

УДК 550.34.034

Формирование единой системы сбора сейсмологической информации в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН

© 2021 г. Д.В. Костылев^{1,2}

¹СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия; ²ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Поступила в редакцию 16.02.2021 г.

Аннотация. Рассмотрены основные этапы создания и развития сети сейсмического мониторинга Сахалинского филиала (СФ) ФИЦ ЕГС РАН. Перечислены основные используемые типы оборудования регистрации сейсмических данных. Представлена структура системы сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН и её компоненты. Предложена концепция создания и эксплуатации автономных пунктов инструментальных сейсмических наблюдений как основного элемента развития системы сбора сейсмологических данных. Детально показана реализация автономных пунктов инструментальных сейсмических наблюдений на примере создания на Курильских островах Аварийно-спасательных центров мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций Главного управления МЧС России по Сахалинской области. Дана оценка текущего состояния системы сбора сейсмологических данных в СФ ФИЦ ЕГС РАН и её регистрационных возможностей. Определено значение системы сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН как части Уникальной научной установки ФИЦ ЕГС РАН – комплекса непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира.

Ключевые слова: Дальний Восток РФ, сейсмическая станция, сейсмологические наблюдения, цифровая запись, сейсмические приборы, регистрационные возможности, уникальная научная установка.

Для цитирования: Костылев Д.В. Формирование единой системы сбора сейсмологической информации в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 41–53. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.03>

Введение

Одним из важнейших компонентов для выполнения фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в области проблем геофизики является проведение сейсмического мониторинга, который является основой для разработки и применения технологий уменьшения риска опасных природных явлений. Он базируется на организации сети непрерывных долговременных наблюдений на исследуемой территории и включает не только регистрацию, но и дальнейшую оперативную передачу сейсмологических данных, их обработку и интерпретацию с выходом на прогнозные оценки, а также накопление и систематизацию полученного материала в архивах данных. На территории Сахалинской области, Приморского края, Хабаровского края, Амурской области, а также северо-западной части Тихого океана, акваторий Охотского и Японского морей выполнение задач сейсмического мониторинга обеспечивает Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Россий-

ской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН). Кроме этого, СФ ФИЦ ЕГС РАН выполняет работы по обеспечению функционирования системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке РФ. В свете этих задач, а также ввиду высокой сейсмичности района, первоочередной целью развития сейсмометрических наблюдений для Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН является создание и поддержание сети цифровых сейсмических станций, решающих задачи как локального, так и регионального мониторинга, и объединённых в единое информационное поле.

Началом создания сети сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН можно считать 25 октября 1947 г., когда сейсмическая станция «Южно-Сахалинск» была введена в эксплуатацию и включена в состав Сахалинской базы АН СССР [Спирин, Левин, 2008]. В дальнейшем сеть стационарных станций СФ ФИЦ ЕГС РАН, оснащённых аналоговым оборудованием, активно развивалась до 1990-х годов. После чего, с одной стороны, из-за недостаточного финансирования был закрыт ряд станций сети, а с другой стороны, в этот период начался активный переход

на цифровую технологию производства наблюдений, который завершился 30 сентября 2015 г., когда в СФ ФИЦ ЕГС РАН были полностью прекращены сейсмологические наблюдения аналоговыми регистраторами. Динамика, отражающая изменение числа и состава станций сети СФ ФИЦ ЕГС РАН, а также процесс их перехода на цифровую регистрацию, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Диаграмма изменения числа станций сейсмического мониторинга в СФ ФИЦ ЕГС РАН

По состоянию на 31 декабря 2020 г., сейсмическая сеть СФ ФИЦ ЕГС РАН состояла из 37 стационарных сейсмических станций и пунктов инструментальных непрерывных сейсмологических наблюдений, составляющих основу системы сбора сейсмологической информации СФ ФИЦ ЕГС РАН. Карта расположения станций в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН представлена на рис. 2.

На 11 стационарных наблюдательных пунктах есть персонал, который на месте обрабатывает получаемые данные и выполняет текущие работы по обслуживанию эксплуатируемого оборудования. Кроме того, эти 11 стационарных станций участвуют в передаче оперативных донесений федеральной и/или региональной Службе срочных донесений (ССД). Станция SKR («Северо-Курильск») не входит в зону ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за данные окончательного каталога землетрясений, показанной на рис. 2 красным контуром, но включена в зону ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за данные оперативных наблюдений. Оставшиеся 26 пунктов наблюдений были созданы в период 2010–2020 гг. уже как автономные пункты сейсмических наблюдений, два из которых были разработаны

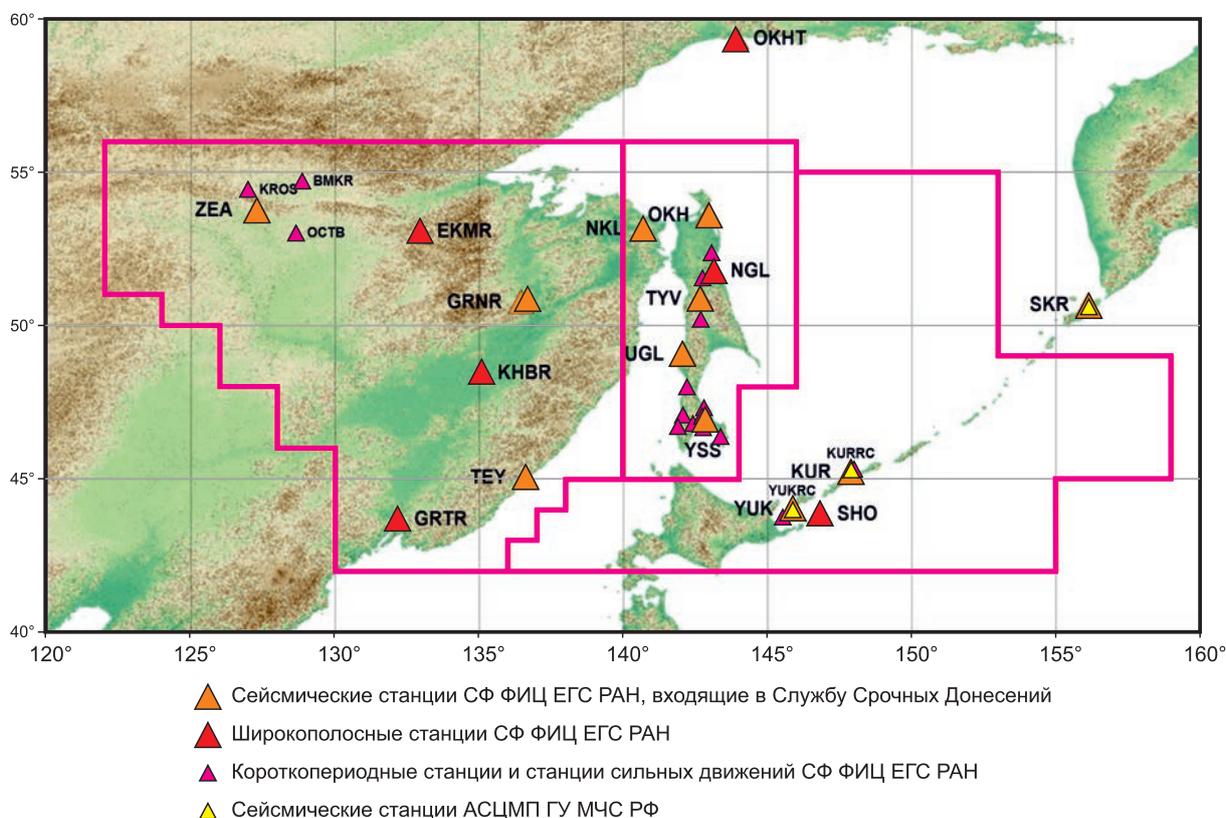


Рис. 2. Расположение станций и пунктов сейсмического мониторинга СФ ФИЦ ЕГС РАН в зоне ответственности (красный контур)

и реализованы как автоматические пункты инструментальных наблюдений (АПИИ) в составе Аварийно-спасательных центров мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций (АСЦМП) Главного управления МЧС России по Сахалинской области в 2020 году.

Система сбора и обработки данных СФ ФИЦ ЕГС РАН

С переходом на цифровые методы регистрации сейсмических событий особо актуальным стало объединение данных, получаемых на сейсмических станциях, в единую систему мониторинга. Развитие региональных сетей сбора сейсмологической информации на Дальнем Востоке в начале XXI в. шло прежде всего в рамках международных проектов по научно-техническому сотрудничеству и федеральных целевых программ «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ до 2010 года» [О федеральной целевой..., 2006] и «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» [О федеральной целевой..., 2011].

Так, для СФ ФИЦ ЕГС РАН первым шагом на пути перехода к цифровым технологиям в наблюдательной сейсмологии стало участие в Международной программе создания глобальной сети цифровых станций IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), когда в глобальную сеть цифровых станций (GSN), созданную в 1986 г. [Gee, Leith, 2011], были включены 12 станций на территории Российской Федерации [Гордеев и др., 2010], в том числе и сейсмическая станция «Южно-Сахалинск» [Hutt, 1993]. Цифровое оборудование на станции «Южно-Сахалинск» было установлено в 1992 г. в рамках соглашения между Консорциумом университетов IRIS и Российской академией наук [Старовойт, Чернобай, 1994]. В 2005 г. на Дальнем Востоке РФ было начато создание цифровой сети сейсмологических наблюдений с использованием комплексов, полученных от иностранных партнёров по проектам «Исследования сейсмоструктуры Охотоморской плиты» между Сообществом университетов Японии, Геофизической службой РАН и институтами Российской академии наук от 17 января 2005 г. В рамках проекта в 2005–2007 гг. на станциях «Оха», «Тымовское» (Сахалинская область), «Хабаровск», «Горный», «Охотск» (Хабаровский край), «Терней», «Горно-таёжное» (Приморский край) и «Зея» (Амурская

область) были установлены регистрирующие комплексы Datamark и широкополосные высокочувствительные сейсмометры. Установленные на Курильских островах цифровые станции «Угра» [Корсунцев, 2008] были включены в систему сбора, созданную специалистами Центрального отделения ГС РАН на базе транспортной системы, применяющейся в ГС РАН – Near Real Time System (NRTS) [Davis et al., 1999]. Для этого на сейсмической станции «Южно-Сахалинск» в 2008 г. была проведена установка системы NRTS, и был организован сервер с «дисковой петлёй» [Красилов, Семёнов, 2007] непрерывно поступающих и обновляемых данных от станций «Угра» и станций сети GSN на Дальнем Востоке РФ. Наибольший прогресс в развитии цифровых станций и соответствующих им систем сбора данных был достигнут в рамках реализации федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года», когда в 2008–2011 гг. в СФ ФИЦ ЕГС РАН была создана сейсмическая подсистема Службы предупреждения о цунами (СП СПЦ), использующая в качестве системы сбора данных разработки Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Чебров, 2013]. В результате к 2012 г. в СФ ФИЦ ЕГС РАН в эксплуатации оказались три фактически не связанных между собой системы сбора сейсмологических данных, каждая из которых объединяла станции с различными форматами данных, причём зачастую на одной и той же станции использовались различные, несовместимые между собой и недоступные для обработки сейсмические данные.

Цифровое регистрирующее оборудование, установленное на станциях сети СФ ФИЦ ЕГС РАН в рамках выполнения работ по перечисленным выше проектам, было также неоднородно, прежде всего по используемым форматам данных и протоколам передачи информации. Так, оборудование, установленное по программе сотрудничества с университетами Японии по проекту «Исследования сейсмоструктуры Охотоморской плиты», включало в себя современные регистрирующие комплексы Datamark в составе широкополосного высокочувствительного сейсмометра STS-2 фирмы G. Streckeisen AG (Швейцария), узкополосного сейсмометра пониженной чувствительности L4C-3D фирмы Sersel Inc. (США) и регистратора Datamark LS7000XT фирмы Nakusan Corporation (Япония) [Miyamachi et al., 2009], но использование традиционной для сейсмических сетей Японии системы сбора

и обработки данных WIN [Urabe, 1992] затрудняло применение получаемых данных для их анализа.

Введённая в опытную эксплуатацию в 2008 г. первая очередь сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами, в рамках которой были созданы региональные информационно-обрабатывающие центры (РИОЦ) Геофизической службы РАН «Петропавловск-Камчатский», «Южно-Сахалинск» и «Владивосток», и сеть сейсмологических наблюдений, состоящая из опорных и вспомогательных станций, а также пунктов регистрации сильных движений, были оснащены оборудованием, установленным в рамках реализации программы по созданию СП СПЦ. Работа и оснащение таких станций подробно описаны в [Мишаткин и др., 2011]. Поскольку большинство станций на Сахалине и Курильских островах были оснащены цифровым оборудованием в рамках этого проекта, система сбора данных, разработанная в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН [Чебров, Гусев и др., 2010; Чебров, Дроздин и др., 2010; Чебров и др., 2012], была принята как основная система в СФ ФИЦ ЕГС РАН, и дальнейшее развитие сети сейсмических наблюдений проходило в рамках интеграции данных на базе указанной системы.

В итоге после перехода на цифровые методы регистрации на станциях сети СФ ФИЦ ЕГС РАН оснащение стационарных наблюдательных пунктов сети состоит к концу 2020 г. из 65 сейсмометров, из них: 27 акселерометров (станции сильных движений), 24 широкополосных и 14 короткопериодных велосиметров. Сеть стан-

ций СФ ФИЦ ЕГС РАН включает в себя хорошо зарекомендовавшее себя оборудование (табл.) известных фирм: Guralp Systems Limited (Великобритания), G. Streckeisen AG (Швейцария), GeoSIG Ltd (Швейцария), Nakusan Corporation (Япония), Corporate Headquarters Kinemetrics Inc. (США).

Перечисленное оборудование позволяет получать данные в широком частотном диапазоне. Кроме того, сеть сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН включает в себя данные станций Дальневосточного отделения (ДВО) РАН и ФИЦ ЕГС РАН, расположенных на территории Дальневосточного федерального округа, а также данные семи станций, расположенных в префектуре Хоккайдо (Япония). Дополнительно для задач оперативной обработки и повышения надёжности оценок параметров землетрясений организована буферизация потоков данных со станций сети GSN-IRIS, а также сети СТВТО. Сейсмологическая компонента сети сбора данных приведена на рис. 3.

Очевидно, что решение проблемы интеграции всех перечисленных источников сейсмологических данных в единое информационное поле требует использования гибкой системы сбора и обработки данных. Как отмечалось выше, в СФ ФИЦ ЕГС РАН в качестве основной система сбора, контроля, хранения и представления данных и результатов их обработки используется система, разработанная в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН. Эта система включает в себя: коммуникационную подсистему (каналы связи-передачи данных, протоколы передачи данных,

Таблица. Краткие характеристики оборудования стационарных станций регистрации сети Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН

Тип сейсмометра	Тип регистратора	Частотный диапазон, Гц	Число приборов
Streckeisen STS-1	Quanterra Q330HR	0.0028–5	1
Streckeisen STS-2	Datamark LS-7000XT / Quanterra Q330HR	0.00833–50	9
Guralp CMG-3	Geosig GSR-24 / Guralp CMGDM	0.0083–50	5
Guralp CMG-6TD	Guralp CMGCD	0.033–100	7
Guralp CMG-6TD	Guralp Minimus+	0.033–100	2
Sercel L4C-3D	Datamark LS-7000XT	1.0–20	9
Geotech GS-13	Quanterra Q330HR	1.0–20	1
Lennartz LE-3Dlite	Datamark LS-7000XT	1.0–30	1
Lennartz LE-3Dlite	Дельта-03М	1.0–30	3
Guralp CMG-5T(TDE)	Geosig GSR-24 / Guralp CMGDM	1–100	24
Guralp Fortis	Guralp Minimus+	1–100	2
Kinemetrics FBA-23	Quanterra Q330HR	1–20	1

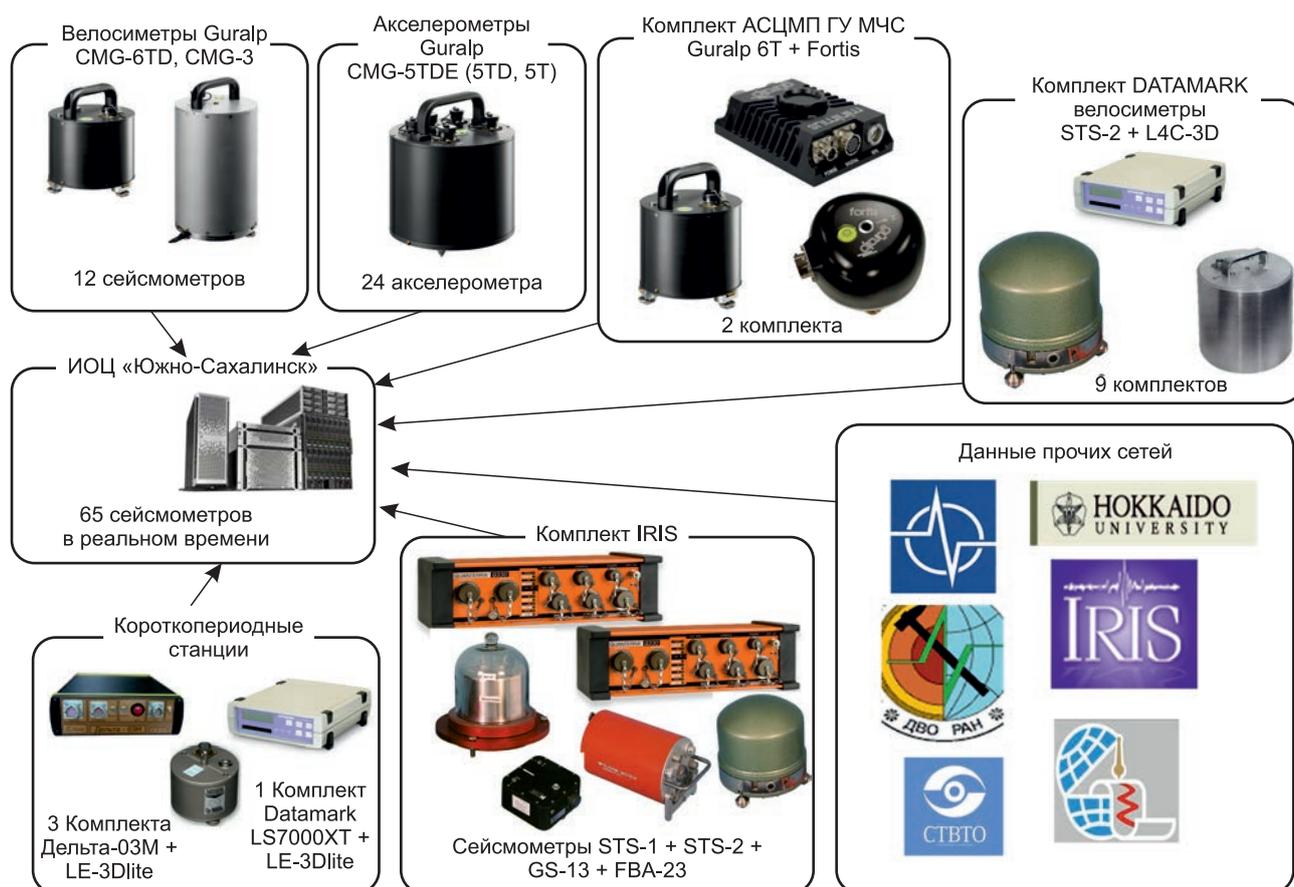


Рис. 3. Источники сейсмологических данных системы сбора и обработки СФ ФИЦ ЕГС РАН

программное обеспечение); подсистему обработки сейсмических сигналов программными средствами контроля системы сбора, а также средствами предоставления и отображения данных и результатов их обработки. Интеграция всех систем сбора, использовавшихся в СФ ФИЦ ЕГС РАН автономно, на базе этой системы позволила оперативно решать вопросы по подключению новых станций и серверов сейсмологических служб в различных форматах передачи данных, а также получить доступ к данным независимо от оборудования и исходных форматов источников этих данных [Костылев, 2016].

Кроме того, использование этой системы сбора на вспомогательных серверах первичного сбора и обработки данных, установленных на стационарных пунктах наблюдений, позволяет привести данные, получаемые от регистраторов станций, к единому стандарту, обеспечивает доступ к данным в выбранном интервале времени по запросу в отложенном режиме и решает проблему полноценной обработки данных в подразделениях СФ ФИЦ ЕГС РАН (на удалённых

сейсмических станциях сети, где ведётся первичная обработка данных).

Общая структура сети сбора данных с детализацией задач, решаемых серверами сбора и обработки, представлена на рис. 4.

Серверы сбора данных производят установку соединения с регистраторами данных и удалёнными серверами, приём пакетов данных в форматах источника, преобразование данных в формат miniseed и создание кольцевых буферов данных по каждой станции на дисковых массивах. Размер кольцевого буфера для каждой станции составляет 10 Гб, что позволяет хранить данные за последние 150–200 дней. Доступ к данным с удалённых или локальных автоматизированных рабочих мест сейсмолога (АРМС) производится по технологии клиент-сервер в двух режимах:

- режим непрерывной передачи данных, близкий к реальному времени;
- режим доступа к кольцевым буферам данных по запросу.

В первом случае удалённый компьютер (клиент) инициирует соединение с сервером по определённому порту, и сервер начинает непрерывную

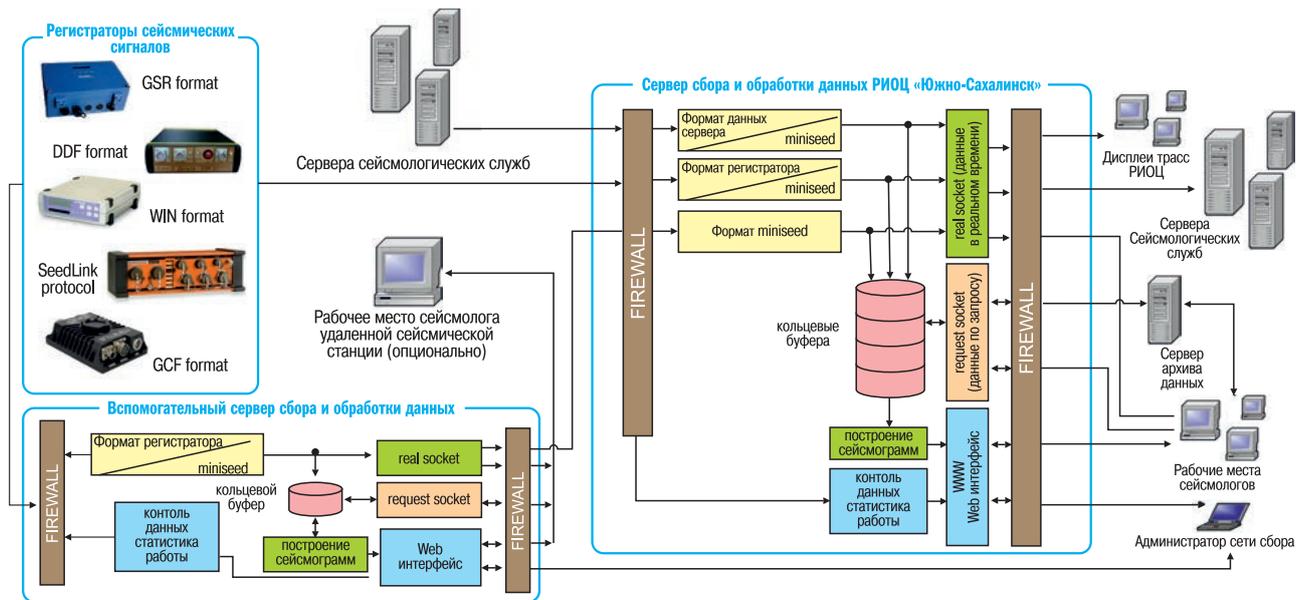


Рис. 4. Структурная схема сети сбора и обработки сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН

передачу miniSeed пакетов клиенту. Во втором случае клиент инициирует соединение с сервером и передаёт серверу строку запроса, содержащую начало интересующего временного интервала, его продолжительность и маску интересующих каналов. В ответ на запрос сервер производит сканирование кольцевых буферов, поиск блоков данных, удовлетворяющих критерию выборки, и осуществляет их передачу на компьютер клиента. Следует отметить, что сервер сбора может быть сконфигурирован как сервер и клиент одновременно, что позволяет формировать кольцевые буферы непрерывных данных не только от локальных регистраторов, но и от аналогичных удалённых систем сбора данных. Эта технология, широко используемая в глобальной сети сейсмических станций GSN (Global Seismographic Network), известна под названием LISS (Live Internet Seismic Server) и позволяет организовать различные цепочки передачи данных в сети Интернет. На сервере также производится контроль состояния текущих каналов связи и потоков данных с отображением текущего состояния систем регистрации.

В настоящий момент в СФ ФИЦ ЕГС РАН эксплуатируются два основных и 21 вспомогательный сервер, построенные по описанной технологии. Основу «парка» вспомогательных серверов станций сети СФ ФИЦ ЕГС РАН составляют компактные и ультра компактные компьютеры с пониженным энергопотреблением, работающие в режиме 7/24 и не требующие регулярного обслуживания.

Для объединения всех серверов и регистраторов в единое информационное поле данных в СФ ФИЦ ЕГС РАН используются различные технологии связи: WIMAX канал (РИОЦ «Южно-Сахалинск»), FTTP и DSL каналы (компания «Ростелеком»), спутниковая связь (основной провайдер «АльтегроСкай»), передача данных с использованием WiFi технологии (для ближайших выносных пунктов на Курильских островах) и передача с использованием каналов связи сотовых операторов («Мегафон»).

Развитие концепции АПИН как основного инструмента сбора данных

Благодаря внедрению цифровых средств регистрации сейсмических данных и широкому использованию на станциях вспомогательных систем сбора и первичной обработки данных, начиная с 2015 г. большинство стационарных пунктов наблюдений сети СФ ФИЦ ЕГС РАН работает без обслуживающего персонала, в автоматическом режиме, с передачей регистрируемых данных в реальном времени на серверы сбора данных. Первый опыт разработки и реализации концепции автономного пункта инструментальных наблюдений (АПИН) был реализован в СФ ФИЦ ЕГС РАН при установке выносных пунктов наблюдений (станций сильных движений) в рамках СПЦ в 2008 году. В дальнейшем все вновь создаваемые стационарные пункты сейсмических наблюдений строились в соответствии с этой концепцией. Кроме того,

установка на ряде станций вспомогательных систем сбора и первичной обработки данных позволила отказаться от использования на этих станциях широкого круга персонала и фактически перевести эти станции в разряд АПИИ.

В соответствии с развитием концепции АПИИ, в 2020 г. Сахалинским филиалом ФИЦ ЕГС РАН разработана и подготовлена система мониторинга сейсмической активности посредством организации пунктов инструментальных сейсмологических наблюдений на островах Кунашир и Итуруп в целях обеспечения поддержки принятия решений Аварийно-спасательного центра мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций (АСЦМП) Главного управления МЧС России по Сахалинской области. АСЦМП ГУ МЧС России на Курильских островах были созданы АПИИ в рамках федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2016–2025 годы» [Об утверждении федеральной..., 2015], дополненной укрупнённым проектом «Создание и развитие системы комплексной безопасности и защиты от рисков чрезвычайных ситуаций».

Одной из основных задач при разработке системы мониторинга было включение АПИИ в общую систему сбора сейсмологической информации СФ ФИЦ ЕГС РАН и интеграция создаваемой системы комплексного наблюдения в федеральную сеть сейсмологических наблюдений (ФССН). Соответственно поставленным задачам, разрабатываемый АПИИ должен обеспечивать: обнаружение и регистрацию как слабых, так и сильных сейсмических событий; производить оперативную обработку инструментальных данных о сейсмических событиях с целью быстрой оценки возможной угрозы и её масштабов; находиться во взаимодействии со структурными подразделениями ГУ МЧС России по Сахалинской области. Для решения перечисленных задач в СФ ФИЦ ЕГС РАН был разработан комплекс, включающий в себя следующее оборудование: сейсмологическое (в составе регистратора сейсмических сигналов Guralp Minimus+, акселерометра Guralp Fortis и велосиметра Guralp 6T), телекоммуникационное, систему первичного сбора и обработки информации, а также оборудование гарантированного электропитания, размещённые в едином специализированном блок-контейнере на территории АСЦМП (рис. 5).

Внешними элементами размещения оборудования комплекса, в соответствии с разработанным решением, являются телекоммуникационный блок-контейнер и сейсмокамера. Сейсмо-

камера представляет собой заглублённый в грунт герметизированный модуль с бетонным основанием и защитой от температурных перепадов. Блок-контейнер предназначен для размещения аппаратуры сбора данных, а также оборудования гарантированного питания и передачи данных. Он дополнительно оснащён обогревателем конвекторного типа, настенными сплит-системами и охранно-пожарной сигнализацией.

Летом 2020 г. сотрудниками СФ ФИЦ ЕГС РАН были выполнены работы по вводу разработанных АПИИ в эксплуатацию. В рамках работ на территориях АСЦМП в пгт Южно-Курильск (о. Кунашир) и с. Китовое (о. Итуруп) установлены телекоммуникационные блок-контейнеры, полностью укомплектованные оборудованием в соответствии с рис. 5, а вблизи контейнеров оборудованы сейсмокамеры, в которых установлены акселерометр и велосиметр. Для обеспечения доступа к данным и контроля работы комплекса произведена установка и настройка необходимого программного обеспечения, организована трансляция потоков сейсмологических данных на рабочее место отдела мониторинга АСЦМП и на сервер сбора РИОЦ «Южно-Сахалинск», настроена система защиты от несанкционированного доступа (Firewall), а также необходимые настройки для удалённого доступа и управления оборудованием станции. В рамках взаимодействия со структурными подразделениями ГУ МЧС России по Сахалинской области по обеспечению оперативной информацией о возможной угрозе в отделениях мониторинга АСЦМП МЧС РФ установлено оборудование для визуализации сейсмических событий и работы сейсмического оборудования. Установлены необходимые программные продукты (рис. 6).

Для сотрудников АСЦМП дополнительно предусмотрено предоставление оперативной информации о произошедших сейсмических событиях, в том числе и с использованием автоматизированного сервиса оценки инструментальной интенсивности сотрясений по записи сильных движений в режиме, близком к реальному времени [Дрознин и др., 2017]. Для этого при оперативной обработке землетрясения формируется отчёт о параметрах события на каждом АПИИ, производится расчёт интенсивности сотрясений с использованием формулы связи параметров сильных движений с балльностью по МШИЗ-18 [ГОСТ 34511–2018, 2019], и результат представляется в графическом виде.

Созданные пункты являются частью системы комплексной безопасности и защиты от рисков

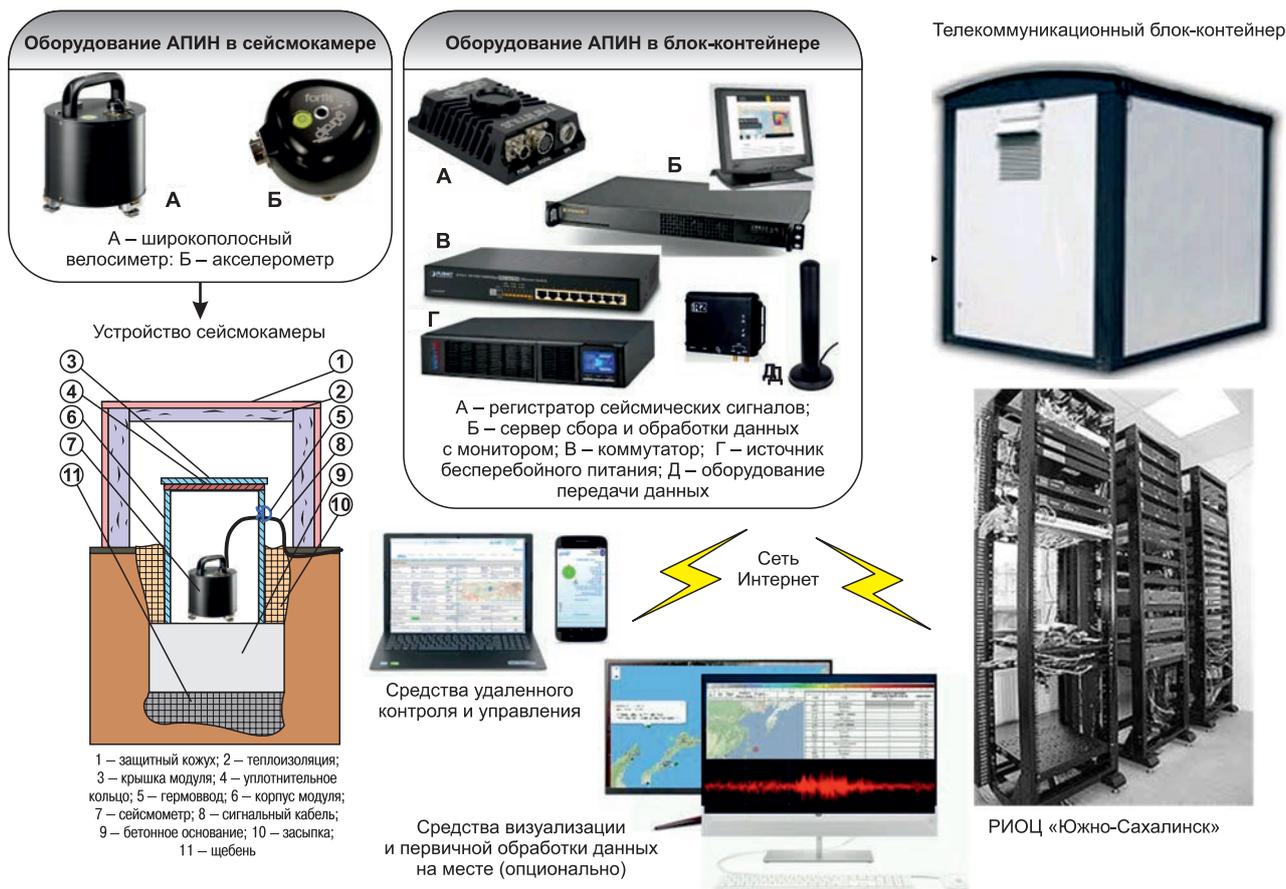


Рис. 5. Структурная схема автономных пунктов инструментальных наблюдений (АПИН) СФ ФИЦ ЕГС РАН



Рис. 6. Внешний вид АПИН в составе АСЦМП ГУ МЧС РФ в с. Китовое (о. Итуруп), и оборудование визуализации работы комплекса и сейсмических событий в отделении мониторинга АСЦМП.

Фото Д.В. Костылева

чрезвычайных ситуаций, что позволяет усилить защиту населения и территорий Южных Курильских островов от чрезвычайных ситуаций, а для СФ ФИЦ ЕГС РАН способствует расширению возможности системы мониторинга на Южных Курилах и значительно повышает её надёжность за счёт распределения и дублирования потоков данных.

Достигнутые результаты

В 2015 г. СФ ФИЦ ЕГС РАН полностью перешёл на цифровые методы регистрации и объединил все разнородные источники сейсмических данных на базе единой системы сбора сейсмологических данных. В результате этого более чем на треть было увеличено число источников

сейсмологических данных в зоне ответственности, включённых в систему сбора данных. Дальнейшее развитие в 2015–2020 гг. отличалось меньшей интенсивностью, но по-прежнему сохраняло и сохраняет тенденции к росту числа источников сейсмических данных (сейсмометров и регистрирующей аппаратуры) в зоне ответственности (рис. 7).

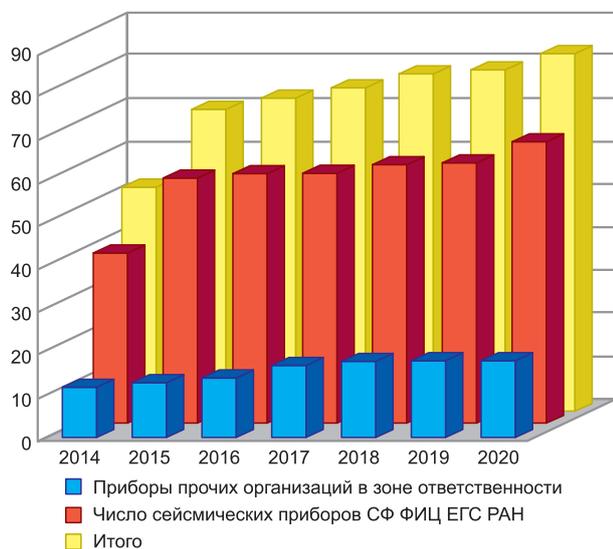


Рис. 7. Диаграмма изменения в 2014–2020 гг. числа приборов регистрации сейсмических данных, входящих в систему сбора данных СФ ФИЦ ЕГС РАН на территории ДВФО РФ и сопредельных территориях

Проведена оценка регистрационных возможностей сейсмологической сети в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН и прилегающей территории с учётом локальных особенностей затухания волн и уровня сейсмических шумов на станциях. Для расчётов использовались уравнения макросейсмического поля для Сахалина, Курильских островов, Приамурья и Приморья [Оскорбин, Бобков, 1997], а также шумовая обстановка на каждой станции сети, измеренная опытным путём. Расчёты производились с помощью программы SARa [Дягилев, 2020]. Результаты оценки, а также расположение сейсмических станций, включённых в систему сбора, приведены на рис. 8.

Текущая конфигурация сети сейсмических станций, с учётом установленного оборудования и привлечения в оперативном режиме данных станций соседних регионов, позволяет обеспечить на большей части зоны ответственности возможность регистрации как минимум тремя сейсμοстанциями (что необходимо для корректного определения эпицентра) землетрясений начиная с представительной магнитуды $M_{\min}=3.0$. Исклю-

чение составляют центральная часть Охотского, северная часть Японского моря, район Средних Курильских островов и приграничная часть Приамурья, где представительной можно считать магнитуду событий $M_{\min}=3.5$. Благодаря более плотной сети сейсμοстанций, а также доступу к короткопериодным станциям Хоккайдского университета, на части Южных Курил и территории Сахалинского региона порог уверенной регистрации составляет $M_{\min}=2.5$.

Внедрение современных технологий сбора, обработки и хранения сейсмологической информации позволяет накапливать обширный материал для дальнейших исследований в области фундаментальной и прикладной сейсмологии. Потребителями материалов сейсмологических наблюдений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН являются подразделения и научные сотрудники ФИЦ ЕГС РАН, ИМГиГ ДВО РАН и других институтов Дальневосточного отделения РАН, институтов Сибирского отделения РАН, ИФЗ РАН, учёные университетов Японии, заинтересованные организации и ведомства Сахалинской области и Дальневосточного федерального округа, в числе которых ГУ МЧС России по Сахалинской области, Дальневосточный региональный центр ГУ МЧС России, учреждения «Росгидромета», различные федеральные и региональные службы, органы исполнительной власти в Дальневосточном регионе, средства массовой информации и другие.

Заключение

В результате выполненных работ сеть сейсмического мониторинга СФ ФИЦ ЕГС РАН была преобразована в единую систему сбора и обработки сейсмологической информации, что позволило значительно расширить количество наблюдательных пунктов и станций, входящих в систему сбора, и значительно повысить регистрационные возможности сети наблюдений.

Существующая сеть сейсмического мониторинга позволяет производить обнаружение и регистрацию как слабых, так и сильных сейсмических событий, выполнять оперативную обработку инструментальных данных о сейсмических событиях с целью быстрой оценки возможной угрозы и её масштабов. Полученные результаты обеспечивают своевременную передачу данных и взаимодействие со структурными подразделениями ГУ МЧС России по Сахалинской области и Службой предупреждения о цунами по обеспечению оперативной информацией о возможной угрозе.

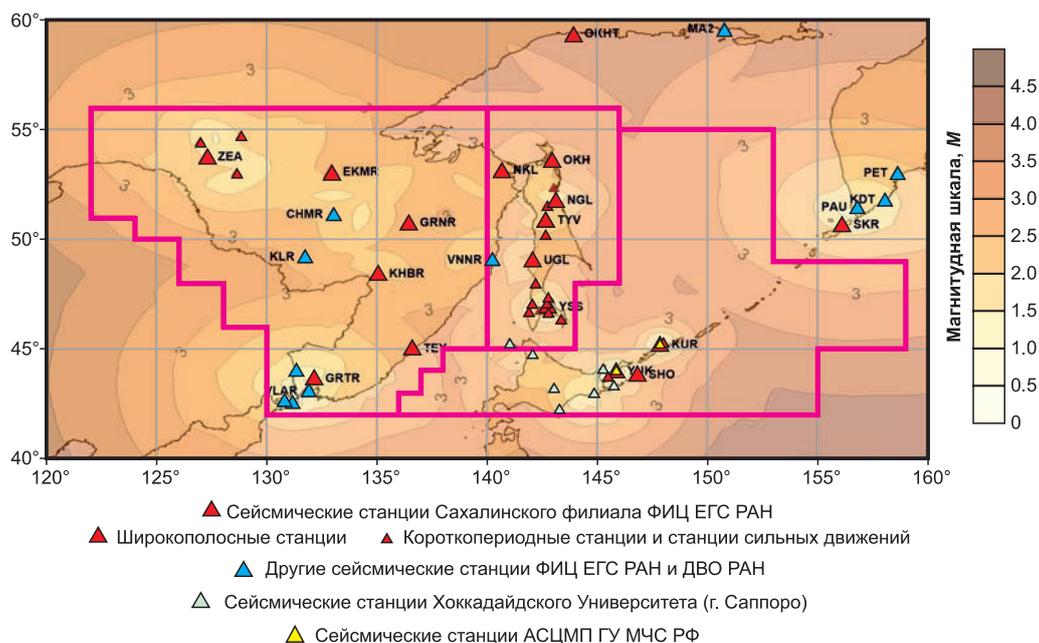


Рис. 8. Регистрационные возможности сети сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН в зоне ответственности

Созданный банк сейсмологических данных выполняет сбор, накопление, систематизацию и анализ данных инструментальных наблюдений зоны мониторинга. На основе этих материалов проводятся анализ и оценка сейсмической обстановки в Дальневосточном регионе РФ, представляемые на заседаниях Сахалинского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценка сейсмической опасности и риска (СФ РЭС).

Проведённые работы позволили рассмотреть систему сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН в качестве одного из важнейших компонентов сейсмической подсистемы уникальной научной установки (УНУ) ФИЦ ЕГС РАН – комплекса непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира [ФИЦ ЕГС РАН, 2021].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075–00576–21ПР) 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».

Литература

Гордеев Е.И., Маловичко А.А., Чебров В.Н., Гунбина Л.В., Левин Ю.Н. Развитие сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России. Результаты, про-

блемы, перспективы // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Второй региональной научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. – П.-К.: ГС РАН, 2010. – С. 29–33.

ГОСТ 34511–2018. Землетрясения. Макросейсмическая шкала интенсивности. – Введён 20.12.2018. – М.: Стандартинформ, 2019. – 27 с.

Дрознин Д.В., Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Ототюк Д.А. Автоматизированная оценка интенсивности сейсмических сотрясений по инструментальным данным в режиме квазиреального времени и её использование в рамках Службы срочных сейсмических донесений на Камчатке // Сейсмические приборы. – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 5–19.

Дягилев Р.А. Программа расчёта регистрационных возможностей сейсмических сетей и групп, SAgra / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662170 от 09.10.2020 г.

Корсунцев В.Г. Сравнение магнитудных и энергетических характеристик землетрясений по записям цифровой и аналоговой аппаратуры на сейсмической станции «Южно-Курильск» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Третьей Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 71–75.

Костылев Д.В. Состояние сейсмологической сети сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 169–172.

- Красилов С.А., Семёнов А.М. Оснащение ИОЦ ВКМ программно-аппаратными средствами для организации наблюдений в режиме, близком к реальному времени, на примере сейсмостанции «Сторожевое» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной сейсмологической школы. — Обнинск: ГС РАН, 2007. — С. 117–120.
- Мишаткин В.Н., Захарченко Н.З., Чебров В.Н. Технические средства сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами // Сейсмические приборы. — 2011. — Т. 47, № 1. — С. 26–51.
- О федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года»: Постановление Правительства Российской Федерации от 06.01.2006 г. № 1 // Собрание законодательства РФ. — 2006. — № 6. — Ст. 695.
- О федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года»: Постановление Правительства Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 555 // Собрание законодательства РФ. — 2011. — № 30. — Ст. 4633.
- Об утверждении федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2016–2025 годы»: Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2015 г. № 33 // Собрание законодательства РФ. — 2015. — № 793 (4 авг.). — С. 12652–12707 (ст. 4826).
- Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Макросейсмическое проявление землетрясений на территории южной части Дальнего Востока // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. — Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. — С. 45–64.
- Спирин А.И., Левин Ю.Н. Сейсмическая станция «Южно-Сахалинск». 60 лет отечественным инструментальным наблюдениям на Сахалине. — Южно-Сахалинск—Обнинск: ГС РАН, 2008. — 32 с.
- Старовойт О.Е., Чернобай И.П. Участие России в международных проектах по сейсмическим наблюдениям // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (Информационно-аналитический бюллетень). — М.: МЧС РФ и РАН, 1994. — № 2. — С. 33–40.
- ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.gsras.ru/> (дата обращения 15.01.2021).
- Чебров В.Н. Региональная система сейсмического мониторинга // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. — П.-К.: ГС РАН, 2013. — С. 8–15.
- Чебров В.Н., Гусев А.А., Дроздин Д.В., Мишаткин В.Н., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Чебров Д.В. Первая очередь сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Второй региональной научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. — П.-К.: ГС РАН, 2010. — С. 327–331.
- Чебров В.Н., Гусев А.А., Дроздин Д.В., Мишаткин В.Н., Сергеев В.А., Чебров Д.В., Шевченко Ю.В. Развитие сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России для службы предупреждения о цунами // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений / Под ред. Е.И. Гордеева, В.Н. Чеброва. — П.-К.: Новая книга, 2012. — С. 70–104.
- Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Сергеев В.А., Пантюхин Е.А. Система сбора, обработки, хранения и представления сейсмологических данных и результатов их обработки в СП СПЦ, технические средства, алгоритмы и ПО // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Второй региональной научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. — П.-К.: ГС РАН, 2010. — С. 332–336.
- Davis P., Berger J., Chavez D. The IDA Near Real-Time System // IRIS Newsletter. — 1999. — V. 18, N 1. — P. 5–6.
- Gee L.S., Leith W.S. The Global Seismographic Network: U.S. // Geological Survey Fact Sheet. — 2011. — V. 3021. — 2 p.
- Hutt C. Installation of Yuzhno-Sakhalinsk // IRIS Newsletter. — 1993. — V. 12, N 1. — P. 12–17.
- Miyamachi H., Ichianagi M., Maeda T., et al. Construction of the broadband seismic network in Far Eastern Russia for imaging the stagnant slab // Geophysical Bulletin of Hokkaido University. — Sapporo, Japan, 2009. — N 72. — P. 37–49.
- Urabe T. WIN-A program on workstation for support of manual phase picking process on seismograms recorded by micro earthquake observation network // Seism. Soc. Japan, Programme and Abstract. — 1992. — N 2. — P. 41.

Сведения об авторе

Костылев Дмитрий Викторович, нач. отд. Сахалинского филиала Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН); мл. науч. сотр. Федерального государственного учреждения науки Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН), г. Южно-Сахалинск, Россия. E-mail: d.kostylev@imgg.ru

Formation of a unified system for collecting seismological information in the Sakhalin Division GS RAS

© 2021 D.V. Kostylev^{1,2}

¹SD GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; ²IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Received February 16, 2021

Abstract The main stages of creation and development of a seismic monitoring network of the Sakhalin Division GS RAS are considered. The main types of seismic data recording equipment used in the Sakhalin Division GS RAS are listed. The structure of the seismological data collection system of the Sakhalin Division GS RAS and its components are presented. The concept of creation and operation of autonomous points of instrumental seismic observations, as the main element of the development of a system for collecting seismological data, is proposed. The implementation of autonomous points of instrumental seismic observations is shown in detail on the example of the creation of emergency rescue centers for monitoring and forecasting emergency situations on the Kuril Islands of the EMERCOM of Russia in the Sakhalin Region. An assessment of the current state of the system for collecting seismological data in the Sakhalin Division GS RAS and its registration capabilities is given. The significance of the system for collecting seismological data of the Sakhalin Division GS RAS as a part of the large-scale research facilities of the GS RAS - a complex of continuous seismic monitoring of the Russian Federation, adjacent territories, and the world.

Keywords Far East, seismic station, seismological observations, digital recording, seismic instruments, registration capabilities, large-scale research facilities.

For citation Kostylev, D.V. (2021). [Formation of a unified system for collecting seismological information in the Sakhalin Division GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 41-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.03>

References

- Chebrov, V.N. (2013). [Regional seismic monitoring system]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Materialy IV regional'noi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the IV regional scientific and technical conference "Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East"] (pp. 8-15). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Sergeev, V.A., & Pantiukhin, E.A. (2010). [System for collecting, processing, storing and presenting seismological data and the results of their processing in the SP SPC, hardware, algorithms and software]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Materialy II regional'noi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the II regional scientific and technical conference "Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East"] (pp. 332-336). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Chebrov, V.N., Gusev, A.A., Droznin, D.V., Mishatkin, V.N., Sergeev, V.A., Shevchenko, Yu.V., & Chebrov, D.V. (2010). [The first stage of the seismic subsystem of the Tsunami warning service]. In *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Materialy II regional'noi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the II regional scientific and technical conference "Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East"] (pp. 327-331). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Chebrov, V.N., Gusev, A.A., Droznin, D.V., Mishatkin, V.N., Sergeev, V.A., Chebrov, D.V., & Shevchenko, Yu.V. (2012). [Development of seismological observations in the Russian Far East for the tsunami warning service]. In *Seismologicheskie i geofizicheskie issledovaniia na Kamchatke. K 50-letiiu detal'nykh seismologicheskikh nabliudenii* [Seismological and geophysical research in Kamchatka. To the 50th anniversary of detailed seismological observations] (pp. 70-104). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Novaia kniga Publ. (In Russ.).
- Davis, P., Berger, J., & Chavez, D. (1999). The IDA Near Real-Time System. *IRIS Newsletter*, 18(1), 5-6.
- Droznin, D.V., Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., & Ototiuk, D.A. (2017). [Automated estimation of instrumental seismic intensity in soft real time and use it within the service of urgent seismic reports in Kamchatka]. *Seismicheskie pribory* [Seismic Instruments], 53(3), 5-19. (In Russ.).
- Dyagilev, R.A. (2020). [Programma rascheta registratsionnykh vozmozhnostei seismicheskikh setei i grupp, SARra]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020662170 dated 09.10.2020. Moscow, Russia. (In Russ.).
- Gee, L.S., & Leith, W.S. (2011). The Global Seismographic Network: U.S. *Geological Survey Fact Sheet*, 3021, 2 p.
- Gordeev, E.I., Malovichko, A.A., Chebrov, V.N., Gumbina, L.V., & Levin, Yu.N. (2010). [Development of seismological observations in the Russian Far East. Results, problems, prospects]. In *Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East. Materials of the II regional scientific and technical conference* [Proceedings of the II regional

- scientific and technical conference “Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East”] (pp. 29-33). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- GOST R 57546-2017. (2019). [Earthquakes. Seismic intensity scale]. Moscow, Russia: Standardinform Publ., 27 p. (In Russ.).
- GS RAS. (2021). Retrieved from <http://www.gsras.ru/>
- Hutt, C. (1993). Installation of Yuzhno-Sakhalinsk. *IRIS Newsletter*, 12(1), 12-17.
- Korsuntsev, V.G. (2008). [Comparison of magnitude and energy characteristics of earthquakes according to records of digital and analog equipment at the seismic station “Yuzhno-Kurilsk”]. In *Materialy III Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly “Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh”* [Proceedings of the III International Seismological Workshop “Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 71-75). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Kostylev, D.V. (2016). [State of the seismological network of the Sakhalin branch of the Federal Research Center of the EGS RAS]. In *Materialy XI Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly “Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh”* [Proceedings of the XI International Seismological Workshop “Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 169-172). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Krasilov, S.A., & Semenov, A.M. (2007). [Equipping the IOC VKM with software and hardware for organizing observations in a mode close to real time, using the example of the Storozhevoe seismic station]. In *Materialy II Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly “Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh”*. [Proceedings of the II International Seismological Workshop “Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 117-120). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Mishatkin, V.N., Zakharchenko, N.Z., & Chebrov, V.N. (2011). [Hardware for the seismic subsystem of the tsunami warning service]. *Seismicheskie pribory* [Seismic Instruments], 47(1), 26-51. (In Russ.).
- Miyamachi, H., Ichiyangi, M., Maeda, T., Yamaguchi, T., Takada, M., Takahashi, H., ... & Gunbina, L. (2009). Construction of the broadband seismic network in Far Eastern Russia for imaging the stagnant slab. *Geophysical Bulletin of Hokkaido University*, 72, 37-49.
- O federal'noi tselevoi programme “Snizhenie riskov i smiagchenie posledstviy chrezvychaynykh situatsii prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera v Rossiiskoi Federatsii do 2010 goda”* [On the federal target program “Reducing risks and mitigating the consequences of natural and man-made emergencies in the Russian Federation until 2010”]. (2006). In *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 06.01.2006 g. N 1* [Resolution of the Government of the Russian Federation dated 06.01.2006 No. 1]. Moscow, Russia. (In Russ.).
- O federal'noi tselevoi programme “Snizhenie riskov i smiagchenie posledstviy chrezvychaynykh situatsii prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera v Rossiiskoi Federatsii do 2015 goda”* [On the federal target program “Reducing risks and mitigating the consequences of natural and man-made emergencies in the Russian Federation until 2015”]. (2006). In *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 07.07.2011 g. N 555* [Resolution of the Government of the Russian Federation dated 07.07.2011 g. No. 555]. Moscow, Russia. (In Russ.).
- Ob utverzhdenii federal'noi tselevoi programmy “Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye Kuril'skikh ostrovov (Sakhalinskaia oblast') na 2016–2025 gody”* [On approval of the federal target program “Social and economic development of the Kuril Islands (Sakhalin region) for 2016–2025”]. (2015). In *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 17 avgusta 2015 g. N 33* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 33 dated August 17, 2015]. Moscow, Russia. (In Russ.).
- Oskorbin, L.S., & Bobkov, A.O. (1997). [Macroseismic manifestation of earthquakes in the southern part of the Far East]. In *Problemy seismicheskoi opasnosti Dal'nevostochnogo regiona* [Seismic hazard problems in the Far East region] (pp. 45-64). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGG FEB RAS Publ. (In Russ.).
- Spirin, A.I., & Levin, Yu.N. (2008). *Seismicheskaya stantsiya “Yuzhno-Sakhalinsk”. 60 let otechestvennym instrumental'nym nabliudeniyam na Sakhaline* [Seismic station “Yuzhno-Sakhalinsk”. 60 years of Russian instrumental observations on Sakhalin]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: GS RAS Publ., 32 p. (In Russ.).
- Starovoi, O.E., & Chernobai, I.P. (1994). [Russia's participation in international seismic observation projects]. In *Federal'naia sistema seismologicheskikh nabliudenii i prognoza zemletriasenii (Informatsionno-analiticheskii biulleten')*. N 2 [Federal system of seismological observations and earthquake prediction (Information and analytical bulletin). N 2] (pp. 33-40). Moscow, Russia: EMERCOM of the Russian Federation & RAS Publ. (In Russ.).
- Urabe, T. (1992). WIN-A program on workstation for support of manual phase picking process on seismograms recorded by micro earthquake observation network. *Programme and Abstract, Seism. Soc. Japan*, 2, 41.

Information about author

Kostylev Dmitry Viktorovich, Head of Department of the Sakhalin Division of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (SD GS RAS); Junior Researcher of the Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IMGG FEB RAS), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. E-mail: d.kostylev@imgg.ru