and the area for selecting the form of result (table, map, file)

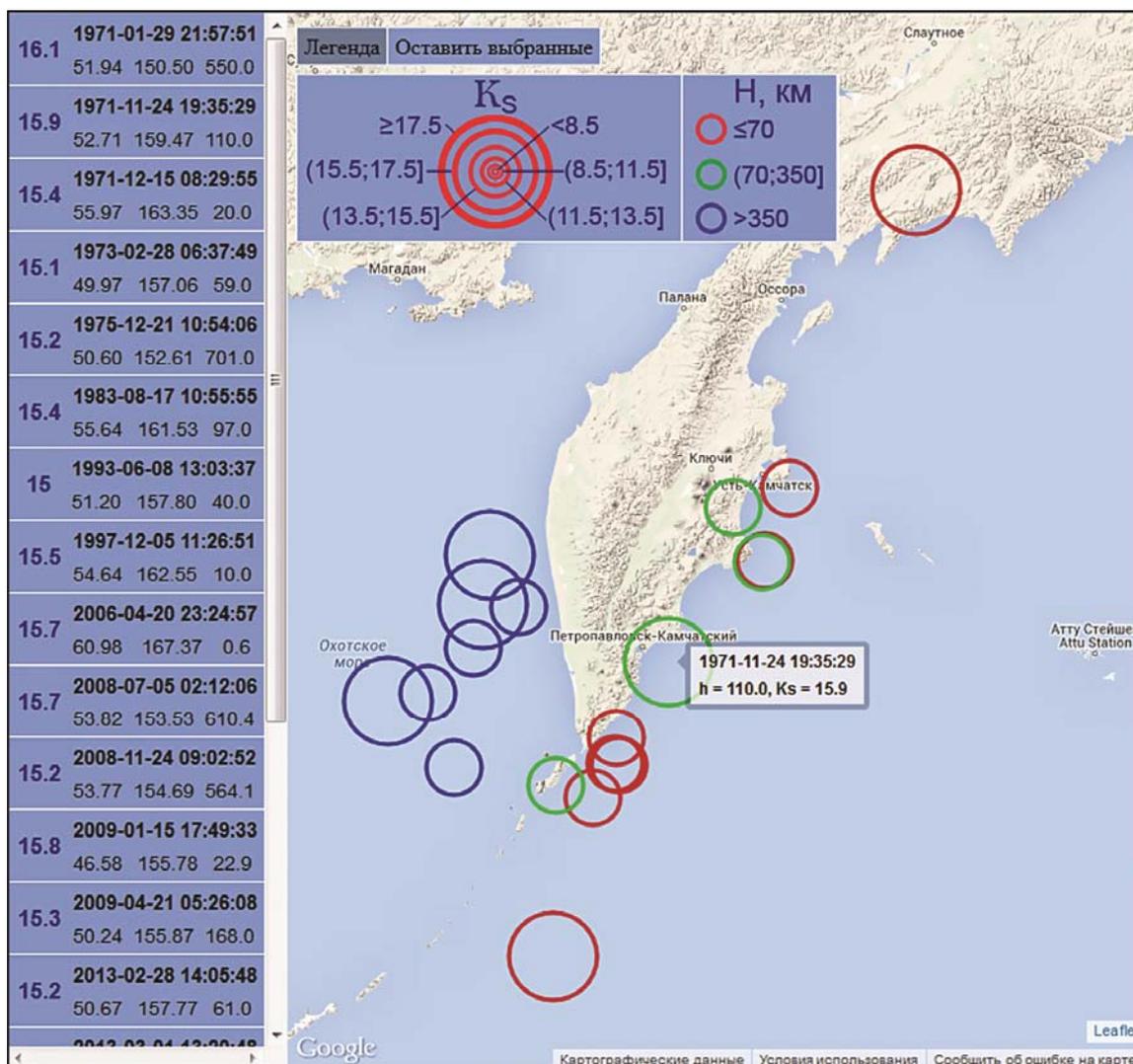


Рис. 6. Представленные в виде карты результаты поиска землетрясений с использованием веб-страницы, обеспечивающей доступ к каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов (см. рис. 5)

Fig. 6. Earthquake search results presented in the form of a map using a web page providing access to the catalog of earthquakes of Kamchatka and the Commander Islands (see Fig. 5)

Для зарегистрированных пользователей в личном кабинете предусмотрена возможность создания страниц проектов, использующих ЕИССД в качестве информационной базы. На странице создаваемого пользователем проекта отображается информация о проекте и его участниках, документация, отчеты и др. Страница создаваемого проекта доступна только для пользователей, отмеченных в Базе данных ЕИССД как его участники.

Комплексную информацию по землетрясениям из каталога Камчатки и Командорских островов в наглядном виде позволяет получать интерактивная карта землетрясений [Чемарёв, Чеброва, 2018]. Пример такой карты для событий, произошедших в регионе в период с 01.01.2013 по 01.01.2014 гг., приведен на рис. 7.

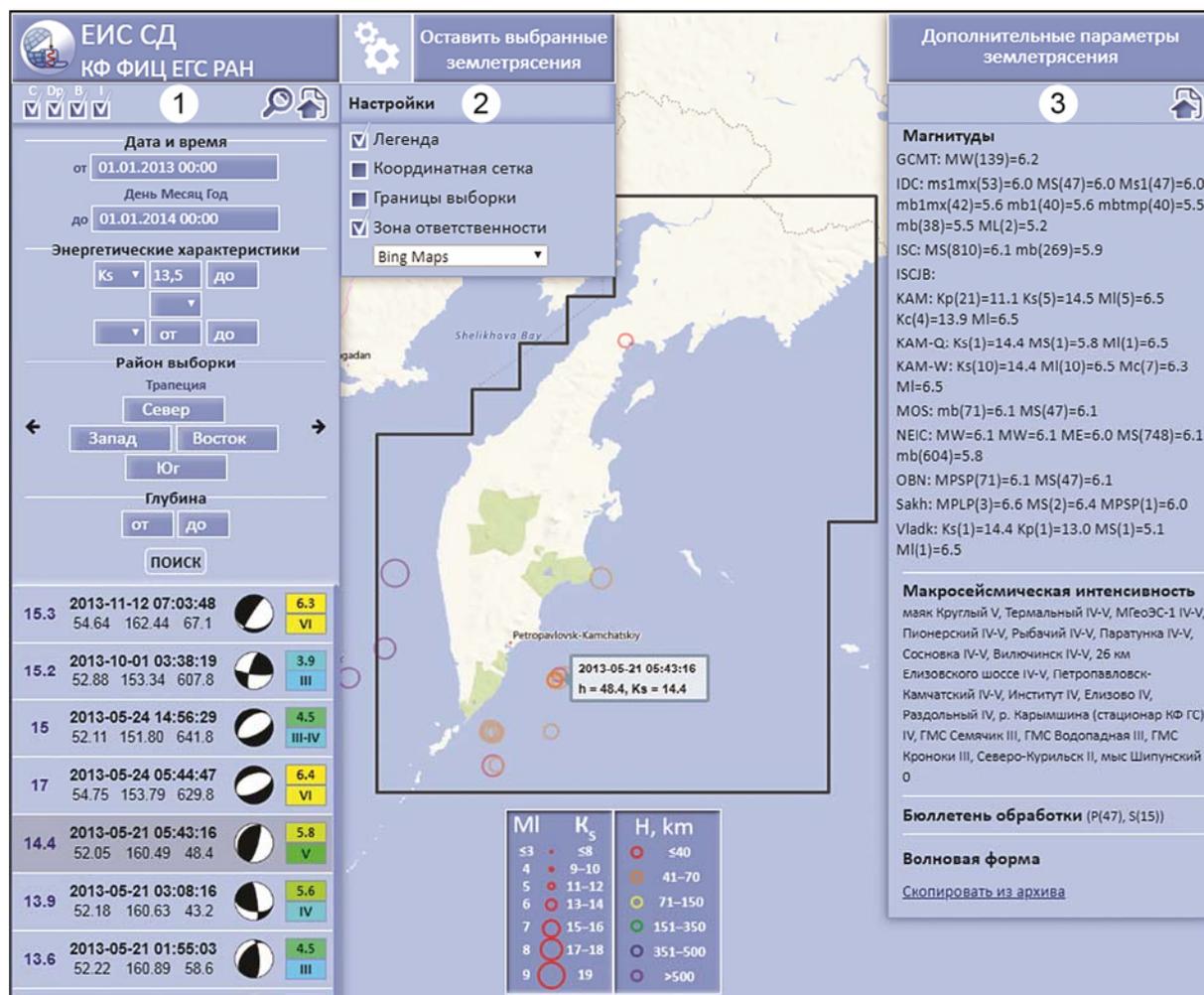


Рис. 7. Интерактивная карта землетрясений Камчатки с $K_s \geq 13.5$ за период с 01.01.2013 по 01.01.2014 гг. Цифрами в кружках отмечены выведенные на экран блоки, предназначенные для задания параметров выборки землетрясений из БД ЕИСС (1), для настройки внешнего вида карты (2), и содержащие дополнительные параметры отдельных землетрясений (3)

Fig. 7. Interactive map of Kamchatka earthquakes with $K_s \geq 13.5$ for the period from 01.01.2013 to 01.01.2014. The numbers in circles mark the blocks displayed on the screen intended for setting the parameters of sampling earthquakes from the SDIS database (1), for setting the appearance of the map (2), and containing additional parameters of individual earthquakes (3)

Обращаясь к странице раздела Интерактивная карта по адресу <http://sdis.emsd.ru/map>, пользователь получает возможность:

- производить поиск землетрясений по заданным параметрам;
- просматривать каталог землетрясений, включающий информацию о времени в очаге, координатах, глубине, магнитуде, механизме и максимальных значениях макросейсмической и инструментальной интенсивности;
- сохранять сформированный каталог землетрясений в файле;
- настраивать внешний вид карты и выбирать вспомогательную информацию для отображения на ней;

– получать и сохранять подробную информацию по различным дополнительным параметрам землетрясений (данные о макросейсмической и инструментальной интенсивности в пунктах, параметры механизмов очагов, магнитуды по данным разных сейсмологических агентств, волновые формы землетрясений и др.).

В локальном доступе функционал раздела Интерактивная карта постоянно расширяется, но в общий доступ через интернет добавляется только проверенный и хорошо отработанный.

Весь программный код, обеспечивающий функционирование карты, располагается на сервере под управлением операционной системы *CentOS 7* с веб-сервером *Nginx 1.10.2*. Разработка ведется на языке *Python* (версия 3.6.5) с использованием фреймворка *Django* (версия 2.0.6). В качестве кэша для хранения часто используемых данных используется нереляционная СУБД *Redis* (версия 3.2.10).

Картография на веб-страницах обеспечивается библиотекой *OpenLayers* (версия 4.6.4), а интерактивность – за счет использования фреймворка *Vue.js* (версия 2.5.13).

Раздел Сообщение о землетрясении содержит интернет-опросник для респондентов, ощутивших землетрясение [Митюшкина и др., 2011].

В завершение следует рассказать о политике доступа к данным ЕИССД. Сейсмологические данные Камчатского филиала ЕГС РАН могут быть условно разделены на общедоступные и доступные по запросу.

К общедоступным данным относятся:

каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов с $M_L \geq 3.5$ за период с 1962 г. по настоящее время;

каталог сильных землетрясений по данным РИОЦ “Петропавловск” с $M_L \geq 5.5$ за период с 2010 г. по настоящее время;

каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов по знакам первых вступлений с $M_L \geq 6$ за период с 1970 г. по настоящее время, информация о сейсмических станциях. Для получения вышеперечисленных данных достаточно зарегистрироваться на сайте ЕИССД.

К данным, доступным по запросу, причислены:

каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов без ограничения по классу (включая вулканические землетрясения);

бюллетень Камчатского филиала ЕГС РАН, включающий времена вступлений на станциях региональной сети;

полный каталог механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений;

макросейсмический каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов;

информация о камчатских землетрясениях по данным различных агентств;

информация о сейсмических станциях и приборах;

спектрально-временные характеристики сейсмического шума [Чеброва, Матвеевко, 2015] и др.

Для получения сейсмологической информации, доступной по запросу, в администрацию Камчатского филиала ЕГС РАН необходимо направить заполненную форму, в которой должны быть перечислены запрашиваемые данные и указаны цели, для которых предполагается их использование. В случае положительного решения зарегистрированному пользователю обеспечивается расширенный доступ к данным на сайте ЕИССД.

Пользователи имеют возможность автоматизированного получения данных из каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов с $M_L \geq 3.5$ за период с 1962 г. по настоящее время. Для этого надо отправить *HTTP GET*-запрос на адрес

<http://sdis.emsd.ru/fdsnws/event/1/query>. Указанный адрес соответствует стандарту доступа к данным организации *FDSN*¹, регламентирующему параметры запроса и формат ответа.

Заключение

В Камчатском филиале ЕГС РАН создана и внедрена в работу современная информационная система, объединяющая в единое информационное пространство всю сейсмологическую информацию, полученную Камчатским филиалом в ходе сейсмического мониторинга Камчатки.

Как известно, сейсмические данные составляют основу широкого спектра исследований в области наук о Земле. Данные, структурированные и упорядоченные в Единой информационной системе сейсмических данных, были использованы в многочисленных геофизических исследованиях Камчатки – от изучения деталей сейсмического режима [*Saltykov et al.*, 2013; *Чебров и др.*, 2014, 2017; *Ландер, Шевченко, Матвеев*, 2019] до работ по физике очага землетрясений [*Гусев, Гусева*, 2017], от вулканологии и томографии [*Caudron et al.*, 2015; *Koulakov et al.*, 2017] до работ в области прогноза землетрясений и извержений [*Chebrov, Saltykov, Serafimova*, 2013; *Kugaenko, Titkov, Saltykov*, 2015; *Салтыков*, 2016].

К этому списку следует отнести также результаты массивных полевых экспериментов [*Shapiro et al.*, 2017], которые трудно организовать в отрыве от данных многолетнего детального регионального сейсмического мониторинга. Таким образом, любое исследование Камчатки, предполагающее использование сейсмических данных, будет опираться на систему сбора, хранения, обработки и представления сейсмологической информации Камчатского филиала ЕГС РАН, частью которой является ЕИССД.

Пять из семи подсистем ЕИССД обеспечивают сбор и систематизацию параметрических характеристик землетрясений Дальнего Востока. Еще одна подсистема разработана для контроля и обеспечения внутренней непротиворечивости данных, вносимых в информационную систему. Седьмая подсистема создана для обеспечения доступа к данным ЕИССД и позволяет просматривать и сохранять каталоги землетрясений, просматривать информацию о станциях и каналах.

Автоматическая и автоматизированная работа подсистем Единой информационной системы сейсмических данных облегчает и ускоряет процессы сбора и систематизации сейсмологических данных. Контроль поступающих данных на наличие ошибок обеспечивает целостность и качество предоставляемой информации. Удобный доступ к сейсмологической информации через веб-интерфейс открывает возможности ее использования широким кругом исследователей.

Благодарности

Авторы благодарят А.В. Ландера и В.А. Салтыкова за полезные и конструктивные замечания, повлиявшие на развитие функциональных возможностей разрабатываемой системы.

Значительный вклад в данную работу внес безвременно ушедший из жизни в 2018 г. Александр Владимирович Токарев, многие идеи которого нашли воплощение в ЕИССД и определили ее развитие на долгие годы вперед.

¹ *FDSN – International Federation of Digital Seismograph Networks*, <https://www.fdsn.org/webservices>

Работа выполнена в рамках Госзадания ФИЦ ЕГС РАН по темам НИР “Анализ волновых полей сильных землетрясений и параметров их очагов в целях уточнения цунамигенного потенциала при обработке данных системы предупреждения о цунами” (регистрационный номер АААА-А19-119031490083-3), “Проведение непрерывного сейсмологического, геофизического и геодинамического мониторинга на глобальном, федеральном и региональном уровнях: разработка и внедрение новых технологий обработки и системного анализа больших объемов данных” (регистрационный номер АААА-А16-116070550057-7), а также при частичной поддержке гранта Министерства образования и науки России № 14.W03.31.0033 “Геофизические исследования, мониторинг и прогноз развития катастрофических геодинамических процессов на Дальнем Востоке РФ”.

Литература

- Бахтиарова Г.М.* Цифровой архив региональных станций Камчатского филиала ГС РАН // Геофизический мониторинг Камчатки: Материалы научно-технической конференции 17–18 января 2006 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2006. С.29–31.
- Брагинская Л.П., Григорюк А.П.* Информационная система для комплексной поддержки научных исследований в области активной сейсмологии // Вестник КемГУ. 2012. № 4(52). Т. 2. С.43–48.
- Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В.* Научная информационная система “Активная сейсмология” для комплексных геофизических исследований // Вестник КРАУНЦ. 2015. № 1. Вып. 25. С.94–98.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дрознин 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 / Под ред. В.Н. Чеброва. Петропавловск-Камчатский, 2004. С.43–61.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Бахтиарова Г.М., Сеньюков С.Л., Пантюхин Е.А.* Банк сейсмологических данных Камчатки // Открытое образование. 2008. № 4. С.16–23.
- Гусев А.А., Гусева Е.М.* Характер масштабирования очаговых спектров для землетрясений Камчатки в диапазоне магнитуд 3.5-6.5 // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472, № 5. С.580–583. DOI: 10.7868/S0869565217050164
- Дрознин Д.В., Дрознина С.Я.* Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46, № 3. С.22–34.
- Иванова Е.И., Ландер А.В., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Шевченко С.А.* Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980–2007 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.74–79.
- Ландер А.В., Шевченко Н.А., Матвеевко Е.А.* Артефакт в Камчатском каталоге землетрясений: исследование и устранение // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2019. № 1. С.85–90.
- Лапушов А.В., Ходяев А.В., Москвич В.Н., Давыдова Е.А.* Создание информационной системы для хранения и предоставления санкционированного доступа к сейсмической информации ОАО НК “Роснефть” // Геология нефти и газа. 2013. № 4. С.42–47.
- Матвеевко Е.А., Чеброва А.Ю., Иванов В.Ю., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Ромашева Е.И., Токарев А.В., Чемарёв А.С.* Развитие интерфейса доступа к сейсмологической информации ЕИССД // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Шестой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 1–7 октября 2017 г. / Под ред. Д.В. Чеброва. Обнинск: ГС РАН, 2017. С.361–365.
- Митюшкина С.В., Раевская А.А., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Чемарев А.С.* Программа для автоматизированной обработки макросейсмической информации: возможности и результаты

- использования // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 29 сентября – 5 октября 2013 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Обнинск: ГС РАН, 2013. С.347–351.
- Митюшкина С.В., Токарев А.В., Раевская А.А., Чеброва А.Ю.* Автоматическая обработка макросейсмической информации по камчатским землетрясениям на базе Интернет-опросника // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 9–15 октября 2011 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.376–380.
- Салтыков В.А.* Формализованная методика прогноза извержений вулкана Безымянный (Камчатка) на основе статистической оценки уровня сейсмичности // Геофизические исследования. 2016. Т. 17, № 3. С.45–59. DOI: 10.21455/gr2016.3-4
- 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. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Обнинск: ГС РАН, 2013. С.356–358.
- Токарев А.В., Бахтиарова Г.М., Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В.* Современный взгляд на устаревшую систему хранения сейсмологических данных КФ ГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 9–15 октября 2011 г. / Под ред. В.Н. Чеброва. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.401–405.
- Хритова М.А.* Информационно-аналитическая система для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья: Автореф. дис. . . канд. техн. наук. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 22 с.
- Чебров В.Н., Абубакиров И.Р., Богданов В.В., Болдина С.В., Бусс Ю.Ю., Власов Ю.А., Гаврилов В.А., Гашева О.А., Гусев А.А., Гусева Е.М., Денисенко В.П., Дрознина С.Я., Душкина С.М., Иванова Е.И., Кайсин А.В., Копылова Г.Н., Кравченко Н.М., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Морозова Ю.В., Павлов А.В., Павлов В.М., Полтавцева Е.В., Полюхова А.Л., Раевская А.А., Рябинин Г.В., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К., Сизова Е.Г., Титков Н.Н., Федористов О.В., Чебров Д.В., Чеброва А.Ю., Широков В.А.* Сильные камчатские землетрясения 2013 года. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2014. 252 с.
- Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Воронаев П.В., Гусев А.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л., Скоркина А.А., Серафимова Ю.К.* Южно-Озерновское землетрясение 29.03.2017 г.с $M_w=6.6$, $K_s=15.0$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2017. № 2. Вып. 35. С.7–21.
- Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А.* Исследование вариаций сейсмического шума на станциях КФ ГС РАН в 2014 году // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 27 сентября – 3 октября 2015 г. Обнинск: ГС РАН, 2015. С.111–116.
- Чемарёв А.С., Чеброва А.Ю.* Интерактивная карта землетрясений Камчатки // XIII Международная сейсмологическая школа “Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных” и Школа молодых сейсмологов государств-участников СНГ на базе сейсмической станции “Симиганч”. г. Душанбе, Республика Таджикистан, 11–15 сентября 2018 г. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С.317–321.
- Шебалин Н.В., Антикаев Ф.Ф.* Развитие шкалы MSK // Проблемы макросеймики. Вычислительная сейсмология. Вып. 34. М.: ГЕОС, 2003. С.210–253.
- Caudron C., Taisne B., Kugaenko Y., Saltykov V.* Magma migration at the onset of the 2012–13 Tolbachik eruption revealed by Seismic Amplitude Ratio Analysis // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 307. P.60–67. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2015.09.010
- Chebrov V.N., Saltykov V.A., Serafimova Y.K.* Identifying the precursors of large ($M \geq 6.0$) earthquakes in Kamchatka based on data from the Kamchatka Branch of the Russian expert Council on earthquake prediction: 1998–2011 // J. Volcanolog. Seismol. 2013. V. 7. P.76–85. DOI: 10.1134/S074204631301003X

- Kugaenko Y., Titkov N., Saltykov V.* Constraints on unrest in the Tolbachik volcanic zone in Kamchatka prior the 2012–13 flank fissure eruption of Plosky Tolbachik volcano from local seismicity and GPS data // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015. V. 307. P.38–46. DOI 0.1016/j.jvolgeores.2015.05.020
- Koulakov I., Abkadyrov I., Al Arifi N., Deev E., Droznina S., Gordeev E.I., Jakovlev A., El Khrepy S., Kulakov R., Kugaenko Y., Novgorodova A., Senyukov S., Shapiro N., Stupina T., West M.* Three different types of plumbing system beneath the neighboring active volcanoes of Tolbachik, Bezymianny, and Klyuchevskoy in Kamchatka // *JGR: Solid Earth*. 2017. V. 122, is. 5. P.3852–3874. DOI: 10.1002/2017JB014082
- Shapiro N., Sens-Schönfelder C., Lühr B. G., Weber M., Abkadyrov I., Gordeev E.I., Koulakov I., Jakovlev A., Kugaenko Y., Saltykov V.* Understanding Kamchatka’s extraordinary volcano cluster // *Eos*. 2017. V. 98. DOI: 10.1029/2017EO071351
- Saltykov V., Kugaenko Y., Kravchenko N., Konovalova A.* A Parametric Representation of Kamchatka Seismicity over Time // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2013. V. 7, N 1. P.58–75. DOI: 10.1134/S0742046313010065
- Willemann R.J., Storchak D.A.* Data Collection at the International Seismological Centre // *Seismological Research Letters*. 2001. V. 72 (4). P.440–453. DOI: 10.1785/gssrl.72.4.440

Сведения об авторах

ЧЕБРОВА Анастасия Юрьевна – кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией, Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9. Тел.: +7(924) 792-44-01. E-mail: achebrova@gmail.com

ЧЕМАРЁВ Андрей Сергеевич – научный сотрудник, Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9. Тел.: +7(924) 780-43-93. E-mail: andrew@emsd.ru

МАТВЕЕНКО Евгений Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9. Тел.: +7(4152) 43-18-74. E-mail: van@emsd.ru

ЧЕБРОВ Данила Викторович – кандидат физико-математических наук, директор, Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9; ведущий инженер, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(4152) 43-18-01. E-mail: danila@emsd.ru

SEISMOLOGICAL DATA INFORMATION SYSTEM IN KAMCHATKA BRANCH OF GS RAS: ORGANIZATION PRINCIPLES, MAIN ELEMENTS AND KEY FUNCTIONS

A.Yu. Chebrova¹, A.S. Chemarev¹, E.A. Matveenko¹, D.V. Chebrov^{1,2}

¹ *Kamchatka Branch of GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

² *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Abstract. Since 2010, Kamchatka Branch of Federal Research Centre of “United Geophysical Service of RAS” has been developing the Seismological Data Information System (SDIS). Its aim is to integrate into a unified information field all seismological data obtained as a result of seismic monitoring of Kamchatka, accelerate and facilitate daily activity due to maximum automation of collection, systematization, analysis, management and access to seismological data based on modern information technologies.

At the time of publication (2020) SDIS represents a set of subsystems, each of them providing a specific area of activity within the seismic monitoring: automatic generation of a Bulletin of the KB GS RAS; addition of the bulletin with various earthquake parameters provided by world seismological agencies (ISC, NEIC, GCMT, etc.); automatic generation of waveforms from continuous records of seismometric channels; automated collection and systematization of macroseismic data; preparation of data for calculating the mechanisms of earthquake sources by the signs of the first arrivals of body waves and saving the calculation results; maintenance of automated control and adjustment of data processing in the SDIS; providing of the convenient access to the SDIS data via the Internet (<http://sdis.emsd.ru>) for various categories of users; visualization of all entered data using an interactive map.

This article contains the description of database organization, the key functions and features of the operation of individual subsystems of the SDIS. At present, with the ongoing work to improve the SDIS, it is used not only for seismological studies, but also for solving a wide range of other scientific problems within the framework of integrated geophysical monitoring of the Kuril-Kamchatka region.

Keywords: seismology, seismological data, information system, database, earthquake parameters.

References

- Bakhtiarova G.M., Digital archive of regional stations of the Kamchatka branch of GS RAS, in *Geofizicheskii monitoring Kamchatki. Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii 17-18 yanvarya 2006 g. Petropavlovsk-Kamchatskii* (Geophysical monitoring of Kamchatka. Materials of the scientific and technical conference January 17-18, 2006), KB GS RAS, 2006, pp. 29-31. [in Russian].
- Braginskaya L.P., Grigoryuk A.P., Information system for the comprehensive support of research in the field of active seismology, *Vestnik KemGU* (Bulletin of KemSU), 2012, no. 4(52), vol. 2, pp. 43-48. [in Russian].
- Braginskaya L.P., Grigoryuk A.P., Kovalevskii V.V., Scientific Information System Active Seismology for Complex Geophysical Research, *Vestnik KRAUNTS* (Bulletin of the Kamchatka Regional Educational and Scientific Center), 2015, no. 1, vol. 25, pp. 94-98.
- Caudron C., Taisne B., Kugaenko Y., Saltykov V., Magma migration at the onset of the 2012–13 Tolbachik eruption revealed by Seismic Amplitude Ratio Analysis, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2015, Vol. 307, pp. 60-67. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2015.09.010
- Chebrov D.V., Kugaenko Yu.A., Lander A.V., Abubakirov I.R., Voropaev P.V., Gusev A.A., Droznin D.V., Droznina S.Ya., Ivanova E.I., Kravchenko N.M., Matveenko E.A., Mityushkina S.V., Ototyuk D.A., Pavlov V.M., Raevskaya A.A., Saltykov V.A., Senyukov S.L., Skorkina A.A., Serafimova Yu.K., South Ozernovsk earthquake of March 29, 2017 with $M_w=6.6$, $K_s=15.0$, $I=6$ (Kamchatka), *Vestnik KRAUNTS. Seriya: Nauki o Zemle* (Bulletin of the Kamchatka Regional Educational and Scientific Center, Earth Sciences series), 2017, no. 2, vol. 35, pp. 7-21. [in Russian].
- Chebrov V.N., Abubakirov I.R., Bogdanov V.V., Boldina S.V., Buss Yu.Yu., Vlasov Yu.A., Gavrillov V.A., Gasheva O.A., Gusev A.A., Guseva E.M., Denisenko V.P., Droznina S.Ya., Dushkina S.M., Ivanova E.I., Kaisin A.V., Kopylova G.N., Kravchenko N.M., Kugaenko Yu.A., Lander A.V., Matveenko E.A., Mityushkina S.V., Morozova Yu.V., Pavlov A.V., Pavlov V.M., Poltavtseva E.V., Polyukhova A.L., Raevskaya A.A., Ryabinin G.V., Saltykov V.A., Serafimova Yu.K., Sizova E.G., Titkov N.N., Fedoristov O.V., Chebrov D.V., Chebrova A.Yu., Shirokov V.A., *Sil'nye kamchatskie zemletryaseniya 2013 goda* (Strong Kamchatka earthquakes in 2013), Petropavlovsk-Kamchatskii: Khold. komp. "Novaya kniga", 2014, 252 p. [in Russian].
- Chebrov V.N., Saltykov V.A., Serafimova Y.K., Identifying the precursors of large ($M \geq 6.0$) earthquakes in Kamchatka based on data from the Kamchatka Branch of the Russian expert council on earthquake prediction: 1998–2011, *J. Volcanolog. Seismol.*, 2013, no. 7, pp. 76-85. DOI: 10.1134/S074204631301003X
- Chebrova A.Yu., Matveenko E.A., The study of seismic noise variations at the stations of the FS GS RAS in 2014 in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Pyatoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii, 27 sentyabrya – 3 oktyabrya 2015 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Fifth Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, September 27 – October 3, 2015), Obninsk: GS RAS, 2015, pp. 111-116. [in Russian].
- Chemarev A.S., Chebrova A.Yu., Interactive map of Kamchatka earthquakes, in *XIII Mezhdunarodnaya seismologicheskaya shkola "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh" i Shkola molodykh seismologov gosudarstv-uchastnikov SNG na baze seismicheskoi stantsii «Simiganch». g. Dushanbe, Respublika Tadjikistan. 11–15 sentyabrya 2018 g.* (XIII International Seismological School "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data" and the School of

- Young Seismologists of the CIS Member States based on the Simiganch seismic station. Dushanbe, the Republic of Tajikistan. September 11-15, 2018), Obninsk: FRC UGS RAS, 2018, pp. 317-321. [in Russian].
- Droznin D.V., Droznina S.Ya., Interactive seismic signal processing program DIMAS, *Seismicheskie pribory* (Seismic instruments), Moscow: IPE RAS, 2010, vol. 46, no. 3, pp. 22-34. [in Russian].
- Gordeev E.I., Chebrov V.N., Droznin D.V., Kozyreva N.P., Levina V.I., Sergeev V.A., Senyukov S.L., Yashchuk V.V., Collection, processing and storage of seismological information, in *Kompleksnyye seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniya Kamchatki. K 25-letiyu Kamchatskoi opytno-metodicheskoi seismologicheskoi partii GS RAN*, Petropavlovsk-Kamchatskij (Integrated seismological and geophysical surveys of Kamchatka. On the 25th anniversary of the Kamchatka Experimental and Methodological Seismological Party GS RAS), 2004, pp. 43-61. [in Russian].
- Gordeev E.I., Chebrov V.N., Levina V.I., Bakhtiarova G.M., Senyukov S.L., Pantyukhin E.A., Kamchatka Seismological Data Bank, in *Otkrytoe obrazovanie* (Open education), 2008, no. 4, pp. 16-23. [in Russian].
- Gusev A.A., Guseva E.M., The nature of scaling of focal spectra for Kamchatka earthquakes in the magnitude range 3.5–6.5, *Doklady Akademii nauk* (Academy of Science Reports), 2017, vol. 472, no. 5, pp. 580-583. [in Russian]. DOI: 10.7868/S0869565217050164
- Ivanova E.I., Lander A.V., Tokarev A.V., Chebrova A.Yu., Shevchenko S.A., Catalog of the mechanisms of the earthquake foci of Kamchatka and the Komandorski Islands for the period 1980–2007, in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy tret'ei nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii. 9–15 oktyabrya 2011 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the third scientific and technical conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. October 9–15, 2011), Obninsk: GS RAS, 2011, pp. 74-79. [in Russian].
- Khritova M.A., Information-analytical system for monitoring earthquakes in the Baikal and Trans-Baikal regions, in *Avtoref. diss. kand. tekhnich. nauk* (Dissertation abstract for the degree of candidate of technical sciences), Irkutsk: Izdatel'stvo IGU, 2015. [in Russian].
- Koulakov I., Abkadyrov I., Al Arifi N., Deev E., Droznina S., Gordeev E. I., Jakovlev A., El Khrepy S., Kulakov R., Kugaenko Y., Novgorodova A., Senyukov S., Shapiro N., Stupina T., West M., Three different types of plumbing system beneath the neighboring active volcanoes of Tolbachik, Bezymianny, and Klyuchevskoy in Kamchatka, *JGR: Solid Earth*, 2017, vol. 122, issue 5, pp. 3852-3874. DOI: 10.1002/2017JB014082
- Kugaenko Y., Titkov N., Saltykov V., Constraints on unrest in the Tolbachik volcanic zone in Kamchatka prior the 2012–2013 flank fissure eruption of Plosky Tolbachik volcano from local seismicity and GPS data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2015, vol. 307, pp. 38-46, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.05.020
- Lander A.V., Shevchenko N.A., Matveenko E.A., Artifact in the Kamchatka catalog of earthquakes: research and elimination, *Vestnik KRAUNTS. Seriya: Nauki o Zemle* (Bulletin of the Kamchatka Regional Educational and Scientific Center, Earth Sciences series), 2019, no. 1, pp. 85-90. [in Russian].
- Lapushov A.V., Khodyaev A.V., Moskvich V.N., Davidova E.A., Creation of an information system for storing and providing authorized access to seismic information of Rosneft, *Geologiya nefi i gaza* (Geology of oil and gas), 2013, no. 4, pp. 42–47. [in Russian].
- Matveenko E.A., Chebrova A.Yu., Ivanov V.Yu., Ivanova E.I., Mityushkina S.V., Raevskaya A.A., Romasheva E.I., Tokarev A.V., Chemarev A.S., Development of an interface for access to seismological information, in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Shestoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii, 1–7 oktyabrya 2017 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Sixth Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, October 1–7, 2017), Obninsk: GS RAS, 2017, pp. 361-365. [in Russian].
- Mityushkina S.V., Raevskaya A.A., Tokarev A.V., Chebrova A.Yu., Chemarev A.S., Program for the automated processing of macroseismic information: possibilities and results of use, in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Chetvertoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii. 29 sentyabrya – 5 oktyabrya 2013 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Fourth Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. September 29 – October 5, 2013), Obninsk: GS RAS, 2013, pp. 347-351. [in Russian].
- Mityushkina S.V., Tokarev A.V., Raevskaya A.A., Chebrova A.Yu., Automatic processing of macroseismic information on Kamchatka earthquakes based on the Internet questionnaire, in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy tret'ei nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii. 9–15 oktyabrya 2011 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of

- the Russian Far East. Proceedings of the Third Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. October 9–15, 2011), Obninsk: GS RAS, 2011, pp. 376-380. [in Russian].
- Saltykov V., Formalized technique of Bezymianny volcano (Kamchatka) eruption forecasting based on the statistical estimation of seismicity level, *Geophysical Research*, 2016, vol. 17, no. 3, pp. 45-59. DOI: 10.21455/gr2016.3-4
- Saltykov V., Kugaenko Y., Kravchenko N., Konovalova A., A Parametric Representation of Kamchatka Seismicity over Time, *Journal of Volcanology and Seismology*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 58-75. DOI: 10.1134/S0742046313010065
- Shapiro N., Sens-Schönfelder C., Lühr B. G., Weber M., Abkadyrov I., Gordeev E. I., Koulakov I., Jakovlev A., Kugaenko Y., Saltykov V., Understanding Kamchatka's extraordinary volcano cluster, *Eos*, 2017, vol. 98. DOI: 10.1029/2017EO071351
- Shebalin N.V., Aptikaev F.F., MSK scale development, *Problemy makroseismiki. Vychislitel'naya seismologiya* (Macroseismic problems. Computational seismology), Moscow: GEOS, 2003, vol. 34, pp. 210-253. [in Russian].
- Tokarev A.V., Bakhtiarova G.M., Chebrova A.Yu., Mityushkina S.V., A modern view of an outdated system for storing seismological data of the KB GS RAS, in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy tret'ei nauchno-tehnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii. 9–15 oktyabrya 2011 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Third Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. October 9–15, 2011), Obninsk: GS RAS, 2011, pp. 401-405. [in Russian].
- Tokarev A.V., Chemarev A.S., Subsystem of the Unified Information System for Search and Correction of Errors in the Results of Earthquake Processing, in *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudy Chetvertoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskii. 29 sentyabrya – 5 oktyabrya 2013 g.* (Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Fourth Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. September 29 – October 5, 2013), Obninsk: GS RAS, 2013, pp. 356-358. [in Russian].
- Willemann R.J., Storchak D.A., Data Collection at the International Seismological Centre, *Seismological Research Letters*, 2001, vol. 72 (4), pp. 440-453. doi: <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.4.440>