

УДК 550.34

ДЕТАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КАМЧАТКЕ В 1961–2011 гг., ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

© 2013 г. Е. И. Гордеев^{1,2}, С. А. Федотов¹, В. Н. Чебров²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9,
e-mail: gordeev@kscnet.ru; karetn@list.ru

² Камчатский филиал Геофизической службы РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9,
e-mail: chebr@emsd.ru

Поступила в редакцию 14.03.2012 г.

DOI: 10.7868/S0203030613010045

ВВЕДЕНИЕ

Первого ноября 2011 г. исполнилось 50 лет с начала детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке. Камчатская региональная сеть сейсмических станций создавалась в 1961 г. Тихоокеанской сейсмической экспедицией (ТСЭ) ИФЗ АН СССР совместно с Комплексной геолого-геофизической обсерваторией СО АН СССР под руководством начальника ТСЭ С.А. Федотова.

Камчатка и Командорские острова относятся к тем регионам, где геодинамические процессы и связанная с ними сейсмичность и вулканическая деятельность достигают наивысшей интенсивности на нашей планете. Здесь, в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану и сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, происходит более трети землетрясений России, огромные цунами, находится 30 действующих вулканов, в числе которых такие вулканы-гиганты, как вулканы Ключевской и Шивелуч.

В круг основных задач сейсмологических исследований в регионе входят: детальное изучение сейсмичности, очаговые процессы и механизмы землетрясений, изучение строения и свойств земной коры и верхней мантии, взаимосвязь вулканизма и сейсмичности, прогноз землетрясений и оценка сейсмической, вулканической и цунамиопасности. Сейсмологические исследования на Камчатке включают в себя как фундаментальные научные исследования, так и работы по оценке и прогнозу природных стихийных бедствий и уменьшению ущерба и потерь от них.

История наблюдений и исследований землетрясений на Камчатке состоит из нескольких больших этапов, сведения о которых приводились в работах [Атлас ..., 1962; Викулин и др., 2000; Гордеев и др., 1998; Гордеев и др., 2006; Горельчик, 2001; Комплексные ..., 2004; Кроноцкое

землетрясение ..., 1998; Сейсмичность ..., 1974; Федотов, 1965, 1987, 2002, 2003; Федотов, Шумилина, 1985; Федотов и др., 1987; Чебров, 2009; Чебров и др., 2011].

1737–1900 годы – период макросейсмических наблюдений. В течение этого периода произошли крупнейшие землетрясения с моментной магнитудой более 8.0. Это землетрясения 17 октября 1737, 22 августа 1792 и 18 мая 1841 гг. [Атлас ..., 1962; Крашенинников, 1949; Мушкетов, Орлов, 1893; Новый каталог, 1977; Гусев, Шумилина, 2004]. Первые научные описания землетрясений, вызванных ими наводнений (цунами) и извержений вулканов Камчатки, дал участник Второй Камчатской экспедиции В. Беринга, выдающийся исследователь Камчатки С.П. Крашенинников. Им описаны гигантские землетрясения и цунами 17 октября 1737 г., извержения вулканов [Крашенинников, 1949]. Это было более 270 лет тому назад. С этого времени до конца XIX века длился период макросейсмических наблюдений, по которым имеются сведения более чем о 30 сильных ощутимых землетрясениях Камчатки [Новый каталог ..., 1977].

1900–1961 годы – период инструментальных наблюдений камчатских землетрясений удаленными станциями России (СССР) и мира и отдельными станциями Камчатки. Началом систематических инструментальных наблюдений за землетрясениями в мире считается 1897 г. [Gutenberg, 1956]. К началу XX века мировая сеть сейсмических станций уже была способна регистрировать из района Камчатки землетрясения магнитудой 7.0 и более [Атлас ..., 1962; Сейсмичность ..., 1974]. Точность определения координат камчатских землетрясений по записям сейсмических станций мировой сети в начале XX века составляла несколько градусов по широте и долготе. Пер-

вая запись в камчатском каталоге с оценками параметров землетрясения, полученных на основе инструментальных данных, датируется 1902 годом [Атлас ..., 1962; Новый каталог ..., 1977].

Первая сейсмическая станция на Камчатке (в г. Петропавловске-Камчатском) была открыта Постоянной центральной сейсмической комиссией по инициативе академика Б.Б. Голицына в 1915 г. Первая сейсмограмма была получена 18 июля 1915 г. Станция 2-го разряда “Петропавловск” была оснащена механическими сейсмографами Голицына с электромагнитным затуханием ($T = 20$ с, $V = 40-50$). Станция с перерывами проработала до 1927 г. [Викулин и др., 2000; Чебров и др., 2011], период непрерывной регистрации до 1918 г. После трагического Ашхабадского землетрясения 1948 г. стала усиленно развиваться сеть сейсмических станций СССР, и в 1951 г. была вновь открыта и возобновила свою работу опорная сейсмическая станция в Петропавловске-Камчатском. После этого количество регистрируемых камчатских землетрясений возросло от нескольких до 70–75 в год. Сильнейшее землетрясение 04.XI 1952 г., вызвавшее гигантские волны цунами, которые практически уничтожили п. Северо-Курильск, инициировало создание службы предупреждения о цунами и ускорило развитие сети опорных сейсмических станций на Дальнем Востоке СССР. С 1959 г. сейсмическая станция “Петропавловск” стала участвовать в работе службы предупреждения о цунами. В 1935 г. в Ключах, возле Ключевской группы вулканов, открылась Камчатская вулканологическая станция. Ее создателям и первым начальникам: академику А.Н. Заварицкому, профессору В.И. Влодавцу и члену-корреспонденту АН СССР Б.И. Пийпу было ясно, что сейсмологические наблюдения совершенно необходимы для изучения вулканических процессов. Лабораторией вулканологии АН СССР была открыта сейсмическая станция “Ключи” в 1946 г. [Горельчик, 2001; Соколов, 1949]. Наблюдения на ней проводил известный вулканолог Г.С. Горшков, в дальнейшем член-корреспондент АН СССР и директор Института вулканологии СО АН СССР. Ценнейшие данные были получены на этой сеймостанции во время катастрофического извержения вулкана Безымянный в 1955–1956 гг. Позднее были открыты станции “Козыревск” в 1958 г., “Апахончич” в 1960 г. [Викулин и др., 2000; Гордеев и др., 2006; Горельчик, 2001; Комплексные ..., 2004; Токарев, 1962; Федотов, 1987, 2002, 2003; Федотов, Шумилина, 1985; Федотов и др., 1987]. Сейсмические наблюдения за вулканами возглавил П.И. Токарев. Комплексной геолого-геофизической обсерваторией СО АН СССР была открыта сейсмическая станция “Паужетка” в 1959 г. Сейсмические станции, открытые АН СССР на Камчатке в 40-х и 50-х гг. XX века, работали автономно, совместная обработка записей землетрясений по всей сети станций не ве-

лась. В 1961 г. на Камчатке была создана система детальных сейсмологических наблюдений [Федотов, 1965, 2002, 2003; Федотов и др., 1964; и др.].

1. Организация и развитие системы детальных сейсмологических наблюдений

В 1957 г., после создания Сибирского отделения АН СССР (СО АН СССР), началось ускоренное развитие науки на Дальнем Востоке. В 1959 г. открылась Камчатская геолого-геофизическая экспедиция (КГГО) СО АН СССР, в которой стали получать поддержку сейсмологические исследования.

В 1956–1958 гг. на Дальнем Востоке Советского Союза проводились большие комплексные работы по программе Международного геофизического года (МГГ). Они положили начало многим направлениям геофизических исследований на Дальнем Востоке, в том числе детальным сейсмологическим исследованиям, которые были начаты на Южных Курильских островах в 1957 г. [Федотов, 1965; Федотов и др., 1969] с создания Тихоокеанской сейсмической экспедицией (ТСЭ) ИФЗ АН СССР совместно с лабораторией сейсмологии Сахалинского КНИИ СО АН СССР сети сейсмических станций. Полученные в ходе исследований на Южных Курильских островах научные результаты показали, что для решения фундаментальных научных задач по изучению сейсмичности, глубинного строения земной коры и верхней мантии, природы вулканизма в Курило-Камчатской островной дуге необходимы детальные наблюдения и в ее северной части – на Камчатке [Федотов, 1965, 1987; и др.]. При этом, кроме научных задач, на Камчатке требовали быстрого решения прикладные проблемы и задачи. Ими были, в первую очередь, следующие [Федотов, 1987, 2002, 2003; Федотов, Шумилина, 1981; Федотов и др., 1987; и др.]:

1. Карта общего сейсмического районирования Камчатки 1957 г. не отражала реальную сейсмическую опасность. Восточное побережье Камчатки, наиболее опасное в стране, считалось восьмибальной зоной. Для построения новой карты требовались гораздо более полные и точные данные о землетрясениях Камчатки, чем те, которые получались сетью удаленных сейсмических станций СССР с участием одной сейсмической станции в Петропавловске-Камчатском. Возможности пяти разрозненных камчатских станций были совершенно недостаточными.

2. Землетрясение 4(5) мая 1959 г. с $M = 7.8-8.0$, которое произошло на расстоянии около 120 км от Петропавловска-Камчатского и вызвало в нем сотрясения интенсивностью до 8 баллов, показало, что сила колебаний в очень большой мере зависела от грунтовых условий и что городу необходима карта сейсмического микрорайонирования.

3. До 1947 г. на Камчатке строились только деревянные дома. Добротно сложенные деревянные дома переносят без серьезных повреждений землетрясения силой 9 баллов. В них возможно лишь обрушение кирпичных печей и труб, если они не укреплены надлежащим образом. С 1947 г. на Камчатке начали строить 2–4-этажные каменные мелкоблочные дома, а в 1959 г. появился проект крупноблочного 4-этажного жилого дома серии 1-307с. Каменные дома должны иметь необходимую прочность, если возможны землетрясения силой 7 и более баллов. На Камчатке появилась проблема массового сейсмостойкого строительства.

В первой половине 1950-х годов в Институте физики Земли АН СССР были созданы аппаратура и методика детальных сейсмологических наблюдений. Толчком к их развитию послужили трагические Ашхабадское (1948 г.) и Хаитское (1949 г.) землетрясения. В Гармской экспедиции Института физики Земли АН СССР был накоплен опыт исследований, который был использован в 1957–1961 гг. при организации детальных сейсмологических наблюдений на Южных Курильских островах и Камчатке [Аппаратура ..., 1974; Федотов, 1965, 1969, 1987, 2002, 2003; Федотов, Шумилина, 1985; Федотов и др., 1969; Федотов и др., 1987].

В 1961 г. ТЭС ИФЗ АН СССР совместно с Комплексной геолого-геофизической обсерваторией СО АН СССР под руководством начальника ТЭС С.А. Федотова создается Камчатская региональная сеть сейсмических станций [Сейсмичность ..., 1974; Федотов, 1987, 2002, 2003; Федотов, Шумилина, 1981; Федотов и др., 1987]. Летом-осенью 1961 г. силами экспедиции и обсерватории были поставлены четыре новых региональных сейсмостанции, переоборудована сейсмостанция на Паужетке, и 1 ноября 1961 г. сеть из пяти региональных сейсмостанций – “Паужетка”, “Усть-Большерецк”, “Тополово”, “Петропавловск” и “Семячик”, – начала непрерывную регистрацию по методике ТЭС [Федотов, 2002]. С этого момента положено начало детальным сейсмологическим наблюдениям на Камчатке и Командорских островах.

В 1962 г. создание региональной сети сейсмических станций завершилось: ТЭС были открыты новые региональные сейсмические станции “Мильково”, “Шипунский”, “Беринг”, а осенью после создания на базе Лаборатории вулканологии АН СССР и КГГО СО АН Института вулканологии СО АН СССР к региональной сети присоединились также станции “Ключи”, “Козыревск” и “Апахончич”. В конце 1962 г. региональная сеть включала в себя 10 сейсмических станций, многие из которых работают до настоящего времени. Сеть была оснащена короткопериодными сейсмографами с гальванометрической регистрацией ВЭГИК-ГБIV (Тс = 1.2 с). К 1971 г. региональ-

ная сеть сейсмостанций на Камчатке состояла уже из 15 станций, оснащенных такими сейсмографами.

Работы по организации сбора, обработки и хранения сейсмологической информации проводились одновременно с созданием региональной сети сейсмических станций. С первых дней работы сети предусматривалась оперативная обработка землетрясений на сейсмических станциях и сбор результатов обработки по радиосвязи. Сейсмограммы пересылались почтой и с оказией. Первоначально использовались методики обработки землетрясений, принятые для Южно-Курильской зоны [Сейсмичность ..., 1974; Федотов, 2002, 2003; Федотов и др., 1964]. Определение широты и долготы эпицентров и глубин очагов землетрясений проводилось по методике палеток изохрон Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1958], а энергетические классы землетрясений определялись по номограмме, разработанной С.А. Федотовым [Федотов, 1972].

Совместные сейсмологические исследования ТЭС и Института вулканологии (ИВ) продолжались 11 лет, до 1972 г. Их вели С.А. Федотов и П.И. Токарев [Сейсмичность ..., 1974; Федотов, 2003].

С 1972 г. сеть сейсмических станций была передана в Институт вулканологии (ИВ) ДВНЦ АН СССР. С.А. Федотов, который был директором ИВ в 1971–2003 гг., продолжал руководить детальными сейсмологическими исследованиями на Камчатке до 1979 г.

В 1972–1978 гг. проводились работы по оптимизации сети сейсмических станций и стандартизации амплитудно-частотных характеристик сейсмометрических каналов, было внедрено оборудование для проведения сейсмологических наблюдений путем создания временных сетей сейсмических станций, были начаты работы по созданию радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС) для сейсмологических исследований на активных вулканах [Гаврилов и др., 1978; Гаврилов и др., 1987; Гордеев и др., 2006; Комплексные ..., 2004; Федотов и др., 1987; Чебров, 2009; Чебров и др., 1987].

После разрушительных землетрясений в Газли (Узбекистан) 8 апреля и 17 мая 1976 г. и землетрясения в Румынии (4 марта 1977 г.), которое ощущалось в Москве с интенсивностью в 3–4 балла, 23 февраля 1978 г. было принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР об усилении работ по прогнозу землетрясений. С 1979 г. Академии наук СССР и Академиям наук союзных республик стало выделяться дополнительное финансирование по статье “геологоразведочные работы”. В апреле 1979 г. было издано Распоряжение Президиума АН СССР о переводе подразделений, занимающихся сейсмологическими наблюдениями, на финансирование по статье “геологоразведочные

работы". Вслед за этим, приказом по Институту вулканологии ДВНЦ АН СССР была создана Опытно-методическая сейсмологическая партия (ОМСП) с самостоятельным балансом, в которую были переведены сотрудники лаборатории сейсмометрии и группы сводной обработки из лаборатории сейсмологии, начальником ОМСП ИВ был назначен Е.И. Гордеев. С 1 июля 1979 г. непрерывные сейсмологические наблюдения на территории Камчатки и Командорских островов продолжила Опытно-методическая сейсмологическая партия Института вулканологии ДВНЦ АН СССР. Благодаря целевому финансированию сейсмологических наблюдений в 1980-х гг. значительное развитие получили радиотелеметрические сети сейсмических станций, временные локальные сети в эпицентральных зонах сильных землетрясений и на активных вулканах и сеть станций сильных движений, проводились исследования сейсмичности в эпицентральных зонах сильных землетрясений и на активных вулканах [Гаврилов и др., 1978; Гордеев и др., 2006; Комплексные исследования ..., 2004; Чебров, 2009а].

В 70-х гг. XX века развитие систем сбора, обработки и хранения сейсмологической информации определялось внедрением в сейсмологические исследования ЭВМ. А.А. Гусевым была разработана программа для расчетов координат гипоцентров камчатских землетрясений на ЭВМ [Гусев, 1979]. Каталоги землетрясений с бумажных носителей были переведены в файлы данных на машинные носители. В конце 1980-х гг. началось массовое внедрение персональных компьютеров, что привело к активизации работ по автоматизации сейсмологических наблюдений. В первую очередь, были разработаны и созданы базы данных, куда были переведены все каталоги и станционные бюллетени.

В 1971–1993 гг. количество научных сотрудников, инженеров и техников Института вулканологии ДВО РАН, включая ОМСП, занятых сейсмологическими исследованиями на Камчатке, превысило 140 человек. Работы этого периода включали в себя большинство задач региональных сейсмологических исследований [Федотов, 1987, 2002], изучение сейсмических явлений на вулканах, изучение механизма землетрясений, определение сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений, морские сейсмологические исследования и др. Был проведен огромный объем наблюдений и исследований и выполнены сотни работ, которые обогатили отечественную и мировую науку.

В значительной степени развитие и совершенствование наблюдательных сетей и систем сбора и обработки информации в трудные 1990-ые годы были поддержаны созданием в мае 1994 г. Геофизической службы Российской ака-

демии наук (ГС РАН). Определяющий вклад в создание ГС РАН и сохранение системы сейсмологических наблюдений на территории России внес ее первый директор О.Е. Старовойт. В феврале 1997 г. ОМСП ИВ ДВО РАН была переведена в Геофизическую службу (ГС) РАН. В декабре 1997 г. в Камчатскую ОМСП (КОМСП) ГС РАН был передан Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности, который принадлежал до этого Камчатской областной администрации, а с 1 июня 1998 г. к КОМСП была присоединена сейсмостанция "Петропавловск". С этого времени все обязанности по службе срочных донесений о сильных землетрясениях и предупреждению об опасности цунами на территории Камчатки стали выполняться в КОМСП. Основными приоритетными задачами последующих лет стали работы по модернизации сети стационарных сейсмических станций и системы обработки сейсмологических данных; по развитию геофизических, гидрогеохимических, гидрогеодинамических и геодезических наблюдений; по оптимизации хранения первичных данных наблюдений и результатов их обработки в виде баз данных и организации доступа к ним [Гордеев и др., 2004; Гордеев и др., 2006; Гордеев и др., 2008; Гордеев и др., 2010; Комплексные ..., 2004; Чебров, 2005, 2009б]. В 1996 г. в систему сбора и обработки сейсмологической информации радиотелеметрическими сетями (РТСС) была внедрена регистрация сейсмических сигналов в цифровом виде, и с этого времени обработка сейсмологических данных стала возможной в режиме, близком к реальному времени. В 2002–2005 гг. разработано оборудование цифровой регистрации для модернизации сети стационарных сейсмических станций Камчатки и начаты работы по его установке [Чебров, 2009; Чебров и др., 2006], создана на базе РТСС система мониторинга и прогноза активности вулканов Авачинский и Ключевской; проведены работы по развитию компьютерных сетей с целью организации сбора и обработки данных в режиме реального времени [Гордеев и др., 2004; Гордеев и др., 2006; Чебров, 2009].

В 2005 г. КОМСП стала Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН).

В 2005–2009 гг. сеть стационарных сейсмических станций Камчатки полностью переведена на цифровую регистрацию с передачей данных в центр сбора и обработки в режиме реального времени, открыты новые стационарные сейсмические станции в северной части Камчатки (пп. Тилички, Палана), сеть станций сильных движений оснащена цифровыми акселерографами. В 2008 г. в КФ ГС РАН из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН передана для осуществления режимных наблюдений с целью поиска предвестников сильных землетрясений сеть пунктов измерений концентрации радона, водорода и акустического мониторинга [Фирстов,

2009]. Для проведения этих работ в КФ ГС РАН создана лаборатория акустического и радонового мониторинга. За последние годы получила существенное развитие сеть РТСС, установлено 11 новых станций, система мониторинга и прогноза активности расширена на вулканы Шивелуч, Безымянный, Корякский, Мутновский, Горелый [Чебров, 2009а].

С 2006 г. КФ ГС РАН в рамках ФЦП “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года” выполнял работы по проекту “Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами”. В результате их выполнения на Дальнем Востоке России к 2010 г. создана сейсмическая подсистема для службы предупреждения о цунами, представляющая собой цифровую широкополосную сеть сейсмологических наблюдений для фундаментальных исследований физики сейсмического процесса, изучения очагов слабых и сильных землетрясений на мировом уровне [Чебров, 2008; Чебров и др., 2009; Чебров и др., 2010; Чебров и др., 2011; Чебров, Гусев, 2010; Чубарова и др., 2010].

Кроме сейсмологических получили развитие сети геофизических наблюдений, которые необходимы для комплексного контроля процессов подготовки и реализации сильных землетрясений [Комплексные ..., 2004; Чебров, 2009]. В 2011 г. в Камчатском филиале ГС РАН с целью мониторинга изменений напряженного состояния геологической среды и процессов подготовки сильных землетрясений ведутся гидрогеохимические, геодезические (GPS), газодинамические, гидрогеодинамические, электротеллурические, акустические и др. наблюдения.

Наблюдения за электротеллурическими потенциалами были начаты Г.А. Соболевым в ТСЭ ИФЗ еще в 1966 г., далее, с 1980-х гг. они были продолжены в ОМСП ИВ – КОМСП – КФ ГС РАН. Гидрогеохимические наблюдения были начаты Ю.М. Хаткевичем в Институте вулканологии под руководством В.М. Сугрובה в 1977 г., в ОМСП были переданы в 1980 г. Сеть непрерывных GPS наблюдений создана КОМСП в рамках международного сотрудничества с университетами Японии и США. В 1999 г. КОМСП открыта российско-японская геофизическая обсерватория “Карымшина”. Сеть пунктов измерений концентрации радона, водорода и акустического мониторинга в КФ ГС РАН передана из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в 2008 г.

На основе, заложенной в 1960-х и 1970-х годах работами ИФЗ АН СССР и ИВ ДВО АН СССР, и в результате большого и самоотверженного труда научного и инженерно-технического коллектива

к началу III-го тысячелетия на Камчатке в КФ ГС РАН создана система комплексного мониторинга геодинамических процессов, которая включает в себя:

- сети сейсмических станций;
- сети геофизических, геодезических, гидрогеохимических и других наблюдений.

Сейсмические наблюдения на Камчатке по состоянию на 2011 г. включают в себя: сеть стационарных цифровых сейсмических станций; сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС); сеть станций сильных движений (ССД) [Чебров, 2008, 2009б]. Сети стационарных и радиотелеметрических станций совместно обеспечивают уверенную регистрацию всех землетрясений с локальной магнитуды M_l : на всей территории Камчатского края с прилегающими акваториями с $M_l \geq 4.0$; для событий из Авачинского залива – с $M_l \geq 2.6$; для Авачинской группы вулканов – с $M_l \geq 1.0$; для Ключевской группы вулканов – с $M_l \geq 1.6$. Локальная магнитуда M_l пересчитана из энергетического класса С.А. Федотова [Гусев, 1990; Федотов, 1972].

В 2011 г. сеть стационарных сейсмических станций состоит из 12 станций, которые к сентябрю 2011 г. оснащены оборудованием с цифровой регистрацией, сеть станций РТСС включает в себя 39 пунктов, расположенных главным образом на активных вулканах. Сеть ССД состоит из 30 пунктов, все оснащены цифровым оборудованием, позволяющим зарегистрировать без искажений сигналы с максимальным ускорением до 1–2 г.

Основные результаты развития системы детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке. Число действующих сейсмических станций, как пунктов регистрации, в 2011 г. составляет 68, на которых установлено 38 короткопериодных велосиметров ($T_c = 1.2$ с), 19 велосиметров ($T_c = 25–360$ с), 30 акселерометров ($a_{max} = 1–2$ г). Разномасштабные сети станций с различной разрешающей способностью дают возможность регистрировать без искажений, как сильнейшие тектонические землетрясения с $M > 8$, так и слабые землетрясения с $M \leq 1.0$. На базе компьютерных технологий создана система сбора сейсмологической информации с информационно-коммуникационной системой. Данные всех сейсмометрических каналов всех стационарных станций и РТСС, а также большинства пунктов ССД доступны операторам приемного центра и регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) в г. Петропавловске-Камчатском в режиме реального времени. Разработаны и внедрены методические и программные средства для обработки землетрясений в автоматическом и автоматизированном режимах [Гордеев и др., 2004; Дрознин, Дрознина, 2010].

Создан банк сейсмологических данных с системой визуализации и доступом к нему пользо-

вателей. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов включает в себя за период 1961–2011 гг. более 130 000 событий и доступен на Internet-странице КФ ГС РАН (www.emsd.iks.ru) [Гордеев и др., 2008].

Созданная за последние годы на Камчатке сеть широкополосных цифровых сейсмических станций дает возможность решать следующие фундаментальные и прикладные задачи сейсмологии [Чебров, 2009б]:

1) изучение очагов землетрясений в области низких и высоких частот с целью определения их основных параметров: тензоров сейсмического момента, скалярных сейсмических моментов, спектров сейсмического момента (“очаговых спектров”);

2) получение неискаженных записей сейсмических сигналов и решение обратных задач для реконструкции деталей очагового процесса;

3) оценка размеров очагов и длительностей процессов в очаге;

4) изучение особенностей очагов в различных тектонических и глубинных зонах, а также особенностей очагов вулканических и цунамигенных землетрясений;

5) изучение строения, скоростных и поглощающих свойств коры и верхней мантии.

Внедрение современных технологий сбора, обработки и хранения сейсмологической информации позволило создать высокоэффективную систему оперативного контроля за сейсмической и вулканической активностью на территории Камчатки. Эффективность системы проверена на примерах обработки афтершоков сильных землетрясений (Кроноцкое, 05.12.1997 г., $M_w = 7.9$; Олюторское, 20.04.2006 г., $M_w = 7.6$; и др.) [Кроноцкое землетрясение ..., 1998; Олюторское землетрясение ..., 2007; Чебров, 2010], роев вулканических землетрясений в период активизации вулканов Ключевской, Шивелуч, Безымянный, Корякский, Карымский и Кизимен [Сенюков, 2006; Сенюков и др., 2009].

Большое значение для развития сейсмологических наблюдений на Камчатке имело международное сотрудничество. В рамках проекта IRIS в 1993 г. была открыта цифровая широкополосная сейсмическая станция “Петропавловск”, которая входит в глобальную сеть цифровых сейсмических станций. В рамках проекта “Край Камчатской литосферной плиты” Институтом вулканологии ДВО РАН, КОМСП ГС РАН и Йельским университетом (США) при финансовой поддержке Национального научного фонда США в 1998–1999 гг. была организована система наблюдений землетрясений на полуострове Камчатка с помощью 15 широкополосных цифровых сейсмических станций “Паскаль” (эксперимент “PASCAL”

[Lees et al., 2000]. Совместно с Университетами Японии были проведены работы на Карымском вулкане [Гордеев и др., 1998], открыта цифровая широкополосная сейсмическая станция в пос. Каменское, открыта комплексная обсерватория “Карымшина” [Uyeda, 2001], создана постоянная сеть GPS наблюдений [Левин, 2009]. В 2006–2010 гг. совместно с университетом Аляски (США) проведен пятилетний проект по сравнительному изучению вулканов Безымянный, Шивелуч и Сент Хеленс (США).

На основе данных радиотелеметрических сетей КФ ГС РАН совместно с Аляскинской вулканологической обсерваторией (США) и ИВиС ДВО РАН ведутся работы по обеспечению безопасности полетов авиации от облаков вулканического пепла [Гирина, Гордеев, 2007].

Созданием и развитием системы сейсмологических наблюдений руководили: С.А. Федотов в должности начальника ТЭС ИФЗ АН СССР в 1960–1970 гг. и директора ИВ ДВНЦ АН СССР – ИВ ДВО РАН в 1970–1979 гг.; с 1979 по 2004 гг. Е.И. Гордеев в должности директора ОМСП ИВ ДВНЦ АН СССР – КОМСП ГС РАН. С 2004 г. по настоящее время руководит В.Н. Чебров в должности директора КФ ГС РАН.

2. Основные результаты фундаментальных и прикладных сейсмологических исследований на Камчатке, 1961–2011 гг.

Данные детальных сейсмологических наблюдений лежат в основе многих фундаментальных и прикладных исследований в области наук о Земле.

В начале 1960-х годов была разработана методика детальных сейсмологических наблюдений и исследований на Камчатке. Были построены скоростные разрезы коры и мантии, годографы сейсмических волн для Камчатки [Сейсмичность ..., 1974; Федотов и др., 1964; Федотов, Славина, 1968; и др.]. Были получены первые точные данные о размещении очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов. Их каталоги и другие данные о сейсмичности с 1962 г. постоянно публиковались в ежегодниках “Землетрясения в СССР”. Была разработана энергетическая классификация этих землетрясений [Федотов, 1972]. Изучались свойства верхней мантии и связь землетрясений с вулканизмом. Изучались сильные землетрясения тех лет: Озерновское землетрясение 22 (23) ноября 1969 г., $M_w = 7.7$, интенсивность сотрясений в пунктах побережья до 8 баллов; Петропавловское землетрясение 24 (25) ноября 1971 г., $M_w = 7.5$, интенсивность сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском до 7 баллов; Усть-Камчатское землетрясение 15 декабря 1971 г., $M_w = 7.8$, интенсивность сотрясений в п. Усть-Камчатск до 8 баллов [Гусев и др., 1975; Сейсмичность ..., 1974; Сильные землетрясения ...,

1975; Федотов, 1987, 2003; Федотов и др., 1973]. Моментная магнитуда землетрясений приведена по [Гусев, Шумилина, 2004].

В 60-х годах XX века были открыты фундаментальные закономерности размещения очагов сильнейших землетрясений, выделены вероятные места следующих таких землетрясений – “сейсмические бреши”, введено понятие “сейсмический цикл” сильнейших землетрясений, и на их основе создан метод долгосрочного сейсмического прогноза [Федотов, 1968, 2005; Федотов и др., 2012]. Исследовались также закономерности вулканических землетрясений и развивались методы прогноза извержений. Результаты многих работ, проводившихся при детальном сейсмологических исследованиях на Камчатке в 1961–1972 гг. изложены в специальном сборнике [Сейсмичность ..., 1974].

В последующие годы на основе данных детальных наблюдений были получены новые фундаментальные результаты: по физике очага сильного землетрясения [Абубакиров, Павлов, 2010; Гусев, 1988; Гусев, Гусева, 2010]; по распределению очагов сильных землетрясений инструментального периода в пространстве [Гордеев и др., 2006; Гусев, 2006]; по строению и свойствам земной коры на Камчатке [Абубакиров, 2005; Гонтовая и др., 2003; Гонтовая и др., 2010; Гордеев, Чебров, 1979; Гордеев и др., 2009; Гордеев, Павлов, 2009; Гусев, Абубакиров, 1996; Кугаенко и др., 2010; Кузин и др., 2004; Gusev, Abubakirov, 1999a, 1999b]; по решению задачи расчета синтетических сейсмограмм [Павлов, 2009; Павлов, Гусев, 1980; Gusev, Pavlov, 2009]; по разработке методов оценки уровня текущей сейсмичности [Салтыков, 2011] и сейсмической опасности [Гусев, Шумилина, 1995]. Исследовались закономерности сейсмичности на локальном уровне [Гордеев и др., 1991; Горельчик и др., 1988; Ландер и др., 2010; Чебров, 2010], связи пространственно-временного распределения сейсмичности на разных масштабных уровнях (от сейсмических шумов до сильнейших землетрясений) с различными внешними воздействиями [Гусев, 2008; Гусев, Петухин, 1997; Салтыков и др., 2004; Салтыков, Кугаенко, 2007; Салтыков и др., 2007; Салтыков, Патонин, 2010; Широков, Серафимова, 2006], разрабатывались и внедрялись новые методы изучения структуры земной коры [Гордеев, Чебров, 1979; Кугаенко и др., 2010]. Изучались сильные землетрясения, среди которых можно выделить Кроноцкое 05.12.1997 г., $M_w = 7.9$ [Абубакиров и др., 1998; Геофизический мониторинг ..., 2006; Комплексные ..., 2004; Кроноцкое землетрясение ..., 1998; Федотов, 2002, 2008] и Олюторское 20(21) апреля 2006 г., $M_w = 7.6$ [Абубакиров, Павлов, 2010; Гусев, Гусева, 2010; Ландер и др., 2010; Левин и др., 2010; Олюторское землетрясение ..., 2007; Рого-

жин и др., 2007; Чебров, 2010]. Результаты исследований последнего десятилетия опубликованы в сборниках [Геофизический мониторинг ..., 2006; Геофизический мониторинг ..., 2008; Комплексные ..., 2004; Олюторское землетрясение ..., 2007; Проблемы ..., 2010] и других многочисленных статьях.

Данные сейсмологических наблюдений необходимы и успешно используются для изучения механизма извержений вулканов, а также строения и свойств их магматических питающих систем. Фундаментальные результаты такого рода приведены в [Большое трещинное ..., 1984; Гордеев и др., 1978; Гордеев и др., 1984; Гордеев и др., 1989; Горельчик и др., 1988; Горельчик и др., 2004; Действующие вулканы ..., 1991; Зобин, 1979; Токарев, 1966; Федотов и др., 2010] и других многочисленных статьях.

Первые исследования взаимосвязи активности вулканов с сейсмическими событиями были проведены Г.С. Горшковым [Горшков, 1961]. Детальный анализ сейсмичности вулканов Ключевской группы был выполнен П.И. Токаревым и В.И. Горельчиком [Горельчик и др., 1961; Горельчик и др., 1988; Токарев, 1966, 1976, 1977, 1985, 1987]. Было установлено, что извержению обычно предшествует сейсмическая подготовка. Процесс подготовки извержения может длиться разное время, годы, месяцы, недели, иногда он проходит быстро, в течение суток. Чем слабее извержение, тем сложнее его предсказать по сейсмологическим данным, так как ему предшествует слабая и кратковременная сейсмическая подготовка. Все удачные прогнозы сильных извержений второй половины XX века были сделаны, когда извержениям предшествовали рои относительно сильных землетрясений [Федотов, 2003]. Это успешный прогноз начала Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. (БТТИ) и прогнозы побочных прорывов на вулкане Ключевской в марте 1983 и феврале 1987 гг., извержения вулкана Шивелуч в 1993 и в 2001 гг., вулканов Карымский и Академии Наук в 1996 г. [Большое трещинное ..., 1984; Федотов, 2003, 2008].

Современная система мониторинга вулканической активности основана на эмпирических сценариях для каждого вулкана, находящегося в зоне надежного сейсмического контроля, и на оперативном анализе данных сейсмических, визуальных и спутниковых наблюдений. К 2011 г. накоплен достаточный опыт для уверенного прогноза активности вулканов Безымянный и Ключевской. Успешные краткосрочные прогнозы эксплозивных извержений вулкана Безымянный были сделаны в 8 случаях из 10 последних событий. Успешные среднесрочные прогнозы были даны на 3 последние извержения вулкана Ключевской [Сенюков, 2006; Сенюков и др., 2009].

Для Камчатки к середине 1990-х годов было накоплено такое количество записей землетрясений, которое позволило, с применением сейсмографических методов, построить детальную (с разрешением 20 км) скоростную 3-мерную структуру зоны субдукции [Gorbatov et al., 1999]. При этом была определена захороненная древняя субдукционная плита и мантийный плюм в зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг [Gorbatov et al., 2000; Gorbatov et al., 2001].

По данным наблюдений, полученных в рамках эксперимента “PASCAL”, были определены строение земной коры и верхней мантии по обменным волнам от удаленных землетрясений и по дисперсии поверхностных волн от сильных землетрясений, а также мантийные потоки и анизотропия среды в зоне субдукции [Lees, 2000; Levin et al., 2002; Park et al., 2002; Shapiro et al., 2000].

В течение всех 50-ти лет детальных наблюдений вместе с фундаментальными исследованиями значительное место занимали прикладные исследования в области инженерной сейсмологии.

Уже в 1961–1964 гг. было выполнено первое сейсмическое микрорайонирование г. Петропавловска-Камчатского [Федотов, 1965].

На основе обобщения макросейсмических сведений о проявлениях сильных землетрясений на территории Камчатки по историческим источникам и данных детальных сейсмологических исследований в 1968 г. был получен важный практический результат — заключение о 9-балльном уровне расчетной сейсмичности для г. Петропавловска-Камчатского, которое было внесено в Строительные Нормы и Правила (СНиП) в 1969 г. [Сейсмическое ..., 1968; Федотов и др., 1964].

В 1972–1974 гг. были проведены работы по детальному сейсмическому районированию на район г. Петропавловска-Камчатского, при этом впервые были приняты во внимание сейсмогеологические критерии сейсмической опасности [Зобин и др., 1980].

Первая работа по вероятностной оценке сейсмической опасности Камчатки была проведена С.А. Федотовым и Л.С. Шумиловой [Сейсмическое районирование ..., 1968; Федотов, Шумилова, 1971] по методике расчета сотрясаемости Ю.В. Ризниченко. Эта работа опиралась на исходные данные по статистике сейсмичности в терминах магнитуды M_{LN} и на представление очагов землетрясений в виде точечного источника. С.А. Федотовым и Л.С. Шумиловой [1971] проведен анализ макросейсмических сведений по Камчатке, построен первый вариант зависимости балл I — (гипоцентральное) расстояние r — магнитуда. Эта зависимость была затем использована для первого расчета сотрясаемости Камчатки и составления карты общего сейсмического районирования ОСР-78. Полученные результаты легли в ос-

нову карты общего сейсмического районирования ОСР-78 [Сейсмическое районирование ..., 1980], которая в свою очередь вошла в состав строительных норм и правил СНИП-II-81.

А.А. Гусев и Л.С. Шумилова [1999] создали уточненную зависимость балл-расстояние-магнитуда. Полученная нелинейная зависимость выражена в шкале моментных магнитуд и дает теоретически обоснованное описание насыщения балльности вблизи протяженного очага. А.А. Гусевым была разработана методология оценки сейсмической опасности с учетом протяженности очагов сильных землетрясений [Гусев, 2002; Гусев, Шумилова, 1995], которая была реализована в комплексе алгоритмов и программ В.М. Павловым при участии А.Г. Петухина. Ее первый вариант был опробован в работе по сейсмическому районированию Корякского автономного округа, а затем развитый далее вариант методики, был использован в расчете карт ОСР-97 [Комплект ..., 1999] и мировой карты сейсмической опасности GSHAP.

С.А. Федотовым, Л.С. Шумиловой и др. в 1980–1990-х гг. были разработаны сейсмические сценарии форшоковых и афтершоковых последовательностей для сильнейших тихоокеанских и камчатских землетрясений с $M \geq 7.7$ [Федотов, 2005]. Эти сценарии систематически используются для оценки угрозы сильнейших землетрясений при активизации “сейсмических брешей”, а также для прогноза афтершоков с $M \geq 6$, происходящих после землетрясений с $M \geq 7.7$.

А.А. Гусевым, Л.С. Шумиловой, К.Н. Акатовой [Гусев и др., 2005] в отличие от обычной вероятностной схемы характеристики сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского был разработан предварительный вариант ее детерминистического описания в виде серии конкретных примеров так называемых “сценарных землетрясений”. Для этих землетрясений в ряде пунктов (г. Петропавловск-Камчатский, Елизово, Рыбачий, Приморский, Петропавловский маяк, Мутновская ГеоЭС, 14 км Елизовского шоссе) были оценены следующие параметры воздействия — макросейсмическая интенсивность в баллах, максимальные ускорения и скорости, длительности и характерные периоды колебаний. Применение теоретически обоснованной схемы моделирования позволило успешно решить проблему прогноза расчетных параметров колебаний на малом расстоянии от разломов-очагов высоких (вплоть до $M_w = 9$) магнитуд.

Для проектирования сейсмостойких зданий и сооружений необходимо знание возможных на Камчатке сейсмических воздействий, имеющих в отличие от макросейсмической шкалы описание через их физические параметры. По записям сильных землетрясений, полученных на пунктах сети станций сильных движений, А.А. Гусевым,

А.Г. Петухиным, Е.М. Гусевой и др. [Гусев и др., 1998; Гусев, Гусева, 2006; Гусев и др., 2006; Гусев и др., 2009] построены средние зависимости максимальное ускорение – расстояние – магнитуда, спектр Фурье – расстояние – магнитуда, получены ориентировочные оценки параметров длительности колебаний. Вместе с тем, по сравнению с другими зонами высокой сейсмической опасности, такими как Япония, США, степень изученности реальных воздействий (опасности) камчатских землетрясений недостаточна.

Одна из важнейших проблем в науках о Земле – прогноз времени и места будущих разрушительных землетрясений. В сейсмологических исследованиях на Камчатке проблема прогноза землетрясений также всегда занимала заметное место.

Начиная с 1970-х годов, сначала в Институте вулканологии, а затем в КОСМП – КФ ГС РАН были организованы на постоянной основе работы по экспертной оценке прогнозов развития сейсмической и вулканической активности [Гордеев и др., 2006; Комплексные ..., 2004; Проблемы ..., 2010; Федотов, 2008; Чебров и др., 2009a].

В течение двух лет, с 1972 по 1974 гг., работала программа пробного *краткосрочного прогноза* неглубоких камчатских землетрясений с $K \geq 13$ ($M \geq 5.5$), составленная в 1971 г. С.А. Федотовым и Г.А. Соболевым.

В 1978 г. приказом по Институту вулканологии (ИВ) ДВНЦ СССР был создан “Совет по прогнозу землетрясений и извержений вулканов”, который с 1995 г. становится “Общим советом Института вулканологии ДВО РАН и Камчатской опытно-методической сейсмологической партии (КОМСП) ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов”. Сейчас в 2011 г. он называется “Общий совет Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН и Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов” [Федотов, 2008].

В 1995–1997 гг. задачи прогнозирования землетрясений и оценки сейсмической опасности были возложены также на постоянно действующую рабочую экспертную группу при Камчатском центре мониторинга сейсмической и вулканической активности (КЦМСИВА, действовал в 1994–1997 гг.), которая включала специалистов по различным видам наблюдений из институтов РАН.

Первый официальный Совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений на Камчатке был создан в рамках реализации МЧС мероприятий федеральной целевой программы “Развитие федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений на 1995–2000 годы”. В апреле 1998 г. Геофизической службой РАН на базе Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН

(КОМСП ГС РАН) было организовано Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ). В 2006 г. на базе КамО ФЦПЗ был создан Камчатский филиал РЭС (КФ РЭС) [Гордеев и др., 2006; Чебров и др., 2009a].

Результаты многолетних работ по прогнозу землетрясений и полученные КФ РЭС оценки эффективности прогноза по различным методикам создают хорошую основу для повышения надежности и достоверности экспертных заключений о возможности сильного землетрясения на Камчатке [Чебров и др., 2011].

К середине 1960-х гг. С.А. Федотовым был разработан метод долгосрочного сейсмического прогноза сильных ($M \geq 7.7$) Курило-Камчатских землетрясений и других параметров сейсмичности для глубин менее 100 км, основанный на концепциях “сейсмических брешей” и “сейсмического цикла”. К 1965 г. была составлена карта вероятных мест последующих землетрясений с $M \geq 7.7$ у берегов Камчатки, Курильских островов и Северо-Восточной Японии [Федотов, 1968, 2003, 2005, 2008; Федотов и др., 2007, 2012].

Высокая оправдываемость долгосрочных прогнозов по методу С.А. Федотова продемонстрирована в 1965–2007 гг. Примером служит прогноз Средне-Курильского землетрясения 15.11.2006 г., $M = 8.2$ [Федотов, 2008; Федотов и др., 2011], который был отнесен к числу лучших достижений РАН в области наук о Земле в 2006 г.

Кроме метода долгосрочного прогноза сильных землетрясений для глубин менее 100 км по С.А. Федотову, исследовались закономерности, связанные с лунным циклом длительностью 18.6 г. С 1972 г. В.А. Широковым даются на регулярной основе долгосрочные прогнозы времени возникновения сильных землетрясений Камчатки [Широков и др., 2006]. А.А. Гусевым в 2008 г., согласно лунной цикличности, дана оценка повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008–2011 гг. [Гусев, 2008; Гусев, Петухин, 1997]. А.В. Викулиным исследовались повторяемость очагов сильнейших камчатских и северо-курильских землетрясений и закономерности их миграции [Викулин, 1992]. Широким фронтом велись работы по поиску и исследованиям среднесрочных (до года) и краткосрочных (до месяца) предвестников сильных землетрясений как в закономерностях сейсмического процесса, так и в параметрах геофизических полей [Абубакиров и др., 1998; Гордеев и др., 2006; Комплексные ..., 2004; Копылова, 2008; Кроноцкое землетрясение ..., 1998; Проблемы ..., 2010; Салтыков и др., 2004; Салтыков, Кугаенко, 2007; Салтыков и др., 2007; Серафимова, Копылова, 2010; Федотов, 2008; Фирстов, 2009; Хаткевич, Рябинин, 2006; Чебров и др., 2011].

Прогноз землетрясения с социальной точки зрения должен предполагать принятие практических мер по предупреждению и ликвидации возможных последствий ожидаемого события.

Яркий пример этому – работы по долгосрочному прогнозу для Курило-Камчатской дуги по методу академика С.А. Федотова. Результаты этих работ явились обоснованием для принятия государственных заблаговременных мер по сейсмобезопасности, сейсмозащите и сейсмоусилению. В 1986–2001 гг. было принято шесть соответствующих Решений и Постановлений Правительства СССР, РСФСР и РФ [Федотов, 2005]. В 2006 и 2007 гг. были даны три Поручения Президента РФ В.В. Путина, а в конце 2008 г. – Поручение Президента РФ Д.А. Медведева по обеспечению сейсмобезопасности, проведению сейсмоусиления жилого фонда и объектов социальной сферы в Камчатском крае и выделению средств на эти цели из федерального бюджета. С конца 2010 г. начались интенсивные работы по обеспечению необходимого уровня сейсмобезопасности, сейсмоусилению жилых домов, а также новое сейсмостойкое строительство в краевом центре – г. Петропавловске-Камчатском [Федотов и др., 2011, 2012].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше были кратко описаны основные этапы и приведены наиболее общие и значимые результаты создания и развития детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке, фундаментальных и прикладных сейсмологических исследований за пятидесятилетний период с 1961 по 2011 годы.

Система сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. оснащена современным цифровым сейсмометрическим оборудованием, позволяющем проводить исследования на мировом уровне. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, создаваемый в КФ ГС РАН, свободно доступен всем исследователям через Internet.

Данные сейсмологических наблюдений и результаты их обработки и интерпретации лежат в основе взаимосвязанных исследований по вулканологии, геофизике, геодезии, геодинاميке, геотермии и другим направлениям наук о Земле. Многочисленные результаты сейсмологических исследований за 50-летний период отражены во многих сотнях публикаций, в которых рассмотрены проблемы сейсмической безопасности территории Камчатки, вопросы природы, механизма и закономерностей сейсмических, вулканических и геодинاميческих процессов, вопросы строения земной коры и многие другие.

Результаты работ в области инженерной сейсмологии, основанные на данных детальных на-

блюдений, существенно изменили уровень понимания сейсмической опасности на Камчатке. Уровень расчетной сейсмической интенсивности для строительства в г. Петропавловске-Камчатском с 8 баллов в 1969 г. был поднят до 9 баллов. Существенно изменились оценки сейсмической опасности для Усть-Камчатска, беринговоморского побережья и северной части территории Камчатского края, опасность которых ранее также недооценивалась.

Основные задачи будущих сейсмологических исследований:

- продолжение и развитие комплексных сейсмологических наблюдений на Камчатке в широком частотном и динамическом диапазоне сейсмических сигналов с расширением локальных и региональной сетей сейсмических станций, сетей геофизических и других наблюдений за процессами подготовки и реализации сильных землетрясений;

- проведение фундаментальных исследований сейсмичности, природы, механизма и закономерностей сейсмических процессов, глубинного строения и геодинاميки;

- изучение сейсмической опасности на территории Камчатского края;

- продолжение работ по разработке и развитию методов прогноза сильных землетрясений и извержений вулканов.

Сейсмологические исследования на Камчатке всегда получали поддержку от АН СССР и РАН, от администрации Камчатской области. Определяющий вклад на этапе создания региональной сети сейсмических станций внесли первый директор Института вулканологии член-корреспондент АН СССР Б.И. Пийп и директор Института физики Земли АН СССР академик М.А. Садовский.

Наибольший вклад в организацию, проведение и развитие детальных сейсмологических исследований на Камчатке с 1961 г. до наших дней внесли: П.И. Токарев, И.П. Кузин, А.М. Багдасарова, М.Ф. Бобков, В.Д. Феофилактов, А.А. Гусев, В.И. Горельчик, Н.А. Кузнецов, А.А. Годзиковская, А.М. Кондратенко, Л.С. Шумилина, Л.Б. Славина, В.А. Гаврилов, И.Г. Симбирева, В.М. Зобин, А.В. Викулин, Е.И. Савинов, В.В. Марфель, В.В. Степанов, В.В. Фешин, В.И. Левина, В.А. Салтыков, Ю.А. Кугаенко, И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов, В.В. Ящук, Ю.В. Шевченко, В.П. Митякин, Ю.Д. Матвиенко, С.Д. Чернышев, А.В. Соломатин, В.Ф. Воропаев, И.А. Головшикова, Ю.А. Лянник, А.Л. Пудов, В.В. Сорокин, Н.В. Скворцов, В.Г. Ушаков, А.А. Долганов и многие другие. Успехи сейсмологических исследований были бы невозможны без обработчиков сейсмограмм и техников-операторов сейсмических станций, среди которых, в первую очередь,

следует назвать: Т.С. Лепскую, Н.П. Пасечко, Т.В. Миндлину, О.Ф. Шайдулина, В.А. Аристархова, Е.Ф. Кулагина, М.Н. Кулагину, В.К. Мишина, Л.С. Мишину, А.М. Алешкова, К.С. Киришева, Н.А. Юрьеву и многих других.

Глубокая им благодарность за их многолетний плодотворный труд!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абубакиров И.Р.* Оценка характеристик затухания поперечных волн в литосфере Камчатки по наблюдениям цифровой широкополосной станции “Петропавловск” // *Физика Земли*. 2005. № 10. С. 46–58.
- Абубакиров И.Р., Гусев А.А., Гусева Е.М.* Отражение процесса подготовки Кроноцкого землетрясения 05.12.97 во временных вариациях скорости спада огибающих кода-волн слабых землетрясений // *Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия*. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. С. 112–120.
- Абубакиров И.Р., Павлов В.М.* Оценки параметров очага Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г., $M_W = 7.6$, по длиннопериодным сейсмограммам Р-волн мировой сети станций // *Вулканология и сейсмология*. 2010. № 2. С. 31–46.
- Аппаратура и методики сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974. 245 с.
- Атлас землетрясений в СССР / Под ред. Саваренского Е.Ф. и др. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 336 с.
- Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка, 1975–1976 / Отв. ред. Федотов С.А. М.: Наука, 1984. 638 с.
- Викулин А.В.* Миграция очагов сильнейших камчатских и северо-курильских землетрясений и их повторяемость // *Вулканология и сейсмология*. 1992. № 1. С. 46–61.
- Викулин А.В., Степанов В.В., Токарев Е.П.* Хроника образования и развития инструментальной сейсмологии на Камчатке // *Проблемы сейсмичности Дальнего Востока*. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2000. С. 282–303.
- Гаврилов В.А., Воропаев В.Ф., Головищкова И.А. и др.* Комплекс радиотелеметрической аппаратуры ТЕСИ-2 // *Сейсмические приборы*. Вып. 19. М.: Наука, 1987. С. 5–16.
- Гаврилов В.А., Малкин А.П., Чебров В.Н., Сорокин В.В.* Радиотелеметрическая система сбора сейсмической информации на Авачинско-Корякском полигоне // *Бюл. вулканол. станций*. 1978. № 54. С. 22–26.
- Геофизический мониторинг Камчатки // *Материалы научно-технической конференции 17–18 января 2006 г., Петропавловск-Камчатский* / Отв. ред. Чебров В.Н., Копылова Г.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2006. 220 с.
- Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России // *Труды региональной научно-технической конференции 11–17 ноября 2007 г., Петропавловск-Камчатский*. В 2-х томах / Отв. ред. Чебров В.Н., Салтыков В.А. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т. 1. 238 с.; Т. 2. 234 с.
- Гирина О.А., Гордеев Е.И.* Проект KVERT – снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // *Вестник ДВО РАН*. 2007. № 2. С. 100–109.
- Гонтовая Л.И., Левина В.И., Санина И.А. и др.* Скоростные неоднородности литосферы под Камчаткой // *Вулканология и сейсмология*. 2003. № 4. С. 56–64.
- Гонтовая Л.И., Попруженко С.В., Низкоус И.В.* Структура верхней мантии зоны перехода океан-континент в районе Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 2010. № 4. С. 13–29.
- Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др.* Мелкофокусные землетрясения п-ва Камчатка // *Вулканология и сейсмология*. 2006. № 3. С. 28–38.
- Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахара М. и др.* Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов в Карымском вулканическом центре // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 2. С. 28–48.
- Гордеев Е.И., Дроздина С.Я., Шапиро Н.М.* Строение коры и верхней мантии в зоне сочленения Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит // *ДАН*. Т. 428. № 3. С. 392–396.
- Гордеев Е.И., Кугаенко Ю.А., Чебров В.Н.* Сейсмичность Кроноцкого полуострова // *Вулканология и сейсмология*. 1991. № 3. С. 68–78.
- Гордеев Е.И., Павлов В.М.* Субдукция тихоокеанской плиты под Камчатку: “сейсмическая скорость подвига” // *Физика Земли*. 2009. № 4. С. 56–66.
- Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К.* Предвестники камчатских землетрясений (по материалам Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений, 1998–2004 гг.) // *Вулканология и сейсмология*. 2006. № 4. С. 3–13.
- Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н.* Временные и пространственные характеристики волновых полей вулканического дрожания // *Вулканология и сейсмология*. 1989. № 4. С. 98–112.
- Гордеев Е.И., Токарев П.И., Фарберов А.И.* Вулканическое дрожание // *Большое трещинное Толбачинское извержение (Камчатка, 1975–1976 гг.)*. М.: Наука, 1984. С. 448–471.
- Гордеев Е.И., Феофилактов В.Д., Чебров В.Н.* Исследование вулканического дрожания Толбачинского извержения // *Геологические и геофизические данные о БТТИ в 1975–1976 гг.*. М.: Наука, 1978. С. 151–163.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н.* Применение штормовых микросейсм для изучения строения верхних слоев коры // *Вулканология и сейсмология*. 1979. № 2. С. 12–20.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Викулин А.В. и др.* Система сейсмологических наблюдений на Камчатке (состояние, развитие, перспективы) // *Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г.: предвестники, особенности, последствия*. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. С. 12–24.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дроздин Д.В. и др.* Сбор, обработка и хранение сейсмологической информации // *Комплексные сейсмологические и геофизические наблюдения на Камчатке*. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 43–61.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И. и др.* Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // *Вулканология и сейсмология*. 2006. № 3. С. 6–27.

- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И. и др. Банк сейсмических данных Камчатки // Открытое образование. 2008. № 4. С. 16–22.
- Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Сеньюков С.Л. и др. Информационные ресурсы для вулканологических исследований на Камчатке // Открытое образование. 2010. № 5 (82). С. 73–82.
- Горельчик В.И. К истории развития сейсмологических исследований на вулканах Камчатки // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 341–351.
- Горельчик В.И., Гарбузова В.Т., Сторчевус А.В. Глубинные вулканические процессы под Ключевским вулканом по сейсмологическим данным // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 21–34.
- Горельчик В.И., Чубарова О.С., Гарбузова В.Т. Сейсмичность района Северной группы вулканов Камчатки 1971–1983 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 90–100.
- Горшков Г.С. О связи сейсмических и вулканических явлений при извержении вулкана Безымянный (1956–1957) // Бюл. вулканол. станций. 1961. № 31. С. 32–37.
- Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 74–81.
- Гусев А.А. Модель очага землетрясения с множеством неровностей // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 41–55.
- Гусев А.А. О сейсмологической основе норм сейсмостойкого строительства в России // Физика Земли. 2002. № 12. С. 56–70.
- Гусев А.А. Сильные землетрясения Камчатки: расположение очагов в инструментальный период // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 39–42.
- Гусев А.А. О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008–2011 гг. согласно лунной цикличности // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 55–65.
- Гусев А.А., Абубакиров И.Р. Исследование вертикального профиля мутности литосферы путем инверсии данных об уширении импульса объемных волн // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 81–90.
- Гусев А.А., Гусева Е.М. Свойства колебаний грунта при сильных землетрясениях Камчатки (Обзор) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 14–24.
- Гусев А.А., Гусева Е.М. Геометрия и временная структура высокочастотного очага Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 1–10.
- Гусев А.А., Гусева Е.М., Павлов В.М. Моделирование движения грунта при Петропавловском землетрясении 24.11.1971 (M = 7.6) // Физика Земли. 2009. № 5. С. 29–38.
- Гусев А.А., Гусева Е.М., Петухин А.Г. и др. Максимальные ускорения грунта по данным приборов сильных движений на Камчатке // Физика Земли. 1998. № 4. С. 20–27.
- Гусев А.А., Зобин В.М., Кондратенко А.М., Шумилина Л.С. Усть-Камчатское землетрясение 15.XII.1971 // Землетрясения в СССР в 1971 г. М.: Наука, 1975. С. 172–184.
- Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1990. № 6. С. 55–63.
- Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64–79.
- Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М. и др. Средние спектры Фурье сильных движений грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 60–70.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 2/3. М.: ОИФЗ РАН, 1995. С. 289–299.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С. Моделирование связи балл–магнитуда–расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С. 29–40.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34–42.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С., Акатова К.Н. Об оценке сейсмической опасности для города Петропавловска-Камчатского на основе набора сценарных землетрясений // Электрон. науч.-информ. журнал “Вестник ОГГГН РАН”. 2005. №1(23). М.: ОИФЗ РАН, 2005. URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2005/screp
- Действующие вулканы Камчатки. В 2-х томах // Под ред. Федотова С.А., Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1991. Т. 1. 302 с.; Т. 2. 415 с.
- Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.
- Зобин В.М. Динамика очага вулканических землетрясений. М.: Наука, 1979. 92 с.
- Зобин В.М., Мелекесцев И.В., Шумилина Л.С. Детальное сейсмическое районирование Камчатки в области высокой сейсмовулканической активности // Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980. С. 89–95.
- Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1 : 8000000 / Под ред. Страхова В.Н., Уломова В.И. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 4 листа.
- Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии / Отв. ред. Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. 445 с.
- Копылова Г.Н. О связи режима подземных вод с сейсмичностью и деформациями земной коры на стадиях подготовки сильных землетрясений // Разведка и охрана недр. 2008. № 7. С. 37–45.
- Крашенинников С.П. Описание Земли Камчатки. М.; Л.: Главсевморпуть, 1949. 840 с.
- Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия / Отв. ред. Гордеев Е.И., Викулин А.В. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. 320 с.

- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю. Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования // ДАН. 2010. Т. 435. № 1. С. 96–101.
- Кузин И.П., Левина В.И., Левченко Д.Г. и др. О скоростях волн Р и S в зоне Беньофа Южной Камчатки // Физика Земли. 2004. № 2. С. 3–14.
- Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Сейсмическая история Корякского нагорья и афтершоковый процесс Олюторского землетрясения 20 (21) апреля 2006 г. $M_W = 7.6$ // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 16–30.
- Левин В.Е. GPS мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах 1997–2007 гг. // Вулканология и сейсмология. 2009. № 3. С. 60–70.
- Левин В.Е., Бахтиаров В.Ф., Павлов В.М. и др. Геодинамические исследования Олюторского землетрясения 20 (21) 04.2006 по данным камчатской GPS сети // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 50–59.
- 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.
- Мушкетов И.В., Орлов А.Н. Каталог землетрясений Российской империи // Записки Русского Географического общества. Т. 26. СПб.: Императорская Академия наук, 1893. 582 с.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 с.
- Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г., Корякское нагорье. Первые результаты исследований / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. 290 с.
- Павлов В.М. Матричный импеданс в задаче расчета синтетических сейсмограмм в слоисто-однородной изотропной упругой среде // Физика Земли. 2009. № 10. С. 14–24.
- Павлов В.М., Гусев А.А. К возможности восстановления движения в очаге глубокого землетрясения по полю объемных волн в дальней зоне // ДАН. 1980. Т. 255. С. 828–834.
- Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России // Труды Второй региональной научно-технической конференции 11–17 октября 2009 г., Петропавловск-Камчатский / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. 392 с.
- Ризниченко Ю.В. Методы массового определения координат очагов землетрясений // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1958. № 4. С. 425–437.
- Рогожин Е.А., Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Сильное землетрясение в Корякии 20 (21) апреля 2006 г.: результаты предварительного изучения // Физика Земли. 2007. № 2. С. 3–11.
- Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 1–7.
- Салтыков В.А., Иванов В.В., Кугаенко Ю.А. Воздействие земных приливов на сейсмичность перед землетрясением 13 ноября 1993 года $M_W = 7.0$ (Камчатка) // Физика Земли. 2004. № 7. С. 25–34.
- Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А. Особенности пространственной связи приливной компоненты сейсмических шумов с областями подготовки сильных землетрясений (по материалам долговременных режимных наблюдений на Камчатке) // Физика Земли. 2007. № 9. С. 48–60.
- Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. 20 лет исследованию сейсмических шумов на Камчатке: от экспериментальных наблюдений к прогнозу землетрясений и моделированию // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. № 9. С. 37–50.
- Салтыков В.А., Патонин А.В. Стадийность акустической эмиссии при лабораторном моделировании приливных эффектов в сейсмичности // ДАН. 2010. Т. 430. № 5. С. 693–696.
- Санина И.А., Низкоус И.В., Гонтовая Л.И., Кислинг Э. Структура Камчатской зоны субдукции по результатам сейсмической томографии // ДАН. 2005. Т. 404. № 5. С. 678–683.
- Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке / Отв. ред. Федотов С.А. Новосибирск: Наука, 1974. 220 с.
- Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 408–433.
- Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. С. 269–283.
- Сенюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 68–78.
- Сенюков С.Л., Дроздина С.Я., Нурждина И.Н. и др. Исследования активности вулкана Ключевской дистанционными методами с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г. // Вулканология и сейсмология. 2009. № 3. С. 50–59.
- Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н. Среднесрочные предвестники сильных ($M \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987–2007 гг.: ретроспективная оценка их информативности для прогноза // Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 3–12.
- Сильные камчатские землетрясения 1971 года / Отв. ред. Федотов С.А. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. 156 с.
- Соколов Н.Е. Начало работы на сейсмической станции в с. Ключи на Камчатке // Бюл. вулканол. станций. 1949. № 16. С. 20–21.
- Токарев П.И. Сейсмические наблюдения на Камчатской вулканологической станции в 1958 г. // Бюл. вулканол. станций. 1962. № 33. С. 20–43.
- Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 118 с.
- Токарев П.И. Предсказание места и времени начала Большого Толбачинского извержения в июле 1975 г. // ДАН. 1976. Т. 229. № 2. С. 439–442.
- Токарев П.И. К методике прогноза извержений вулканов Камчатки по сейсмологическим данным / Бюл. вулканол. станций. 1977. № 5. С. 38–45.

- Токарев П.И.* Предвестники вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 108–119.
- Токарев П.И.* Количественная характеристика и повторяемость вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 110–118.
- Федотов С.А.* Сейсмологические исследования Тихоокеанской сейсмической экспедиции Института физики Земли АН СССР в 1957–1961 гг. Сейсмическое микрорайонирование // Труды Института физики Земли АН СССР. № 36 (203). М.: Наука, 1965. С. 61–65.
- Федотов С.А.* О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Недра, 1968. С. 112–117.
- Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
- Федотов С.А.* К 25-летию детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке и Командорских островах, XI. 1961–X. 1986: история, развитие и задачи // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 3–10.
- Федотов С.А.* К 40-летию детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 3. С. 73–79.
- Федотов С.А.* Исследования по вулканологии и сейсмологии, их развитие и значение на Камчатке. История отечественной науки. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2003. 184 с.
- Федотов С.А.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
- Федотов С.А.* К 30-летию Совета Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Камчатского филиала ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 78–80.
- Федотов С.А., Багдасарова А.М., Кузин И.П., Тараканов Р.З.* Землетрясения в глубинное строение юга Курильской островной дуги. М.: Наука, 1969. 212 с.
- Федотов С.А., Гусев А.А., Зобин В.М. и др.* Озерновское землетрясение и цунами 22(23) ноября 1969 г. М.: Наука, 1973. С. 195–208.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И.* Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов (Камчатка) по данным об ее извержениях, землетрясениях, деформациях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3–35.
- Федотов С.А., Кузин И.П., Бобков М.Ф.* Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961–1962 гг. // Изв. АН СССР. Сер. Геофиз. 1964. № 9. С. 1360–1375.
- Федотов С.А., Славина Л.Б.* Оценка скоростей продольных волн в верхней мантии под северо-западной частью Тихого океана и Камчаткой // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1968. № 2. С. 9–31.
- Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2006–2011 гг. и успешный прогноз Средне-Курильского землетрясения 15.XI.2006 г., $M = 8.2$ // Вулканология и сейсмология. 2007. № 3. С. 3–25.
- Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2010–VIII 2015 гг., достоверность предыдущих прогнозов и их применение // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 3–27.
- Федотов С.А., Феофилакт В.Д., Гордеев Е.И. и др.* Развитие сейсмометрических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 11–28.
- Федотов С.А., Шумилина Л.С.* Сейсмическая сотрясаемость Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1971. № 9. С. 3–16.
- Федотов С.А., Шумилина Л.С.* Развитие сейсмологических наблюдений на Камчатке // Проблемы современной сейсмологии: Голицынские чтения, 1981 г. М.: Наука, 1985. С. 71–86.
- Фирстов П.П.* Ударно-волновые и акустические эффекты при вулканических извержениях (Обзор) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2. Вып. 13. С. 31–45.
- Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В.* Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 34–42.
- Чебров В.Н.* Готовность системы мониторинга сейсмической опасности на территории Камчатки к сильному землетрясению // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 2. Вып. 6. С. 14–20.
- Чебров В.Н.* Развитие системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 27–36.
- Чебров В.Н.* Мониторинг и предупреждение природных катастроф на Камчатке // Сейсмичность Северной Евразии / Материалы Международной конференции. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 318–322.
- Чебров В.Н.* Развитие комплексного геофизического мониторинга Камчатки и Командорских островов (к 30-летию КФ ГС РАН) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009а. № 2. Вып. 14. С. 13–18.
- Чебров В.Н.* Создание сети широкополосных сейсмических станций на Дальнем Востоке России // Материалы IV Международной сейсмологической школы “Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных”. Обнинск: ГС РАН, 2009б. С. 216–220.
- Чебров В.Н.* Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г.: организация исследований, наблюдения, проблемы, результаты // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 3–6.
- Чебров В.Н., Воронаев В.Ф., Дроздин Д.В. и др.* Развитие сети цифровых сейсмических станций Камчатки // Геофизический мониторинг Камчатки. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2006. С. 13–20.
- Чебров Д.В., Гусев А.А.* Автоматическое определение параметров цунамигенных землетрясений на Дальнем Востоке России в режиме реального времени: алгоритмы и программное обеспечение // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 4. С. 35–57.
- Чебров В.Н., Гусев А.А., Гусяков В.К. и др.* Концепция развития системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45. № 4. С. 41–57.

- Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Захарченко Н.З. и др.* Опорная сейсмическая станция “Петропавловск” для службы предупреждения цунами // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 1. С. 5–15.
- Чебров В.Н., Левин Ю.Н., Чебров Д.В. и др.* Работа сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами нового поколения по землетрясению в Японии 11 марта 2011 г., $M_W = 9.1$ // Наука и технологические разработки. 2011. Т. 90. № 1. С. 13–26.
- Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К.* Прогнозирование землетрясений на Камчатке. По материалам работы Камчатского филиала Российского экспертного совета по оценке сейсмической опасности и риска в 1998–2009 гг. М.: Светоч Плюс, 2011. 304 с.
- Чебров В.Н., Сеницын В.И., Попов Е.В. и др.* Аппаратура для временных локальных сетей сейсмометрических станций // Вулканология и сейсмология. 1987. № 1. С. 91–97.
- Чебров В.Н., Чебров Д.В., Викулин А.В. и др.* Сейсмическая станция “Петропавловск”. К 60-летию непрерывных наблюдений. Обнинск: ГС РАН, 2011. 50 с.
- Чубарова О.С., Гусев А.А., Викулина С.А.* Двадцатисекундная региональная магнитуда $M_S(20R)$ для Дальнего Востока России // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 58–63.
- Широков В.А., Серафимова Ю.К.* О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 120–133.
- Gorbatov A., Dominguez J., Suarez G., Gordeev E.* Tomographic imaging of the P-wave velocity structure beneath the Kamchatka peninsula // Geophys. J. Int. 1999. V. 137. P. 269–279.
- Gorbatov A., Widiyantoro S., Fukao Y., Gordeev E.* Signature of remnant slabs in the North Pacific from P-wave tomography // Geophys. J. Int. 2000. V. 142. P. 27–36.
- Gorbatov A., Fukao Y., Widiyantoro S., Gordeev E.* Seismic evidence for a mantle plume oceanwards of the Kamchatka-Aleutian trench junction // Geophys. J. Int. 2001. V. 146. P. 282–288.
- Gusev A.A., Abubakirov I.R.* Vertical profile of effective turbidity reconstructed from broadening of incoherent body-wave pulses – I. General approach and the inversion procedure // Geophys. J. Int. 1999a. V. 136. P. 295–308.
- Gusev A.A., Abubakirov I.R.* Vertical profile of effective turbidity reconstructed from broadening of incoherent body-wave pulses – II. Application to Kamchatka data // Geophys. J. Int. 1999b. V. 136. P. 309–323.
- Gusev A.A., Pavlov V.M.* Broadband Simulation of Earthquake Ground Motion by a Spectrum-Matching, Multiple-Pulse Technique // Earthquake Spectra. 2009. V. 25. Issue 2. P. 257–276.
- Gutenberg B.* Great Earthquakes 1896–1903 // Transactions, American Geophysical Union. 1956. V. 37. № 5. P. 608–614.
- Lees J.M., Brandon M., Park J. et al.* Kamchatka: Edge of the Plate // IRIS Newsletter. 2000. V. 2000. № 1. P. 17–19.
- Levin V., Park J., Brandon M. et al.* Crust and upper mantle of Kamchatka from teleseismic receiver functions // Tectonophysics. 2002. V. 358. P. 233–265.
- Park J., Levin V., Brandon M. et al.* Dangling Slab, Amplified Arc Volcanism, Mantle Flow and Seismic Anisotropy in the Kamchatka Plate Corner // Plate Boundary Zones / Eds Stein S., Freymuller J. American Geophysical Union, Washington, DC. 2002. 425 p.
- Shapiro N.M., Gorbatov A.V., Gordeev E., Dominguez J.* Average shear-wave velocity structure of the Kamchatka peninsula from the dispersion of surface waves // Earth Planets Space. 2000. V. 52. P. 573–577.
- Uyeda S., Nagao T., Hattori K. et al.* Geophysical Observatory in Kamchatka region for monitoring of phenomena connected with seismic activity // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2001. V. 1. № 1/2. P. 3–7.