

**Российская академия наук
Геофизическая служба
Камчатский филиал**

**Проблемы комплексного
геофизического мониторинга
Дальнего Востока России**

***Вторая региональная
научно-техническая конференция***

Тезисы докладов

*11-17 октября 2009 года
Петропавловск-Камчатский*

Петропавловск-Камчатский
2009

УДК 550.3+551.21+551.466.62

ББК 26.21+26.325

П78

Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Вторая региональная научно-техническая конференция. Петропавловск-Камчатский. 11-17 октября 2009 г. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2009. 167 с.

В сборнике опубликованы тезисы докладов Второй региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Основные темы конференции: организация наблюдений и мониторинг опасных эндогенных процессов в Дальневосточном регионе, исследование предвестников землетрясений и извержений вулканов, технические и программные средства геофизического мониторинга, математическое и физическое моделирование в сейсмологии и геофизике. Большое внимание уделено сильнейшим региональным землетрясениям и проблеме цунами.

Сборник издан по решению Научно-технического совета
Камчатского филиала Геофизической службы РАН

Редакционная коллегия:

кандидат технических наук В.Н. Чебров,
кандидат физико-математических наук Ю.А. Кугаенко,
кандидат физико-математических наук И.Р. Абубакиров,
кандидат геолого-минералогических наук Г.Н. Копылова,
кандидат физико-математических наук В.М. Павлов,
кандидат физико-математических наук В.А. Салтыков,
С.В. Болдина, Н.М. Кравченко, В.И. Левина, Ю.К. Серафимова, С.Л. Сеньюков.

Конференция проведена при финансовой поддержке Отделения наук о Земле Российской академии наук, Геофизической службы РАН и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-05-06089)

УДК 550.3+551.21+551.466.62

ББК 26.21+26.325

© Геофизическая служба РАН, 2009

30 ЛЕТ
КАМЧАТСКОМУ ФИЛИАЛУ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РАН

В. Н. Чебров

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
г.Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.iks.ru*

История инструментальных сейсмологических наблюдений на Камчатке началась в 1915 году с создания по инициативе академика Б.Б. Голицина сейсмической станции «Петропавловск», которая с перерывами проработала до 1927 г. В марте 1951 года сейсмическая станция «Петропавловск» была создана заново и стала одной из основных станций единой сети сейсмологических наблюдений (ЕССН) СССР.

В 1961 году Тихоокеанской сейсмической экспедицией Института физики Земли АН СССР совместно с Камчатской геолого-геофизической обсерваторией Сибирского отделения АН СССР создается региональная сеть сейсмических станций. В 1971 г. региональная сеть сейсмостанций на Камчатке состояла уже из 15 станций, оснащенных короткопериодными ($T=1.2$ с.) сейсмографами ВЭГИК-ГБІV. С 1972 года сеть сейсмических станций была передана в Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР. В 1972-1978 гг. проводились работы по оптимизации сети сейсмических станций, было внедрено оборудование для проведения сейсмологических наблюдений путем создания временных сетей сейсмических станций, были начаты работы по созданию радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС).

После разрушительных землетрясений в Газли (Узбекистан) 8 апреля и 17 мая 1976 года 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 была создана Опытнo-методическая сейсмологическая партия с самостоятельным балансом, в которую были переведены сотрудники лаборатории сейсмометрии и группы сводной обработки из лаборатории сейсмологии. С 1-го июля 1979 г. Опытнo-методическая сейсмологическая партия (ОМСП) Института вулканологии ДВНЦ РАН начала работу.

ОМСП продолжила непрерывные сейсмологические наблюдения на территории Камчатки и Командорских о-вов, одновременно совершенствуя и расширяя эти наблюдения. Создание ОМСП обеспечило значительный приток молодых квалифицированных специалистов, что позволило резко усилить работы по разработке, созданию и внедрению современных технических средств регистрации и обработки сейсмических сигналов. Значительное развитие получили радиотелеметрические сети сейсмических станций, был создан аппаратно-методический комплекс для сейсмологических исследований сетями временных автономных сейсмических станций, увеличилось число пунктов регистрации сильных землетрясений в г. Петропавловск-Камчатский и на Восточном берегу Камчатки. Кроме сейсмологических наблюдений в ОМСП в 1980-1985 гг. получили развитие наблюдения за предвестниками землетрясений (гидрогеохимические и геодезические).

В конце 80-х и 90-х годах вместе с широким внедрением компьютеров активизировались работы по автоматизации сейсмологических наблюдений, обработке и хранению данных. В 1996 г. на приемных центрах РТСС была внедрена цифровая регистрация сейсмических сигналов и с этого времени, обработка сейсмологических данных стала возможной в масштабе времени близком к реальному. Создание локальной вычислительной сети ОМСП и подключение к всемирной сети Internet позволило организовать обмен данными наблюдений и обработки практически без ограничения пользователей.

В значительной степени развитие и совершенствование наблюдательных сетей и систем сбора и обработки информации в трудные 90-е годы были поддержаны созданием единой организационной структуры на территории России. В мае 1994 года была создана Геофизическая служба Российской академии наук, а в феврале 1997 года в Геофизическую службу РАН были переведены Опытнo-методические партии и экспедиции. С 1997 года Опытнo-методическая

сейсмологическая партия Института вулканологии ДВО РАН стала называться Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН. В декабре 1997 года в КОМСП ГС РАН был передан Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности, который принадлежал до этого Камчатской областной администрации, а с 1 июня 1998 года к КОМСП была присоединена сейсмостанция «Петропавловск». С этого времени все обязанности по службе срочных донесений о сильных землетрясениях и предупреждению об опасности цунами для территории Камчатки стали выполняться в КОМСП. Основными приоритетными задачами последующих лет (до 2005 г.) стали работы по развитию геофизических, гидрогеохимических, гидродинамических и геодезических наблюдений; по модернизации сети стационарных сейсмических станций; по оптимизации хранения первичных данных наблюдений и результатов их обработки в виде баз данных и организации доступа к ним. В 90-х годах XX века на базе стационаров КФ в рамках международного сотрудничества с университетами Японии и США была создана сеть непрерывных GPS наблюдений, в 1999 г. открыта российско-японская геофизическая обсерватория «Карымшина», в 2002-2005 гг. разработано оборудование цифровой регистрации для модернизации сети стационарных сейсмических станций Камчатки и начаты работы по его установке, с целью обеспечения безопасности территории и авиационных полетов на базе РТСС создана система мониторинга и прогноза активности вулканов Авача, Ключевской, проведены работы по развитию ЛВС с целью организации режима реального времени.

В соответствии с постановлением Президиума Российской академии наук от 09.03.2004 г. № 77 «О реорганизации Геофизической службы РАН», на основании Приказа ГС РАН от 16.02.2005 года №1 с 1 апреля 2005 КОМСП была присоединена к ГС РАН и переименована в Камчатский филиал Геофизической службы РАН (далее КФ ГС РАН).

В 2005-2009 гг. сеть стационарных сейсмических станций Камчатки полностью переведена на цифровую регистрацию с передачей данных на центр сбора и обработки в реальном масштабе времени; открыты новые стационарные сейсмические станции в северной части Камчатки (Тилички, Палана); сеть станций сильных движений оснащена цифровыми акселерографами; в 2008 г. в КФ 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. Для проведения этих работ в КФ создана лаборатория акустического и радонового мониторинга. За последние пять лет получила существенное развитие сеть РТСС, установлено 11 новых станций, система мониторинга и прогноза активности расширена на вулканы Шивелуч, Безымянный, Корякский, Мутновский, Горелый.

С 2006 г. в деятельности КФ ГС РАН занимают работы в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» по проекту "Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами". Эти работы имеют большое и социальное значение. В результате их выполнения на Дальнем Востоке России в 2010 г. будет создана сейсмическая подсистема для службы предупреждения о цунами, соответствующая лучшим образцам по времени формирования сигналов предупреждения об этом грозном явлении. По существу, будет создана цифровая широкополосная сеть сейсмологических наблюдений для фундаментальных исследований физики сейсмического процесса, изучения очагов слабых и сильных землетрясений на мировом уровне.

Созданная в КФ ГС РАН система комплексных геофизических наблюдений, сбора, обработки и хранения сейсмологической информации является лучшей территориальной системой в России.

Результаты комплексных геофизических исследований КФ ГС РАН сильных землетрясений и оценке их воздействия на территорию Камчатки, сейсмической и вулканической активности, выполненные КФ ГС РАН в 2005-2009 гг., имеют большое практическое и научное значение. Наиболее ярким результатом этих лет являются детальные исследования Олюторского землетрясения (20(21).04.2006г., $M_w = 7.6$), имеющие существенное значение для адекватной оценки сейсмической опасности территории Камчатки и построения тектонических моделей Северо-восточной части Тихого океана.

КФ принимает активное участие в международных сейсмологических, геофизических проектах и в глобальной системе сейсмологических наблюдений. Сотрудники КФ ведут активную научную деятельность. Ежегодно ими публикуется более 30 статей в отечественных и зарубежных изданиях.

КФ ГС РАН состоит из 15 структурных подразделений, которые обеспечивают непрерывные наблюдения и обработку сейсмологических, геофизических, гидрогеохимических и геодезических

данных. Наблюдательные сети включают в себя: 49 сейсмических станций (11 стационаров, 38 РТСС); 22 (17 цифровых) станции для регистрации сильных движений; 18 постоянных станций по измерениям деформаций с применением спутниковых приемников GPS; 4 группы скважин и естественных источников подземных вод; комплексную российско-японскую геофизическую обсерваторию «Карымшина»; пункты по регистрации радона, водорода и акустических сигналов; пункты по регистрации высокочастотных сейсмических шумов.

В мае 1998 г. было создано Камчатское отделение Федерального центра по прогнозу землетрясений (КамОФЦПЗ), в которое вошли ведущие специалисты по прогнозу землетрясений и извержений вулканов из академических и других организаций Камчатской области, занимающихся этими проблемами. В 2006 г. в соответствии с совместным решением РАН и МЧС на базе КамОФЦПЗ создан Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС).

В задачи КФ РЭС входит: организация и проведение экспертной оценки сейсмической опасности на территории Камчатской области; регулярное представление в органы исполнительной власти, Геофизическую службу РАН и Министерство по чрезвычайным ситуациям сообщений о сейсмической опасности и прогнозе сильных землетрясений и извержений вулканов.

Тридцатилетний юбилей Камчатский филиал ГС РАН встречает как сложившаяся организация, коллектив которой состоит из высококвалифицированных специалистов (более 70 % от общего числа работающих имеют высшее образование, 89 научных сотрудников, 12 специалистов высшей квалификации) способных решать сложные проблемы по организации наблюдений и применению современных методов обработки информации.

Основные направления деятельности КФ ГС РАН сегодня: сейсмический и геофизический мониторинг Камчатки и Командорских островов; дистанционный мониторинг активных вулканов; процессы в очагах сильных землетрясений; предвестники землетрясений; оценки сейсмической и вулканической опасности; инженерная сейсмология; строение земной коры и верхней мантии в зоне перехода континент-океан; современные геодинамические процессы; методы и средства сбора и обработки сейсмологических и геофизических данных.

Высокий научный потенциал сотрудников КОМСП отражен в многочисленных публикациях как в России так и за рубежом. Научный международный авторитет КФ ГС РАН создан успешным сотрудничеством со многими странами, в первую очередь, с Японией, США, Италией и Германией. Система наблюдений по предупреждению об извержениях вулканов и слежению за распространением вулканических облаков в целях обеспечения безопасности авиapolетов в сотрудничестве с Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Геологической службой США является одной из лучших в мире. Все достижения и результаты в работе КФ ГС РАН – это заслуга сотрудников, которые с высокой ответственностью создавали и поддерживали сети сейсмических наблюдений, организовывали и получали уникальные результаты по оригинальным наблюдениям за геофизическими, геохимическими, геодезическими и другими параметрами.

Наибольший вклад в организацию и развитие комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений на Камчатке внесли С.А. Федотов, Е. И. Гордеев, П.И. Токарев, В.Д. Феофилактов, В.В. Степанов, А.А. Гусев, В.М. Зобин, В.А. Гаврилов, В.Н. Чебров, В.И. Левина, В.П. Митякин, Е.И. Савинов, В.В. Марфель, В.В. Ящук, Ю.М. Хаткевич, В.Е. Левин, Ю.В. Шевченко, В.А. Салтыков, Ю.А. Кугаенко, Г.Н. Копылова, И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов, В.Ф. Воропаев, С.Л. Сенюков, Д.В. Дроздин, В.А. Сергеев, В.И. Сеницын, В.Ф. Бахтиаров, Г.М. Бахтиарова и многие другие.

На ближайшее будущее основными задачами КОМСП являются: развитие наблюдательных сетей с применением цифровых технологий, создание сети цифровых широкополосных сейсмических станций на Дальнем Востоке России для целей предупреждения о цунами и обеспечения данными фундаментальных исследований в области наук о Земле; развитие научно-методического и информационного обеспечения обработки данных комплексных наблюдений; исследования физики сейсмического процесса, очагов сильных землетрясений, сейсмических воздействий; использование современных спутниковых технологий наблюдений за деформациями, термальными аномалиями и пепловыми выбросами на активных вулканах.

Одно из важных направлений деятельности КФ ГС РАН, которое будет совершенствоваться, это проведение непрерывных наблюдений за потенциальными предвестниками сильных землетрясений и извержений вулканов.

**Организация наблюдений и мониторинг
опасных эндогенных
процессов в Дальневосточном регионе**

АЛМАТИНСКИЙ ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

А.У. Абдуллаев

Институт сейсмологии МОН РК, г.Алматы, Казахстан, u.abdullaev@mail.ru

В 2009 г. исполняется 30 лет Алматинскому прогностическому полигону (АПП) в Республике Казахстан. Он был организован в соответствии с известным постановлением ЦК КПСС и Совета министров от 1978 г. «О мерах по дальнейшему научному исследованию в области сейсмологии и организации службы прогноза землетрясений». Для реализации этого Постановления развернулись широкомасштабные научные исследования и организация сетей мультидисциплинарных режимных наблюдений во всех сейсмоактивных районах СССР, в том числе в Тянь-Шанском сейсмоактивном поясе.

Одним из крупных регионов развития научных исследований и поисков предвестников землетрясений стал Казахстан. В сейсмоактивном регионе Юго-восточного Казахстана вокруг Алматинского мегаполиса, где в недалеком прошлом происходили катастрофические землетрясения с $M \geq 7.5$, благодаря совместным работам МГ СССР, АН КазССР, ИФЗ АН СССР, ВСЕГИНГЕО И ГЕОХИ АН СССР, был организован Алматинский прогностический полигон, охвативший около 100000 км² высокосейсмичной части Северного Тянь-Шаня. Здесь в кратчайшие сроки были выбраны необходимые водопункты и перспективные участки, на которых организовано непрерывное мультидисциплинарное режимное наблюдение за вариациями параметров сейсмического режима, геофизических, геохимических и гидрогеологических полей.

Важно отметить, что за годы развала СССР данную сеть АПП удалось сохранить, а затем дальше развивать.

В настоящее время на АПП действуют 58 цифровых сейсмических станций, 17 станции геофизических наблюдений, 7 – станций современных движений земной коры и 5 станций биологических наблюдений. Специализированная сеть гидрогеохимического мониторинга состоит из 8 гидрогеодинамических, 12 гидрогеохимических и 4 геохимических станций наблюдения, на которых осуществляются измерения часовых и среднесуточных значений широкого спектра компонентов газохимического состава термальных вод и динамических показателей подземных вод, а также естественного нейтронного потока (ЕНП), которые дают около 4000 ед. информации за сутки. Все эти данные после соответствующих обработок и формирования базы данных различных уровней передаются в Институт сейсмологии для интерпретации и текущей оценки сейсмической ситуации на АПП, а также для научных исследований.

За период существования полигона получен огромный и весьма ценный экспериментальный материал непрерывных режимных наблюдений различных геополей и сопутствующих им во времени гидрометеоданных. При этом установлены предвестниковые эффекты ряда сильных землетрясений и вместе с тем не найдено ни одного универсального предвестника землетрясений. Фактический материал позволяет заключить, что сильные землетрясения можно прогнозировать, если имеется достаточно густая сеть режимных наблюдений по вариациям в тонких структурах параметров деформационных, геофизических, геохимических и гидрогеологических полей с вероятностью до 0.7. Вместе с тем, обобщение экспериментальных данных АПП, а также данных по соседним полигонам Средней Азии и КНР позволили нам сформировать новое научное направление в изучении современной геодинамики – «Динамическую гидрогеохимию» (Абдуллаев, 2003, 2008).

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И.Ф. Абкадыров¹, Ю.Ю. Букатов¹, А.В. Копаев²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, aifgf@mail.ru,

²Государственный астрономический институт им. Штернберга МГУ, г.Москва, gravity3@yandex.ru

Наблюдение земных приливов является перспективным методом геодинамических исследований. Наблюдения различных приливных составляющих (приливных вариаций силы тяжести, наклонов, линейных и объемных деформаций, океанических приливов, и т.д.) позволяют определять амплитудно- и фазово-частотные характеристики различных оболочек Земли, давая информацию об их упруго-вязких свойствах в близсуточном диапазоне частот, и дополняют, таким образом, данные сейсмических методов.

Наибольшая точность достигается при наблюдениях приливных вариаций силы тяжести, однако они менее (чем приливные наклоны и деформации) подвержены влиянию аномального строения земной коры и верхней мантии. Ситуация меняется вблизи океанических побережий, где свой вклад вносят океанические приливы, которые не только создают добавочное притяжение, но и деформируют земную кору на расстояниях до многих сотен км. В связи с этим, гравиметрические наблюдения за приливными возмущениями в таком тектонически активном прибрежном регионе как Камчатка представляют большой научный интерес и выполняются впервые.

Выбор пунктов наблюдения основывался на их удалении от океана. Первый пункт находился в городе Петропавловск-Камчатский в здании сейсмостанции «Петропавловская», на расстоянии ≈ 13 км от океана. Второй пункт наблюдений («Ключи») был расположен в поселке Ключи в шурфе глубиной около 12 м на сейсмическом постаменте. Расстояние от второго пункта до океана составляло около 80 км.

Наблюдения выполнялись высокоточными автоматизированными гравиметрами с цифровым выходом Scintrex CG-5 (Канада). Особое внимание уделялось обеспечению температурной стабильности в помещениях не хуже 1°C и привязке собственных часов гравиметров к шкале UTC с точностью не ниже 1 с. Результаты наблюдений были подвергнуты обработке при помощи комбинации программ TSOF, PRETERNA и ETERNA. Значения амплитудных дельта-факторов для основных приливных волн на обоих пунктах получены с относительной точностью около 0.5 % для волны O_1 и 0.3 % для волны M_2 . Точность единичного отсчета составила около 1 мкГал (10^{-9}g), что подтверждает исключительно высокую точность этих приборов.

Как и ожидалось, значения дельта-факторов и сдвигов фаз для основных приливных волн оказались существенно аномальными. Так, аномалии амплитудных дельта-факторов для главной суточной волны O_1 составляют около 9 % для Петропавловска-Камчатского и около 6 % для станции «Ключи». Аномалии приливного отклика в частоте главной полусуточной волны M_2 существенно меньше (1-2 %). Однако причиной этого является не только аномальное строение земной коры и верхней мантии в современной зоне субдукции, но и влияние океанических и так называемых нагрузочных приливов, обусловленных интенсивными деформациями земной коры и верхней мантии под воздействием океанической нагрузки. Адекватное моделирование этих явлений для приливных гравиметрических станций, находящихся на расстояниях менее 100-200 км от океанического побережья пока является поисковой задачей, для решения которой во всем мире активно используется приливная гравиметрия. В нашем случае наибольший эффект вносят суточные океанические приливы в Пенжинской губе Охотского моря. Мы выполнили предварительное моделирование смешанного эффекта океанических и нагрузочных приливов с использованием самых современных глобальных моделей океанических приливов FES'04, NAO'99, TPXO'7, CSR'4 и GOT'00 с использованием программы LOAD97, созданной в Королевской обсерватории Бельгии. Остаточные аномалии амплитудных дельта-факторов для волн O_1 и M_2 не превышают 1 %. В дальнейшем мы надеемся расширить сеть приливных гравиметрических станций на Камчатке.

Настоящее исследование выполнено при поддержке гранта ДВО РАН № 09-III-B-08-0463 и гранта РФФИ № 08-05-01067-а.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОЙ ТЕРМОАНОМАЛИИ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) ПО ДАННЫМ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

И.Ф. Абкадыров¹, А.В. Горбатилов², М.Ю. Степанова², Ю.Ю. Букатов¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, aifgf@mail.ru,

²Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г.Москва, avgor70@mail.ru

В августе 2008 года были проведены геофизические исследования на Нижне-Кошелевской термоаномалии методом микросейсмического зондирования. Целью настоящих исследований являлось изучение особенностей строения района термоаномалии, отработка методики и применимость метода на геотермальных полях. Причины выбора именно такого метода исследования достаточно просты: 1) минимальное количество затрат; 2) минимальное воздействие на окружающую среду; 3) неприхотливость метода к сложным условиям и рельефу.

Нижне-Кошелевская термоаномалия приурочена к действующему вулкану Кошелевский (Южная Камчатка) и расположена на его западном склоне, ее размеры примерно 250 x 500 м. Данный район относится к южному сегменту Восточно-Камчатского вулканического пояса (Рычагов и др., 2008), таким образом, геологическое строение района характеризуется структурами и породами островодужного комплекса.

Метод микросейсмического зондирования основывается на анализе пространственного распределения амплитуд вертикальной составляющей микросейсмического поля для всех частот спектра при условии, что вертикальная компонента поля определяется вкладом фундаментальных мод волн Рэлея. В общем случае, если глубина залегания неоднородности значительно превышает длину волны, то волна распространяется вдоль поверхности без взаимодействия с неоднородностью. Наибольшее взаимодействие возникает, если неоднородность находится на глубине вдвое меньше длины волны и определяется соотношением: $H(f)=0.5\cdot\lambda(f)$, где $H(f)$ - расчетная глубина соответствующего амплитудного распределения, $\lambda(f)$ - длина фундаментальной моды Рэлеевской волны.

Исследуемая площадь была покрыта 9 профилями по 7-8 точек измерений с шагом 250 м. Сеть наблюдений (> 60 точек) покрывала площадь 1,5x2 км. В эксперименте использовались три сейсмические станции MARS-lite с сейсмодатчиками LE-3Dlite Lennartz. Применялись следующие параметры: частотный диапазон канала – 1-80 Гц, чувствительность канала – 400 В*с/м, частота дискретизации - 250 отсчетов. Длительность измерений в каждой точке составляла 1 час, для достижения статистической устойчивости спектра микросейсмического сигнала. Одна станция использовалась как опорная, двумя оставшимися производились измерения по профилям пошагово от точки к точке. При обработке спектры на точках профиля корректировались с учетом спектра сигнала на опорной станции. Результирующий разрез получается в параметрах относительных скоростей поперечных сейсмических волн, которые отражаются в вариациях измеряемых амплитуд сигнала.

В результате эксперимента термоаномалия выделилась в виде низкоскоростной чашеобразной области до глубины 200-300 м с узким корнем, уходящим, по крайней мере, до 500 м ниже уровня моря. Разломы, выделенные по краям термоаномалии на геологическом разрезе, проходящем с Ю-З на С-В, проявились и на соответствующих микросейсмических разрезах.

В 2009 г. планируется проведение дополнительных полевых наблюдений по более плотной сети, что улучшит качество разрезов микросейсмического зондирования.

Работы выполнялись в рамках Южнокамчатско - Курильской экспедиции Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

КАМЧАТСКО-АЛЕУТСКОЕ СОЧЛЕНЕНИЕ: СЕЙСМИЧНОСТЬ, ГЕОДИНАМИКА, ВУЛКАНИЗМ

Г.П. Авдейко¹, В.Е. Левин², А.А. Палуева¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, gavdeiko@ksnet.ru*

² *Камчатский филиал ГС РАН, г.Петропавловск-Камчатский, lev@emsd.ru*

Камчатско-Алеутское сочленение характеризуется взаимодействием трех литосферных плит. В этом районе Тихоокеанская плита субдуцируется под Охотскую и имеет трансформный контакт с Берингийским блоком Северо-Американской плиты. Сильные землетрясения в зоне субдукции, вблизи непосредственного сочленения происходили в 1737 (M=8.3), 1923 (M=8.5) и в 1997 (M=7.9) гг., а в зоне трансформного сочленения в 1849 (M=7.5), 1917 (M=8.1), 1971 (M=7.8) и 1984 (M=7.5) гг. Механизм очага землетрясения 1997 г. в зоне субдукции является взбросовым, землетрясение 1971 г. в зоне трансформного взаимодействия – сдвиговым, а 1984 г. – взбросо-сдвиговым. Кроме того, на Камчатке, в полосе шириной около 200 км к северо-востоку от края субдуцируемой Тихоокеанской плиты произошло несколько коровых (вернее литосферных) землетрясений, которые свидетельствуют о размытой (дисперсной) границе между Охотской и Северо-Американской литосферными плитами. Кроме того, в этой же зоне в 1969 г. произошло землетрясение (M=7.7), которое, по-видимому, связано как с отмершей миоценовой зоной субдукции, так и со сдвиговыми напряжениями между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами.

По сейсмологическим данным, трансформный разлом между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами имеет наклон в сторону последней, который, по-видимому, является унаследованным при переходе от косой зоны субдукции в центральной части Алеутской дуги к трансформному взаимодействию в её западном сегменте. Наклон трансформного разлома между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами определяет геодинамику данного района. По этому разлому юго-западный край Северо-Американской плиты лежит на северо-восточном краю Тихоокеанской плиты, что определяет сильное сейсмическое сцепление между этими плитами и приводит к ряду необычных явлений.

1. Происходит формирование сдвигов (Стеллера, Беринга, Альфа), субпараллельных простираанию трансформного разлома между указанными плитами.

2. По разлому Беринга от края Северо-Американской плиты откалывается Командорская микроплита, которая за счет волочения начинает пассивно «ехать» на Тихоокеанской плите. Азимут движения Тихоокеанской плиты вблизи её сочленения с Северо-Американской плитой составляет 309° при скорости 75 мм/год (Gorbatov, Kostoglodov, 1997). Скорость Командорской микроплиты (станция BRNG) относительно Евразии составляет 55 мм/год (период 2006-2008 гг., а также более ранний [Левин В.Е. и др. 2002]), причем направления Тихоокеанского и Командорского векторов отличаются всего на 1°. Скорость "отставания" Командорской плиты от Тихоокеанской составляет 24 мм/год.

3. Тормозящий эффект относительно стабильной Северо-Американской плиты на движущуюся и субдуцируемую со скоростью 75 мм/год Тихоокеанскую плиту приводит к растяжению Тихоокеанской плиты, поперечному к направлению движения, её разрыву и формированию в ней «мантийных окон». Одно из таких «мантийных окон», по-видимому, располагается под Ключевской группой вулканов.

4. Горячий мантийный материал, внедряющийся в «мантийное окно» из подсубдукционной мантии, приводит к высокой продуктивности вулканизма, широкому распространению высокомагнезиальных базальтов и андезитов, в том числе адакитов, и появлению пород с внутриплитными геохимическими характеристиками.

5. Движение Южно-Командорской микроплиты и сегментов Северо-американской плиты приводит к размытости границы между Охотской и Северо-Американской плитами. Эта размытая (дисперсная) граница имеет ширину около 200 км. между вулканом Шивелуч, который располагается над северо-восточным краем субдуцированной Тихоокеанской плиты, и южной оконечностью о. Карагинского. На всём протяжении размытой границы наблюдаются коровые землетрясения, обусловленные, по-видимому, давлением Командорской микроплиты на Северо-Американскую плиту. В геологическом смысле эта граница характеризуется необычным типом вулканизма.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ 09-05-98591 Восток и ДВО РАН 09-III-A-08-419.

РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ И ГЕОДИНАМИКИ СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЫ ОХОТОМОРСКОЙ МИКРОПЛИТЫ

Е.И. Алёшина¹, Б.М. Седов²

¹Магаданский филиал ГС РАН, г.Магадан, evgeniya@memsd.ru

²Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г.Магадан, sedov@neisri.ru

Охотоморская микроплита (ОМП) располагается в области взаимодействия литосферных плит: Евразийской (ЕАП), Северо-Американской (САП) и Тихоокеанской (ТОП). Положение западного, восточного и южного секторов границ микроплиты большинством исследователей этого региона представляется достаточно одинаковым. В тоже время северная граница ОМП трактуется по-разному. Причина этого состоит в том, что геологическое строение северного побережья Охотского моря до начала 80-х годов XX века, как и его сейсмичность, позволяющая выяснить геодинамику, оставались, практически, не исследованы. Со второй половины 70-х годов шельф северного побережья Охотского моря, в связи с высокой оценкой его перспектив нефтегазоносности, становится объектом интенсивных геофизических исследований. Они включили гравимагнитные съёмки, профильную и площадную сейсморазведку методом отражённых волн. Ранее, в конце 50-х годов, по отдельным профилям в Охотском море выполнено ГСЗ. Один из меридиональных профилей ГКЗ продолжался через Магадан до Усть-Среднекана. В начале XXI века, его южная часть, в составе профиля 2 ДВ (п-ов. Кони – о. Врангеля) отрабатывается комплексом методов, включающих КМПВ, ГСЗ–КМПВ и ГСЗ–МОГТ. К этому времени на прилегающей к морю суше завершается составление новой серии среднемасштабных геологических карт, при создании которых использованы материалы гравимагнитных съёмок. За последние 25 лет, благодаря развитию сети сейсмических станций МФ ГС РАН, получены данные о сейсмичности северного шельфа Охотского моря, на котором ранее были зафиксированы отдельные землетрясения. Результаты комплексной геолого-геофизической интерпретации материалов северного шельфа Охотского моря и прилегающего побережья показывают, что эта часть ОМП имеет окраинноморский (переходный) тип земной коры, при глубине до границы Мохоровича 20–23 км. Суше соответствует континентальная кора, мощность которой увеличивается с 33–35 км вблизи побережья до 40–45 км в северном направлении. Переходная кора отмечается положительным значением регионального поля силы тяжести в редукции Буге. Континентальной коре соответствует региональное отрицательное поле. На северном шельфе Охотского моря, на окраинноморской коре располагается Северо-Охотоморский прогиб, заполненный мезо(?)–кайнозойскими рыхлыми осадками с максимальной мощностью до 12–14 км. Прогиб протягивается в широтном направлении на 1200 км, при ширине до 200 км. Прогиб возник в результате «заклинивания» субдуцировавшей ОМП, которая имела океанический тип. Прекращение субдукции было обусловлено тем, что к зоне подошёл участок более лёгкой и прочной окраинноморской коры. Об океаническом типе субдуцировавшей коры свидетельствует состав толщ Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), соответствующих породам андийского типа. «Остатки» не полностью расплавленной и ассимилированной океанической субдуцировавшей коры на томографическом разрезе выделяются глубинной зоной высоких скоростей. При «заклинивании» зоны субдукции, двигавшаяся по инерции переходная кора, в прогибе подвергалась процессам горстообразования, которые завершились к началу кайнозоя. Об этом свидетельствует субгоризонтальное залегание кайнозойских осадочных толщ и отсутствие каких-либо изменений рельефа дна, пологопогружающегося в южном направлении. На временных разрезах МОГТ выделяются субвертикальные разломы, которые, в основном, прослеживаются ниже поверхности акустического фундамента до глубины 18–20 км. После прекращения горстообразования по разломам происходят преимущественно горизонтальные смещения, кинематика которых свидетельствует о «выталкивании» ОМП в юго-восточном направлении. Геодинамические напряжения меняются в меридиональном направлении, возрастая в сторону суши, о чём свидетельствуют изменения энергии землетрясений и их количество.

Сейсмичность прилегающей суши определяет принадлежностью к юго-восточному флангу сейсмического пояса Черского, структуры которого продолжают под толщами ОЧВП и шельфа, имеют существенные различия. Геолого-геофизические, сейсмологические и геодинамические данные свидетельствуют о том, что северная граница ОМП фиксируется сменой типа коры с окраинноморской на континентальную. Границе соответствует Североохотоморский сейсмический пояс, протягивающийся от Охотска до Камчатского п-ова, свидетельствующий о перемещении ОМП в восточном направлении относительно САП.

ОСОБЕННОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СМЕЩЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПОСТОЯННЫХ GPS ПУНКТОВ НА КАМЧАТКЕ

В.Ф. Бахтиаров

Камчатский Филиал Геофизической Службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский

Структура временных серий GPS измерений неоднородна. Может содержать разрывы, ступеньки при смене антенны или изменении пункта, не всегда полностью исключаемые геодезическими методами, косейсмические смещения и т.п. Такие неоднородности, там, где это было возможно, исключены из рядов наблюдений GPS пунктов Камчатской сети с целью корректного определения скоростей и анализа тонких структур рядов, например, изменений скорости во времени или выявления периодических составляющих.

Ступеньки исключались на основе непрерывности наблюдений графическими интерактивными методами. Информация об исправленных смещениях записывается в файл смещений в виде добавок по трем координатам на некотором интервале. Последовательное введение поправок позволяет визуализировать как исходный, так и скорректированный ряды наблюдений.

На основе скорректированного ряда можно корректно вычислить скорости и ускорения пунктов на интервале наблюдений. Например, для пункта BRNG (о. Беринга) показано, что глобальное смещение этого пункта на интервале 1998-2009 гг. имеет скорость 36.7 мм/год в направлении СЗЗ и ускорение 0.36 мм/год² в направлении ЮВВ, что свидетельствует об уменьшении скорости смещения о. Беринг.

КОМПЛЕКСНАЯ (КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ + СИЛЬНЕЙШИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ) ЭЛЕКТРОННАЯ БАЗА ДАННЫХ КАК ОСНОВА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ (НА ПРИМЕРЕ ПАЦИФИКИ)

А.В. Викулин¹, И.В. Мелекесцев¹, В.К. Гусяков², Д.Р. Акманова¹, Н.А. Осипова¹

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, vik@ksnet.ru*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г.Новосибирск*

С целью изучения закономерностей геодинамических процессов, на основании известных мировых и региональных каталогов сейсмических событий и вулканических извержений, создана электронная база данных землетрясений и вулканических извержений. База включает известные землетрясения планеты с 2150 г. до н.э. – 1900 г. и землетрясения с $M \geq 6$ в 1900-2008 гг.; всего событий $n = 12393$, и извержения 630 вулканов мира, извергавшихся за последние 10 тыс. лет (9650 г. до н.э. – 2008 г.) 6499 раз. Она включает даты (год, месяц, день), время (час, минута, секунда; для извержений приняты за “0”), координаты (очага или вулкана) в долях градуса долготы и широты, глубины очагов (для извержений принята за “0”) и энергетические характеристики (магнитуды M - для землетрясений, W - для извержений). По шкале, принятой в Smithsonian Institution, $W = 1, 2, 3, \dots, 7$ соответствует объемам изверженного материала равным: $10^{4.5}, 10^6, 10^7, \dots, 10^{11} \text{ м}^3$ соответственно.

Первые результаты обработки данных (Акманова, 2007, 2008; Викулин, 2008, 2009; Викулин и др., 2007; Мелекесцев и др., 2005; Осипова, 2007, 2008) следующие.

Проведен анализ распределения чисел сейсмических и вулканических событий по соответствующим энергетическим характеристикам. Оказалось, что числа землетрясений и вулканических извержений распределены, как показано П.И. Токаревым (1983) и Г.С. Голицыным (2003), согласно одному закону: законы повторяемости имеют углы наклона 0.9 ± 0.3 для землетрясений и 0.5 ± 0.1 для извержений вулканов.

Исследовалось распределение чисел сейсмических событий и вулканических извержений по временным интервалам между ними. Детальный анализ, проведенный в пределах разных по величине пространственно-временных выборок, показал, что выделяются следующие сейсмические

$$\frac{1}{2} T_0 \approx 116 \pm 1, \quad T_0 = 195 \pm 6, \quad 2T_0 \approx 388 \pm 4, \quad 4T_0 \approx 786 \pm 9$$

и вулканические

$$T_1 = 198 \pm 17; \quad 2T_1 (= T_2) \approx 376 \pm 12, \quad 4T_1 (= T_3) \approx 762 \pm 17$$

периоды повторяемости таких событий (в годах). Периоды T_0 и $\frac{1}{2} T_0$, как известно, соответствуют продолжительности сейсмического цикла и повторяемости сильнейших землетрясений в одном месте соответственно. С интервалом по продолжительности близким $2T_3$ происходили катастрофические ($W = 6$) извержения вулкана Кракатау в 416 г. и 1883 г. Примерно через такие же интервалы извергались и рядом расположенные вулканы Амбрим в 50 г. ($W = 6$) и Кувае в 1452 г. ($W = 6$) на Новых Гибридах, вулканы Кагуяк в 415 г. ($W = 6$) и Новорупта (Катмай) в 1912 г. ($W = 6$) на Аляске. Интервал между катастрофическими ($W = 6$) извержениями рядом расположенных вулканов Ксудач в 240 г. и Опала в 610 г. составил 370 лет $\approx T_2$.

Распределения чисел сейсмических и вулканических событий по временным интервалам между ними имеют и одинаковую «структуру» и близкие значения характерных периодов:

$$T_0 \approx T_1.$$

Получены новые данные по миграции землетрясений, которые находятся в хорошем соответствии с ранее полученными результатами. На материале, охватывающем последние 2250 лет, показано, что сильные вулканические извержения тихоокеанских вулканов имеют тенденцию мигрировать вдоль окраины Пацифики от Японии к Америке со скоростью около 60 км/год - по порядку величины близкой скорости миграции сильных землетрясений в том же направлении.

Предварительные результаты исследования пространственно-временных закономерностей распределения сильнейших землетрясений и катастрофических извержений вулканов показали, что в области предельно сильных энергий сейсмический и вулканический процессы, рассматриваемые в масштабе окраины Пацифики, имеют близкие динамические характеристики. Это позволяет сейсмичность и вулканизм в зонах перехода океан-континент интерпретировать как проявления двух различных составляющих единого геодинамического планетарного процесса.

ИЗМЕНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ РАЗМЕРНОСТИ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

П.В. Воронцов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, chicoli@emsd.ru

Фрактальный анализ является методом изучения самоподобных явлений и процессов. Одним из примеров самоподобной структуры является сейсмический режим, то есть совокупность землетрясений, рассматриваемых как точки в пространстве-времени (Садовский, Писаренко, 1991). Степень неоднородности гипоцентрального распределения землетрясений может быть выражена величиной фрактальной размерности D . Данная величина непостоянна во времени. Вариациям D может быть дана следующая сейсмологическая интерпретация: при неравномерном распределении и росте концентрации гипоцентров землетрясений в определенном объеме, величина D уменьшается, при стремлении гипоцентров землетрясений распределиться равномерно, величина D будет увеличиваться. Известны случаи аномального поведения величины D , предшествующие сильному землетрясению (Murase, 2004). Как следствие, изучение особенностей поведения величины D пространственно-временного распределения землетрясений представляет собой актуальную задачу.

В работе использованы данные Камчатского регионального каталога землетрясений Камчатского филиала геофизической службы РАН за период с 1966 по 2008 год.

Фрактальная размерность D гипоцентрального распределения землетрясений вычислялась методом корреляционного интеграла. Корреляционный интеграл $C(r)$ определяется следующим выражением:

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N H(r - R_{ij})$$

где N – число землетрясений в выборке, r – размер ячейки разбиения фазового пространства, R_{ij} – расстояние между двумя землетрясениями из выборки с индексами i и j . H – функция Хевисайда. В случае если гипоцентрально распределение является фрактальной структурой, то будет удовлетворяться следующее выражение:

$$C(r) \sim r^D$$

С целью выяснения фрактальных свойств гипоцентрального распределения землетрясений Камчатки была выбрана зона ограниченная следующими координатами: с юга - 50 град. с.ш., с севера - 60 град. с.ш., с востока - 150 град. в.д., с запада - 170 град. в.д. Из Камчатского регионального каталога землетрясений, очищенного от афтершоковых последовательностей, для данной зоны была сделана выборка землетрясений, которая составила 28942 события, с энергетическим классом: $8.5 \leq K_s \leq 15.9$.

Для вычисления вариаций D во времени был использован метод плавающего окна. Использовано два типа окон, включавших в себя 400 и 800 последовательных землетрясений. Продвижение окна заключалось в добавлении 10 последующих событий между каждым вычислением D , при этом значение D сопоставлялось времени окончания каждого временного окна.

При рассмотрении графиков вариаций D во времени, были выделены две аномалии (I, II), проявившиеся в периоды: с 1975 по 1979 гг. и с 1983 по 1987 гг. Данные аномалии характеризуются резким уменьшением величины D , с достижением локального минимума и по истечении определенного времени (в зависимости от величины временного окна), резким возвратом к первоначальным значениям.

Сопоставление аномалий (I, II) с сейсмическим режимом Камчатки показывает, что аномалия I предшествовала землетрясению 21.12.1975 г. ($M=6.9$), аномалия II предшествовала землетрясению 17.08.1983 г. ($M=7.0$).

Таким образом, данный метод дает возможность выявить необычную сейсмическую активность, предшествующую сильным землетрясениям Камчатки.

АДАПТАЦИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ П.И. ТОКАРЕВА К СОВРЕМЕННЫМ ВОЗМОЖНОСТЯМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ

В.Т. Гарбузова, О.В. Соболевская

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, sva06@emsd.ru

До 1996 г. при обработке всех сейсмических событий использовалась классификация вулканических землетрясений П.И. Токарева. В этой классификации было выделено пять типов вулканических землетрясений, включающих различные события предваряющие центральные извержения и прорывы побочных кратеров, а также подвижки, взрывы, передвижение магмы. Регистрация таких событий использовалась для прогноза места, времени и энергии извержений.

С 1996 г. применение классификации вулканических землетрясений П.И. Токарева к современной обработке, привело к некоторым изменениям в выделении типов землетрясений в связи с переводом всех сейсмических станций (РТС) на цифровую регистрацию. В настоящее время, при оперативной обработке вулканических землетрясений все они условно делятся на 5 типов.

I, IV и V типы землетрясений из классификации П.И. Токарева остались без изменений.

II и III тип – были объединены в один тип, под названием (II-III тип), так как разделить землетрясения этих типов при цифровой регистрации и массовой обработке не представляется возможным. В землетрясениях этого типа поверхностные волны преобладают над объемными в 2-5 раз.

Дополнительно был выделен новый тип сейсмических событий с условным названием - *низкочастотные серии*. Прежде всего, это было сделано потому, что такие события отличаются от выделенных выше типов и сопровождаются обычно значительными извержениями из центрального кратера, эксплозии и сход пирокластических потоков, а так же сход различного вида лавин с активных куполов. Продолжительность серий варьируется от 2-3 минут до 2-3 часов.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПАРАМЕТРЫ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО 1952 Г. (ИНФОРМАЦИЯ, ПРОБЛЕМА, ПЕРСПЕКТИВЫ)

А.А. Годзиковская

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, godzanna@mail.ru

В настоящее время на Интернет–странице Академии Наук выставлены первичные материалы и результаты их анализа по землетрясениям Камчатки доинструментального периода наблюдений XVIII-XIX вв., и только первичные материалы по раннему инструментальному периоду пока за 1900–1912 гг. Планируется по мере сбора данных выставлять материалы для землетрясений по 1952 г.

В данной работе рассмотрены следующие вопросы:

- ⇒ трудности локации землетрясений Камчатки доинструментального периода;
- ⇒ особенности эпицентральных полей региона доинструментального (1737-1899 гг.) и раннего инструментального периодов наблюдений (1900-1952 гг.);
- ⇒ возможные пути уточнения местоположения эпицентров, магнитуды и количества камчатских землетрясений доинструментального и раннего инструментального периодов.

Параметры эпицентров землетрясений 1737-1899 гг. Имеющихся макросейсмических материалов по событиям доинструментального периода оказалось недостаточно для того, чтобы методами, указанными в Новом каталоге (1977) и принятыми в настоящее время, рассчитать параметры землетрясений.

Эпицентральные поля землетрясений Камчатки доинструментального и раннего инструментального периодов. Поле эпицентров доинструментального периода наблюдений более четко структурировано и находится в хорошем соотношении с полем эпицентров инструментальных региональных наблюдений, чем поле эпицентров раннего инструментального периода. Это объясняется тем, что параметры землетрясений раннего инструментального периода, определялись по записям сейсмических станций довольно далеко расположенных относительно Камчатки. На таких расстояниях интерпретация записей землетрясений, особенно в начале накопления опыта достаточно затруднена и неоднозначна.

Что можно сделать. Доинструментальный период. В настоящее время можно, исходя из накопившегося опыта по макросейсмическим обследованиям сильнейших землетрясений региона второй половины XX в., «назначить» параметры некоторых землетрясений XVIII-XIX вв. экспертным путём. Но отбор событий, для которых возможны экспертные оценки, должен быть строго аргументирован, и эта работа должна проводится специалистами – сейсмологами и сейсмогеологами, хорошо знающими камчатский регион. Ранний инструментальный период. Ретроспективный анализ и совместная обработка сейсмограмм сейсмических станций «Иркутск» (1901), «Пулково» (1906), «Екатеринбург» (1913), «Владивосток» (1929), «Углегорск» (1950), «Курильск» (1950), «Магадан» (1952) приведёт к более точному определению параметров камчатских землетрясений, а также значительно пополнит каталог региона. Составители Нового Каталога сейсмограммы этих станций не использовали.

О недостатках старых определений не принято говорить, считая, что это умоляет исследования тех лет. Однако знание и оценка ограниченных возможностей наблюдательной сети начала XX в. очень важная область знаний. В книге Гуттенберга, Рихтера, «Сейсмичность земли» (перевод Е.Ф. Саваренского, 1948 г.) написано следующее. **Неточности Сводок нельзя поставить в вину их очень внимательным составителям. Они обуславливаются целым рядом причин, из которых мы отметим следующие:** для наблюдений за старые годы – несовершенство методов определения времени пробега (более поздние исследования показали, что **эти определения нуждаются в пересмотре**; такой пересмотр был проведён в сводках для 1930 и последующих годов); затем ошибка интерпретации, описки и другие ошибки при определении глубины очага, порождающие ошибки при определении эпицентра (выделено ААГ).

На Камчатке несколько раз уточнялись параметры землетрясений регионального периода наблюдений. Работы по пересмотру параметров землетрясений раннего инструментального периода с использованием сейсмограмм (а не бюллетеней) удалённых станций автором не найдены.

ПРИРОДА ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Л.В. Гунбина¹, Б.М. Седов²

¹Магаданский филиал ГС РАН, г.Магадан. glv@emsd.ru

²Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г.Магадан. sedov@neisi.ru

Территория Северо-Востока России практически полностью располагается в криолитозоне, зоне развития многолетнемерзлых пород, прерываемых отдельными участками талых пород, как правило, находящихся на южном побережье и под крупными реками и озерами. Мощность мерзлоты увеличивается с юга на север, достигая сотен и более метров. Переход плотных (скальных) пород в мерзлое состояние из талого практически не меняет их физико-механические свойства. В породах, содержащих свободную и капиллярную воду, при их замерзании образуется лед. Сейсмоакустические и геомеханические свойства льда, в отличие от воды, аналогичны скальным породам. В результате в мерзлых породах в несколько раз возрастают такие свойства как прочность, скорости сейсмических волн и электрическое сопротивление. Обратный процесс – таяние льда сопровождается уменьшением значений этих параметров. Оттайка значительных объемов льдосодержащих пород снижает прочность их массивов. В сейсмически активных районах это может приводить к тому, что напряжения, при которых происходит высвобождение упругой энергии, генерирующей землетрясения в талых массивах, становятся меньше по сравнению с мерзлыми породами. В результате снижается энергетический класс К землетрясений.

Рассмотренные явления оттайки и снижения уровня выделяемой землетрясениями энергии наблюдается при заполнении крупных водохранилищ. Например, водохранилище Колымской ГЭС совпадает с Детринским разломом. До заполнения водохранилища, к этому нарушению, по данным сейсмического мониторинга, были приурочены эпицентры многочисленных землетрясений. После оттайки пород в тектонической зоне их прочность понизилась. При этом значительно понизилось напряжение, при котором происходит упругая разрядка, что и уменьшает энергию землетрясений. В результате, при сохранении неизменной регистрационной чувствительности мониторинговой сети, уменьшилось количество регистрируемых землетрясений, что и было установлено при заполнении водохранилища Колымской ГЭС.

Следует отметить, что в районах, расположенных вне криолитозоны, чаще всего наблюдается увеличение сейсмичности при заполнении крупных водохранилищ ГЭС. Обратный процесс – снижение сейсмичности – не исключен, но крайне редок.

Наряду со снижением сейсмичности, связанной с оттайкой пород, в криолитозоне наблюдается и противоположное явление – возникновение техногенной (наведенной) сейсмичности. Например, Анадырское угольное месторождение, по данным сейсмического мониторинга, располагается в асейсмической зоне, где практически отсутствуют землетрясения. Подземная добыча угля ведется различными способами: ранее – камерным, когда отрабатывались узкие длинные коридоры. В настоящее время при отработке создается подземное пространство шириной 100-110 м и длиной до 750 м. Их кровля гасится методом постепенной полной посадки. Углевмещающие толщи представлены мерзлыми льдосодержащими породами, среди которых преобладают алевролиты, обладающие реологическими свойствами. Поэтому после посадки кровли отработанной шахты на дневной поверхности образуются углубления, которые при плоском рельефе местности летом заполняются водой. Вода двояким образом воздействует на геомеханические процессы в массиве пород кровли шахты. Во-первых, вода приводит к оттайке мерзлых пород, снижая этим их прочность в несколько раз. Во-вторых, слой воды одновременно создает дополнительную нагрузку на кровлю шахты, что приводит к увеличению начального напряжения. Оба процесса являются причиной возникновения слабых техногенных землетрясений. Их общее количество увеличивается по мере роста мощности зоны оттайки пород и глубины озер, что происходит к концу лета. Эпицентры техногенных землетрясений, определенные по данным кратковременных сейсмических наблюдений, совпадают с озерами прямоугольной формы, которые хорошо видны на космоснимках Google Earth.

Практический интерес представляет оценка возможности прорыва воды из озер в подземное пространство и затопление шахты. Преобладание глинистого материала в углевмещающей толще, при оттайке пород, из-за их слабой проницаемости, делает катастрофический прорыв воды маловероятным, но не исключает ее просачивание по зонам трещиноватости и участкам преобладания песчаных разностей. Дальнейшее изучение техногенной сейсмичности должно носить комплексный характер с привлечением материалов геотермии, замеров глубин озер и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПО ОЦЕНКЕ ИСХОДНОГО БАЛЛА СОТРЯСАЕМОСТИ И ЦУНАМЕГЕННОЙ ОПАСНОСТИ КОЛЫМСКОЙ ГЭС И ВОДОХРАНИЛИЩА

Л.В. Гунбина¹, Б.М. Седов²

¹Магаданский филиал ГС РАН, г.Магадан. glv@emsd.ru

²Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г.Магадан. sedov@neisi.ru

Магаданский филиал ГС РАН, являясь единственной сейсмологической организацией на Северо-Востоке России, помимо основной своей задачи – мониторинга и исследования природы сейсмичности региона и прилегающей акватории, вынужден, по заказам МЧС и производственных организаций, заниматься оценкой экологической безопасности населенных пунктов и крупных промышленных объектов. В частности, по просьбе дирекции ОАО «Колымаэнерго», были выполнены исследования по определению исходного балла региональной сейсмичности, а так же проведена оценка сотрясаемости участка основных сооружений Колымской ГЭС и цунамигенной опасности водохранилища.

Участок Колымской ГЭС располагается в пределах северо-западной части Большепорожского массива однородных по составу гранитов. По крайней мере, в верхней части разреза они имеют блочное строение. Тектонические нарушения, показанные на геологических картах, не отражаются в рельефе и на космоснимках. Это позволяет считать их неактивными в настоящее время. На космоснимках ряд линияментов имеет характерные признаки активных разломов. К ним приурочена зона эпицентров слабых землетрясений, которая с юга примыкает непосредственно к участку Колымской ГЭС.

Локальная сейсмичность участка основных сооружений ГЭС и водохранилища обусловлена региональным Детринским разломом, минимальное расстояние от которого до основных сооружений ГЭС составляет 13 – 14 км, и частично, на правом берегу Колымы, небольшими субмеридиональными разломами в Большепорожской гранитной интрузии. Последние выделяются на космоснимках. За все время сейсмического мониторинга максимальная энергия землетрясения в непосредственной близости от основных сооружений не превышала энергии $K=11$, что соответствует примерно магнитуде $M=4,0$. Максимальной магнитудой этого единственного самого сильного события и определяется локальная максимальная сотрясаемость.

Распределение землетрясений в районе ГЭС во времени показывает, что на этапе заполнения водохранилища произошло увеличение числа землетрясений в период с конца 1979г по 1982г. Затем землетрясения становятся редкими. В 1983г происходит самое сильное ($K=11$) землетрясение для участка, а за тем, в 1984 г. зарегистрировано последнее более слабое с $K=6$. После этого наступило сейсмическое затишье. В период 1984 – 2001 гг. произошло четыре события с $K=6-8$. Таким образом, на участке Колымской ГЭС заполнение водохранилища сопровождалось кратковременным увеличением количества землетрясений с энергией $K=6-8$. Практическое прекращение сейсмичности после 1984г свидетельствует о том, что произошло снятие напряжений, вызванных заполнением водохранилища.

Водохранилище ГЭС, которое по рельефу дна и объемам воды можно условно разделить на две части: нижнюю - узкий канал, расположенный непосредственно за плотиной ГЭС, и верхнюю, с основным объемом воды, представляющую собой достаточно широкий водоем. Канал находится в пределах Большепорожского гранитного массива, верхняя часть водохранилища - на участке развития песчано-сланцевых осадочных толщ триас-юрского возраста. Форма водохранилища позволяет предполагать, что если цунами возникнет, то это произойдет только в верхней его части. При движении по узкому каналу, примыкающему к плотине, высота волны неизбежно уменьшиться настолько, что вряд ли сможет оказать какое-либо негативное воздействие на плотину. Возникновение цунами в узкой нижней части водохранилища, где ширина канала и глубина дна практически постоянны, по физическим причинам маловероятно. Таким образом, можно полагать, что основным сооружениям Колымской ГЭС цунами не представляет угрозы.

РЕГИОНАЛЬНАЯ МАГНИТУДНАЯ ШКАЛА ПО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОЛНАМ $M_S(20\text{-reg})$

А.А. Гусев^{1,2}, О.С. Чубарова¹, С.А. Викулина²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский,
ochubarova@emsd.ru

² Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский

В работе описан новый способ оценки региональной магнитуды по поверхностным волнам. Предлагается использовать для всех эпицентральных расстояний спектрально определенную магнитуду, характеризующую мощность очага землетрясения вблизи частоты 0.05 Гц (период 20 с).

Предлагаемая новая магнитудная шкала $M_S(20\text{-reg})$ является продолжением на малые эпицентральные расстояния Δ магнитудной шкалы Б. Гутенберга по поверхностным волнам M_S . Методика является альтернативной к традиционной в России региональной магнитуде по поверхностным волнам $M_S(BB)$ по С.Л. Соловьеву, которая использует период максимальной фазы, зависящий от расстояния.

На эпицентральных расстояниях $\Delta = 1\text{-}20^\circ$ предлагается использовать амплитуду на выходе полосового фильтра с осевой частотой 0.05 Гц и соответствующую новую калибровочную кривую. В этом диапазоне расстояний новая магнитуда обозначается $M_S(20\text{-reg})$. При расстояниях более 20° фильтрация не обязательна, достаточно, следуя Б.Гутенбергу, ограничить диапазон периодов окрестностью периода 20 с (магнитуда $M_S(20)$).

Первая версия магнитудной шкалы $M_S(20\text{-reg})$ была построена по цифровым записям 72 землетрясений периода 1993-2008 гг. на цифровых широкополосных по скорости каналах (BHE, BHN, BHZ) сейсмических станций Северо-Западной части Тихоокеанского региона (PET, YSS, MA2, YAK, KAM, TIXI, BILL) из базы данных цунами КФ ГС РАН.

В дальнейшем, для уточнения калибровочной кривой были привлечены дополнительные данные. Были использованы цифровые записи 381 землетрясения периода 1993-2008 гг. на 12 цифровых сейсмических станциях (PET, YSS, MA2, YAK, KAM, ADK, TIXI, BILL, MDJ, INCN, ERM, MAJO).

После предварительного анализа и опробования магнитудной шкалы на данных отдельных сейсмостанций, выявились региональные особенности, в соответствии с которыми все станции региона были разделены на две группы: "континентальные" и "островодужные".

Для каждой группы станций предлагается своя калибровочная шкала для оценки магнитуды $M_S(20\text{-reg})$.

Для "континентальных" станций (KAM, TIXI, BILL, YAK):

$$M_S(20 - \text{reg}) = \begin{cases} \lg(A/T) + 1.66 \lg \Delta + 3.3 & \Delta > 20^\circ \\ \lg(A/T) + 0.65 \lg \Delta + 4.614 & 0.7^\circ < \Delta \leq 20^\circ \\ \text{не определена} & \Delta \leq 0.7^\circ \end{cases}$$

где Δ - эпицентральное расстояние в градусах, A - максимальная амплитуда смещения в поверхностной волне на выходе в мкм, $T = 20$ с.

Для "островодужных" станций (PET, ADK, MA2, YSS, MDJ, INCN, ERM, MAJO):

$$M_S(20 - \text{reg}) = \begin{cases} \lg(A/T) + 1.66 \lg \Delta + 3.3 & \Delta > 27^\circ \\ \lg(A/T) + 0.87 \lg \Delta + 4.43 & 7^\circ < \Delta \leq 27^\circ \\ \lg(A/T) + 0.65 \lg \Delta + 4.614 & 0.7^\circ < \Delta \leq 7^\circ \\ \text{не определена} & \Delta < 0.7^\circ \end{cases}$$

Для учета локальных условий отдельных сейсмостанций предлагается введение постоянных станционных поправок.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-05-00775.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ В 2008-2009 ГГ.

В.А. Дрознин, И.К. Дубровская

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, dva@kscnet.ru

В предыдущие годы тепловизионные наблюдения осуществлялись собственным тепловизором AGA-680. Институт также располагает съёмками выполненными различными комплексами как отечественными (Вулкан, Осень, Зима), так и зарубежными (TIMS, тепловизор SC-40). В 2008 г. институт приобрел тепловизор высокого разрешения ThermoCam SC-640. Тепловизионные исследования позволяют обнаружить, локализовать и количественно оценить термоаномалии на вулкане, изучить их поверхностную структуру, а иногда и получить прогностическую информацию. Это общеизвестные задачи тепловизионных исследований.

Тепловизионные исследования предопределяют получение характеристик энергетики вулканического процесса. Концептуально вулканическая активность – это процесс выноса вещества недр Земли на поверхность, т.е. процесс выноса массы, обладающей повышенным теплосодержанием. В энергетике вулканических аппаратов в последние годы наметилась тенденция изучения процесса раздельного переноса массы и энергии, когда часть вещества задерживается на пути к поверхности, а её тепловая энергия выносятся на поверхность циркулирующими метеорными водами. Подобные схемы выноса тепла и массы реализуются и в малых масштабах, внутри вулканических построек. Тепловые аномалии на постройках вулканов, обусловленные охлаждением материала внедрившегося (оставшегося) после предыдущих извержений, определены нами как инерционные. Выявление таких термоаномалий также является целью наших тепловизионных исследований.

В работе рассматриваются структуры инфракрасного излучения поверхности вулканов Авачинский, Горелый, Безымянный, по которым получены данные с помощью нового тепловизора. Для разных вулканов выявляются и разные особенности термопроявлений.

Вулкан Безымянный: сравнение съёмок 28.07.2008 и 26.08.2005 выявило, что основные термопроявления (4 группы) на экструзивном куполе не реагируют на его эксплозивно-эффузивную активность (параксизмы). Вулкан Горелый: интерес представляют процесс разогрева кратерного озера и динамика термоаномалий на склоне вулкана, сопровождающих (по литературным данным) извержение (съёмка 1.08.2008). Вулкан Авачинский: отмечено увеличение разницы между максимальной и минимальной температурами на 16°C . (съёмки 26.08.2005 г., 15.05.2008 г.)

Извержение Корякского вулкана предоставило нам возможность провести тепловизионные исследования эксплозивных шлейфов. В результате впервые (возможно, в мировой практике) получены данные по распределению температур на различных участках шлейфа. Максимальное значение температуры, зафиксированное в нижнем жерле 450°C , температурный напор (разница температур в шлейфе и в атмосфере) на участке всплытия (вертикальном) $20-30^{\circ}\text{C}$; на участке зависания (горизонтальном) 3°C . Выявлен импульсный характер истечения, что позволило оценить скорость всплытия (5-7 м/с). По термограммам и видеосъёмкам определён участок интенсивного теплообмена и параметры в зоне перехода в струйный термик. В результате тепловая мощность верхнего жерла оценена в 150 МВт расход пара 40 кг/с.

Примечательно, что термоаномалия на западном склоне вулкана Корякский, конфигурация которой оставалась неизменной с момента обнаружения (1994 г.) до начала извержения (до января 2009 г.) не фиксируется на съёмках, выполненных во время извержения.

Полагается, что полученные данные будут полезны для построения моделей тепломассопереноса на действующих вулканах в межпараксизмальный период.

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПРОДУКТОВ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ ЗА 1955-2008 ГГ.

Н.А. Жаринов, Ю.В. Демянчук

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, nzhar@kscnet.ru

Активный стратовулкан Безымянный расположен в центральной части Ключевской группы вулканов в 10 км к ЮЮЗ от в. Ключевской. Средняя высота западной, более высокой части разрушенного кратера составляет 2800 м. После тысячелетнего перерыва в октябре 1955 г. вулкан вновь активизировался. С этого времени имеются данные о характере извержений, происходящих на вулкане. В ходе нового эруптивного цикла активности вулкана выделены основные этапы вулканической деятельности.

С октября 1955 по март 1956 происходил докульминационный этап извержения. В октябре 1955 произошло разрушение западной части вершины вулкана и образовался кратер диаметром до 350 м. В ноябре разрушение постройки продолжалось. На вершине образовался кратер диаметром до 1000м, а в январе уже началось выжимание экструзии.

На втором этапе произошло параксизмальное извержение – 30 марта 1956 г. Образовался кратер размером 2.8х1.7 км и глубиной с запада на восток от 800 до 300 м.

Третий этап – это последующее формирование внутрикратерной экструзии. Этот этап начался сразу после пароксизма 30 марта 1956 г. и продолжается по настоящее время.

В ходе дальнейшего развития извержения выделялись определенные особенности. Период 1956 – 1965 гг. отмечен спокойным выжиманием экструзивных блоков. К 1960 г. экструзия имела куполообразную форму с размерами: 470 м – высота, 900 м – диаметр основания, 600 м – диаметр вершины. С 1965 г. помимо выдавливания жестких блоков на поверхности стала появляться вязкая лава. Извержение перешло в экструзивно-эксплозивно-эффузивную фазу.

Для определения размеров питающих очагов, глубины их залегания необходимо знать величины объемов продуктов извержений. Для решения этой задачи на разных этапах извержения применялись самые точные методы – повторные аэросъемки, наземные фототеодолитные съемки, традиционные геодезические наблюдения, а также обычные визуальные съемки и видеосъемки с применением цифровых фотоаппаратов.

Наибольшего доверия заслуживают определения объемов, полученные с помощью аэросъемок, а также наземных фототеодолитных съемок. В 1977-1980 гг. на вулкане наблюдалась повышенная активность. Извержения с образованием пирокластических потоков происходили регулярно по два раза в году. В эти же годы регулярно выполнялись аэросъемки. Результаты этих видов работ принимались в дальнейшем за эталонные.

Наибольшие трудности вызывает определение объемов отложений эруптивных туч. Для их определения до настоящего времени используются отборы проб на различном удалении от вулкана. Во время зимних извержений такие определения дают более точные результаты.

Рассматриваются результаты многочисленных определений объемов продуктов извержений, полученных различными авторами с начала извержения вулкана в октябре 1955 г по 2007 гг.

КОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЭЛЕКТРОТЕЛЛУРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В КОРИНФСКОМ ЗАЛИВЕ (ГРЕЦИЯ)

Ж.Злотники¹, М. Родкин²

1. Университет Клермон-Ферран, ЦНРС, Франция, jacques.zlotnicki@wanadoo.fr

2. Геофизический центр РАН, 119296, Молодежная 3, г.Москва, Россия, rodkin@wdcb.ru

Анализ электротеллурических данных рассматривается обычно как перспективное направление исследований в целях мониторинга состояния геофизической среды и прогноза землетрясений. Настоящая работа базируется на анализе данных сети геофизического мониторинга, функционирующей в рамках подспутникового эксперимента по проекту ДЕМЕТЕР. Подспутниковый геофизический полигон развернут на берегу Коринфского залива (Греция) и включает сеть комплексных станций геофизических наблюдений. Стандартная станция предусматривает регистрацию данных по вертикальному сейсмическому каналу, 2 канала регистрации горизонтальных компонент электротеллурического поля и 3-х компонентную регистрацию геомагнитного поля. Используется довольно высокая базовая частота отсчета – 100 Гц, что обуславливает большой поток данных. В районе полигона наблюдается эффект сейсмического затишья, в связи с чем рядом экспертов предполагается возможность реализации здесь в ближайшем будущем относительно сильного землетрясения. Одной из задач системы мониторинга является выявление электрических предсейсмических явлений (EPSP). Развития таких явлений можно ожидать в рамках модели тесной связи сейсмичности с изменениями во флюидном режиме и в характере микротрещиноватости земной коры. Достаточно развитой модели таких явлений, однако, на настоящий момент не существует. Случаев регистрации явственных предсейсмических эффектов также не много, что затрудняет статистическую обработку и понимание таких процессов.

Настоящая работа посвящена анализу характера косейсмических явлений в электротеллурическом поле. Исследование более простого случая косейсмических эффектов призвано помочь пониманию возможных (практически более важных) предсейсмических проявлений. При этом, хотя наличие косейсмических эффектов в электротеллурическом поле не вызывает сомнения, характер их проявления не вполне понятен. Нами проанализирована группа из 11 относительно близких (с эпицентрными расстояниями от 3 до 120 км) сейсмических событий, происшедших и надежно зарегистрированных системой наблюдения с октября 2005 по июнь 2008 года. Эти события четко распадаются на две группы – с различающимися на порядок и более значениями амплитуды сейсмического сигнала и отношения сигнал/шум по сейсмическому каналу. Для этих двух групп событий характер отклика в электротеллурическом поле оказался различным. Для случая слабых сейсмических возмущений наблюдается значительный сдвиг максимума отклика электротеллурического поля в длиннопериодную (по сравнению с сейсмическим сигналом) часть спектра. Такое поведение может объясняться степенным (наподобие фликкер-шума) характером собственного (шумового) спектра электротеллурического сигнала. Взаимодействие такого собственного спектра со спектром сейсмического сигнала приводит к смещению максимума спектра отклика в низкочастотную область. Существование низкочастотного смещения взаимно подкрепляется выявлением аномально высокого низкочастотного электротеллурического шума после прохождения сейсмической волны. Для случая высокоамплитудных сейсмических событий смещения максимума спектра в низкочастотную область не происходит, вместо этого наблюдается резкое уменьшение переходного отношения «электротеллурический отклик / сейсмический сигнал» предположительно обусловленное насыщением уровня возможного электротеллурического отклика. Падение передаточного отношения более сильно проявляется в низкочастотной части спектра, где в отсутствии эффекта насыщения амплитуды передаточного отношения были бы максимальны. Полученные результаты представляют интерес в плане понимания физики процесса развития электротеллурических эффектов.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ ГРАНИЦЫ ЕВРАЗИЙСКОЙ И СЕВЕРОАМЕРИКАНСКОЙ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

В.С. Имаев¹, Л.П. Имаева¹, Б.М. Козьмин¹, К. Фуджита², К. Маккей²

¹*Институт Земной Коры СО РАН, г.Иркутск, imaev@crust.irk.ru*

²*Michigan State University, Lansing, USA, mackeyre@msu.edu*

Крупный Арктико-Азиатский сейсмический пояс (ААСП) фиксирует границу Евразийской и Североамериканской литосферных плит на Северо-Востоке Азии. Он соединяет сейсмичность срединно-арктического хр.Гаккеля в Северном Ледовитом океане с проявлениями землетрясений горной системы хр.Черского, севера Охотского моря и Камчатки. Характерной особенностью пояса является частая смена напряженного состояния земной коры и особенностей формирования активных разломов. Так, структуры, развитые в пределах хр.Гаккеля и зоны его влияния, прослеживаемой вплоть до побережья моря Лаптевых, возникли в специфических условиях рифтинга и горизонтального растяжения земной коры. (сейсмичность, фокальные механизмы землетрясений, особенности аномалий магнитного поля). Восточную часть шельфа моря Лаптевых, продолжая структуры хр.Гаккеля на юго-восток, занимает Лаптевоморская окраинно-континентальная рифтовая система, состоящая из ряда грабенов и разделяющих их поднятий северо-западного простирания. Часть грабенов этой системы прослеживается на континент (данные поля силы тяжести и параметрического бурения). Максимальная сейсмическая активность приурочена к указанным грабенам и их бортам. Условия растяжения в районе губы Буор-Хая моря Лаптевых сменяются смешанным полем тектонических напряжений, при котором в очагах землетрясений Северного Верхоянья наблюдаются как сбросовые подвижки (акватория губы Буор-Хая и Приморская система сбросов на ее западном побережье), так и сдвиговые (Хараулахская зона сдвига-сбросов), надвиговые (Западно-Верхоянские чешуйчатые надвиги) и взбросовые (Найбинский кряж) подвижки. Здесь наиболее подвижна Хараулахская система сдвига-сбросов, секущая западные отроги одноименного хребта, с которой связывают возникновение катастрофического 9-10-балльного землетрясения. Юго-восточнее в пределах сейсмической зоны хребтов Черского (СЗЧ), занимающей на северо-востоке Азии центральную часть ААСП, и вплоть до Охотского моря господствует обстановка сжатия. Она надежно выявляется по результатам натурных наблюдений за характером деформаций в осадочных толщах межгорных и предгорных впадин СЗЧ, сложенных образованиями разного генезиса (от тонких глинистых осадков до грубых моласс и конгломератов) кайнозойского возраста (от эоцена до плиоцен-плейстоцена).

Диаграммы фокальных механизмов землетрясений, произошедших в СЗЧ за последние 50 лет, свидетельствуют, что 39% таких определений соответствуют взбросам, 30% - сдвигам, 17% - надвигам, остальные - сочетанию сдвигов и сбросов (14%). Вместе с тем, в отдельных случаях имеют место сейсмогеологические признаки, указывающие на существование в миоцене-нижнем плейстоцене Момского рифта, когда, вероятно, господствовали условия растяжения. К рифтогенным признакам можно отнести: наличие здесь коровой и мантийной неоднородности, уменьшение мощности земной коры до 30-35 км по сравнению с соседними районами на юго-западе (40-45 км), высокий тепловой поток (до 80 мВт/м²), проявления четвертичного вулканизма и др. Влияние Момской рифтовой зоны несомненно отразилось на формировании неотектонического структурного плана. Прежде всего это выразилось в присутствии крупной системы кайнозойских Момо-Селенняхских впадин заканчивающиеся веерообразно расходящимися небольшими грабенами. Однако, в условиях современного сжатия происходит «захлапывание» части Момских впадин, в результате сжатия со скольжением линейные горные хребты системы Черского приобрели S-образные очертания, возникли эшелонированные системы генеральных левых сдвигов, похожие на разломную систему Сан-Андреас, в полостях которых образовались впадины растяжения «pull-apart». Именно к ним приурочены проявления современной сейсмичности, в то время как система Момо-Селенняхских впадин слабосейсмична.

В итоге, установлена отчетливая зависимость формирования сейсмогенных структур от сейсмогеодинамических условий, развитых на границах зон взаимодействия крупных литосферных плит, позволяющая прогнозировать возможный сценарий развития сеймотектонических процессов на северо-востоке Азии. Любое изменение геодинамического режима, которое часто наблюдается даже в пределах единой межплитной границы (в нашем случае для Байкало-Станового и Арктико-Азиатского пояса) неизбежно влечет за собой существенное преобразование рельефа и может являться важным признаком изменения сеймотектонической активности данного региона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (N 09-05-00272a).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ВУЛКАНЕ КАРЫМСКИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Т.Ю. Кожевникова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, sva02@emsd.ru

Вулкан Карымский, один из самых активных вулканов на Камчатке, находится в центральной части Восточного вулканического пояса в 120 км от г. Петропавловска-Камчатского. Координаты вершины: 54° 03' с.ш., 159° 26' в.д. Абсолютная высота вулкана - 1536 м, диаметр кратера - около 250 м. Начиная с 1996 г. и по настоящее время, вулкан находится в стадии постоянного извержения с периодами покоя и бурной вулканической активности.

С 28 ноября по 8 декабря 2008 г. в районе вулкана Карымский с целью изучения сейсмической и вулканической активности проводились полевые работы и сравнительные испытания аппаратуры разных типов.

Для испытания аппаратуры были выбраны 3 места установки:

1. Район «20 точки». Здесь на постамент радиотелеметрической сейсмической станции «Карымский» (KRY) был установлен трехкомпонентный широкополосный сейсмометр Guralp, а на поверхности были установлены микробарограф и два гидрофона разных типов. Регистрация велась на шестиканальный сейсмический регистратор высокого разрешения REFTEK.
2. Район дома (бывшая региональная станция «Карымский»). На постаменте в бывшей дизельной были установлены два трехканальных сейсмических регистратора Quanterra Q-330. На один канал был подключен трехкомпонентный широкополосный сейсмометр Guralp, а на другой микробарограф. Также на постаменте в доме был установлен трехканальный сейсмический регистратор высокого разрешения REFTEK с трехкомпонентным короткопериодным сейсмометром.
3. Район озера Карымское. Установлен трехканальный сейсмический регистратор Quanterra Q-330 с трехкомпонентным широкополосным сейсмометром Guralp и трехканальный сейсмический регистратор высокого разрешения REFTEK с микробарографом и гидрофоном.

Параллельно с регистрацией данных радиотелеметрической сейсмической станции "Карымский" с помощью программы SOUNDRTCC велась съемка вулкана в автоматическом режиме фотоаппаратом Canon G9 с записью на ноутбук в реальном времени и выводом на экран.

В процессе работы удалось исследовать разнообразные режимы деятельности вулкана (мощные взрывы, парогазовая деятельность, выбросы пепла и т.д.) и сопоставить визуальные наблюдения с сейсмичностью и записями микробарографов.

О ВЛИЯНИИ ОБЪЕМА ВЫБОРКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРЕД КРОНОЦКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 1997г. (M=7.9)

И.П. Кузин¹, В.И. Левина², А.Б. Флёнов¹

¹ *Институт океанологии им. П.П.Шириова РАН¹, г.Москва 117997, grinda02@mail.ru*

² *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский*

Приведены результаты детального изучения сейсмичности Центральной Камчатки за 1962-1997гг. на основе модификации традиционного подхода. Основные элементы этого подхода: а) детализация структуры сейсмоактивной области с выделением Кроноцкого и Шипунского геоблоков и блоков - континентального склона и прибрежной части; б) изучение изменений числа землетрясений с $M=3,0-7,2$ и количества высвобожденной сейсмической энергии во времени на глубинах 0-50 и 51-100 км; в) изучение вариативности сейсмичности; г) раздельная оценка повторяемости корово-мантийных землетрясений с глубинами очагов 0-50 и мантийных на глубинах 51-100 км. В итоге, наряду с подтверждением возникновения затишья перед Кроноцким землетрясением 05.12.1997г. ($M=7,9$), установлена связь его начала с положением сейсмоактивной области по отношению к эпицентру главного толчка. Затишье является преобладающей чертой сейсмического процесса в период подготовки землетрясения и характеризуется уменьшением числа землетрясений (первый признак) и количества высвобожденной сейсмической энергии (второй признак). По первому признаку в обеих частях Кроноцкого геоблока, близкого к очаговой зоне одноименного землетрясения, начало затишья во всем диапазоне глубин 0-100 км приходится на 1987 г. В Шипунском геоблоке, более удаленном от очаговой зоны, затишье возникает раньше в мантии внутренней области (1988 г.) и несколько позднее на глубинах 0-50 км в пределах континентального склона (1989 г.). По второму признаку во внутренней области Кроноцкого геоблока затишье наступает также раньше в мантии (1987 г.), а затем, на год позднее, в мантии (1991 г.). В той же области Шипунского геоблока затишье на малых глубинах также наступает раньше (1987 г.), в то время как во внутренней зоне оно запаздывает на 3 года (1990 г.) и охватывает сейсмоактивную среду на глубинах 0-100 км. Приведенные данные совпадают или достаточно близки к оценке начала затишья для круговой области радиусом 150 км, объединяющей Кроноцкий и Шипунский геоблоки, по методу RTL (1990 г.).

По данным о слабых землетрясениях ($M \geq 2,6$) с очагами на глубинах 0-70 км преимущественно в пределах континентального склона Кроноцкого геоблока в юго-западной части эпицентральной зоны (расстояния 50-100 км от эпицентра главного толчка) затишье наступает за три с небольшим года (40 месяцев) до момента главного толчка, а в непосредственной близости от его эпицентра (0-50 км) – за два с небольшим года (25 мес.). Эти результаты свидетельствуют о разных временах начала накопления напряжений в различных объемах среды в период подготовки катастрофического землетрясения, что следует учитывать при анализе данных по другим видам геофизических предвестников.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ МУТНОВСКОГО ВУЛКАНА

Ю.А. Кугаенко, И.Н. Нуждина

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, ku@emsd.ru

В 2008 г. на Мутновском вулкане установлена радиотелеметрическая сейсмическая станция «Мутновка» (MTV). Совместно со станциями «Горелый» (GRL), «Асача» (ASA) и «Русская» (RUS) она входит локальную сеть детального сейсмического мониторинга Мутновско-Гореловского района. С ноября 2008 г. станция MTV находилась в опытной эксплуатации, а в конце декабря 2008 г. ее потоки данных введены в оперативную обработку. Станция MTV расположена на северо-восточном гребне Мутновского вулкана на высоте 1394 м в пределах разломной структуры С-СВ простираения, рассматривающейся в настоящее время как глубинная зона совместного теплового питания Мутновского вулкана и Мутновской гидротермальной системы. Расстояние до активного кратера около 3 км. По уровню фоновых сейсмических сигналов станция соответствует мировым требованиям.

Детальный анализ записей станции MTV за ноябрь 2008 г. - апрель 2009 г. показал, что сейсмические события локализованы компактно, о чем свидетельствуют узкие диапазоны диаграммы направленности первых вступлений сейсмических волн. Выделены два лепестка преимущественных направлений на эпицентры: северо-запад и юго-запад, к Активному кратеру. Сейсмичность Мутновского вулкана в рассматриваемый период характеризуется низким энергетическим уровнем. Подавляющее большинство обнаруженных сейсмических событий зарегистрировано только станцией MTV. Тектонические землетрясения из постройки Мутновского вулкана единичны. Наиболее интересным результатом является выделение в записях станции MTV низкочастотных сейсмических землетрясений, объединяющихся в рои, неравномерно распределенные во времени, и сейсмических событий типа «chugging».

Зафиксировано около 500 низкочастотных сейсмических событий. Наиболее существенные рои были отмечены в середине января и конце апреля 2009 г. Характерные вступления сейсмических волн в записях отсутствуют. Основная часть сейсмической энергии приходится на частотный диапазон 1-3 Гц. Азимут на эпицентр относительно станции MTV составляет 206-231°. Корреляция волновых форм в отдельных случаях превышает 0.9. В вулканологической практике такие события рассматриваются как проявление недеструктивной вулканической активности, связанной с процессами дегазации и спонтанного вскипания флюида в недрах вулкана. Для Мутновского вулкана источником таких сигналов может выступать зона ретроградного кипения малоглубинного магматического очага или близповерхностная область вторичного кипения в гидротермальном резервуаре рассолов и смешанных растворов (глубина – первые сотни метров от дна Активного кратера). Для определения глубины генерации роев низкочастотных событий необходимо привлечение дополнительных временных сейсмических станций.

«Chugging» – цуги квазипериодического дрожания, регистрируемые на вулканах и соответствующие истечению из кратера газо-пепловой смеси через перекрытый отложениями (засыпанный) канал. На Мутновском вулкане нами зафиксированы случаи событий «chugging» длительностью 30-120 с. в частотном диапазоне 2-3 Гц, триггером выступают низкочастотные землетрясения. Характерной особенностью сигналов «chugging» является периодичность в нескольких частотных диапазонах. Как и низкочастотные землетрясения, «chugging» на Мутновском вулкане обусловлен взаимодействием магматической и гидротермальной систем.

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЧУКОТСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛЯСКИ

С.В. Курткин¹, А.Ф. Мартынов¹, Б.М. Седов²

¹Магаданский филиал ГС РАН, г.Магадан, cdp@memsd.ru, admin@memsd.ru

²Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г.Магадан, sedov@neisri.ru

По данным геолого-геофизических исследований современный геодинамический режим Чукотского полуострова, и западной Аляски представляется следующим. В районе о.Карагинский (Берингово море), вблизи Камчатского полуострова полоса сейсмичности продолжается на юг, а затем к востоку через Командорские и Алеутские острова к Аляске. Напряженное состояние земной коры в пределах Алеутской островной дуги создает зона субдукции, которая имеет пологозалегающую (до 30-50°) сейсмофокальную зону Беньофа. Сейсмичность подтверждает существование Берингоморского блока, который оконтуривается эпицентрами землетрясений. На юге его граница проходит вдоль Алеутской островной дуги. С востока блок ограничен зоной землетрясений, протягивающейся от Тихоокеанского побережья Аляски к северу и северо-западу в направлении п-ов Сьюард и Лисберн. Далее слабые землетрясения от п-ва Сьюард к Чукотскому п-ву, эпицентрами фиксируют северную границу Берингоморского блока. Здесь наиболее активен район пос. Нешкан, где за последние 70 лет отмечено свыше 100 землетрясений, из них шесть с $M=5.0-6.9$. На западе блок ограничивает Анадырско-Корякская сейсмическая зона слабых землетрясений. Она от Чукотского п-ва, протягивается на юго-запад, пересекая Анадырский залив и по Корякскому нагорью прослеживается вдоль берега Берингова моря к о.Карагинский.

История геологического развития и современный структурный план восточной Чукотки и Западной Аляски указывают, на то что о.Врангеля в Чукотском море, восточная часть Чукотского полуострова, о.Святого Лаврентия в Беринговом море, п-ов Сьюард и цепи хребта Брукса на Аляске имеют примерно одинаковые по составу и возрасту толщи. Они входят в структуру Арктического террейна и образуют обращенный к югу Берингоморский ороклад, который возник в позднемезозойское время. В процессе конвергенции Тихоокеанской и Северо-Американской плит в кайнозой в пределы Аляски "внедрился" индентор Тихоокеанской плиты с вершиной, направленной на северо-запад и запад к указанному орокладу. Это прослеживается по ориентации максимума горизонтального сжатия, установленного по расположению вулканических даек, знака и величины смещения в плоскости активных разломов в позднечетвертичное время, а также по фокальным механизмам землетрясений, показывая траектории действия тектонических напряжений сжатия на Аляске и Алеутах.

Наибольшие сжимающие усилия со стороны Тихоокеанской плиты следятся вдоль направления на северо-запад и запад от залива Аляска к Анадырскому заливу. На этом отрезке приходится максимум сейсмичности, где от залива Кука вплоть до 67-68°с.ш. отмечены все землетрясения внутренних частей Аляски с $M>6.0$. В результате этого фронтального сжатия на п-ве Аляска образовалась система протяженных правых сдвигов. Скорость современных горизонтальных движений по ним уменьшается с юга на север с 5 см/год вдоль побережья залива Аляска до 1 мм/год и менее в разломах Денали и Тинтина.

Наличие сдвиговых напряжений, переходящих в сбросовые, подтверждают фокальные механизмы сильных землетрясений и разломы сбросовой кинематики широтного и северо-западного простираний на п-ве Сьюард. Все это позволяет сделать вывод, что правые сдвиги в условиях сжатия на Аляске возможно обусловили возникновение на их западных окончаниях крупной зоны растяжения в виде рифта Берингова моря. По данным инструментальных сейсмологических и геолого-структурных исследований зона растяжения продолжается от полуострова Сьюард на шельф Берингова моря к Чукотскому п-ву. В частности, сложная система сбросовых уступов выявлена и на дне моря в прибрежной части залива Нортон южнее полуострова Сьюард. Обширная зона опускания фиксируется также к западу от разлома Томпсон Крик между заливами Нортон и Кускоквим Берингова моря.

Таким образом, под воздействием Тихоокеанской плиты Берингоморский блок смещается к западу относительно Северо-Американской плиты с полюсом вращения, находящимся вблизи Чаунской губы Восточно-Сибирского моря. Не исключено, что этот блок представляет собой остаток древней океанической плиты Кула Тихого океана.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ПО СЕЙСМОАКТИВНЫМ ЗОНАМ

В.И. Левина¹, В.Н. Чебров¹, А.В. Ландер²

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.ru

²Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
г.Москва, land@mitp.ru

Каталог землетрясений Камчатки, Командорских островов и Северный Курил содержит в себе основные параметры событий с 1962 г. по 2006 г. В течение этого времени менялась сеть станций, методы обработки, энергетические оценки землетрясений. В работе представлена краткая характеристика каталога: его однородности, полноты данных и их качества. Показаны изменения границ сейсмоактивного региона и зоны ответственности камчатской региональной сети за период 1962-2006 гг., а также принятые ранее границы сейсмоактивных районов.

Приведено принятое на настоящий момент разделение Камчатки и прилегающих территорий на сейсмоактивные зоны. Землетрясения, происходящие на Камчатке, могут иметь различную тектоническую природу. Около 90% событий приходится на зону субдукции Тихоокеанской плиты, где сходятся Алеутский, Арктический и Корякский сейсмические пояса, отражающие взаимодействие литосферных плит: Охотской, Северо-Американской, Евразийской, Берингии и Тихоокеанской. В центральных районах Камчатского полуострова происходят мелкофокусные землетрясения, не относящиеся к зоне субдукции (как вулканические, так и тектонические). В северной части полуострова, происходят землетрясения, обусловленные взаимодействием Охотской, Берингийской и Североамериканской плит. На западе полуострова, в акватории Охотского моря происходят также мелкофокусные землетрясения, связанные с тектоническими подвижками в земной коре и верхней мантии. Такое разнообразие тектонических обстановок требует строгого разделения существующих и непрерывно развивающихся каталогов землетрясений с возможно более точной идентификацией природы каждого сейсмического события. Строгое фиксированное пространственное разделение землетрясений необходимо также для получения и систематического наблюдения за различными статистиками сейсмического процесса. Вся Камчатка и прилегающие к ней территории разделены на 9 сейсмоактивных зон, исходя из современных тектонических представлений и многолетних данных о сейсмичности региона. Сейсмическая активность выделенных зон довольно неоднородна. Наиболее активной является камчатская сейсмофокальная зона. Здесь происходит 75% от регистрируемых в регионе землетрясений. Следующее место по активности занимает Командорский сегмент Алеутской дуги, где происходит около 10% событий. Незначительно меньше (7.5%) событий происходит в континентальной части полуострова Камчатка. Сейсмичность остальных зон значительно слабее. Выделяется район Корякии и западной окраины Берингова моря, где в последнее время отмечается значительная сейсмическая активизация.

Проведен обзор сейсмической активности выделенных зон за период 1962-2006 гг., приводятся характерные особенности сейсмического режима каждой из них.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СТАЦИОННЫХ ПОПРАВОК СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ЮГА КАМЧАТКИ И АВАЧИНСКО-КОРЯКСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ

В.К. Лемзиков¹, М.В. Лемзиков¹, В.И. Левина²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, lemzikov@kscnet.ru*

²*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.ru*

Метод оценки заключался в одновременном спектральном анализе участков прямых Р-, S- и кода-волн одного и того же местного глубокого землетрясения по записям нескольких станций и сравнении соответствующих спектров пар станций при условии, что их гипоцентральные расстояния различаются на величину около 10 км. При сравнении станция, установленная в пункте «Петропавловск», использовалась в качестве «реперной». Проводилось сравнение спектров, полученных для глубоких землетрясений на реперной станции и на станциях, установленных в южной части Камчатки и на Авачинско-Корякской группе вулканов. Обнаружено различие спектров, как по частотному составу, так и по динамическому уровню. Одинаковость расположения землетрясений по гипоцентральному расстоянию, углу выхода сейсмического сигнала из очага, позволяет заключить, что различия определяются только особенностями распространения сейсмических волн в среде под конкретной сейсмической станцией.

Сравнение результатов спектрального анализа с результатами камеральной обработки землетрясений по определению энергетического класса позволяет уточнить значение стационарных поправок Авачинской вулканической группы станций относительно «реперной», установленной в пункте «Петропавловск».

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПОД ЮЖНЫМ САХАЛИНОМ

М.Н. Лунева

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г.Хабаровск, margo@itig.as.khb.ru

В современных геодинамических исследованиях достаточно активно используются данные по сейсмической анизотропии, позволяющие получить дополнительную информацию о характере деформаций на различных глубинах земных недр. Существование сейсмической анизотропии обнаружено в областях с различной тектонической обстановкой. Изучение пространственного распределения параметров объемных расщепленных S -волн позволяют судить о мантийном течении, направленности сдвиговых деформаций. Многочисленные исследования сейсмической анизотропии на основе метода расщепленных волн от местных и удаленных землетрясений проведены в зонах субдукции Тихого океана. Результаты показывают ряд закономерностей изменения степени анизотропии и азимута поляризации быстрой S -волны (φ), отражающего направление смещения сдвиговой волны, вдоль зон субдукции и при движении от желоба к задуговой области. В настоящее время существует ряд моделей для объяснения поведения φ в области субдукции. Наблюдаемые φ объясняются анизотропией мантии, субдуктирующей плиты, геометрией мантийных течений и изменением термодинамических условий, водонасыщенности и степени подплавления мантии в направлении от желоба к задуговым бассейнам. Менее изученными являются территории Курильских островов, Охотского моря и острова Сахалин.

Проведены измерения параметров расщепленных поперечных волн от местных глубокофокусных землетрясений в области 12 станций на Южном Сахалине. Для исследования из регионального и оперативного каталогов СФ ГС РАН выбраны 15 глубокофокусных землетрясений (250-400 км) за период 2005-2008 г. Использовались записи землетрясений, зарегистрированные сейсмическими станциями локальной сети, 4 станции которой расположены вдоль западного побережья Южного Сахалина (YBL, KHL, KLN, KKH), 4 станции – вдоль центральной части (ZGR, OJD, BSK, KRS) и 4 станции – вдоль восточного побережья острова (OSM, LSN, OKT, MLK). Измерение параметров сейсмических волн от землетрясений проводилось в частотном диапазоне до 1 Гц, что обусловлено амплитудно-частотными характеристиками сейсмометров.

Результаты исследований показывают неоднородность распределения анизотропных свойств в области Южного Сахалина. Азимуты поляризации быстрой S -волны под станциями в центральной части острова вдоль ССЗ и ССВ-СВ, поперек и вдоль Курильского желоба. Под станциями западного и восточного побережий φ смещаются от ССЗ к В-ЮВ направлениям при изменении положения станций к югу. Разность времен прихода S -волн под станциями изменяются в диапазоне от 0.12 до 2 секунд. Наибольшая степень анизотропии среды до 0.9-1.5% фиксируется в центральной части Южного Сахалина и под станциями YBL, OSM, OKT. Максимальные значения времен задержки S -волн отмечаются при ориентации азимутов поляризации быстрой S -волны вдоль С-СВ направлений в областях активных разломов, ослабленных зонах. Анализ изменения времени задержки с глубиной событий показывает их слабую зависимость от глубины. Представленные результаты, полученные при доминирующих частотах 1-5 Гц, отражают среднемасштабную анизотропию, формирующуюся в верхней части среды.

Анализ параметров S -волн показывает их хорошее соответствие с простиранием крупных разломов Сахалина и аномалий геофизических полей. Наблюдаемые φ вдоль ЮВ-ЮВВ согласуются с направлениями падения погружающейся плиты под Сахалином и Хоккайдо в области сочленения Курильской и Японской дуг и соответственно могут быть связаны с направлением движения верхней плиты (мантийного течения). Наблюдаемые φ вдоль ССВ-СВ параллельны простираанию Курильской дуги и ее продвижению вдоль желоба в сторону Японской дуги со скоростью 6-11 мм/год. Субширотные φ в области Крильон, Тонино-Анивского полуостровов и залива Анива могут отражать деформации субширотного сжатия, обусловленного растяжением в области Татарского пролива и Южно-Охотской впадины.

Работа поддержана программой Президиума РАН (№16) и Президиума ДВО РАН (гранты №09-I-П16-10, № 09-III-A-08-443).

РАЗВИТИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ. РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ.

Е.И. Гордеев^{1,2}, А.А. Маловичко³, В.Н. Чебров¹, Л.В. Гунбина⁴, Ю.Н. Левин⁵

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский

³ Геофизическая служба РАН, г.Обнинск, amal@gsras.ru

⁴ Магаданский филиал Геофизической службы РАН, Магадан, glv@memsd.ru

⁵ Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, г.Южно-Сахалинск, levin@seismo.sakhalin.ru

Основными задачами стратегии развития системы сейсмологических наблюдений на территории России, включая и Дальний Восток, являются повышение представительности регистрируемых землетрясений путем увеличения числа сейсмических станций и перехода на цифровые технологии регистрации и обработки сейсмических сигналов, автоматизация процессов сбора, обработки и хранения данных и результатов их обработки.

Приводятся сведения по истории инструментальных сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России, о сети сейсмических станций СССР.

Рассматриваются этапы развития системы сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России в рамках основной деятельности ГС РАН, международных соглашений и проектов, реализации ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года».

Первым шагом в конце 80-х начале 90-х гг. на пути перехода к цифре в наблюдательной сейсмологии на территории страны было участие России в международной программе создания глобальной сети цифровых станций IRIS. Со второй половины 90-х годов началось внедрение цифровой регистрации на сейсмических станциях России на базе оборудования отечественного производства. В рамках международного сотрудничества ГС РАН и институтов ДВО РАН с Университетами Японии создана в 2006-2007 гг. сеть из 11 широкополосных цифровых сейсмических станций. В рамках ФЦП «Снижение рисков и ...» Геофизической службой РАН до 2010 г. будет создана сеть из 11 специализированных широкополосных цифровых сейсмических станций. На период 2009-2013 гг. институтами ДВО РАН выполняется программа «Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России», в рамках которой планируется развернуть 7 широкополосных сейсмических станций REFTEK (руководитель академик А.И.Ханчук, координатор взаимодействия ДВО РАН и ГС РАН академик Е.И.Гордеев).

Дается характеристика состояния сейсмологических наблюдательных сетей и их технического оснащения, систем сбора и обработки данных, действующих регламентов работы по Камчатскому, Магаданскому и Сахалинскому филиалам ГС РАН. Рассматриваются основные задачи и функции Объединенного регионального центра сбора, обработки и передачи мониторинговой и прогнозной информации о сейсмических событиях Дальнего Востока и цунами, который должен быть введен в эксплуатацию на Камчатке в 2010 г., вопросы его взаимодействия с Сахалинским и Магаданским филиалами ГС РАН, проблемы и перспективы развития сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России.

По состоянию на 2009 г. на Дальнем Востоке России ГС РАН создана и работает сеть из 27 широкополосных цифровых сейсмических станций. Из них 18 станций включены через каналы связи в режим сбора данных в реальном времени. Кроме станций ГС РАН на Камчатский ИОЦ в режиме реального времени собираются данные 10 станций IRIS, расположенных на Дальнем Востоке России, Японии, Южной Кореи, США.

Созданная цифровая широкополосная сеть сейсмологических наблюдений обеспечивает: проведение фундаментальных исследований физики сейсмического процесса, изучение очагов слабых и сильных землетрясений, решение фундаментальных задач геодинамики региона на современном уровне; снижение рисков чрезвычайных ситуаций, вызываемых сильными землетрясениями и цунами, создание условий для обеспечения безопасной жизнедеятельности и устойчивого развития дальневосточного региона России.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IMP.ITRIS ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО И ОПЕРАТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ОЦЕНКИ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Маринин И.В., Елецкий С.В., Чесноков В.В.

Informap LLC, г. Москва; Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск; e-mail: igor.marinin@inbox.ru

Задачи, связанные с формированием оперативного прогноза последствий землетрясений, обеспечением доступа к полученной информации и созданием соответствующего программного обеспечения, образуют одну из основных областей интересов *Informap LLC* и *WAPMERR*. Разработанные в рамках проекта *QLARM* программные системы и организованные службы успешно решают обозначенные задачи в Европе, рассматривая населённые пункты в качестве материальных точек с известным набором основных характеристик.

Однако, требования к программному обеспечению и специализированным службам, выдвигаемые организациями занятыми планированием ликвидации последствий землетрясений, требуют серьёзного расширения возможностей существующих систем проекта *QLARM*.

Если говорить предметно, то оценка последствий землетрясений согласно *QLARM* ведётся только с использованием европейской шкалы *EMS-98*. При помощи сервисов предусмотренных *QLARM* серьёзно затруднено проведение различных оценок не специалистами. Кроме этого, невозможно широкомасштабное предварительное зонирование территории, например, во время оценочных работ предшествующих строительству объектов. Также не предусмотрено формирование экспертных заключений относительно риска связанного с разрушением строений и поражением в них людей вследствие землетрясения, воздействующего на определённые и уже введённые в эксплуатацию здания.

Разработанная в *Informap LLC* графическая экспертная система *Imp.ITRIS*, включая возможности *QLARM*, в значительной степени ликвидирует обозначенные выше недостатки и делает возможным оценку последствий землетрясений в регионах, где используется *EMS-98* и/или *MMSK-92*.

В рамках *Imp.ITRIS* предусмотрены два режима задания данных, характеризующих землетрясение или использующих информацию об уже произошедших землетрясениях в проблемном регионе. Первый режим ("*Advance*") требует от пользователя наличия определенных знаний характерных для специалиста геофизика и/или сейсмолога. Второй режим ("*Simple*") максимально адаптирован к пользователям, не обладающим минимумом специальных знаний, но имеющим поверхностное представление о землетрясениях.

Необходимо заметить, что некоторым аналогом *Imp.ITRIS* является широко известная и повсеместно используемая система *Google Earth*. Не смотря на то, что целевое предназначение этих систем разное, возможности визуализации у них одинаковы.

В *Imp.ITRIS* после проведения экспертных вычислений, помимо ознакомления с полученной табличной информацией, возможно три графических режима просмотра результатов:

1. Показ населённых пунктов на фоне рельефа.
2. Цветовой показ областей.
3. Комбинированный режим.

В *Imp.ITRIS* возможно графическое представление согласно моделям сейсмического воздействия *PGA* и интенсивности землетрясения. Для заданного набора интенсивностей землетрясения возможен расчёт соответствующих эпицентральных радиусов (и наоборот) и их графическое и табличное представление. В рамках работы с табличными данными происходит формирование Excel-таблиц, содержащих всевозможную информацию относительно повреждения зданий и поражения в них людей.

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЙОНЕ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ALOS PALSAR

Д.В. Мельников

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский,
dvm@kscnet.ru*

Получены первые предварительные данные применения метода SAR-интерферометрии на основе данных спутника ALOS PALSAR для территории Ключевской группы вулканов (Камчатка). Этот район представлен сложным рельефом с перепадом высот около 4 км, вулканогенными отложениями (лавовые потоки, шлаковые поля, пирокластические отложения), мощными ледниками. Два вулкана из этой группы (Ключевской и Безымянный) являются наиболее активными. В качестве использования радарных данных и поиска деформаций рельефа наиболее интересен Безымянный вулкан, где происходит постепенный рост лавового купола, сопровождающийся 1-2 эксплозивными извержениями в год.

Радар L-диапазона (23,5 см) PALSAR установлен на спутнике ALOS, владельцем которого является Японское аэрокосмическое агентство JAXA. Данные PALSAR имеют пространственное разрешение от 10 до 100 метров и повторяющуюся съёмку каждые 46 суток. Для исследования были использованы 3 интерферометрические пары данных FBD с восходящей орбитой: 09.06.2007-25.07.2007, 25.07.2007-09.09.2007, 09.09.2007-25.10.2007. Когерентность этих пар различная. Наилучшая когерентность у пары 25.07.2007-09.09.2007, наихудшая у 09.09.2007-25.10.2007. Для всех трёх пар наилучшая когерентность представлена участками лавовых потоков Северного и Южного прорывов БТТИ (1975-1976 гг), наихудшие – области горных ледников и шлаковых отложений. Две интерферометрических пары (09.06.2007-25.07.2007, 25.07.2007-09.09.2007) показывают деформации в пределах нескольких сантиметров в районе лавового купола вулкана Безымянный. Более детальные оценки степени деформаций затруднены, т.к. некоторые участки купола являются некогерентными на интерферометрических данных. На интерферометрической паре 09.09.2007-25.10.2007 мы не видим деформаций в районе вулкана, данные некогерентны. Вероятно, это связано с тем фактом что 14-15 октября 2007 г. произошло эксплозивное извержения Безымянного и как следствие часть купола претерпела быстрые, значительные изменения, что и явилось источником некогерентности данных. Использование интерферометрических пар с большими временными интервалами (например, 25.07.2007-25.10.2007) показали очень низкую когерентность.

Таким образом, можно сделать вывод, что при ряде условий использование радарных данных для анализа деформаций вулканов Ключевской группы является возможным. Однако, мы столкнулись с проблемой получения когерентных данных связанных с особенностями рельефа района и различными типами подстилающей поверхности (снег, ледники, шлаковые отложения, интенсивные процессы денудации).

ГЛУБИННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ РАЙОНА ПУНКТА КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ «КАРЫМШИНА» (КАМЧАТКА) ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Ю.Ф. Мороз, Т.А. Мороз

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, morozyf@kscnet.ru

В пункте «Карымшина» ведутся многолетние наблюдения вариаций электротеллурического поля Камчатским филиалом Геофизической службы РАН. Наряду с электротеллурическим полем осуществляется регистрация вариаций геомагнитного поля Институтом космических исследований распространения радиоволн. Эти данные дают возможность получить представление о структуре электропроводности земной коры и верхней мантии в районе наблюдений. Для изучения глубинной электропроводности использованы синхронные временные ряды вариации электротеллурического и магнитного полей длительностью полгода с дискретностью 1 с. Расчеты выполнены с помощью специальной программы. Кривые МТЗ получены в диапазоне периодов от 64 – 10000 с. Полярные диаграммы импедансов свидетельствуют о двумерно-неоднородной геологической среде. Большая ось диаграмм основного импеданса (ось однородности среды) ориентирована примерно вкрест простирания восточного побережья Камчатки. Уже на первоначальном этапе анализа можно предположить, что в электротеллурическом поле могут быть выражены эффекты, связанные с влиянием локальных и региональных геоэлектрических неоднородностей среды. Оценка влияния локальных геоэлектрических неоднородностей выполнена путем сравнительного анализа кривых, полученных с использованием измерительных линий различной длины. Результаты показали, что амплитудные кривые заметно расходятся по уровню сопротивлений, а фазовые кривые совпадают. Это свидетельствует о влиянии гальванических эффектов. Для дальнейшего анализа использованы средние кривые. Они были дополнены значениями кажущихся электрических сопротивлений по данным зондирования в более высокочастотной области, полученным в прошлые годы в районе пункта «Карымшина». Обобщенные кривые, ориентированные вдоль Камчатки, будем называть продольными, поперек Камчатки – поперечными. Продольная и поперечная кривые МТЗ существенно различаются по форме и уровню сопротивлений. Различие свидетельствует о влиянии берегового эффекта. Он изучен с помощью трехмерного численного моделирования. Установлено, что эффект проявляется на периодах более 100 с. Из-за действия эффекта поперечная кривая имеет крутую восходящую асимптотическую ветвь, не отражающую изменение электропроводности с глубиной. Продольная кривая в диапазоне периодов 100 – 700 с согласуется с локально-нормальной кривой, характеризующей изменение геоэлектрического разреза с глубиной. Однако, она, начиная от периода 100 с, отклоняется от локально-нормальной кривой в сторону уменьшения сопротивления, что связано с влиянием индукционного эффекта. Выявленные особенности в поведении продольных и поперечных кривых использованы для интерпретации экспериментальных кривых кажущегося электрического сопротивления.

В основу формальной интерпретации МТЗ положена продольная кривая МТЗ, которая в меньшей мере подвержена влиянию берегового эффекта. Результаты интерпретации следующие. Суммарная продольная проводимость осадочно-вулканогенного чехла 25См, глубина залегания корового проводящего слоя 20-30 км, проводимость корового слоя – 3000 См, глубина залегания астеносферного проводящего слоя – 200-300 км. Эти параметры могут быть неточными, так как уровень кривой зависит от влияния локальной геоэлектрической неоднородности. Существует ряд редукиций для нормализации кривых МТЗ. В нашем случае можно воспользоваться редукицией, предусматривающей совмещение нисходящей низкочастотной правой ветви кривой МТЗ со стандартной кривой кажущегося электрического сопротивления. В результате редукиции кривая МТЗ смещается вверх по уровню сопротивлений. Это приводит к увеличению глубины залегания корового слоя до 40 км и к варианту модели без астеносферного проводящего слоя, что находится в противоречии с выполненными нами ранее исследованиями. Поэтому для уточнения модели необходимы дополнительные исследования МТЗ и МВЗ. Полученные кривые до редукиции и после редукиции однозначно свидетельствуют, что литосфера содержит крупную проводящую поперечную зону, которая, по-видимому, связана с глубинным разломом, находящим отражение в геофизических полях. Природа проводящей зоны может быть связана с наличием гидротермальных растворов и магматических расплавов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБСЕРВАТОРИЯХ «МАГАДАН» И «ПАРАТУНКА»

Ю.Ф. Мороз¹, Т.А. Мороз¹, С.Э. Смирнов²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, morozyf@kscnet.ru

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка,
Камчатский край

Мониторинг вариаций геомагнитного поля дает возможность получить информацию об электропроводности земной коры и верхней мантии и поведении ионосферного, магнитосферного источника. В основу исследований положены данные геомагнитного мониторинга в обсерваториях «Паратунка» (Камчатка) и «Магадан». Расстояние между обсерваториями 870 км. Регистрации вариаций геомагнитного поля составляющих H, D, Z осуществляется синхронно с дискретностью 1 с. Для анализа использованы данные непрерывных наблюдений в 2007 – 2008 гг.

Геоэлектрическая неоднородность среды в каждом пункте изучена с помощью передаточной функции между вертикальной и горизонтальными составляющими геомагнитного поля (магнитного типпера). По компонентам типпера определены вещественные и мнимые индукционные стрелки. Величина и направление индукционных стрелок отражает наличие латеральных и вертикальных геоэлектрических неоднородностей среды. В «Паратунке» величина вещественных индукционных стрелок в несколько раз больше, чем в «Магадане». Это свидетельствует о более сильном береговом эффекте на Камчатке. Максимальные стрелки отмечаются на периоде около 6000 с, что связано с насыщением электрическим током глубоководного желоба. В высокочастотной области поведение стрелок связано со сложными очертаниями береговой линии и другими геоэлектрическими неоднородностями. В области низких частот происходит возрастание мнимых стрелок и уменьшение вещественных, что обусловлено влиянием Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов. В «Магадане» максимум вещественных индукционных стрелок проявляется на периоде 1000 с, так как глубины Охотского моря в этом районе в несколько раз меньше, чем в глубоководном Курило-Камчатском желобе. Величина стрелок в максимуме не более 0.15, что свидетельствует об относительно слабом береговом эффекте по сравнению с обсерваторией «Паратунка».

Данные мониторинга вариаций геомагнитного поля за 2007-2008 гг. в «Паратунке» и «Магадане» дают возможность изучить динамику поведения векторов индукции, характеризующих электропроводность геологической среды до глубин в первые сотни км и более. Анализ показал, что типпер более устойчиво определяется на временном интервале равным 5 суткам. При этом когерентность вариаций геомагнитного поля должна быть не менее 0.8. В результате расчетов получены временные ряды модулей вещественной и мнимой индукционных стрелок и их азимутов на периодах от первых сотен секунд до 100000 с. В «Паратунке» и «Магадане» в поведении магнитного типпера одновременно проявились годовые вариации, что свидетельствует о их связи с единым источником геомагнитного поля. Годовые вариации выражены в различной мере в поведении и величине вещественных и мнимых стрелок в зависимости от периода вариаций, что указывает на влияние геоэлектрических неоднородностей среды в пунктах наблюдений. В результате анализа выявлены основные особенности в поведении типпера, которые могут быть использованы для изучения динамики электропроводности геологических сред.

Наряду с магнитным типпером изучен магнитный тензор – передаточная функция между горизонтальными составляющими вариаций геомагнитного поля между обсерваториями «Паратунка» и «Магадан». Магнитный тензор является менее чувствительным к наличию геоэлектрических неоднородностей среды по сравнению с магнитным типпером. В первом приближении мониторинг магнитного тензора дает представление о поведении внешнего источника вариаций геомагнитного поля. Анализ показывает, что в поведении компонент геомагнитного тензора слабо или почти не выражены годовые вариации. Это показывает, что в годовых вариациях магнитного типпера основной вклад вносит вертикальная составляющая вариаций геомагнитного поля. Следует отметить, что компоненты магнитного тензора определяются более устойчиво, чем составляющие магнитного типпера. Дисперсия значений основных компонент тензора составляет первые проценты. Поэтому, можно полагать, что источник магнитных вариаций в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан» является единым. Важно отметить, что в поведении магнитного типпера и тензора проявляются аномальные изменения, превышающие дисперсию в несколько раз. Данные изменения можно связать с сильными землетрясениями с $M > 6$. Однако, однозначно судить о такой связи на протяжении двухлетних наблюдений преждевременно. Необходимы более длительные синхронные наблюдения вариаций геомагнитного поля и глубокое изучение основных особенностей поведения магнитного типпера и тензора.

ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМНОЙ КОРЫ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Р.А.Пашаян

Институт геологических наук НАН РА, г.Ереван, Армения, romella.pashayan@geology.am

Гидрогеодинамический мониторинг земной коры, созданный в Гарнийской Геофизической обсерватории с целью изучения геодинамических процессов земной коры, а также оценки напряженно-деформированного состояния во времени в разных участках сейсмоактивных зон, включают данные по уровню вод гидрогеодинамических скважин региона, сейсмический режим, а также геохимию подземных вод. Область исследования включает всю территорию Армении. Северная часть Армении характеризуется активной тектоникой и сильной сейсмической активностью (Спитак 88).

Армянское нагорье, расположенное между Иранским и Анатолийским аналогичными структурами СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ простирается и разделенное Транскавказской зоной разломов, слагает вогнутую на север дугообразную, линзообразную структуру. Структурный план развития современных тектонических движений вырисовывается расположением эпицентров сильных землетрясений вдоль Раздан-Паракарского, Ереванского и Азатского разломов, слагающих Азатский палеотектонический узел. Здесь циклично повторяются олигоцен-миоценовые и современные тектонические движения.

Изучение деформаций земной коры региона с использованием системы GPS проводилось в Армении на уровне локальной сети мониторинга. По данным мониторинга за 2002 год скорости горизонтальных смещений земной коры имеют следующие средние значения: в северной части региона – 7.0 мм/год, в центральной – 9.0 мм/год, южной – 12 мм/год в направлении на СВ. Из этого следует, что скорость горизонтального смещения земной коры региона увеличивается с СВ на ЮВ. Эти данные сопоставлены с сейсмическим режимом региона, в частности, с количеством произошедших землетрясений за этот период. Наибольшее количество сейсмических событий имело место в северной и центральной частях региона, что, возможно, повлияло на разрядку напряжения и, соответственно, уменьшение скорости деформации на указанных участках региона. На юге региона, возможно, происходят накопление напряжения и увеличение деформации.

Гидрогеодинамические наблюдения ведутся по уровню подземных вод гидрогеодинамических скважин, расположенных в сейсмоактивных точках региона, гидрогеохимия приводится по режимным наблюдениям подземных вод Гарнийского полигона.

Общая картина деформационно-напряженного состояния территории по годам определялась по вычисленным значениям деформации вокруг каждой гидрогеодинамической скважины, исходя из количества сейсмических событий произошедших за это время. Для сейсмических событий каждого года составлялись таблицы значений расчетных деформаций, имеющих место вблизи гидрогеодинамических скважин в зависимости от эпицентрального расстояния.

Оценка напряженно-деформированного состояния в разных участках сейсмоактивного региона Армении дана по результатам гидрогеодинамического мониторинга, вариациям сейсмического режима и современным движениям земной коры. Построенные карты линий равных значений деформаций по данным уровней вод гидрогеодинамических скважин региона отражают геодинамические движения земной коры в виде локальных напряженных точек (сжатия или растяжения). Среди изученных гидрогеодинамических компонентов в качестве краткосрочных предвестников землетрясений, предварительно, отмечается углекислый газ, хлор, сульфат-ион и pH (карбонатное равновесие).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГЛУБИН ГИПОЦЕНТРОВ САХАЛИНСКИХ КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.А. Поплавский, Л.Н. Поплавская, Т.А. Фокина

Сахалинский филиал Геофизической Службы РАН, г.Южно-Сахалинск, poplavsky@seismo.sakhalin.ru

Распределения глубин гипоцентров коровых Сахалинских землетрясений изучались с использованием каталога землетрясений, составленного коллективом авторов, охватывающего период в 100 лет с 1905 по 2005 гг., а также выборки за 1995 – 2002 гг. из стандартного ежегодного каталога СФ ГС РАН землетрясений, фокальные глубины которых оценивались по разностям моментов вступлений фаз pP , sP и P .

Первый каталог содержит данные о 3566 событиях, второй – о 743 (включая глубокофокусные землетрясения с эпицентрами в заливе Анива).

Установлено, что форма исследуемых распределений в сильной степени зависит от тяготения интерпретаторов к целым и полуцелым десяткам километров при оценке глубины фокуса землетрясения. Сравнение распределений построенных, по двум упомянутым выборкам показало, что вторая из них заметно слабее подвержена указанному недостатку.

Установлено также, что дисперсия оценки фокальной глубины близка к дисперсии случайной ошибки метода ее определения.

Главная особенность распределения фокальных глубин в данном регионе хорошо известна специалистам: основная масса гипоцентров концентрируется в земной коре на глубинах 0 – 20 км и 200 – 600 км (залив Анива). Толща 20 – 200 км асейсмична.

Другая особенность исследованных распределений состоит в том, что, судя по нормированным (к единице) распределениям относительно сильных ($M \geq 5,5$) и относительно слабых ($M < 5,5$) коровых землетрясений, они концентрируются на различных глубинах: сильные – на глубинах около 15 км, слабые – на глубинах около 8 – 10 км. Этот вывод подтверждается зависимостью максимальной магнитуды землетрясения от глубины фокуса, которая имеет максимум на глубине ~ 18 км. Названная зависимость до глубин ~ 20 км близка к обратной зависимости (Н. В. Шебалина) вертикального размера макросейсмического очага от магнитуды. Сказанное свидетельствует о том, что прочность на сдвиговое разрушение геологической среды на о-ве Сахалин растет с ростом глубины на интервале ~ 5 – ~ 20 км.

Случайная ошибка в оценке глубины гипоцентров коровых землетрясений Сахалина находится в пределах 0 – 22 км (и средним значением 6 км) в первом из названных каталогов и в пределах 0 – 6 км (и средним значением 2 км) – во втором. При разделении второй из исследованных выборки на два класса со случайной ошибкой $\delta h \geq 4$ км (землетрясения первого класса) и – $\delta h < 4$ км (землетрясения второго класса), распределения фокальных глубин также заметно различаются. Фокальные глубины землетрясений имеющих случайную ошибку $\delta h \geq 4$ км концентрируются на больших глубинах.

Сделан вывод о существовании в пределах Сахалинской зоны по крайней мере двух сеймопродуктивных слоев (разделенных асейсмическим слоем толщиной ~ 5 км), причем гипоцентры сильнейших из них принадлежат более глубоко залегающему слою.

ТЕОРИЯ БОЛЬШИХ СИСТЕМ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

В.В. Прелов

Институт Машиностроения им. А.А.Благонравова РАН, г.Москва, prelov@iitp.ru

Многочисленные научные наблюдения за катастрофическими процессами давно привели ученых к мысли о том, что в сигналах, возбуждаемых в очаге будущего события, в той или иной степени должна содержаться информация о нем, т.е. должна существовать упорядоченная система курсоров или предвестников, передаваемых по различным информационным каналам, сопровождающим этот процесс.

Попытки идентификации состояния среды посредством обработки числовых потоков геофизических данных, – например, сейсмических шумов, – начали разрабатываться сравнительно давно. Однако, приемлемой для практики точности предсказания угроз катастрофических землетрясений, извержений вулканов или волн цунами, так и не было получено, так как не были выявлены сопутствующие признаки, содержащие надежные характеристики динамики процесса зарождения такого фатального события. В конце XX в. данная проблема была признана безнадежной. В начале XXI в. ситуация принципиально нова. Возросли возможности сбора, хранения и обмена информацией. Это определяет новый горизонт проблем и подчеркивает необходимость возобновить и ускорить, с учетом вновь открывающихся перспектив, разработку инновационных методик краткосрочного прогнозирования сейсмических событий и ввести в опытную эксплуатацию новые программные комплексы по мониторингу и раннему оповещению о возможности и вероятности наступления сейсмических событий.

В нашей работе мы изучаем состояние геофизической системы по потоковым данным сейсмического мониторинга с учетом некоторых результатов и моделей теории больших систем. Намечаются стартовые ориентиры и погрешности результатов.

Например, возможность динамической визуализации тренда заполнения «поверхности катастроф», дрейфа моды магнитуд, или трассировки параметра эффективности – стохастического осциллятора больших систем – позволяет заменить сложные для толкования, анализа и диагностики различного рода «фрактальные показатели» (параметр Херста, энтропия Колмогорова-Синяя или Реньи) на простые и наглядные индикаторы состояния среды в реальном масштабе времени.

Наш подход позволяет свести задачу идентификации состояния среды, состоящей из большого числа взаимодействующих компонент, к изучению в режиме реального времени некоторых специально подобранных интегральных компонент нашей системы. В этом случае детали процесса динамики каждой из компонент не имеют решающего влияния на коллективное поведение всей системы и задача принципиально упрощается, т.к. основной характеристикой системы становится вероятностное описание лишь той части компонент, которые обладают определенным свойством. Так, например, можно обосновать и принять в качестве одного из курсоров показатель концентрации Rn-ионов, обладающий свойством роста до обоснованной автором величины, лежащей между двумя фундаментальными константами – $1/e$ и числом Фидия.

Автор выражает свою благодарность чл.-корр. РАН Махутову Н.А. и директору Камчатского филиала Геофизической Службы РАН Чеброву В.Н. за внимание к изучаемой проблеме и предоставленные данные по сейсмическому мониторингу Камчатского региона России.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОНЧ/НЧ НАБЛЮДЕНИЙ НА САХАЛИНЕ

А.А. Рожной¹, М.С. Соловьева¹, В.Б. Гурьянов²

¹*Институт Физики Земли РАН, г. Москва, rozhnoi@ifz.ru*

²*Институт Морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, volcano@imgg.ru*

С 2000 года на Дальнем Востоке развернута сеть ОНЧ/НЧ принимающих станций, которая состоит из приемника в Петропавловске-Камчатском и шести японских приемников. Целью наблюдений является выявление локальных возмущений в атмосфере и ионосфере, связанных с землетрясениями, извержениями вулканов и цунами на фоне глобальных процессов, вызванных атмосферной циркуляцией, солнечной активностью и магнитными бурями. Для локализации места готовящегося землетрясения необходимо иметь приемники с пересекающимися трассами. При этом важно принимать сигналы от одних и тех же передатчиков на всех приемниках, входящих в сеть. С этой целью в институте Морской геологии и геофизики ДВО РАН в городе Южно-Сахалинске в апреле 2009 г. был установлен приемник нового поколения, который дает возможность регистрировать одновременно амплитуду и фазу двенадцати MSK модулированных сигналов. Кроме этого, за счет использования современного программного обеспечения, появилась возможность оперативно получать информацию через интернет, что отсутствовало в более ранних версиях этого типа приемников. Первые результаты ОНЧ/НЧ наблюдений на Сахалине показали хорошую и стабильную работу всего приемного комплекса.

Результаты анализа суточных и сезонных вариаций сигналов от различных передатчиков, принимаемых в Южно-Сахалинске, были сопоставлены с результатами наблюдений в Петропавловске Камчатском.

МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ

В.А. Салтыков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

Актуальность разработки методики оценки уровня сейсмичности для конкретных сейсмоактивных областей не вызывает сомнений. Такие оценки полезны как для специалистов-сейсмологов, так и для административных структур, МЧС и т.д., и даже для населения. Учитывая широкий диапазон потребителей такой информации, используемые градации должны иметь, с одной стороны, интуитивно понятный смысл, а с другой - их определение должно опираться на количественные характеристики сейсмического процесса.

Формализация данной процедуры позволит избежать ряда неоднозначностей при оценке и сравнении сейсмического режима различных пространственно-временных объемов. Например, при составлении заключений о состоянии или прогнозе сейсмической обстановки многие исследователи используют понятие «сейсмического фона». Как правило, определение «сейсмического фона» не приводится, что ведет к недоразумениям при использовании таких заключений.

Другая проблема связана с выбором параметра, характеризующего уровень сейсмичности. Представляется, что использование абсолютных параметров, например, таких как активность A_{10} , выделившаяся сейсмическая энергия E и т.д., не является оправданным по ряду причин.

Предлагается для характеристики уровня сейсмичности конкретной пространственно-временной области использовать эмпирическую функцию распределения суммарной выделившейся сейсмической энергии E : $F(K) = P(\lg E \leq K)$. Тогда, задавая пороговые значения F и зная выделившуюся энергию E , мы можем сделать заключение о повышенной либо пониженной активности региона. Отметим, что расчет широко известных статистических параметров, таких как математическое ожидание и дисперсия, не может использоваться для энергии (или ее логарифма – энергетического класса), так как их распределение не относится к «красивым» распределениям, для которых аналогичный вывод можно было бы сделать, используя известные статистические критерии, без построения эмпирической функции распределения.

Используя набор функций распределения F для различных временных интервалов можно получить зависимость любого квантиля распределения энергии $K(F)$ от временного окна ΔT . В качестве опорных квантилей предлагается использовать $K(0.995)$, $K(0.975)$, $K(0.85)$, $K(0.15)$, $K(0.025)$, $K(0.005)$. Полученная номограмма позволяет дать качественную оценку сейсмического режима в любой конкретный отрезок времени (T_1 , T_2).

Предлагается следующая шкала уровней сейсмичности:

- экстремально высокий – $K(0.995) < \lg E$,
- высокий – $K(0.975) < \lg E < K(0.995)$,
- фоновый – $K(0.025) < \lg E < K(0.975)$,
- низкий – $K(0.005) < \lg E < K(0.025)$,
- экстремально низкий – $\lg E < K(0.005)$.

Согласно такой градации в 95% случаев сейсмичность находится на фоновом уровне. При необходимости его можно разбить на три подуровня:

- фоновый (пониженный) – $K(0.025) < \lg E < K(0.15)$,
- фоновый (средний) – $K(0.15) < \lg E < K(0.85)$,
- фоновый (повышенный) – $K(0.85) < \lg E < K(0.975)$.

Данная методика имеет определенные ограничения применения, связанные с нижним уровнем энергии используемых землетрясений, с величиной анализируемого временного интервала и с длительностью каталога землетрясений.

Из анализа возможностей использования предложенной методики для Камчатской сейсмоактивной зоны на базе регионального каталога Геофизической службы РАН сделаны следующие выводы:

- представительность камчатского каталога позволяет оценивать уровень сейсмичности региона в целом во временном окне до 7 суток;
- для Камчатки возможно получать адекватные оценки уровня сейсмичности для временного окна более 1 год по данным Службы срочных донесений (ССД);
- оценки, сделанные по оперативным данным, соответствуют полученным по окончательному каталогу.

ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ В 2007-2008 ГГ.

В.А. Салтыков, Н.М. Кравченко

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

На основе региональных каталогов камчатских землетрясений дана общая характеристика сейсмичности Камчатки в 2007-2008 гг. и построены площадные распределения параметров фоновой сейсмичности. В комплекс рассматриваемых характеристик входят общая выделявшаяся сейсмическая энергия, активность A_{10} , наклон графика повторяемости γ , параметры методик RTL , ΔS и Z -тест, кластеризация землетрясений.

Оценки сейсмичности были сделаны для района, ограниченного широтой $\varphi=50.5^{\circ}N$ и $56.5^{\circ}N$, долготой $\lambda=156.0^{\circ}E$ и $167.0^{\circ}E$, глубиной от 0 до 300 км.

Общая выделявшаяся сейсмическая энергия составила $6.9 \cdot 10^{13}$ Дж в 2007 г. и $1.5 \cdot 10^{14}$ Дж в 2008 г. при среднегодовом (за 47 лет) значении $6.1 \cdot 10^{14}$ Дж и медианном годовом значении $1.7 \cdot 10^{14}$ Дж. Иными словами, в 2007 г. наблюдался пониженный уровень сейсмичности (в 80% случаев годовая сейсмическая энергия превышала эту величину), сейсмическая энергия, выделявшаяся в течение 2008 г., близка к медианному значению, ее вероятность составляет 0.47 ± 0.07 .

Наклон графика повторяемости γ в 2007 г. равен 0.52 ± 0.02 , в 2008 г. - 0.54 ± 0.02 , что соответствует в пределах двойной ошибки определению среднееголетнему значению 0.497 ± 0.002 . Средняя по исследуемому району активность A_{10} в 2007 г. составила 0.250 ± 0.008 , в 2008 г. - 0.262 ± 0.008 при среднееголетнем значении 0.282 ± 0.001 . Таким образом, в целом активность региона в 2007 г. была ниже среднего уровня почти на 15%. Однако это различие не является существенным, поскольку среднеквадратичное отклонение по выборке среднегодовых значений A_{10} составляет 0.03, т.е. $\approx 10\%$.

Построены площадные распределения параметров γ и A_{10} в 2007-2008 гг., согласно которым повышенные значения γ отмечены в северной части сейсмоактивной зоны, в районе Кроноцкого залива, Кроноцкого полуострова и прилегающей акватории, а наибольшая сейсмическая активность наблюдалась в северной части Авачинского залива, в районе мыса Шипунский.

Построены карты относительных значений A_{10} и нормированной вариации γ , полученных на каталоге за 2007-2008 гг. и многолетнем каталоге. Из анализа карт A_{10} следует, что в 2007 – 2008 гг. наибольшая относительная сейсмическая активность наблюдалась в северной части региона, в районе острова Беринга, Камчатского залива, Кроноцкого полуострова. В районе Кроноцкого полуострова выделяется также область статистически значимого уменьшения γ .

Применение методик RTL и Z -тест позволяет выделить в сейсмическом режиме отдельных пространственных областей временное уменьшение уровня сейсмичности - сейсмическое затишье. Аномалии сейсмического затишья, выделенные по параметру RTL на юге и востоке камчатской сейсмоактивной зоны, закончились в 2008 году, а аномалия, расположенная в Камчатском заливе, нарастала в течение всего этого года. Интерес представляли также области значительного уменьшения скорости сейсмического потока, выделенные с помощью Z -теста в южной части сейсмоактивной зоны и восточнее Кроноцкого полуострова, частично перекрывающиеся с RTL -аномалиями. Следует отметить также, что эпицентры трех наиболее сильных ($M \geq 5.9$) землетрясений 2008 г. приурочены к выделенным аномалиям сейсмических затиший.

Сейсмическая активность по параметру ΔS в 2007 г. наиболее значительно проявилась в акватории Кроноцкого полуострова, в непосредственной близости к завершившейся аномалии по параметру RTL . А область повышенных значений ΔS 2008 г. на юге Камчатки граничит с завершившейся южной RTL -аномалией.

Образование кластеров землетрясений может свидетельствовать о стягивании активности к месту будущего макроразрыва. Кластеры, выделенные в 2007г. в исследуемой области Камчатки, распределены достаточно равномерно. Следует отметить, что в 2007 г. не обнаружены кластеры с энергетическим классом главного события K более 11.5. Кластеры 2008 г. разделяются визуально на две цепочки: южная часть кластеров согласуется с обеими зонами сейсмической активизации по параметру ΔS , а цепочка кластеров, расположенная на севере сейсмоактивной зоны, приходится на границу развивающейся сейсмической аномалии по параметру RTL .

Наблюдающаяся пространственная корреляция поведения A_{10} и γ с результатами RTL , ΔS и Z представляет интерес при разработке комплексной оценки сейсмической обстановки.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ВУЛКАНА КОРЯКСКИЙ В 1966-2009 ГГ.

С.Л. Сеньюков, И.Н. Нуждина, С.Я. Дрознина

Камчатский Филиал Геофизической Службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

Действующие вулканы Корякский ($53^{\circ} 19'$ с.ш., $158^{\circ} 43'$ в.д., абсолютная высота вершины - 3456 м) и Авачинский расположены на удалении 25-30 км от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово. В связи с существующей вероятностью возможного катастрофического извержения в виде взрыва или обвала склона они представляют наибольшую потенциальную опасность для населения Камчатки.

Первая сейсмическая станция в районе Авачинско-Корякской группы вулканов была установлена в 1961 г. За период детальных сейсмологических наблюдений повышение сейсмической активности в районе вулкана Корякский регистрировалось в августе 1966 г., весной 1994 г. и в 2008-2009 гг.

Первые две сейсмические активизации не сопровождалась усилением вулканической деятельности, наблюдалась только фумарольная активность. В период последней активизации вулкана, начавшейся в марте 2008 г. и продолжающей наблюдаться до настоящего времени (май 2009 г.), были отмечены парогазовые выбросы с содержанием пепла резургентного состава. Пепел в выбросах фиксировался с конца декабря 2008 г. по май 2009 г.

Результаты детального ретроспективного анализа сейсмичности вулкана Корякский позволят в будущем делать более обоснованные оценки его опасности на основе накопленного опыта.

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ В 60-х гг. XX в. – НАЧАЛЕ XXI в. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМИ СОВЕТАМИ

Ю.К. Серафимова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, yulka@emsd.ru

На Камчатке исследования по прогнозу землетрясений были начаты в 60-х гг. XX в. в Институте вулканологии (ИВ) и продолжаются до настоящего времени в рамках различных специализированных советов. Основу работы советов составляют результаты обработки и интерпретации данных комплексных сейсмологических, геофизических и других видов наблюдений. С 1961 г. на Камчатке проводятся детальные сейсмологические наблюдения. С 70-х гг. XX в. здесь развиваются и другие виды наблюдений (светодальномерные, гидрогеохимические, гидродинамические и др.), а также методы анализа сейсмичности, направленные на поиск предвестников землетрясений.

В мае 1978 г. в ИВ был создан Совет по прогнозу землетрясений и извержений вулканов, непрерывная работа которого продолжается более 30 лет. С 2004 г. этот Совет называется общим Советом Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН и Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов.

Развитие системы комплексных наблюдений на территории Камчатки в 80-90-х гг. XX в. привело к тому, что в ряде научных коллективов (ИВ, КФ ГС и др.) и отдельными учеными проводились исследования, направленные на поиск предвестников землетрясений. Возникла необходимость объединения этих усилий в рамках одной программы, работающей на основную цель – прогноз землетрясений. В 1994 г. распоряжением Губернатора Камчатки был создан Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности (КЦМСиВА) при Администрации Камчатской области. Для решения вопросов прогнозирования землетрясений и текущей оценки сейсмической опасности в августе 1995 г. в рамках Межведомственного научно-технического экспертного совета при КЦМСиВА (МНТЭС) была создана постоянно действующая рабочая экспертная группа, включающая экспертов по различным видам наблюдений. Эта группа работала с 1994 по конец 1997 гг.

В 1998 г. было учреждено Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ) как структурное подразделение Геофизической службы РАН. КамО ФЦПЗ успешно функционировало до февраля 2006 г. В соответствии с Положением о Российском экспертном совете по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (РЭС), утвержденным Совместным решением РАН и МЧС РФ от 15 марта 2003 г, было предусмотрено создание Камчатского филиала РЭС (КФ РЭС) на базе КФ ГС РАН и ИВиС ДВО РАН. В феврале 2006 г. КамО ФЦПЗ было реорганизовано и продолжает работу по настоящее время в качестве КФ РЭС.

Основными достижениями деятельности Совета ИВ являются успешные долгосрочные прогнозы сильнейших Курило-Камчатских землетрясений 1971-1975 гг., Южно-Курильской серии землетрясений 1978 г., $M=8$, Шикотанского землетрясения 04.10.1994 г., $M=8.2$ и Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., $M=7.9$, а также среднесрочные прогнозы землетрясения 18.08.1983 г. в Камчатском заливе (M около 7), серии землетрясений с M порядка 6 в Авачинском заливе в 1980 г. Рабочей экспертной группой при КЦМСиВА были успешно спрогнозированы два землетрясения с магнитудой около 7: 21.06.1996 г. и 16.07.1996 г. Ретроспективный анализ показал, что при своевременном поступлении информации об аномалиях и предвестниках не было бы пропущено и третье землетрясение 1996 г. с $M \sim 7$ – 01.01.1996 г.

В 1998 – 2008 гг. в Камчатском регионе произошло 22 землетрясения с магнитудой $M \geq 6.0$. Перед 17-ю землетрясениями были даны реализовавшиеся среднесрочные прогнозы по отдельным видам наблюдений, либо были выявлены предвестники в реальном времени и/или ретроспективно.

Анализ работ по прогнозированию землетрясений специализированными советами показывает, что уровень сейсмопрогностических работ на Камчатке пока не соответствует требованиям выдачи социально значимого средне-краткосрочного прогноза для административных органов. Тем не менее, развитие наблюдательных сетей, разработка различных методов обнаружения предвестников землетрясений и методик прогнозирования, их комплексное использование и накопленный опыт работы специализированных советов увеличивают эффективность прогнозирования сильных камчатских землетрясений и направлены на выдачу социально значимого прогноза. В настоящее время на Камчатке существует реальная возможность среднесрочного прогнозирования землетрясений с магнитудами 6–7 и более.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СКОРОСТНОГО СТРОЕНИЯ ФОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ У БЕРЕГОВ КАМЧАТКИ ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Л.Б. Славина¹, Н.Б.Пивоварова¹, В.И.Левина²

¹Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, slavina@ifz.ru

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.ru

Представлены результаты расчетов трехмерного поля скорости Р-волн фокальной зоны землетрясений у берегов Камчатки (от 51.5⁰ северной широты – Авачинский залив – м. Шипунский – Кроноцкий, Камчатский заливы – о. Беринга).

Исследования трехмерного поля скорости проводились на основе исходных данных о параметрах гипоцентров и временах пробега сейсмических Р-волн от региональных землетрясений, зарегистрированных цифровыми телеметрическими сейсмическими станциями и обработанных Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН).

Расчеты поля скорости проводились по методике обращенной волны, позволяющей восстанавливать скоростную структуру поля внутри области концентрации очагов землетрясений.

Полученные результаты восстановленного поля скорости представлены в виде карт-срезов для определенных интервалов глубин и разрезов вкрест и вдоль фокальной зоны.

Рассчитанные карты–срезы, скоростные разрезы вкрест и вдоль Камчатской фокальной зоны свидетельствуют о сложной и неоднородной структуре поля скорости Р-волн у берегов Камчатки. Значительные различия в строении среды по полю скоростей выявлены для Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов. Особое место занимают полуостров Шипунский и его подводное продолжение, а также Камчатский пролив – область сочленения Камчатской и Алеутской островных дуг.

Наблюдаются области высоких и низких значений скоростей. Для таких форм рельефа дна, как Авачинская, Кроноцкая и Камчатская котловины, на глубине характерны разнонаправленные изменения значений поля скорости – погружение до не свойственных глубин этим значениям низких скоростей и одновременно подъем высоких, т.е. движение масс навстречу друг другу. Для этих областей характерен высокий градиент изменения поля скорости.

Можно предположить, что области резко градиентных зон могут быть ассоциированы с разрывными нарушениями, к которым в свою очередь, могут быть приурочены сильные землетрясения.

Интерпретация полученных особенностей поля скорости проведена с учетом строения дна прикамчатских акваторий и карты новейшей тектоники по Н.И. Селиверстову.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА ПО GNSS ДАННЫМ

Н.Н. Титков¹, А.В. Ландер², В.Е. Левин¹

¹Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, nik@emsd.iks.ru

²Международный Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г.Москва, land@mitp.ru

Развитие глобальных навигационных систем (GNSS) GPS/GLONASS позволило эффективно применять методы Космической геодезии для высокоточного определения положений пунктов наблюдений в глобальном масштабе. Наблюдения GNSS являются прямым способом получения фактического материала для регистрации современных движений земной коры и построения моделей тектоники плит. Камчатка и Командорские острова располагаются в области конвергентного сочленения трех крупнейших плит: Евразийской, Северо-Американской и Тихоокеанской. В окрестности «точки» тройного сочленения от Евразии и Северной Америки обособились две плиты среднего размера: Охотия и Берингия, а также ряд более мелких блоков. Большинство из них перемещаются с низкими (однако достаточными для возникновения заметной сейсмической активности) относительными скоростями (характерные значения 20 мм/год), сохраняя общие кинематические черты движения крупных материнских плит. Основные тектонические структуры Камчатки в течение длительного времени (около 40 млн лет) развиваются на восточной (тихоокеанской) окраине Охотской плиты. Северная часть Камчатского региона, включая Южную Корякию, располагается в широкой активной области сочленения Северо-Американской, Охотской и Берингийской плит.

Предоставляемые службой IGS (International GNSS Service) наблюдения с сотен постоянных станций распределенных по всему земному шару, дали возможность определить смещения пунктов региональной сети KAMNET, как относительно крупнейших Евразийской, Северо-Американской и Тихоокеанской плит, так и мировой сети. Приводятся данные современных движений сети KAMNET, определенные относительно специально отобранных пунктов удовлетворяющих требованию нахождения в зонах отсутствия существенных деформаций. Полученные таким способом относительные отчетные основы служат для анализа деформационного состояния и построения моделей движения региона.

Собранные Камчатской региональной сетью за последнее десятилетие представительные данные демонстрируют, что в масштабе времени первых лет движения региона не могут рассматриваться в рамках модели жестких плит и требуют учета деформационных составляющих. Наиболее отчетливо это проявляется в районе Центральной и Восточной Камчатки южнее ее сочленения с Алеутской дугой. Формальное разделение измеренного поля скоростей расположенных здесь станций GNSS на жесткую (движение региона в целом) и деформационную составляющую демонстрирует значительную роль последней. Характерные значения деформационных скоростей около 20 мм/год практически не отличаются от характерных для региона скоростей движения континентальных плит и от общей скорости перемещения Центральной Камчатки в системе ITRS. Деформации демонстрируют отчетливое преобладание сжатия по направлению СЗ-ЮВ, очень близкого к направлению быстрого относительного перемещения Тихоокеанской плиты. Таким образом, естественно связывать эти деформации со сцеплением нависающего камчатского крыла с Тихоокеанской плитой, погружающейся в зону субдукции. Наблюдаемые в пределах полуострова деформации сжатия означают, что влияние сил сцепления закономерно ослабевает от Восточной к Западной Камчатке. При редких сильных землетрясениях наблюдались быстрые перемещения станций сети в обратном направлении, в сторону Тихого океана. Эти движения, по-видимому, компенсируют деформации сжатия, накапливающиеся между сильными событиями. Однако время наблюдения пока недостаточно для оценки степени этой компенсации. Движения станций, расположенных севернее Алеутского сочленения, относительно «жесткой» Центральной и Восточной Камчатки не демонстрируют аналогичных деформационных закономерностей, что не удивительно, поскольку соответствующие районы относятся к границам других плит. В целом Центральная и Восточная Камчатка перемещается со скоростью около 30-35 мм/год относительно северных станций по направлению движения Тихоокеанской плиты. Отчетливо выражено перемещение Командорской микроплиты практически совпадающее с направлением движения Тихоокеанской плиты. Командорский блок находится в частичном сцеплении с Тихоокеанской плитой, однако заметно отстает от последней. Скорость сближения Командорских островов с Центральной Камчаткой (в рамках «жесткой модели») составляет более 30 мм/год, а с Евразией около 60 мм/год.

РЕГИСТРАЦИЯ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ОТ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА ПОЛУОСТРОВЕ КАМЧАТКА

П.П. Фирстов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, firstov@kscnet.ru

В течение последних 30 лет XX века высокая активность вулканов Камчатки (в. Шивелуч, в. Ключевской, в. Безымянный, в. Карымский) позволила получить обширную информацию о волновых возмущениях в атмосфере, сопровождающих извержения различного типа. На основании собственных экспериментальных и литературных данных проведена их феноменологическая классификация. За основную характеристику классов волновых возмущений приняты характерный диапазон частот и физические процессы, в результате которых происходит их генерация.

1. Аэродинамический шум (АШ) с частотой 20-1000 Гц возникает в результате аэродинамического воздействия потока дисперсионного материала на окружающую среду. АШ был зарегистрирован во время пульсирующего истечения пепло-газовой смеси при извержениях вулканского типа на Карымском вулкане в 1978 г. На расстоянии 3.6 км максимальная интенсивность АШ доходила до 90 дБ, что соизмеримо с шумом работающего реактивного двигателя. В качестве модельного объекта изучался АШ, возникающий при выпусках паро-водяной смеси (ПВС) из геотермальных скважин в атмосферу на Мутновском геотермальном месторождении. Найдены экспериментальные зависимости интенсивности АШ от расхода ПВС и изменения частотного спектра АШ в зависимости от паросодержания.

2. Импульсные акустические сигналы с частотой 1-10 Гц генерируются во время нестационарных процессов в кратерной зоне во время дегазации и фрагментации магмы при ее поступлении на дневную поверхность. Во время отдельных эксплозий вулкана Карымского зарегистрированы слабые ударно-воздушные волны, возникающие в результате процессов, сопровождающих фрагментацию вязкой лавы андезитового состава. При стромболианском типе извержений в. Ключевского в 1986-1989 гг. зарегистрированы воздушные волны, сопровождающие разрушение пузырей на поверхности базальтовой лавы.

3. Инфразвуковые колебания (ИК) с частотой 0.02-1 Гц возникают в результате сильных конвективных процессов, происходящих во время возникновения и формирования эруптивных облаков в результате выноса продуктов извержений и их отложений на дневную поверхность. ИК изучались при извержениях пелейского типа в. Безымянного в 1983-1986 гг., когда происходило формирование пирокластических потоков, во время схода которых регистрировались инфразвуковые колебания и сейсмический сигнал. Было показано, что турбулентные пульсации в восходящей конвективной колонке являются источниками ИК. В качестве модельного объекта в 1988 г. на Кавказе изучались ИК, возникающие во время схода сухих снежных лавин при их искусственном спуске. На основе полученных данных сделан вывод, что при движении гравитационного потока над его телом за счет турбулентного обмена с воздухом возникает облако, насыщенное тонкодисперсным материалом потока, которое является источником ИК. Интенсивность ИК определяется скоростью движения гравитационного потока в зоне транзита, а также температурой и газонасыщенностью материала потока.

4. Длинноволновые акустические возмущения (ДАВ) с частотой меньше 0.003 Гц регистрируются во время формирования мощной эруптивной колонки, которая иногда достигает тропопаузы. ДАВ сопровождали извержения типа «направленный взрыв» в. Безымянный 30 марта 1956 г. и в. Шивелуч 11 ноября 1964 г. Характерной особенностью ДАВ является глубокая фаза разряжения, которая связывается с конденсацией пара, поступающего в атмосферу во время извержений. Следует заметить, что в магме содержится до 6 % ювенильной воды, поэтому в вулканическом газе более 90% составляет перегретый пар.

Первые два класса связаны с процессом отделения летучих от поднимающегося по магматическому каналу силикатного расплава. Этот процесс сопровождается его фрагментацией с образованием раскаленных обрывков лавы и вулканического пепла. Вторые два класса связаны с образованием в атмосфере эруптивного облака в виде конвективной колонны с хорошо развитой турбулентностью, которая является источником инфразвуковых и длинноволновых возмущений в атмосфере.

**КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАМЧАТКИ И
КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.
(30 ЛЕТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КФ ГС РАН)**

Е.И. Гордеев ^{1,2}, В. Н. Чебров ¹

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский,
chebr@emsd.iks.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский

После разрушительных землетрясений в Газли (Узбекистан) 8 апреля и 17 мая 1976 года, землетрясения в Румынии (4 марта 1977 г.) в соответствии с Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 23.02.78 г. г., с Распоряжением Президиума АН СССР и приказом по Институту вулканологии в 1979 г. была создана Опытно-методическая сейсмологическая партия. С 1997 года - Камчатская опытнo-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН, а с 2005 г – Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН).

На основе, заложенной в 60-х и 70-х годах работами ИФЗ и ИВ ДВНЦ АН СССР, в результате плодотворной 30-ти летней деятельности КФ ГС РАН на территории Камчатки и Командорских островов обеспечен разномасштабный мониторинг сейсмической активности. Проводится регистрация сейсмических сигналов и геофизических полей, осуществляется, ведется поиск и исследование предвестников землетрясений и вулканических извержений. Организованы работы по обслуживанию и расширению сетей наблюдений, архивизации и хранению информации, разрабатывается необходимое программное обеспечение, выявляются корреляционные связи между геофизическими полями и сейсмическим режимом, исследуются параметры и структура геофизических полей с целью оценки сейсмической и вулканической опасности. Системы сбора, обработки, хранения и представления сейсмологической информации объединены корпоративной вычислительной сетью КФ ГС в единую структуру. Это позволяет эффективно проводить работы по исследованиям сейсмичности Камчатки и Командорских островов, вести поиск и изучение предвестников сильных землетрясений и извержений вулканов, обеспечивать данными наблюдений фундаментальные исследования других учреждений РАН.

Наблюдательные сети КФ ГС РАН в 2009 г. включают в себя: 49 сейсмических станций (11 стационарных, 37 радиотелеметрических); 22 (17 цифровых) станции для регистрации сильных движений; 18 постоянных станций по измерениям деформаций с применением спутниковых приемников GPS; 4 группы скважин и естественных источников подземных вод; комплексную российско-японскую геофизическую обсерватория «Карымшина»; пункты по регистрации радона, водорода и акустических сигналов; пункты по регистрации высокочастотных сейсмических шумов.

Дана характеристика созданной в КФ ГС РАН системы сбора, обработки и хранения сейсмологической информации, рассмотрены перспективы ее развития.

Представлены основные результаты долговременных детальных сейсмологических исследований и их практическое применение в области оценок сейсмической и вулканической опасности территории.

Рассмотрены работа системы комплексного мониторинга сейсмической и вулканической активности КФ ГС РАН в оперативном режиме, результаты которой имеют большое значение для уменьшения последствий сильных землетрясений, извержений вулканов и цунами, вопросы взаимодействия с МЧС и Правительством Камчатского края направленные на снижение рисков природных катастроф.

Приводятся сведения об участии КФ ГС РАН в международных сейсмологических, геофизических проектах, в глобальной системе сейсмологических наблюдений, о результатах работ по ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года», о результатах инновационной и др. деятельности.

Рассмотрены перспективы развития детальных сейсмологических исследований на Камчатке.

ОНЕЖСКИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН

Н.В. Шаров

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г.Петрозаводск, sharov@krc.karelia.ru

Опыт многолетних стационарных и временных наблюдений за динамическим состоянием геологической среды, изменяющейся в пространстве и во времени, показал, что разрозненные и разобщенные исследования, как правило, не оправдывают ожиданий. Тем не менее, уже накопленная за многие годы информация о геологическом строении, геофизических и геохимических полях и данные сейсмологии уже сейчас позволяют строить непротиворечивые модели земной коры и оценивать проявления современных геодинамических процессов, новейшей тектоники и палеосеймотектоники.

Одним из серьезных достижений в изучении платформенных областей, в том числе Восточно-Европейской платформы, следует считать достаточно убедительные доказательства ее заметной современной тектонической подвижности, в целом, Балтийского щита и окраинных зон кратона, в частности. Это положение подтвердили (в том числе) и заметные сейсмические события осени 2004 года (Калининградское землетрясение) магнитудой до 5, а также полевые наблюдения за микросейсмичностью конкретных локальных структур платформенного типа.

Необходимы поэтому систематические и долговременные наблюдения на тщательно выбранных полигонах (исходя из поставленных задач) с разным геологическим строением или с разными особенностями проявления современных геодинамических процессов. На этих полигонах можно проверять и сравнивать научные и практические представления, решать методические научные и аппаратурные задачи.

Одним из таких полигонов разнородных комплексных наблюдений может стать Онежская тектоническая структура, уникальная в геолого-тектоническом и минерагеническом отношении, отчетливо выраженная в аномальных физических полях, в современных и палеосейсмических структурах.

По заданию Роснедра ОАО «НПЦ Недр» осуществил в Кондопожском районе Республики Карелия бурение Онежской параметрической скважины до глубины 3500 м (Госконтракт № 3-2007 от 02.05.2007 г.). Институт геологии КарНЦ РАН обратился в Федеральное агентство по недропользованию РФ с предложением о создании на базе Онежской скважины полигона силами Научно-образовательного геолого-геофизического центра, основанного Институтом геологии Карельского научного центра РАН и Петрозаводским государственным университетом. Цель проекта. Проведение мониторинга вариаций геополей (сейсмического, геотермического, гравитационного, электромагнитного, радиационного); изучение пространственно-временных вариаций физических полей для прогноза опасных геодинамических процессов и явлений; разработка и апробация новых аппаратурно-методических средств скважинных, наземных и сопряженных режимных геофизических наблюдений; обучение студентов и аспирантов практическим приемам ГИС-технологий; демонстрация специалистам и экскурсантам современных достижений геологической науки в целом и результатов изучения глубинного строения древней земной коры Карельского кратона в частности.

Создание полигона открывает перспективы для проведения непрерывных комплексных геофизических исследований в зоне Онежской тектонической структуры. Для выполнения исследований на Онежской скважине требуется различное оборудование, в том числе: каротажный подъемник на базе автомобиля «Урал», цифровые скважинные геофоны и гидрофоны нескольких типов, комплекс цифровой регистрирующей и телеметрической аппаратуры, каротажный кабель. Организацию и проведение работ на Онежской скважине предполагается осуществлять в сотрудничестве с организациями и специалистами, имеющими опыт создания подобных полигонов и располагающими соответствующим техническим и научным потенциалом.

Для обеспечения эффективного функционирования полигона предусматривается оборудование устья скважины с учетом опыта, накопленного в геологических лабораториях, созданных после завершения бурения глубоких и сверхглубоких скважин в России (Кольская СГ-3, Воротиловская ГС, Камчатская скважина Г-1) и Германии (КТВ). Это представляет уникальную возможность проведения на этих объектах одновременных режимных наблюдений за глобальными длиннопериодными вариациями полей и изучения вклада различных составляющих (естественного и техногенного генезиса) в регистрируемые параметры.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЮГО-ЗАПАДЕ КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ И МОРСКАЯ ТРАНЗИТАЛЬ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ

Г.П. Яроцкий

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский, ecology@kscnet.ru

Юго-Запад Корякского нагорья замыкает Чукотский пояс землетрясений. Особенность пояса – пространственная приуроченность к Морской транзитали (МТЛ) Окраинноморского литоблока жесткой литосферы СВ Азии. МТЛ выделена на суше к востоку от р. Колымы и свойственна только еще Байкальской рифтовой системе. Ее яркой чертой является насыщение диагональной системой высокоградиентных линий (ВГЛ) глубины рельефа подошвы литосферы. Они фиксируются резкими перепадами глубин подошвы (5-23 км, градиент 1-2,3 км/км). К одной из таких ВГЛ приурочена ось пояса. Они отражают рифты, шовные зоны, вулканические пояса, ограничивают трог и поднятия рельефа подошвы литосферы, раздел физических сред. На Камчатке – две СВ ВГЛ от южного выхода Срединного массива вдоль Срединного хребта до 60° с.ш. Рельеф подошвы позволяет выделить крупные территории, разделяемые СЗ границами, расстояния между которыми 250-310 км. На материке районирование еще более очевидно благодаря насыщенности территории системой СВ и СЗ ВГЛ. От 60° с.ш. до мыса Дежнева (1500 км) ширина СЗ полос нарастает до 385 – 450 км, что отвечает росту мощности литосферы: 50 км (юг Камчатки), 65 км (60° с.ш.) и до 67-75 км (район мыса Наварин). Полосы – площади локализации относительных опусканий и воздыманий подошвы.

С морфологией подошвы согласуется глыбово-клавишная структура земной коры региона. Ее построение основано на закономерном чередовании во всех продольных СВ региональных структурах локальных площадей-звеньев с разнотипными характеристиками, ограничиваясь в них по северо-западным поперечным глубинным сквозькоровым разломам, образующими глыбы коры, простирающиеся на северо-запад. Их окончания на юго-востоке отражены в закономерном чередовании заливов и полуостровов. Первые – отражают опускающиеся, вторые – воздымающиеся окончания глыб в зоне перехода к океану. Глыбы разделяются СЗ разломами через 80-100 км на Камчатке и через 145-175 км – на материке, что отражает рост мощности земной коры.

Хаилинское (1991 г.) и Олюторское (2006 г.) землетрясения приурочены к ЮВ окончанию опускающейся глыбы Олюторского залива. Очаги обоих землетрясений приурочены к левобережью бассейна р. Вывенки. Продольные оси очагов землетрясений приурочены к оси Вывенской рифтогенной впадины. Ее северный борт ограничен падающим на СЗ Вывенским глубинным разломом, являющимся южным ограничением Вывенско-Ватынской окраины верхнемелового континента. Граница его на юге трассируется покровами меланократовых пород узкой полосой до р. Укэлят. Покров на карте МТЛ приурочен к ВГ зоне между 60° до 64°30' с.ш. на 700 км. К северу от нее глубина подошвы – 80 км, к югу – 63-68 км. Очаги обоих землетрясений локально расположены над торцовым сочленением крупнейшего на МТЛ (СЗ длина 920 км, ширина 160-190 км с расширением к югу) прогиба подошвы (70-81 км), с перепадом глубин около 13 км.

Опущенная глыба Олюторского залива к югу от окраины верхнемелового континента характеризуется приращёнными структурами окраины со слабодислоцированной толщей осадочно-вулканогенных пород. Она насыщена СЗ разломами во всех комплексах верхнего мела, ими нарезаются продольные границы разноамплитудных чередующихся линейно-блоковых СЗ горстов и грабенов шириной 25-40 км, в десятки км. Так в комплексах древней окраины континента и приращённых структурах молодой активной окраины формируется блоково-клавишная внутрикоровая структура. Она ярко проявлена в районировании очагов обоих землетрясений в четырех блоках глыбы.

На окраине древнего континента (глубина около 35 км) происходит формирование энергогенерирующего очага. Его разрядка запустила движение коровых блоков, слабо связанных с континентом на СВ границах в зоне глубинного разлома, падающего к ЮВ. Блоки, получив толчок к океану, раскрылись на СЗ границе и в них возникла последующая разрядка с внутрикоровыми очагами (3-22 км). Блоки в слабо консолидированных осадках активной современной окраины континента неустойчивы к энергетическим разгрузкам. Последние формируются в подошве литосферы на ее ГЛ, происходит триггерный процесс отклика блоков верхних этажей коры на глубинный вызов к дальнейшему сползанию к океану. По тектоническим признакам развитие событий, в принципе, возможно в диапазоне широт 59-64° с.ш., вдоль ВГЛ транзитальной линии, но более вероятное развитие событий – к северо-востоку, так как облако землетрясений на ЮЗ внезапно ограничено Парень-Таловско-Тиличикским поперечным межглыбовым сквозькоровым разломом коры.

СЕТЬ РАДИО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА КАМЧАТКЕ

В.В. Ящук, Д.В. Дроздин, Ю.А. Ляник, И.А. Головищикова, А.Л. Пудов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, yvv@emsd.ru

Сеть радио-телеметрических сейсмических станций (РТСС) Камчатки на 01.09.2009 г. включает в себя три куста станций: Петропавловский (20 станций), Козыревский (9 станций), Ключевской (9 станций). Деление на кусты обусловлено расположением приемных центров, в которых ведется сбор сейсмометрической информации соответствующих станций.

Работу удаленных радиотелеметрических сейсмостанций обеспечивают семь ретрансляторов радиосигналов: четыре - в составе Петропавловского куста, один — в Ключевском кусте и два в Козыревском кусте. Ретранслируются радиосигналы станций KRY, SDL, RUS, MKZ, MIP, ALD, ASA, ZLN, BZW, BZG. Тридцать пять радиотелеметрических сейсмических станций и шесть ретрансляторов работают в полевых условиях с автономным питанием от гальванических батарей. На некоторых станциях сети используются солнечные батареи. Три станции и один ретранслятор имеют сетевое питание. Основным методом контроля работы сейсмометрических каналов служит анализ сигналов автоматических калибраторов станций.

Метрологический контроль аппаратуры РТСС в настоящее время ведется путем обработки цифровых записей сигналов калибровок на лазерных дисках и в оперативном режиме с жесткого диска сервера сбора данных. Создана выборочная база данных характеристик каналов за 1996 - 2008 гг.

В докладе представлена история развития сети, их программное и аппаратное обеспечение. Приводится краткое описание кустов станций РТСС и приемных центров. Представлены основные цели, задачи и направления развития сети РТСС в последние годы, а также планы дальнейшего развития и модернизации сети.

В 2005-2008 гг. работы по развитию сети РТСС были направлены:

- На создание локальной сети сейсмических станций в районе вулкана Шивелуч. В сентябре – октябре 2005 г. были развернуты три станции: “Семкарок”, “Сорокина”, “Байдарная”.
- На обеспечение сейсмического мониторинга вулкана Безымянный. Создана система геофизического мониторинга вулкана Безымянный (в рамках российско-американского проекта по исследованию вулкана Безымянный), включающей в себя 5 короткопериодных радиотелеметрических станций, 9 временных широкополосных сейсмических станций и 9 пунктов GPS наблюдений.
- На создание локальной сети сейсмических станций в районе вулканов Мутновско-Гореловской группы вулканов. В 2008 г. установлены и введены в оперативную обработку 2 радиотелеметрические станции на вулканах Мутновский и Асача.

Сильнейшие землетрясения Дальневосточного региона

ЗАГАДКА КЫЗЫЛКУМА

К.Н. Абдуллабеков, М.Ю. Муминов, А.И. Туйчиев, К.А. Сагдуллаева

Институт сейсмологии им. Г. Мавлянова Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент
tashkent@seismo.org.uz

Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. с $M=7-7.3$ являются уникальными объектами исследования в области тектоники, современных движений земной коры, сейсмичности и прогнозирования землетрясений. Исследования, проведенные в течение более тридцати лет в очаговых областях землетрясений, не уступают по уникальности самим 9-10 балльным сотрясениям. Возникновение трех сильнейших землетрясений в районе с относительно низким фоном сейсмической активности до сих пор вынуждает задуматься о причинах и последствиях событий, произошедших 30 лет назад в Центральном Кызылкуме.

В связи с этим авторы сочли необходимым обобщить полученные материалы геомагнитных исследований в Центральном Кызылкуме и проинтерпретировать их как с позиции сейсмотектоники, так и с позиции возможности их использования в прогнозировании землетрясений.

В работе приводятся факты, позволяющие рассматривать Южный Тянь-Шань как большую разломную зону между Урало-Монгольским и Каракумо-Таджикскими мегаблоками, ответственную за возникновение как трех Газлийских, так и остальных пяти сильнейших ($M=7-8$) землетрясений последнего столетия в этой зоне.

Отмечены синхронные аномальные изменения геомагнитного поля, связанные с активизацией Газлийского очага (линейного источника), расположенного на границе Южного Тянь-Шаня с Каракумо-Таджикским краевым массивом.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТЕНЗОРА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОМЕНТА СИЛЬНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, pvm@emsd.ru

Предлагается алгоритм для расчета M_{ij} ($i,j=1,2,3$) – тензора сейсмического момента (ТСМ) сильных ($M_w \approx 8$) землетрясений. Существующие методики расчета ТСМ, как правило, не учитывают протяженность очага землетрясения, что недопустимо при сильных землетрясениях и использовании станций на удалении до трех тысяч километров. Исключением является работа японских ученых [Nakano et al., 2008], в которой одновременно с ТСМ оценивается временная функция источника (ВФИ). Однако такой способ достаточно сложен, а устойчивость получаемых с ее помощью оценок вызывает определенные сомнения. В данной работе применен относительно простой способ, в котором форма ВФИ зафиксирована, а неизвестной является лишь ее длительность. Учет протяженности очага производится через длительность его временной функции. При этом излучение протяженного очага на низких частотах аппроксимируется излучением модельного точечного источника с подходящей временной функцией.

Предполагаем, что ТСМ является симметричным и удовлетворяет условию: $M_{11}+M_{22}+M_{33}=0$.

Алгоритм расчета тензора сейсмического момента состоит из следующих шагов:

1. Вычисление расстояний до станций, азимутов из эпицентра на станции и обратных азимутов.
2. Расчет записей смещений грунта (деконволюция исходных сейсмограмм) и выделение сегментов сейсмограмм, по которым проводится расчет тензора сейсмического момента.
3. Расчет функций Грина (отклика среды на элементарные единичные диполи) для каждой из станций; глубина h модельного источника фиксирована. Для вычисления функций Грина используется компьютерная программа на основе оригинального алгоритма [Pavlov, 2002; Павлов, 2009].
4. Синхронизация времен вступления Р-волн на записях смещений и на функциях Грина.
5. Фильтрация записей смещений и функций Грина в полосе периодов 60-120 секунд.
6. Расчет M_{ij} при фиксированной глубине h (начальное приближение).
 - 6.1. Свертка функций Грина с временной функцией источника (ВФИ) длительности τ . Форма ВФИ фиксирована. В данной работе принята форма ВФИ в виде симметричного треугольника.
 - 6.2. Вырезание выделенных сегментов записей смещений и функций Грина.
 - 6.3. Составление и решение системы линейных уравнений для вектора $(M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{22}, M_{23})$.
 - 6.4. Вычисление относительной среднеквадратической невязки (ОСН).
 - 6.5. Повторение шагов 8.1-8.4 для различных значений τ длительности ВФИ и определение наилучших оценок τ и по критерию минимума ОСН.
7. Итеративный расчет наилучшей оценки M_{ij} при фиксированной глубине h модельного источника условия, что допускаются относительные сдвиги вступлений Р-волн на реальных записях и функциях Грина.
 - 7.1. Для длительности τ и тензора M_{ij} , определенных на предыдущей итерации, рассчитываются синтетические сейсмограммы (для 1-вой итерации берется начальное приближение).
 - 7.2. Рассчитывается функция взаимной корреляции (по z-компоненте), и по ней (по значению максимума) определяется значение сдвига реальных и синтетических волновых форм.
 - 7.3. Сдвиг синтетики относительно реальных форм, повторение шагов 8 и переход к следующей итерации. Итерационный процесс завершается, когда ОСН стабилизируется.
8. Варьирование глубины модельного источника, повторение шагов 3-9 и выбор наилучшего решения (h, M_{ij}, τ) по критерию наименьшей остаточной невязки.

Практическая оценка ТСМ выполнена для пяти крупнейших землетрясений, произошедших за последние пятнадцать лет на Дальнем Востоке России: Шикотанское 4.11.1994 г. ($M_w=8.3$), Кроноцкое 5.12.1997 г. ($M_w=7.8$), Олюторское 20.04.2006 г., ($M_w=7.6$), Симуширское 15.11.2006 г., ($M_w=8.3$) и Симуширское землетрясение 13.01.2007 г., ($M_w=8.1$). Использовались широкополосные записи этих землетрясений, записанные сейсмическими станциями региона в диапазоне эпицентральных расстояний от 800 до 2600 километров.

Сравнение с оценками СМТ-определений показывает, что тензоры ориентации («механизмы») находятся в хорошем согласии. Тогда как наши оценки M_w несколько ниже – в среднем на 0.2 единицы.

**СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ И
МИКРОСПУТНИКОВОЙ ПЛАТФОРМЫ «DEMETEER» В ПЕРИОД РЕАЛИЗАЦИИ
КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СИМУШИРСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2006-2007 ГГ.**

В.В. Богданов¹, В.А. Гаврилов², Е.В. Полтавцева², А.Л. Полюхова¹

¹ *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка,
Камчатский край, als41@mail.ru*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vgavr@ksnet.ru*

Сравниваются результаты измерений естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), зарегистрированного с помощью подземной электрической антенной и электрического поля, зарегистрированного в верхней атмосфере микроспутником «Demeter» (Франция) с целью выявления аномалий, связанных с подготовкой и реализацией катастрофических Симуширских (Средние Курилы) землетрясений 15.11.2006 г. ($M_w=8,3$) и 13.01.2007 г. ($M_w=8,1$). Непрерывная регистрация ЕЭМИ проводилась в диапазоне 30÷1200 Гц на пункте Г-1 в г. Петропавловске-Камчатском с помощью подземной антенны оригинальной конструкции. Спутниковые измерения проводились в диапазоне 0÷20 кГц. Для данных ЕЭМИ анализировались изменения суточного хода и минимального уровня сигналов в четырех частотных поддиапазонах. Спутниковые данные обрабатывались с помощью вейвлет-преобразований, при этом анализировалось распределение энергии сигналов по частотам на интересующих временных интервалах.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЯМСКОГО И АРТЫКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ

Б. П. Важенин

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан
vazhenin@neisri.ru

За исторический и инструментальный периоды наблюдения за сейсмичностью в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского, простирающегося от устья Лены до Охотского моря, произошло два сильнейших землетрясения региона – Ямское 1851 г. и Артыкское 1971 г. [Козьмин, 1984; Важенин и др., 1997].

Данные о Ямском землетрясении 16 (28) ноября 1851 г. приведены в «Каталоге землетрясений Российской Империи» [Мушкетов, Орлов, 1893]. Их анализ [Козьмин, 1984] позволил установить, что площадь сотрясений с интенсивностью ≥ 5 баллов простиралась по северному побережью Охотского моря на 400 км от устья р. Тауй до р. Туманы. Сила толчка в эпицентре (в 60 км к западу от устья р. Яма) оценена в 8 баллов, а магнитуда землетрясения составила 6.5.

Среди макроэффектов, описанных очевидцами, наиболее мощные – «трещины в тундре» длиной в первые метры и шириной до 1.5 м – обнаружены вблизи устья р. Сиглан, впадающей в залив Забияка Охотского моря. Дешифрированием аэроснимков и последующими полевыми работами выявлена и изучена серия сбросовых уступов высотой до 3 м и более и длиной до 200 м каждый, рассекающих рыхлые отложения слившихся пролювиально-селевых конусов выноса, выстилающих морскую цокольную террасу у подножья кряжа Сиглан. Уступы обращены к югу, в сторону моря и протягиваются в виде субширотной зоны шириной от 200 до 800 м и длиной до 7 км. Количество сбросовых уступов в зоне возрастает к востоку от двух до восьми [Важенин, 2000].

Возможность интерпретации этих деформаций в качестве следов Ямского землетрясения обусловлена: 1) расположением их вблизи устья р. Сиглан, где были описаны очевидцами наиболее мощные макросейсмические эффекты, но при этом вне самых посещаемых мест, отчего крупные сбросовые уступы не были сразу замечены и не вошли в донесение о землетрясении; 2) хорошей сохранностью уступов в рыхлых отложениях, несмотря на деструктивное последующее воздействие на них криогенных склоновых процессов; 3) вывалом лиственниц вдоль уступов; 4) наличием обгорелых стволов поваленных лиственниц только на сбросовых уступах, что объясняется, вероятно, выбросом по трещинам при землетрясении горючих газов (по свидетельству местных жителей: «несколько лет перед тем выходил из-под земли дым с серным запахом» [Мушкетов, Орлов, 1893]).

Вычисление магнитуды по формулам для длины зоны сейсмогенных разломов [Современная динамика..., 1989; Важенин, 2000] в двух вариантах интерпретации (от р. Сиглан до левобережья руч. Брошенный – 7 км, а с добавлением серии сбросов в междуречье Сивуч-Аргаскич – 12 км) дает результаты: 6.5 и 6.8. При определении магнитуды по площади роя деформаций (55 км²) $M=6.8$.

Артыкское (Оймяконское) землетрясение с магнитудой 6.9-7.1 произошло 19 мая 1971 г. на границе Якутии и Магаданской области. 4-балльные сотрясения ощущались на большой территории от Хонуу до Магадана, отстоящих друг от друга на 800 км. Существенного ущерба это землетрясение не принесло, поскольку пришлось на малонаселенную местность, а также отличалось значительной глубиной очага. Тектонических сейсмодислокаций при аэровизуальных и полевых поисках не обнаружено. Наблюдались только массовые срывы оттаявшего почвенно-грунтового слоя со склонов повышенной крутизны размерами от квадратных метров до 20 тыс. м². Суммарная их площадь в бассейне ручья Кобди (лев. приток р. Артык) составила около 250 тыс. м² [Белый и др., 1971; Курушин и др., 1976; Козьмин, 1984; Важенин и др., 1997].

По этим данным площадь плейстосейстовой области, включающей поверхностные сейсмодетекции, была ограничена величиной около 9 км². Дешифрированием аэрофотографий, снятых до и после землетрясения, подтверждена оценка площади почвенно-грунтовых сейсмогравитационных срывов в бассейне ручья Кобди и дополнительно к этому удалось обнаружить участки с крупными свежими обвальными осыпными конусами выноса в массиве г. Хуламин в верховьях ручьев Грибной и Белый. В таком случае плейстосейстовая область возрастает до 42 км², а вычисленная по формулам [Современная динамика..., 1989; Важенин, 2000] магнитуда увеличивается с 6.4 до 6.7, что ближе к инструментальным определениям – 6.9-7.1.

В результате тотального палеосейсмогеологического исследования [Важенин, 2000] юго-восточной половины сейсмического пояса Черского определена максимальная магнитуда голоценовых землетрясений в регионе – 7.4-7.6. Повторяемость разрушительных землетрясений с $M \geq 6.5$ составила одно событие в 71 год или 1/50000 лет для каждого участка площадью 1000 км².

ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ ПРИ ОЖИДАЕМОМ СИЛЬНОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

И.Ф. Делемень¹, Т.Г. Константинова²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, delemen@kscnet.ru*

²*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, lrg334@kscnet.ru*

Как известно, при сильных землетрясениях человеческие жертвы, разрушения инфраструктуры населённых пунктов и повреждения зданий нередко бывают вызваны катастрофическими процессами, для которых сейсмические колебания выступают в роли триггера (вторичные сейсмические опасности). Наиболее разрушительным эффектом обладают сейсмогенные оползни, массовый сход которых приводил к многочисленным разрушениям и человеческим жертвам - например, при Хаитском землетрясении 10.07.1949 г. ($M=9$) в Таджикистане, при землетрясении Чимботе 31.05.1970 ($M=7.8$) в Перу, землетрясении в Сычуани (Китай)

На территории г. Петропавловск-Камчатский наиболее вероятными при сильном землетрясении могут быть разжижении грунтов на равнинных участках и сход оползней на склонах. В геоморфологическом отношении наиболее благоприятными для образования ослабленных зон, подготовленных к обрушениям склона, являются прибрежные участки Авачинской бухты. Известно, например, что при землетрясении 04.11.1952 г. ($M=8\frac{1}{4} - 8\frac{1}{2}$), которое ощущалось в г. Петропавловске-Камчатском с интенсивностью в 6-7 баллов, на берегу бухты Раковой волной была размыта территория рядом с цехом жестяно-баночной фабрики, в результате чего образовались оползни, разорвавшие северную стену цеха в двух местах. В других местах береговой зоны Авачинской бухты также произошли оползни и размывы берега по трещинам, возникшим в результате этого землетрясения, причём некоторые здания на берегу были частично затоплены и деформированы в результате оползней (С.А. Федотов, 1968). Мы полагаем, что в пределах Авачинской бухты разрушительное действие морских волн при сильных землетрясениях усиливается из-за эффекта сейш сейсмогенного происхождения (высота заплеска по берегам бухты может достигать при этом 3 м и более).

Благоприятными для возникновения оползней являются склоны глубоко врезуемых речных долин (например, р. Крутогорова), а также склоны горного массива Петровского горста. Для Камчатки это обычная сейсмогеоморфологическая обстановка оползневой опасности. Например, большие оползни сошли на горных склонах в долинах рек Чажма и Семлячик при сильном землетрясении, произошедшем 03.02.1923 г. в Кроноцком заливе у берегов Камчатки (ощущавшемся на побережье с силой 8 баллов и более).

В инженерно-геологическом отношении выделяются два грунтовых комплекса, литолого-гидрогеологические условия которых наиболее благоприятны для ослабления склонов. Многочисленные оползни типа грунтовых оползней и оползней-потоков могут образовываться на склонах, сложенных макропористыми грунтами почвенно-пирокластического происхождения. Скальные оползни развиваются как правило, на склонах, сложенных моноклинально залегающей толщей метаморфизованных туфопесчаников, туфоалевролитов и кремнистых сланцев мелового возраста. При этом оползнеобразованию подвержены склоны, наклон которых совпадает с направлением моноклинального падения слоёв.

К локальным факторам, благоприятствующим заложению ослабленных зон на склонах, относятся развитие зон повышенной трещиноватости, серпентинизации и гидротермального изменения пород, морская абразия, изменение гидрогеологического режима территории (особенно техногенное подтопление), а также подрезка склонов и недостаточное обеспечение их дренажа при строительстве.

Картирование перечисленных факторов позволило создать схематическую карту предварительного зонирования оползневой опасности г. Петропавловск-Камчатский. Наибольшая вероятность схождения оползней при сильном землетрясении отмечается для застроенных территорий на побережье Авачинской бухты, а также для трассы объездной автодороги, проходящей вдоль склонов горного массива Петровской сопки.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАПИСЕЙ АФТЕРШОКОВ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 ДЕКАБРЯ 1988 Г.

С.С. Карапетян¹, Г.А. Мкртчян¹, С.А. Карапетян¹, Е.Х. Назарян²

*¹Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА, г. Ереван, Армения,
iges@shirak.am*

²Гюмрийский филиал Ереванского инженерного университета, г. Гюмри, Армения,

В последнее время обсуждается новая гипотеза механизма возникновения землетрясений, известная под названием “планетарная пульсация”. Предполагается, что планетарная пульсация проявляется сверхнизкочастотными колебаниями, амплитуда которых может достигать 10 см, в зонах тектонических нарушений и при определенных условиях может спровоцировать землетрясение либо служить причиной иного рода значительных разрушений. Это явление имеет место не только в сейсмоактивных, но и в сейсмически неактивных районах. Явление планетарной пульсации было обнаружено методом космической геодезии с помощью системы GPS. В некоторых случаях оно проявлялось также и на сейсмограммах, но надлежащего объяснения не получило. В представленной работе была сделана попытка объяснить образование биений в кодовых частях записей некоторых афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. воздействием планетарной пульсации.

После Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. с целью сейсмического микрорайонирования шесть временных сейсмических станций были размещены на различных инженерно-геологических участках г. Гюмри. За период времени с февраля по июнь 1989г. накопилось много записей афтершоков. На кодах некоторых из них четко прослеживались пульсации с определенной частотой и амплитудой. В то время эти колебания были приписаны к особенностям строения Ширакской котловины.

Сейчас возникает вопрос, если отмеченные колебания обусловлены строением Ширакской котловины, то почему это явление не носит регулярный характер, а проявляется только на некоторых записях? И второй вопрос: можно ли объяснить эти колебания результатом воздействия планетарных пульсаций?

В результате анализа выбранных записей выяснилось:

- литологические разновидности грунтов не оказывают заметного влияния на характер записи, также не наблюдаются какие-либо закономерности в выбранных записях на различных временных станциях,
- подавляющее большинство значений периодов пульсаций в 10-100 раз превышают преобладающие периоды, характерные для данных грунтов,
- в большинстве случаев амплитуда колебаний на вертикальной составляющей превосходит амплитуды записей на горизонтальных компонентах,
- диапазон подавляющего большинства средних значений периодов этих пульсаций для горизонтальных составляющих – $7.6 \div 18.2$ сек, для вертикальной составляющей – $6.4 \div 18$ сек.

Полученные результаты пока не дают оснований сделать вывод, что записанные низкочастотные колебания обусловлены влиянием планетарных пульсаций. Для того, чтобы подтвердить или опровергнуть это предположение, необходимо провести дополнительные исследования при помощи системы GPS и при возможности организовать стационарные наблюдения в сейсмоактивных районах с помощью специальной аппаратуры.

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ПЕТРОПАВЛОВСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1971 ГОДА В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОЖИДАЕМОГО В Г. ПЕТРОПАВЛОВСКЕ-КАМЧАТСКОМ СИЛЬНЕЙШЕГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Т.Г. Константинова¹, И.Ф. Делемень²

¹*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, lrg334@kscnet.ru*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, delemen@kscnet.ru*

Одним из сильнейших землетрясений, наблюдавшихся в краевом центре Камчатки за исторический период, было Петропавловское землетрясение, произошедшее 24 ноября 1971 года в Авачинском заливе на глубине 100 км с магнитудой 7.7. Землетрясение вызвало в городе Петропавловске-Камчатском сотрясения от 6 до 8 баллов. На балльности сказывались конкретные инженерно-геологические, гидрогеологические и грунтовые условия.

На второй день после этого события было начато макросейсмическое обследование зданий и сооружений на территории города. За первые три месяца обследовано более 2000 зданий. Из деревянных строений обследованы 35 одно- и двухэтажных зданий из бруса и 255 одно- и двухэтажных рубленых зданий. Степень износа зданий различна. Выяснилось, что высокий износ зданий не всегда повышал их сейсмическую устойчивость. Например, здания из бруса, построенные в 1910-1917 гг., получили такие же повреждения, как и многие дома, построенные в 1950 – 1960 гг.

Последующий анализ, выполненный авторами в связи с уточнением карты сейсмического микрорайонирования для некоторых участков городской территории, позволил сделать вывод о том, что при повреждаемости деревянных зданий $d=0\div3$, участки расположения их с повреждениями выше первой степени приурочены к территориям, характеризующимся неблагоприятными инженерно-геологическими, гидрогеологическими и грунтовыми условиями. При этом конкретный тип грунтов не оказывает определяющего влияния на степень повреждаемости, но существенную роль играет фациальный тип отложений, который определяет физико-механические и инженерно-сейсмические свойства грунта, приводящие к неравномерным его деформациям под сооружениями при землетрясении или проявлению иных неблагоприятных сейсмогеологических свойств.

Например, увеличение повреждений зданий, построенных на элювиальных и делювиальных пылеватых супесях, в первую очередь, определялось их ветхостью. Количество повреждённых деревянных строений резко возрастало, если они были построены на тонких пылеватых супесях лагунного происхождения. Следует отметить, что в посёлке Корф при обследовании последствий Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. с магнитудой 7.6, наибольшие повреждения также были отмечены в деревянных двухэтажных домах, построенных на песках и супесях лагунного происхождения.

На территории г. Петропавловска-Камчатского весьма существенно меняется глубина залегания уровня подземных вод, однако сопоставление степени повреждаемости с глубиной зеркала подземных вод не выявило какой-либо значимой связи между ними. Вместе с тем, при нанесении на карту зданий с различной степенью повреждения при землетрясении, заметно выделяются линейные участки, где наряду со зданиями, получившими наименьшие повреждения ($d=0 - 0.5$), сосредоточена большая часть зданий с повреждениями $d=1.5$ и выше. Такие зоны пространственно совпадают с границами разрывных нарушений, для которых глубина залегания зеркала подземных вод выше 5 м.

Кроме того, выявлены небольшие ареалы значительно поврежденных зданий на склонах сопот Мишенная и Петровская. Это может быть связано с залеганием здесь рыхлых отложений оползневой и делювиальной природы, консолидация которых не завершена. То же относится к намытым и насыпным грунтам, причём период консолидации таких грунтов в условиях Петропавловска превышает нормативные значения.

Полученные данные могут быть использованы при принятии градостроительных решений и выработке мероприятий по уменьшению сейсмического риска.

ОЦЕНКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ КАМЧАТКИ И ДРУГИХ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ)

Г.Н. Копылова¹, Л.Н. Таранова¹, И.А. Сдельникова²

¹*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru*

²*Геофизическая служба РАН, г. Обнинск*

Оценка характера, пространственных и временных масштабов изменений в подземных водах при воздействии сильных коровых землетрясений имеет фундаментальное и прикладное значение в задачах региональной гидрогеологии и геоэкологии сейсмоактивных районов, а также в развитии гидрогеологического метода мониторинга геологической среды и поиска предвестников землетрясений. Методология настоящей работы включала анализ материалов сейсмогеологического обследования районов сильных землетрясений XX в.; анализ данных специализированных наблюдений на сетях скважин и источников с выделением различных типов гидрогеосейсмических вариаций параметров режима подземных вод; моделирование последствий произошедших и сценарных землетрясений; обобщение сейсмогеологических данных, данных режимных наблюдений и результатов моделирования косейсмической деформации для оценки основных факторов и зонирования интенсивности сейсмического воздействия на подземные воды.

Данные сейсмогеологического обследования районов сильных землетрясений дают прямые и косвенные доказательства значительных изменений в состоянии подземных вод в эпицентральных зонах, характеризующихся интенсивностью сотрясений до 8-10 баллов по шкале MSK-64. Типичными формами изменений в подземных водах в плейстосейстовых зонах являются массовые выбросы воды и водонасыщенных рыхлых грунтов по трещинам в долинах рек. Отмечались залповые выбросы воды из пьезометрических и самоизливающихся скважин (резкое повышение флюидного давления), исчезновение источников и образование новых источников (изменение условий разгрузки подземных вод). В некоторых эпицентральных районах отмечалось изменение структуры местной гидросети, приводящее к перестройке зон питания и разгрузки грунтовых вод. По данным уровнемерных наблюдений в скважинах регистрировались вариации уровня воды до и после Ашхабадского землетрясения 1948 г., $M=7.3$ на расстояниях в первые десятки км от эпицентра.

На Камчатке специализированные гидрогеологические наблюдения на сети скважин и источников проводились в период Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., $M=7.8$ (в зоне 5-6 балльных сотрясений на расстоянии 320 км от эпицентра) и Олюторского землетрясения 20.04.2006 г., $M=7.6$ (на расстояниях 750-1150 км). Привлекаются данные гидрогеологических наблюдений 1999-2004 гг. в зоне Чуйского землетрясения 27.09.2003 г., $M=7.5$, Горный Алтай, район которого по климатическим, гидрогеологическим и геокриологическим условиям может рассматриваться в качестве близкого аналога района Олюторского землетрясения.

Результаты работы. 1. В качестве основных факторов сейсмического воздействия на подземные воды рассмотрены: образование первичных сейсмодислокаций со смещением в диапазоне глубин до первых десятков км и предполагаемое региональное изменение структуры трещинной проницаемости глубоких водоносных систем трещинно-жильных подземных вод; высокочастотное сейсмическое излучение в плейстосейстовой области и образование вторичных сейсмодислокаций (трещин, оползней, обвалов), оказывающих локальное влияние на формирование грунтовых вод, а также на условия разгрузки напорных подземных вод; изменение статического напряженного состояния напорных подземных вод при образовании разрывов в очагах землетрясений, проявляющееся в косейсмических скачках порового давления; изменение напряженно-деформированного состояния водовмещающих пород в зоне ощутимых сотрясений при прохождении сейсмических волн, сопровождающееся различными постсейсмическими вариациями в режиме источников и скважин; воздействие поверхностных сейсмических волн, вызывающих вариации уровня воды в пьезометрических скважинах на расстояниях до тысяч км от эпицентров; процессы подготовки землетрясений.

2. По интенсивности воздействия факторов сейсмичности на подземные воды выделены три зоны: плейстосейстовая зона, соответствующая макросейсмическому эффекту на поверхности не менее 8 баллов; зона ощутимых сотрясений интенсивностью 7-3 балла и относительно удаленная зона воздействия поверхностных сейсмических волн.

3. Необходимым условием изучения влияния сейсмодислокаций (первичных и вторичных) и процессов подготовки сильнейших землетрясений на состояние подземных вод в плейстосейстовых зонах является проведение долговременных специализированных гидрогеологических наблюдений в сейсмоактивных регионах.

ХАИЛИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1991 г. (M=6.6) – ФОРШОК ОЛЮТОРСКОГО 2006 г. (M=7.6)? (НЕСТАТИСТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ)

В.И.Левина¹, А.В.Ландер², С.В.Митюшкина¹

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

² Международный Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, land@mitp.ru

До середины 80-х годов 20 века в Южной части Корякского нагорья не было известно сильных землетрясений. Ретроспективный взгляд на тот период, учитывающий последующие события, позволяет распознать в редкой сейсмичности элементы известного сегодня Корякского сейсмического пояса. Однако в то время этого не произошло. Даже небольшая активизация Корякского нагорья во второй половине 80-х на фоне общей сейсмичности Северо-Востока Азии и, тем более, Камчатки почти не привлекла к себе внимания исследователей. Поэтому Хаилинское землетрясение 8 марта 1991 г. Mw=6.6, произошедшее в "пустой" на карте сейсмичности области, и почти на единицу магнитуды превосходившее все предыдущие события Корякии было неожиданным для сейсмологов. Казалось, что столь сильное событие может служить эталоном для оценки сейсмической опасности региона. Однако всего через 15 лет 20(21) апреля 2006 г. практически в той же точке произошло значительно более сильное Олюторское землетрясение Mw=7.6, вновь принципиально изменившее представления о современной тектонической активности региона.

Можно ли говорить о тесной генетической связи этих землетрясений (помимо принадлежности их одной границе плит)? Повлияло ли Хаилинское землетрясение на возникновение более сильного Олюторского? Оба события были уникальными для региона, афтершоковая последовательность первого из них прекратилась за шесть лет до второго. Поэтому обычные статистические методы выделения форшоков и афтершоков по отношению к ним не применимы. Однако очаги землетрясений неплохо изучены, и это позволяет исследовать их структурные связи.

Инструментальные эпицентры двух событий находятся на расстоянии всего 20 км (при размерах очаговых зон 60 и 200 км), механизмы почти совпадают. Однако в геометрии очагов заметны и существенные различия. Облако афтершоков, главные сейсморазрывы и изосейсты Олюторского землетрясения вытянуты в северо-восточном направлении и соответствуют общему структурному плану региона. Однако аналогичные поля: афтершоки и изосейсты Хаилинского землетрясения практически перпендикулярны этим структурным направлениям. Северо-западное простираие имеет и единственный значительный сейсморазрыв, обнаруженный в пределах Хаилинского очага. По-видимому (для Хаилинского события имеются лишь косвенные данные), в противоположные стороны были направлены взбросы, реализовавшиеся в обоих очагах. Вместе с тем простираие главного Хаилинского разрыва совпадает с Олюторским и соответствует простираию главной границы плит.

Исходя из приведенных данных можно предположить, что в процессе Хаилинского землетрясения была разрушена крупная поперечная преграда ("асперити"), препятствовавшая движениям на локальном участке границы плит, и являвшейся причиной длительного местного затишья в сейсмической активности. Ликвидация преграды создала возможность для крупной подвижки, реализовавшейся в Олюторском землетрясении.

Изложенная модель находит подтверждение во вторых пространственно-временных моментах Хаилинского землетрясения, рассчитанных Б.Г.Букчиным. Эти оценки позволяют прояснить, как в одном событии могли одновременно проявляться продольные и поперечные структуры и движения. Главная дислокация была вытянута под значительным углом в 50° к простираию плоскости разрыва. Вспарывание произошло поперек дислокации (60° к направлению ее главной оси), в направлении близком к простираию. Дальнейшее движение происходило не по направлению вспарывания, а в соответствии с общим полем тектонических напряжений региона, то есть вверх по падению плоскости подвижки. Таким образом, облако афтершоков соответствует исходной форме преграды и вытянуто в северо-западном направлении. В соответствии с формой очага располагаются и изосейсты. Однако после разрушения преграды движения в очагах главного Хаилинского землетрясения и его афтершоков происходили по открывшимся существовавшим ранее разломам, в соответствии со структурным планом и полем тектонических напряжений региона.

В соответствии с моделью Олюторское землетрясение является непосредственным следствием своего форшока - Хаилинского землетрясения. Пятнадцатилетний промежуток времени между событиями дает нам интересную оценку возможной задержки между разрывом асперити и главным скольжением по разрыву.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ГЛУБОКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ

С.В. Митюшкина, Е.И. Иванова, В.И. Левина, А.Ю. Чеброва

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск–Камчатский, mitik@emsd.ru

Не так давно на Камчатке был введен в работу новый метод сбора макросейсмической информации. Существенным отличием от предыдущего бессистемного получения данных стал запрос информации по утвержденному перечню пунктов. В результате создаваемый каталог макросейсмических проявлений землетрясений на Камчатке и Командорских островах стал более информативным, что позволяет проводить более детальный анализ пространственного распределения интенсивности сотрясений.

Наиболее хорошо изучены макросейсмические проявления землетрясений, происходящих в поверхностных слоях; имеется довольно богатый материал, позволяющий строить карты изосейст даже в нашем малонаселенном регионе. Для сильных поверхностных землетрясений Камчатки макросейсмическая картина, как правило, соответствует ожидаемой. Наиболее сильные проявления фиксируются в ближайших от эпицентра пунктах; наблюдается вытянутость изосейст вдоль восточного побережья. Последнее объясняется, прежде всего, соответствующей ориентацией очаговых зон. Иная картина наблюдается для глубоких и промежуточных землетрясений Камчатки. До настоящего момента не было возможности обнаружить каких-либо особенностей распределения балльности, потому что такие землетрясения происходят нечасто, и собранная по ним информация была неполной.

Для получения четкой картины макросейсмических проявлений глубоких землетрясений достаточно полные данные впервые были собраны для Тумрокских землетрясений, произошедших в 2003 и 2004 гг. в промежуточном слое сейсмофокальной зоны в Восточном хребте на глубине около 200 км. Оказалось, что для этих землетрясений наблюдалось нетипичное распределение интенсивности сотрясений. Более значительному макросейсмическому воздействию подвергались населенные пункты, расположенные на восточном побережье Камчатки на расстоянии 90 км, в то время как в ближайших к очагам населенных пунктах (на расстояниях не более 50 км) интенсивность толчков была значительно ниже или они не ощущались совсем. Был проведен макросейсмический анализ всех последующих землетрясений, произошедших в промежуточном ($70 \leq h < 350$ км) и глубоком ($h \geq 350$ км) слоях Камчатской зоны субдукции. Было обнаружено, что подобная макросейсмическая картина наблюдается для землетрясений, локализованных глубже 150 км. В каждом случае максимум макросейсмических проявлений этих землетрясений сильно смещен относительно инструментального эпицентра.

Исследование подобных проявлений глубоких землетрясений, происходящих внутри Тихоокеанской плиты, встречается в работах японских ученых с начала 20 века. Наблюдаемый эффект объясняется ими тем, что погружающаяся часть Тихоокеанской плиты играет роль эффективного волновода для высокочастотных волн. Для Камчатки подобных исследований до сих пор не проводилось.

СРАВНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И РЕАЛЬНЫХ СЕЙСМОГРАММ ОТ СИЛЬНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

В.М. Павлов, И.Р. Абубакиров

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, air@emsd.ru

В последние годы в России активно развивается сеть широкополосных станций, включая Дальний Восток. Это позволяет переходить к задаче определения тензора сейсмического момента (ТСМ) для территории Дальнего Востока России и других ее сейсмически опасных регионов. На основании ТСМ определяется механизм очага и, так называемая, моментная магнитуда, которая в последние годы стала в мировой практике основной и стандартной характеристикой мощности очага землетрясения.

Для постановки такой (обратной) задачи необходимо уметь решать прямую задачу расчета полных широкополосных теоретических сейсмограмм на региональных расстояниях от протяженного источника с произвольным ТСМ. К настоящему времени в КФ ГС РАН разработана методика и компьютерная программа расчета синтетических сейсмограмм от точечного источника в слоисто-однородной среде [Pavlov, 2002, Павлов, 2006], которая может стать основой методики расчета ТСМ.

Цель данной работы – (1) определить диапазон периодов, в котором синтетические сейсмограммы от точечного источника в слоисто-однородной среде адекватно приближают реальные сейсмограммы от сильных землетрясений Дальнего Востока России на региональных расстояниях; (2) продемонстрировать возможности программы расчета синтетических сейсмограмм в плане охвата эпицентральных расстояний и способности воспроизведения волновых форм и амплитуд реальных сейсмограмм от сильных землетрясений Дальнего Востока России.

Для опробования возможностей программы выбраны 5 сильнейших землетрясений Дальнего Востока России за последние 15 лет: Шикотанское 4.11.1994 г. ($M_w=8.3$), Кроноцкое 5.12.1997 г. ($M_w=7.8$), Олюторское 20.04.2006 г., ($M_w=7.6$), Симуширское 15.11.2006 г., ($M_w=8.3$) и Симуширское землетрясение 13.01.2007 г., ($M_w=8.1$). Использовались широкополосные записи, записанные сейсмостанциями региона в диапазоне эпицентральных расстояний от 800 до 2600 километров.

Для расчета синтетических сейсмограмм от протяженного очага сильного землетрясения использовали следующий подход: модельный очаг принимали точечным, а эффекты протяженности учитывали через временную функцию очага. Синтетические сейсмограммы от модельного точечного источника с ТСМ по данным каталога СМТ рассчитывались для модели среды, предложенной для Камчатки [Кузин, 1974]. Чтобы учесть эффекты, связанные с протяженностью очага, сейсмограммы от точечного источника, рассчитанные для определенной сейсмической станции, свертывались с временной функцией очага, излученной очагом в направлении этой станции. Такая функция часто называется «кажущейся временной функцией источника» (КВФИ). Вообще говоря, для разных волновых групп и разных станций, КВФИ отличаются как по форме, так и по длительности. Однако в данной работе использовали упрощенный подход, при котором принимали форму КВФИ неизменной и варьировали лишь ее длительность. Значение длительности КВФИ подбирали для конкретной станции и волновой группы на основе степени согласия при сравнении наблюдаемых и синтетических сейсмограмм. Проведенные на заключительном этапе расчеты показали, что степень согласия наблюдаемых и расчетных сейсмограмм можно улучшить, допустив разные длительности КВФИ для разных волновых групп.

Выводы:

1. Разработанный в КФ ГС РАН алгоритм расчета синтетических сейсмограмм от точечного источника в слоисто-однородной среде позволяет моделировать длиннопериодные сейсмограммы от сильных землетрясений Дальнего Востока России на удалениях до 3000 км.

2. Проведенные численные эксперименты показывают, что в полосе периодов 60-150 секунд отдельные сегменты реальных сейсмограмм от протяженного очага можно подогнать с помощью теоретических сейсмограмм от точечного источника с подходящей кажущейся временной функцией очага. Наилучшее согласие наблюдаемых и расчетных сейсмограмм достигается при независимых значениях длительности кажущихся временных функций для разных станций и волновых групп.

3. Возможность подгонки такого рода создает предпосылки для разработки методики определения ТСМ сильных землетрясений по широкополосным записям на станциях с удалением до 3000 км с использованием синтетических сейсмограмм от точечного источника в слоистой среде.

ПАРАДОКСЫ ОЧАГА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2006 г. И ИХ РЕШЕНИЯ

Т.К.Пинегина¹, А.В.Ландер²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;*

²*Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, land@mitp.ru*

Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г. $M=7.6$ произошло на юге Корякского нагорья и является уникальным для Северо-Восточной Азии событием. По магнитуде оно значительно превзошло наблюдавшийся здесь прежде уровень сейсмичности. Очаг землетрясения был подробно исследован как со структурной так и с сейсмологической точек зрения. В очаговой зоне на протяжении 140 км на поверхности выявлена система разнообразных по кинематике сейсморазрывов с амплитудой смещения до 3 м. Для землетрясения составлен каталог афтершоков, включающий более 2.5 тыс. событий, и исследованы пространственные закономерности распределения повторных толчков. Посчитаны механизмы главного землетрясения и его сильнейших афтершоков. В общих чертах структурные и сейсмологические данные приводят к сходным выводам о внутренней структуре очаговой зоны главного толчка. Она подразделяется на три сегмента: Северо-Восточный, Центральный и Западный, отличающиеся по кинематике разрывов и по пространственному распределению афтершоков. В Центральном сегменте наблюдаются практически чисто правостдвиговые поверхностные нарушения, в Северо-Восточном сегменте преобладают взбросы северо-западной направленности (с сохранением небольшой сдвиговой компоненты). Облако афтершоков Западного сегмента располагается перпендикулярно основным структурам очага и отличается от них по характеру деформаций и сброшенных напряжений, в частности здесь появляются левые сдвиги.

Однако при более подробном сравнении структурных и сейсмологических данных мы сталкиваемся с целым рядом кажущихся противоречий: (1) По результатам инверсии записей главного толчка центр тяжести модуля подвижки в источнике располагается в Центральном сегменте. Здесь же фиксируется максимальная плотность афтершоков. Эти данные с большой вероятностью указывают на область максимальных подвижек. Можно было бы ожидать, что и общий тензор сейсмического момента отражают, в первую очередь, движения в Центральном сегменте, где на поверхности наблюдаются чистые правые сдвиги. Однако в оценках тензора преобладает взбросовая компонента, и он значительно ближе к поверхностным дислокациям Северо-Восточного сегмента.

(2) Все плоскости сместителя, зафиксированные в сейсморазрывах, падают под юго-восточное крыло либо субвертикальны. Можно было бы ожидать, что большинство эпицентров афтершоков будет располагаться юго-восточнее поверхностных сейсморазрывов. Однако на Центральном сегменте картина обратная – две трети эпицентров афтершоков в плане попадают в северо-западное крыло.

(3) На протяжении более чем 100 км в поверхностных сейсморазрывах зафиксирована только правостдвиговая составляющая подвижек. Однако крайний юго-западный разрыв этой системы, расположенный на переходе от Центрального к Западному сегменту, является левым сдвигом. Резкая смена характера сброшенных напряжений происходит и в механизмах землетрясений. Для Западного сегмента характерно юго-восточное направление оси растяжения, в то время как в остальном очаге аналогичное направление имеют оси сжатия.

Два первых парадокса разрешаются при рассмотрении подкаталога наиболее точно определенных гипоцентров афтершоков. На двух основных сегментах очага: Северо-Восточном и Центральном в облаке афтершоков выделяется единая наклонная поверхность главного разрыва, след которой пересекает дневную поверхность у подножья хребтов, ограничивающих с юга Вывенскую впадину. В Северо-Восточном сегменте эта линия совпадает с системой поверхностных разрывов. Однако в Центральном сегменте главный разрыв остался полностью погребенным, а на поверхность вышел тыловой сдвиг. Вместе они ограничивают тонкую "щепку", зажатую между основными крыльями разрыва. Их полная относительная подвижка распределяется между двумя разломами: наклонным, частично погребенным, взбросом и тыловым сдвигом. Интересно, что оба разлома выражены в рельефе двумя параллельными хребтами. Это говорит о повторяемости подобных движений. Аналогичные структуры-щепки известны и в других регионах, например так устроена северо-западная часть Зондской дуги, где в декабре 2004 г. произошли катастрофические землетрясение и цунами, и Командорский блок Алеутской дуги. Третий парадокс объясняется существованием западного ограничения очаговой зоны. В частности спад правосторонней подвижки при переходе от очага к внешней "спокойной" области реализуется путем левостороннего сдвига. Аналогично в Западном сегменте на периферии очага и на поперечной границе Вывенской впадины возникла активная область, "компенсирующая" северо-западное сжатие на главной дислокации.

КОСТРОМСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2004 Г. $M=4.8$ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ САХАЛИН)

Л.Н. Поплавская¹, Т.В. Нагорных¹, Т.А. Фокина², Д.А. Сафонов^{1,2}, М.И. Рудик²

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Россия, г. Южно-Сахалинск, nagornyh@imgg.ru

²Сахалинский филиал ГС РАН, Россия, г. Южно-Сахалинск, fokina@seismo.sakhalin.ru

30 мая 2004 г. в 02h 52m по Гринвичскому времени в горах у западного побережья южной части о. Сахалин произошло землетрясение, ощущавшееся в близлежащих населенных пунктах интенсивностью до 6 баллов. Название ему дано по ближайшему к эпицентру поселку Костромское ($\Delta = 8$ км). Координаты эпицентра $\varphi=47.32^\circ$ с. ш., $\lambda=142.19^\circ$ в. д.; глубина $h = 13$ км.

Землетрясения в рассматриваемом районе происходили и ранее: в 1923-1924 гг., 1938 г., 1969 г., 1999 г. Костромское землетрясение 2004 г. локализовано значительно западнее всех предыдущих событий. Все эпицентры землетрясений расположены в районе Южно-Камышового хребта, относящегося к Западно-Сахалинским горам. Рассматриваемый район сложен палеоген-неогеновыми породами, нарушенными многочисленными разломами юго-восточного простирания, прослеженными от западного побережья вглубь острова, как правило, лишь на первые десятки километров.

По данным локальной сети цифровых сейсмостанций СФ ГС РАН получены эпицентры основного толчка и двух его афтершоков, рассчитанные по методу гипоинверсий. Эти параметры также были переопределены по совместным данным локальных, региональных и глобальных наблюдений в ИМГиГ и СФ ГС РАН по комплексу программ MGP (магнитуда, глубина, положение эпицентра) - базового для СФ ГС РАН. Результаты определения координат эпицентра обоими методами совпали между собой в пределах точности локализации. Глубина очага изучаемых землетрясений была определена по фазам, отраженным вблизи эпицентра, с использованием таблиц Л.Н. Поплавской для расстояний $\Delta \approx 1-14$ [2], Н.В. Кондорской – для $\Delta \geq 15$. Афтершоки землетрясения в первые и последующие сутки локализовались по данным региональной и локальной сетей. В рассматриваемый период времени на юге острова работала сеть из 10 автономных цифровых станций, которая позволяла регистрировать слабые землетрясения. За период наблюдения с 30.05 по 21.12.2004 г. в очаговой области Костромского землетрясения зарегистрировано 152 афтершока магнитудой $M \geq 1.5$.

По методике, разработанной группой авторов под руководством Л.Н. Поплавской для малоинформативных систем, было осуществлено определение механизмов очагов главного толчка 30.05.2004 г. $t_0=02-52-11.8$ и двух афтершоков: 30.05.2004 г. $t_0=04-51-35.9$ и 12.06.2004 г. $t_0=14-49-46.4$. Все три толчка произошли под действием преобладающих близгоризонтальных напряжений сжатия, однако ориентация оси сжатия менялась от юго-восточного направления для главного толчка к юго-западному для афтершоков.

В первые дни после землетрясения силами СФ ГС РАН было проведено макросейсмическое обследование территории южного Сахалина. Землетрясение ощущалось жителями 77 населенных пунктов юга острова, включая областной центр. Максимум макросейсмического воздействия пришелся на поселки Костромское и Пионеры, где интенсивность сотрясений достигала 5-6 баллов. Наблюдались сильные сотрясения зданий, падение предметов и движение мебели, трещины в штукатурке, массовые разрушения печных труб.

В результате аппроксимации зависимости зарегистрированного макросейсмического балла от расстояния получено уравнение макросейсмического поля для Костромского землетрясения, рассчитаны и построены теоретические изосейсты. Стоит отметить несколько завышенную ощутимость землетрясения вдоль западного побережья острова, особенно к югу от эпицентра. При этом в населенных пунктах центральной части южного Сахалина наблюдается интенсивность несколько ниже расчетной. Возможно, это является следствием экранирующего действия зоны Центрально-Сахалинского разлома, проходящего вдоль восточных склонов Западно-Сахалинских гор.

**СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ
ЧАРУОДИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2005 Г. С M_w 5.8 И M_w 5.6
(СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЛАНГ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ)**

Н.А. Радзиминович, В.И. Мельникова, Л.П. Имаева

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, nradzim@crust.irk.ru

Начиная с 1997 г. в северо-восточной части хр. Удокан к востоку от Токкинской впадины отмечается повышенная сейсмическая активность, продолжающаяся по настоящее время. Вначале был зарегистрирован рой землетрясений, который к 2003 г. практически затух, однако в 2005 г. в этом же месте произошли два сильных толчка с афтершоками: 10 ноября с $M_w=5.8$ ($M_s=6.0$) и 11 декабря с $M_w=5.6$ ($M_s=5.6$). Данные последовательности интересны тем, что они локализованы в области замыкания Байкальской рифтовой системы, которая здесь характеризуется сочленением со структурами Становой складчатой области и Алданского щита.

В докладе рассматривается сейсмический режим, механизмы очагов землетрясений и их сейсмо тектоническая позиция. Особое внимание уделено последним двум вопросам, т.к. именно они дают представление об особенностях областей с переходным режимом напряженно-деформированного состояния, в данном случае от рифтогенного растяжения к региональному сжатию.

Эпицентры всех рассматриваемых событий локализованы в блоковой структуре, ограниченной по периметру разломами субдолготного и восток-северо-восточного простирания, входящими в систему крупного разломного узла двух сопряженных глубинных зон: Темулякитской и Хани-Кудулинской. Эпицентрального поля рассматриваемых землетрясений вытянуто в северо-восточном простирании и охватывает площадь около 900 км². Сильные толчки 2005 г. произошли в северной части поля, удлиняя его в этом направлении. При роевых событиях в очагах землетрясений преобладали сдвиговые подвижки, присутствовала также взбросовая компонента. В большинстве случаев нодальные плоскости ориентированы в северо-восточных и северо-западных румбах и характеризуются соответственно право- и левосдвиговыми смещениями. Разрядка напряжений происходила под действием горизонтального сжатия, вектор которого ориентирован в широтном направлении, и горизонтального растяжения, действующего меридионально, то есть роевой процесс развивался в сдвиговом деформационном поле. Фокальные механизмы землетрясений второй серии толчков показали, что главные события и их афтершоки были вызваны сбросовыми смещениями по широтно ориентированным плоскостям. Активизация северо-восточных и северо-западных разрывов обусловлена организацией зоны Темулякитского разлома по типу Y-структуры и современной ориентацией поля тектонических напряжений. Широтное направление в данном районе контролируется Хани-Кудулинской разломной зоной, трассируемой от юго-восточного окончания Чарской впадины до субмеридионального отрезка р. Алдан и входящей в систему Станового краевого шва.

Еще одним вопросом, привлекающим внимания, является энергетический и временной аспект данных двух последовательностей. Энергетически афтершоковая серия значительно превосходит роевую, что позволяет предположить более значимую роль растяжения. Однако, это не согласуется с региональным полем тектонических напряжений сдвигового типа, проявляющимся уже с Чарской впадины. К тому же тот факт, что события сбросового типа произошли после сдвиговых смещений, может говорить об активизации структур широтного направления вследствие того, что в результате сдвиговых перемещений освободилось место для опускания материала. С другой стороны для осевой части Удоканского хребта вообще характерна высокая плотность эпицентров и преобладание растягивающих усилий, что может быть вызвано самостоятельными причинами, например тектоно-магматическим процессом, с учетом наличия здесь фактически современного вулканизма.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РОЕВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЕ В АКВАТОРИИ ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ.

Л.Б.Славина¹, В.И.Левина², Д.Н.Бабанова¹.

¹*Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва, slavina@ifz.ru*

²*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.ru*

Представлены результаты исследования особенностей распределения роевых последовательностей землетрясений, наблюдаемых в Камчатской сейсмоактивной зоне. Проанализировано их соотношение с долговременной сейсмичностью в фокальной зоне, а также периодичность и частота их появления вдоль Тихоокеанского побережья Камчатки.

Роевые последовательности были выделены из регионального каталога землетрясений Камчатки за период 1963 – 2008 гг., полученного Камчатским филиалом Геофизической службы РАН. Выборка из каталога осуществлялась для событий без ограничения по энергетическому классу и глубине гипоцентров.

Обнаружены особенности концентрации роевых последовательностей на отдельных участках и приуроченность их, в основном, к поперечным структурным элементам новейшей тектоники, выявленным Н.И.Селиверстовым. Распределение и появление роевых последовательностей для Камчатского, Кроноцкого, Авачинского заливов и юга Камчатки отличается и не схожи друг с другом.

Большая часть крупных роевых последовательностей наблюдается в южной части, к югу от Авачинского залива и п-ова Шипунский до мыса Лопатка. Они приурочены к отдельным блокам, ограниченными поперечными разрывами, относительно простираются фокальной зоны. Эта же особенность характерна и для районов Кроноцкого и Камчатского заливов, а также Кроноцкого полуострова. Обнаружено, что в период развития крупных роевых последовательностей, содержащих большое количество событий ($N > 100$), активность в фокальной зоне на интервале глубин, где происходили рои, на этом отрезке фокальной зоны ослабевает. Связь роевых последовательностей с сильными землетрясениями, в качестве предвестника, не обнаружена. Более того, в годы появления крупных роевых последовательностей землетрясений с энергетическим классом $K > 14$ не наблюдалось. Всего за исследуемый период времени выявлено 60 последовательностей на участке фокальной зоны от Камчатского полуострова на севере до мыса Лопатка на юге (от 56° до 51° СШ).

Из рассмотрения и анализа пространственно-временного распределения роевых последовательностей не удалось выявить закономерности в последовательности их появления во времени вдоль Камчатки. Оно носит, на наш взгляд, хаотический характер. В тоже время, явно просматривается периодичность в возникновении роев на отдельных морфологических и геолого-тектонических структурах. Так, для крупных роевых последовательностей наблюдавшихся к юго-востоку от п-ова Шипунский и южнее Авачинского залива можно отметить их периодическое возникновение на отдельных структурных блоках, ограниченных поперечными разломами. Однако, четкого чередования или направленного перемещения от блока к блоку не выявлено. Тем не менее, можно отметить, что одновременно, в один и тот же год рои на разных структурах не происходят. Для некоторых из них можно выделить 8-11 летний цикл повторяемости крупных роевых последовательностей.

При исследовании распределения землетрясений в рое по глубине, построении сечений вкрест фокальной зоны обнаружена наклонная структура погружения в направлении, противоположном наклону фокальной зоны, в сторону глубоководного желоба, под углом $\sim 45^{\circ}$. Вероятно, характер роевых последовательностей, их «мощность», т. е. число событий, распределение по глубине, площади и времени связаны с особенностями блокового строения, новейшей тектоникой прикамчатских акваторий. Четко не просматривается их связь с основной фокальной зоной. Можно предположить, что рои происходят вне неё, и связаны с тектоническими структурами более позднего заложения.

**Физическое и математическое
моделирование
в сейсмологии и геофизике**

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ РАССЕЯННЫХ ВОЛН МЕТОДОМ МОМЕНТОВ: ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК В ТРЕХМЕРНОЙ СРЕДЕ С ИЗОТРОПНЫМ РАССЕЯНИЕМ

И.Р. Абубакиров

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, air@emsd.ru

Высокочастотные сейсмические волны, распространяясь в неоднородной литосфере, рассеиваются и формируют волновые поля сложной структуры. В этих полях содержится важная информация о статистических свойствах земной среды и о параметрах сейсмических источников.

Чтобы извлечь эту информацию, нужно вести интерпретацию данных наблюдений на основе адекватной теории рассеяния волн. В последние десятилетия для теоретического анализа процесса рассеяния и разработки корректных методов интерпретации рассеянных сейсмических волн стала широко использоваться теория переноса излучения в случайно-неоднородной среде.

К настоящему времени получено аналитическое решение уравнения переноса для базового, хотя и не вполне реалистического случая многократного изотропного рассеяния волн от мгновенного изотропного точечного источника в статистически-однородной рассеивающей среде. Это решение составляет теоретическую основу известного метода MLTWA (Multiple Lapse Time Window Analysis), который широко используется в сейсмологии для разделения эффектов рассеяния и поглощения при анализе короткопериодных записей слабых близких землетрясений. Использование интегралов от записи по нескольким временным окнам делает этот метод принципиально весьма надежным.

Кроме того, для случая многократного изотропного рассеяния волн от мгновенного изотропного точечного источника в статистически-однородной рассеивающей среде предложены полиномиальные разложения, позволяющие производить численный расчет решения уравнения переноса по известным пространственным моментам, которые могут быть определены в замкнутой форме. Важной особенностью этих разложений является тот факт, что они допускают обобщение на реалистический случай анизотропного рассеяния, для которого аналитическое решение, пригодное для практических расчетов, отсутствует.

Однако полученные до настоящего времени полиномиальные разложения не свободны от некоторых недостатков. Так, например, для обеспечения высокой точности вблизи волнового фронта требуется большое число членов в разложении. Увеличение числа членов в разложении приводит к накоплению ошибок округления, в результате чего решение вблизи волнового фронта становится непригодным. В данной работе получена новая форма полиномиального разложения, позволяющая производить аккуратный численный расчет решения уравнения переноса, как в окрестности волнового фронта, так и вдали от него.

Новое полиномиальное разложение используется для реконструкции пространственно-временного распределения плотности энергии рассеянных волн с кратностью рассеяния второго и более высоких порядков (для однократно-рассеянного излучения используется известное аналитическое решение). Расчет пространственного распределения плотности энергии многократно рассеянных волн на малых временах, не превышающих трех единиц времени свободного пробега, производится с использованием полиномов Гегенбауэра. На больших временах используются полиномы Эрмита.

Проведенное сопоставление с точным решением уравнения переноса показало, что относительная точность предложенного полиномиального разложения в окрестности волнового фронта не превышает 0.5%.

Таким образом, новая форма полиномиального разложения, может быть использована для разделения эффектов поглощения и рассеяния при анализе короткопериодных записей слабых близких землетрясений в рамках модели изотропного рассеяния с использованием метода MLTWA.

Более того, полученная форма полиномиального разложения, в принципе, может быть обобщена на случай анизотропного рассеяния, что позволит эффективно использовать метод MLTWA в рамках реалистической модели многократного анизотропного рассеяния.

ГЕОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ОХОТОМОРСКОГО СКЛОНА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Ю.И. Блох¹, В.И. Бондаренко², В.А. Рашидов³, А.А. Трусов⁴

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Орджоникидзе, 117873, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: yuri_blokh@mail.ru

²Костромской Государственный Университет им. Н.А. Некрасова, 156000, Кострома, ул. 1 Мая, 14; e-mail: vibond@list.ru

³Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйна, 9; e-mail: rashidva@kscnet.ru

⁴ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика_103287 Москва, 2-ая Хуторская, д. 38/А, стр. 15; e-mail: trusov@aerogeo.ru

Подводные вулканы, расположенные на Охотоморском склоне Курильской островной дуги (КОД) были изучены во время проведения комплексных геолого-геофизических исследований с борта НИС «Вулканолог». Комплекс исследований включал эхолотный промер, непрерывное одноканальное сейсмоакустическое профилирование (НСП) в модификации метода центрального луча с применением электроискрового источника, модульную гидромагнитную съемку (ГМС) и драгирование. Для большей части Курильской островной дуги эхолотный промер и геофизическая съемка были выполнены по системе пересекающихся галсов со средним межпрофильным расстоянием 5 км, со сгущением на отдельных участках до 0.5-1 км. Общая длина отработанных профилей составила приблизительно 60000 погонных км.

На первых этапах при изучении погребенной вулканической зоны к западу от о. Парамушир, подводных вулканов Белянкина, Смирнова и Крылатка для интерпретации данных ГМС применялись 2D и 2.5D геомагнитное моделирование.

В последние годы с введением новых компьютерных технологий на смену 2D и 2.5D моделям приходит 3D моделирование различных геологических структур. Важной задачей становится обработка материалов имеющихся кондиционных геофизических съемок с применением современных технологий, решение которой в настоящее время возможно только путем интеграции академической, вузовской и отраслевой науки, что нашло свое отражение при изучении подводных вулканов Охотоморского склона КОД.

В настоящее время авторским коллективом активно развивается 3D геомагнитное моделирование с применением современного пакета программ структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D в комплексе с данными эхолотного промера, НСП и геологического опробования. Моделирование подводных вулканов является одним из наиболее перспективных направлений применения пакета СИГМА-3D, с помощью которого только в Российской Федерации проведена интерпретация потенциальных полей более чем на трети ее территории.

С помощью программ пакета СИГМА-3D в пределах КОД изучены островершинные подводные вулканы 1.4 и Юбилейный, плосковершинные подводные вулканы Григорьева, Берга и Крылатка, а также выполнена обработка данных площадной ГМС на полигоне от вулканического массива Алаид до банки Лебеда. При этом среднеквадратическая погрешность подбора в процессе 3D моделирования изменялась в пределах 10-58 нТл.

Выполненная комплексная интерпретация позволила выявить в пределах подводных вулканических построек вершинные кальдеры, побочные лавовые конусы и экструзивные купола, определить местоположение активных вулканических центров и выделить отдельные лавовые потоки. В непосредственной близости от вулканов были отмечены линейные зоны, сложенные породами с повышенной намагниченностью. Отмечено хорошее совпадение результатов вычисления эффективной намагниченности с данными лабораторного изучения физических свойств драгированных образцов, что позволило идентифицировать выделенные лавовые потоки по составу слагающих их пород.

Сопоставление результатов 2.5D и 3D геомагнитного моделирования подводных вулканов КОД показало достаточно хорошее их совпадение, но трехмерные модели оказываются более дифференцированными и отражающими тонкие детали внутреннего строения вулканических построек, что, несомненно, важно при комплексном изучении подводных вулканов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проект 09-III-A-08-427).

РАЗВИТИЕ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОТОКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ АФТЕРШОКОВ, ФОРШОКОВ, КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ И ТРИГГЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ.

Л.М. Богомолов¹, В.Н. Сычев², Н.А. Сычева²

¹*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г Южно-Сахалинск,
ул Науки 1Б, bogomolov@imgg.ru*

²*Научная станция РАН в г Бишкеке, Киргизстан, nelya@gdirc.ru*

Целью доклада является продолжение анализа взаимосвязи вариаций потока событий слабых сейсмических событий с воздействиями таких факторов как приливные деформации и электромагнитные импульсы, возникающие при магнитных бурях и, возможно, некоторых геофизических экспериментах по электромагнитным зондированиям земной коры. Ранее на научных форумах эти вопросы уже обсуждались, включая предвестниковое значение корреляций приливных волн и вариаций сейсмического шума, электроимпульсное влияния фазах на локальную сейсмичность на примере региона Северного Тянь-Шаня. Но вопрос остается актуальным, поскольку физическая природа эффекта возрастания числа слабых событий при воздействии электромагнитных импульсов не была установлена. Представляется, что для анализа этих вопросов может быть полезна феноменологическая модель, основанная на кинетических уравнениях для сейсмической активности, или для отдельных групп (выборок) событий, отличающихся энергетическими классами.

В докладе рассматривается одна из феноменологических моделей, позволяющая обобщить предшествующие подходы, при которых афтершоки и другие явления, упомянутые в заголовке, анализировались независимо друг от друга. Обоснование унифицирующей модели опирается на уже существующие и новые модели, так или иначе отражающие неоднородность и геосреды и наличие в ней различных структур. Наиболее известна модель stick-slip, в усложненных вариантах которой введены зависимости параметров нелинейного трения (входящие в определяющее соотношение-constitutive law) от внешних факторов. Близкие по сути результаты получены и из двумерного обобщения модели Барриджа- Кнопова, учитывающей касательное напряжение на границах блоков (трение). В ИДГ РАН предложен несколько иной подход, использующий зависимость трения не от скорости подвижки (как в модели stick-slip), а от смещения вдоль поверхности. Общим для моделей является наличие некоторой характерной длины D_c (размер зацепа, в простейшем случае), определяющей изменение режима движения по разлому, когда относительное смещение превышает эту величину. При обсуждении подходов фокусируется внимание на соответствии результатов с экспериментальными данными о наведенной сейсмичности. Показано, что в некоторых случаях это достижимо при обобщении моделей. В частности, при обобщении уравнений модели stick-slip с учетом пластической компоненты деформации самих блоков, из них следует возможность стабилизации при достаточно большой скорости смещения. Это соответствует наблюдениям и выводам из модели, разработанной в ИДГ РАН. Обобщение определяющих уравнений Дитриха либо Руины, фигурирующих в модели stick-slip, позволяет также сформулировать феноменологическую модель триггерных эффектов. Эта модель описывает, что эффект от слабого внешнего возмущения (дающего подвижку, или прирост касательного напряжения) достигается за счет скорости его нарастания. Феноменологическая модель позволяет понять ряд закономерностей эффектов, инициируемых импульсными физическими полями на разных структурно-масштабных уровнях (от испытываемых в лаборатории образцов размером несколько сантиметров до сейсмогенерирующих структур земной коры, характеризующихся километровыми размерами). Так, в частности, с единых позиций описываются триггерные эффекты (разовые отклики на внешние импульсные воздействия) и синхронизация периодичностей внешних физических полей и потока сейсмических событий. Проводится сравнение с уравнениями саморазвивающихся процессов, описывающих форшоки и афтершоки.

Для случая периодического внешнего воздействия (условная, примитивная модель приливных возмущений) получен неожиданный результат – фаза отклика микросейсмичности на синусоидальные возмущения может как отставать, так и опережать фазу внешних возмущений. Опережение соответствует случаю нахождения системы вблизи точки неустойчивого равновесия. Важно, что подобный результат отражает именно кинетику процесса, он не может быть получен только из «сигма-эпсилон» характеристик нагруженного тела.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ

С.В. Болдина, Г.Н. Копылова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, boldina@emsd.ru

В пьезометрических скважинах, расположенных в сейсмоактивных районах мира, регулярно регистрируются разнообразные вариации уровня воды, вызванные землетрясениями. В качестве основных факторов сейсмического воздействия на состояние системы скважина–резервуар рассматриваются изменение статического напряженного состояния водовмещающих пород при образовании разрывов в очагах землетрясений, воздействие сейсмических волн и процессы подготовки землетрясений. Для объяснения гидрогеодинамических процессов в системе скважина–резервуар при воздействии землетрясений может использоваться моделирование гидрогеосейсмических вариаций уровня воды на основе различных математических моделей поведения флюидонасыщенных пористых упругих материалов под нагрузкой и их приложений для пьезометрических скважин. Математическое описание поведения флюидонасыщенных пористых упругих материалов под нагрузкой дано Biot, 1941 и Rice and Cleary, 1976. В работе Rojstaczer and Agnew, 1989 приводится математическое описание приливного и барометрического откликов уровня воды в скважине и способ оценки дренированной сжимаемости резервуара подземных вод, его пористости и удельной упругой емкости. В этой работе также показано, что в статически изолированных условиях по данным об аномальных вариациях уровня воды возможна количественная оценка деформации резервуара подземных вод. В работе Hsieh et al., 1987 рассмотрено поведение системы скважина–резервуар при гармонических барометрических, приливных и сеймотектонических изменениях порового давления; дано математическое описание инерционности водообмена между скважиной и резервуаром подземных вод. В работе Cooper et al., 1965 представлена математическая модель установившихся гармонических колебаний порового давления и уровня воды в скважине при прохождении сейсмических волн. В работе Wakita, 1975 рассмотрено распределение по площади косейсмических скачков уровня воды при землетрясении и показано, что распределение повышений и понижений уровня определяется квадрантным распределением объемной деформации по фокальному механизму землетрясения. В работах Roeloffs, 1988; Brodsky et al., 2003 рассматривался механизм длительных постсейсмических понижений уровня воды в скважине за счет изменения порового давления в резервуаре при сейсмических сотрясениях.

По данным уровнемерных наблюдений в скважине ЮЗ-5, Камчатка, выделены различные типы гидрогеосейсмических вариаций уровня воды. На примере этой скважины, с использованием имеющихся математических моделей, впервые построена феноменологическая модель гидрогеодинамических процессов в системе скважина–резервуар при воздействии различных факторов сейсмичности. Построение модели включало: 1 – обоснование наличия недренированного статически изолированного отклика уровня воды на вариации порового давления при изменении напряженно–деформированного состояния насыщенных горных пород и оценку его параметров – диапазона периодов проявления и величины приливной чувствительности уровня воды; 2 – оценку упругих и фильтрационных свойств водовмещающих пород; 3 – оценку параметров инерционности водообмена между скважиной и резервуаром подземных вод; 4 – моделирование различных типов гидрогеосейсмических вариаций уровня. Дано объяснение гидрогеодинамических процессов в системе скважина–резервуар, вызывающих разнообразие наблюдаемых гидрогеосейсмических вариаций уровня воды. Гидрогеодинамический предвестник Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., $M=7.8$ и косейсмические скачки уровня объясняются упругой реакцией порового давления на деформацию водовмещающих пород. Определены характер и величины косейсмической и предсейсмической деформации в районе скважины по амплитудам аномального изменения и величине приливной чувствительности уровня воды. Постсейсмические смещения уровня могли быть вызваны вариациями порового давления вследствие изменения фильтрационных свойств водовмещающих пород при сейсмических сотрясениях. Оценен радиус чувствительности скважины к источнику падения порового давления при длительном понижении уровня воды после Кроноцкого землетрясения. Колебания уровня воды в скважине ЮЗ-5 возникают вследствие резонансного усиления вариаций порового давления в стволе скважины при прохождении низкочастотных поверхностных волн от сильных удаленных землетрясений. Обнаружен эффект кратковременного улучшения фильтрационных свойств водовмещающих пород при прохождении сейсмических волн.

РАЗРАБОТКА ПЯТИЭЛЕМЕНТНЫХ КВАЗИУПРУГИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОНИТОРИНГА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Е.Н.Быцань

Институт геофизики им. С.И.Субботина, НАН Украины, г. Киев, 32, byzan@ukr.net

Большие промышленные объекты (нефтехранилища, составы и тому подобное) создают значительное давление на грунт, вследствие чего имеет место ползучесть. Это требует создание постоянного геодинамического мониторинга на этих объектах с целью повышения безопасности их эксплуатации. Процесс ползучести описывается с помощью реологических тел (РТ), построенных определенным образом в зависимости от механических параметров среды. В реологии на данное время используются реологические тела, порядок которых не превышает четырех, и которые позволяют использовать не больше двух времен последствия (времен ползучести). Расширение спектра времен последствия требует построения РТ более высокого порядка.

В сообщении будут рассматриваться пятиэлементные РТ, которые состояются с двух упругих и трех вязких, или с двух вязких и трех упругих элементов, соединенных между собою с помощью двух последовательных и двух параллельных связей. РТ с иными параметрами будут вырожденными, то есть они будут эквивалентны РТ с меньшим числом элементов. РТ с первой группы будем называть квазивязкими (КВРТ) в отличие от РТ с второй группы, которые назовем квазиупругими (КУРТ). Связь между напряжением и деформацией в РТ устанавливается с помощью реологических уравнений (РУ), которые являются обобщением закона Гука и записываются таким образом:

$$P\sigma = Q\varepsilon, \quad (1)$$

РТ высокого порядка образуются путем объединения РТ меньшего ранга. При параллельном соединении этих РТ их РУ запишутся таким образом:

$$P_1 P_2 \sigma = (P_1 Q_2 + P_2 Q_1) \varepsilon. \quad (2)$$

а при последовательном - так:

$$(P_1 Q_2 + P_2 Q_1) \sigma = Q_1 Q_2 \varepsilon. \quad (3)$$

РУ произвольного пятиэлементного КУРТ записывается в обобщенном виде (в стандартной форме) таким образом:

$$\sigma + a_1 \dot{\sigma} + a_2 \ddot{\sigma} = E_H (\varepsilon + b_1 \dot{\varepsilon} + b_2 \ddot{\varepsilon}), \quad (4)$$

где коэффициенты a_i и b_i – положительные константы, которые выражаются через вязкоупругие параметры РТ; σ – напряжение, ε – деформация; E_H – упругая константа (нерелаксирующий упругий модуль); точкой обозначено дифференцирование по времени.

Процесс ползучести будет иметь место в случае, когда в теле поддерживается постоянное напряжение. Деформация (функция ползучести) в этом случае запишется таким образом:

$$\varepsilon = \frac{v_1(\varepsilon_0 - \hat{\varepsilon} + v_2 \dot{\varepsilon}_0)}{v_1 - v_2} e^{-t/v_1} + \frac{v_2(\varepsilon_0 - \hat{\varepsilon} + v_1 \dot{\varepsilon}_0)}{v_2 - v_1} e^{-t/v_2} + \frac{\sigma_0}{E_H}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_0 = \varepsilon(0)$, $\dot{\varepsilon}_0 = \dot{\varepsilon}(0)$, $\hat{\varepsilon} = \sigma_0 / E_H$ – частное решение уравнения $\varepsilon + b_1 \dot{\varepsilon} + b_2 \ddot{\varepsilon} = \sigma_0 / E_H$, а времена релаксации деформации при постоянной нагрузке v_i определяются с помощью такого характеристического уравнения: $v^2 - b_1 v + b_2 = 0$, где b_1 и b_2 – коэффициенты РУ (4).

Если в момент $t = t_1$ снять нагрузку, то в теле будет происходить последствие. Деформация в этом случае запишется в такой способ:

$$\varepsilon = \frac{v_1^2 (\ddot{\varepsilon}_1 v_2 - \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_1)}{v_2 - v_1} (1 + e^{-t'/v_1}) - \frac{v_2^2 (\ddot{\varepsilon}_1 v_1 - \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_1)}{v_2 - v_1} (1 + e^{-t'/v_2}),$$

где $t' = t - t_1$, $\varepsilon_1 = \varepsilon(t_1)$, $\dot{\varepsilon}_1 = \dot{\varepsilon}(t_1)$, и будет изменяться от ε_1 при $t = t_1$ до 0 при $t = \infty$.

Критерием повышенной опасности является отклонение полученных мониторинговых результатов от расчетных, которые определяются с помощью априорной информации о механических параметрах контролируемой среды.

НОВЫЙ ТИП УПРУГИХ РОТАЦИОННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛН

А.В. Викулин

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, vik@kscnet.ru

В рамках классической теории упругости в предположении гипотезы Пейве-Седова-Садовского о существовании собственного макроскопического момента количества движения у блока геофизической среды была по-новому поставлена и аналитически решена задача о поле упругих напряжений очага тектонического землетрясения. Установлен дальнедействующий характер такого поля, что дало возможность перейти к цепочке взаимодействующих блоков, позволяющей моделировать сейсмический процесс, протекающий в пределах сейсмических поясов планеты. Поставлена задача о движении цепочки взаимосвязанных блоков и получено ее феноменологическое решение. Показано, что решение такой задачи в виде солитонов и экситонов (в терминологии А.С. Давыдова (1982)), позволяет описать весь спектр известных значений скоростей миграции землетрясений. При этом солитонные решения, представляющие собой глобальные волны миграции землетрясений (медленные тектонические волны (Быков, 2005)), характеризуются максимальными скоростями $c_0 \approx 1-10$ см/с. Экситонные решения (быстрые тектонические волны) характеризуют волны (локальной) миграции (Быков, 2005) форшоков и афтершоков в очагах землетрясений с максимальными скоростями, достигающими значений скорости сейсмических волн. В тектоническом приближении (Николаевский, 1996), считая длину волны экситона, равной размеру сейсмофокального блока (очага сильнейшего землетрясения, $2R_0$), получено, что максимальная солитонная скорость c_0^2 является, по сути, характерной для упругой блоковой ротационной модели скоростью

$$c_0^2 \approx V_R V_S,$$

равной среднегеометрическому произведению центробежной $V_R \approx \Omega R_0$ и поперечной сейсмической V_S скорости, Ω - угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси.

Другими словами, для блоковых вращающихся геофизических сред теоретически установлено существование нового типа упругих ротационных волн и показано, что именно такие волны ответственны за миграцию землетрясений (Викулин, 2008, Vikulin, 2006) и взаимодействие тектонических плит (Тверитинова, Викулин, 2005, 2007, 2008). В рамках описанных представлений оказывается возможным объяснить такие волновые свойства сейсмического планетарного процесса, как землетрясения-дуплеты и землетрясения-мультиплеты, пары землетрясений, удаленные афтершоки и форшоки, генерация Чандлеровских колебаний землетрясениями и доплеровское связанное с вращением Земли «расщепление» форшоковых и афтершоковых волн миграции в «широотно» и «долготно» ориентированных очагах наиболее сильных землетрясений с $M_w \approx 9$ (Викулин, 2009).

В самое последнее время появились новые данные о невозможности существования упруго-вязких волн, распространяющихся вдоль литосферного разлома (Антонов, Кондратьев, 2008). Такие волны описываются в рамках широко известных тектонических моделей (Elsasser, 1969; Savage, 1971; Лобковский, Баранов, 1984; Маламуд, Николаевский, 1989; Николаевский, 1995, 1996, 2008; Быков, 2000, 2005; Bykov, 2008; Gershenzon, Bykov, Bombakidis, 2009 и др.). В складывающейся ситуации описанный выше построенный автором ротационно-упругий механизм, допускающий существование собственных моментов у геофизических блоков и геологических плит, становится, пожалуй, единственно возможным механизмом, способным объяснить природу тектонических волн. В противном случае возникают, по-видимому, непреодолимые трудности физического характера при построении сильно нелинейных уравнений движения геофизической и геологической сред (Викулин, 2009).

ДВА ТИПА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ОЧАГАМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.В. Викулин¹, С.А. Викулина²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, vik@kscnet.ru

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский

Такие закономерности сейсмического процесса, как группируемость землетрясений и их повторяемость, сейсмический цикл, «непересечение» очагов сильнейших и сейсмических дыр (областей низкой активности) сильных землетрясений, землетрясения-дуплеты и -мультиплеты указывают на существование между очагами землетрясений взаимодействия. Далее, эффекты миграции очагов землетрясений, включая миграцию вдоль сейсмических поясов на десятки тысяч километров, парных землетрясений, типичными представителями которых являются Среднекурильские землетрясения 19.01 – 29.06.1780 и 15.11.2006 – 13.01.2007 гг. и удаленных афтершоков указывают на дальнедействующий волновой характер такого взаимодействия. И, наконец, генерация Чандлеровских колебаний землетрясениями и связанное с вращением Земли Доплеровское расщепление фор-афтершоковых миграционных волн в «широотно» и «долготно» ориентированных очагах землетрясений протяженностью около тысячи и более километров позволяет предположить, что кроме «обычного» взаимодействия, связанного с «волновым» переносом упругой энергии, существует и взаимодействие, ответственное за перераспределение момента количества движения планеты между очагами землетрясений (Викулин, Викулина, 2008).

Вывод о существовании «моментного» взаимодействия подтверждается данными о наиболее сильных землетрясениях, которые при их значительных по величине магнитудах $M_w \approx 9$ и больших по протяженности афтершоковых областях $L \approx 1000$ км, каждая из которых состояла из нескольких (N) субочагов, сопровождалась аномально низкими и макросейсмическими и цунами эффектами. К числу таких событий можно отнести, например, землетрясение 2.07.1965, $M_w \approx 8,7$, $L = 600 - 700$, $N = 3 - 5$, которое на Крысьих и Андреяновских (Алеутских) островах, расположенных внутри очаговой области, ощущалось не более чем 6-балльное по XII-балльной шкале (Иванов, Константинова, 1988; Francis, Kanamori, 1973). Такие же аномалии отмечены и при некоторых других сильнейших алеутских землетрясениях. Так, землетрясение 17.12.1929, $M_s = 8$, $L = 600 - 700$ на островах Ближних и Беринга ощущалось с интенсивностью не более 5 баллов, землетрясение 10.11.1938, $M_s = 8,3$, $L = 600 - 900$ на полуострове Аляска, фактически, на границе афтершоковой области – не более 6 баллов при незначительном цунами (Викулин, 2008; Иванов, Константинова, 1988; Качахара, 1985; Соловьев, Го, 1974; Francis, Kanamori, 1973).

Аномально низкий макросейсмический и цунами эффект при таком землетрясении позволяет предположить, что моментное взаимодействие между его субочагами является не столько результатом «сброса» значительной по величине упругой энергии, снимаемой с поверхности образовавшихся при землетрясении разрывов, сколько результатом «перераспределения» в объеме литосферы момента силы упругих напряжений, ответственного за взаимодействие субочагов. Такие «моментные» напряжения согласно ротационной модели сосредоточены не столько в пределах очага (субочагов), сколько в окружающем очаг пространстве (Викулин, 2009).

Обратная задача очага имеет неединственное решение (Павлов, 1996). Показано, что для уединенного источника расширения такая задача, в принципе, имеет два решения (Ivanchin, 1994). Приведенные выше данные позволяют определить два типа взаимодействия, каждый из которых определяется «сдвигово»-энергетическим и «объемно»-моментным механизмами. По величине они существенно различаются – теоретически при принятых параметрах геофизической среды «сдвиговый» превышает «объемный» примерно на треть (Ivanchin, 1994).

АНАЛИЗ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, АДЕКВАТНЫХ РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СНЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Г.М. Водинчар¹, В.А. Гаврилов², Е.В. Полтавцева²

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, gvodinchar@yandex.ru*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vgavr@kscnet.ru*

Анализируются результаты непрерывных измерений уровня естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) в СНЧ-диапазоне частот, проводимых с мая 2003 г. на пункте Г-1 (53°03'с.ш.; 158°40'в.д.), расположенном в черте г. Петропавловска-Камчатского. К основным особенностям методики и техники электромагнитных измерений в данном случае можно отнести использование подземной электрической антенны оригинальной конструкции и проведение измерений в сверхнизкочастотном диапазоне частот (25÷1500 Гц по уровню 0,5). Аппаратурным комплексом, расположенным у устья скважины, производится усиление и разделение спектра исходных сигналов полосовыми фильтрами на четыре полосы с центральными частотами 30 Гц, 160 Гц, 560 Гц и 1200 Гц с измерением средневывпрямленных значений сигналов на выходах каждого из фильтров. Дальнейшая обработка сигналов производится микропроцессорным контроллером, в функции которого входит аналого-цифровое преобразование поступающих на вход сигналов, вычисление средних значений сигналов на интервале в одну минуту, а также запись данных в память для дальнейшей передачи по каналу связи. Сделаны оценки соответствия данных по изменению уровня ЕЭМИ на заключительной стадии подготовки и реализации катастрофических Симуширских землетрясений 2006–2007 гг. некоторым физико-математическим моделями источников электромагнитной эмиссии геосреды. В том числе показано, что аномальные изменения минимального уровня ЕЭМИ, зарегистрированные в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона в сентябре 2005 г. – июле 2006 г., хорошо согласуются с моделью для ансамбля трещин отрыва. Полученные результаты указывают на высокую чувствительность системы с подземной электрической антенной к изменениям уровня ЕЭМИ литосферного происхождения.

ОПРОБОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ГРУНТА НА ПРИМЕРЕ ПЕТРОПАВЛОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 24.11.1971 ($M=7.6$)

А.А. Гусев^{1,2}, Е.М. Гусева², В.М. Павлов²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

²*Камчатский филиал Учреждения Российской академии наук Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, pvt@emsd.ru*

Запись сильных движений грунта при сильном землетрясении 24 ноября 1971 г с очагом вблизи Петропавловска-Камчатского использована для опробования новой методики моделирования сильных движений грунта в широкой полосе частот. В методике используются сейсмологически обоснованные модели излучателя-очага и упругой среды. Очаг представлен решеткой точечных излучателей-дислокаций со случайными сейсмическими моментами (амплитудами) и случайными временными функциями. Для описания распространения волн и остаточных перемещений слоистой среды разработан новый метод расчета функций Грина. Методика применена для имитации горизонтального движения грунта, зарегистрированного прибором С5С-ИСО при сильном землетрясении 24.11.1971 г с очагом вблизи Петропавловска-Камчатского (глубина 105 км). Положение гипоцентра, размеры и расположение разрыва и «механизм очага» считались известными заранее. Путем подбора длительности очагового процесса и всего двух спектральных параметров удалось успешно промоделировать основные характеристики колебаний грунта: амплитуды ускорения, скорости и смещения грунта, их спектр Фурье, длительность колебаний, спектр реакции. Особенностью очага является необычно высокий уровень высокочастотного излучения, вероятно связанный с внутриплитным расположением очага.

НАРУШЕНИЕ РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

М.М. Довбнич

Национальный горный университет, г. Днепрпетровск, Украина, dovbnichm@mail.ru

Рассматривая Землю как вращающуюся систему, становится очевидным, что на каждый элемент данной системы действует пара сил – сила гравитационного притяжения между элементами и центробежная сила, обусловленная осевым вращением планеты. Равновесной фигурой такой вращающейся системы является эллипсоид вращения. Действительно, Земля находится в состоянии, близком к состоянию гидростатического равновесия вращающейся, неоднородной по радиусу жидкости – эллипсоида. В тоже время имеет место ряд факторов, приводящих к нарушению равновесного состояния вращающейся Земли, которые можно разделить на две группы: первичные и вторичные. К первой группе относятся вариации скорости вращения, дрейф оси вращения в теле планеты и лунно-солнечные приливы, ко второй – отклонения фигуры Земли от эллипсоида, проявляющиеся в виде аномалий геоида. При изменении ротационного режима Земля вынуждена менять свою форму, приспособляясь к новой угловой скорости вращения и новому положению оси вращения. Под действием лунно-солнечных приливов также возникают деформации фигуры равновесия вследствие ее «вытягивания» в направлении действия приливообразующего тела. Принимая во внимание, что тектоносфера Земли имеет сложное разломно-блоковое строение, под действием перечисленных факторов происходят вторичные деформационные процессы, заключающиеся во взаимном перемещении блоков, что в свою очередь приводит к возникновению нарушения равновесного состояния в виде аномалий геоида.

Поскольку существуют факторы, вызывающие отклонения реальной фигуры Земли от фигуры равновесия, то в соответствии с фундаментальным физическим принципом минимизации энергии динамической системы, должны существовать и силы, стремящиеся выровнять эти неоднородности, привести их в соответствие с фигурой равновесия для данных параметров ротационного режима. Как следствие в тектоносфере планеты будут возникать напряжения. Очевидно, что закон распределения напряжений будет определяться функцией отклонения фигуры Земли от соответственного эллипсоида. Имея данные о величине нарушения равновесного состояния в пространстве и времени, можно оценить величины напряжений в тектоносфере, связанные с этими нарушениями.

Напряженно-деформированное состояние является одной из важнейших характеристик тектоносферы, определяющей развитие большинства геопроцессов, его оценка позволяет дать ответы на многие вопросы тектоники и геодинамики.

Автором разработаны подходы оценки напряженного состояния тектоносферы, обусловленного нарушением равновесного состояния вращающейся Земли. На основе расчетных полей напряжений (в рамках разломно-блоковой модели сейсмического процесса) установлены закономерности в протекании сейсмических явлений, как на планетарном уровне, так и для отдельных сейсмически активных регионов. В настоящей работе моделирование напряженно-деформированного состояния позволило решить следующие задачи:

- с позиции вариаций скорости вращения и положения оси вращения в теле Земли дано объяснение закономерностей выделения сейсмической энергии в пределах сейсмически активных поясов;
- рассмотрена роль лунно-солнечного приливного вибровоздействия как триггерного механизма при протекании сейсмических процессов;
- на основе данных спутниковой (проект GRACE) и наземной гравиметрии построены модели сейсмогенерирующих структур ряда сейсмоактивных сегментов;
- показана возможность использования полей напряжений, обусловленных нарушением равновесного состояния как дополнительного критерия при сейсмотектоническом районировании.

СТРОЕНИЕ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА И БЛИЗЛЕЖАЩИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПО ИНВЕРСИИ ГРУППОВЫХ СКОРОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН.

Дрозина С.Я.¹, Шапиро Н.М.², Гордеев Е.И.^{1,3}, Дрозин Д.В.¹, Чебров, В.Н.¹

¹Камчатский филиал, Геофизическая служба РАН, г.Петропавловск-Камчатский, dsv@emsd.ru;

²Институт физики Земли, Париж, Франция, nshapiro@ipgp.jussieu.fr.

³Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

По записям «Олюторского землетрясения» 20 апреля 2006 года ($M_w=7.6$) и его сильнейших афтершоков на широкополосных сейсмических станциях мировой сети IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology, <http://www.iris.edu>) и сети Камчатского филиала ГС РАН были вычислены дисперсионные кривые основных мод волн Рэлея и Лява для трасс, проходящих через полуостров Камчатка, Командорскую котловину и Охотское море. Групповые скорости вычислялись методом спектрально-временного анализа (Levshin et al., 1989) на периодах от 7 до 100 сек. Скоростной разрез поперечных волн был выполнен с помощью инверсии дисперсионных кривых методом Монте-Карло.

По результатам исследований, толщина земной коры под полуостровом Камчатка составляет около 32 км. В районе Охотского моря - 25-27 км, что соответствует переходному типу земной коры от океанической к континентальной. Для Командорской котловины – 17 км, что отвечает океаническому типу коры. Также мы отмечаем отличие скоростей в верхней мантии между северной и южной частью полуострова Камчатка. Верхняя мантия под восточным побережьем Камчатки южнее Камчатского мыса (трасса KBG – РЕТ) характеризуется относительно высокими сейсмическими скоростями, из-за присутствия зоны субдукции. В то время как верхняя мантия под северной Камчаткой (трасса эпицентр – KBG) относительно медленная.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ СТАТИСТИКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МИКРОСЕЙСМ

А.А. Любушин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, lyubushin@yandex.ru

Низкочастотные микросейсмические колебания являются важным источником информации о процессах в земной коре, несмотря на то, что основная энергия этих колебаний обусловлена процессами в атмосфере и океане: вариациями атмосферного давления и воздействием океанических волн на берег и шельф. Фактически земная кора является средой распространения энергии от атмосферных и океанических процессов и, поскольку передаточные свойства коры зависят от ее состояния, то и статистические свойства микросейсм отражают изменения свойств литосферы. Ниже для анализа используется аппарат мультифрактальных спектров сингулярности, позволяющий наиболее детально описать структуру шума. Анализируемые данные – вертикальные компоненты с шагом по времени 1 сек (LHZ-записи). Использовались оценки спектра сингулярности в последовательных непересекающихся временных окнах длиной 30 минут (1800 отсчетов) с устранением локальные трендов полиномами 4-го порядка. Основное внимание уделено исследованию изменений 2-х параметров спектра сингулярности – обобщенного показателя Херста α^* и ширины носителя спектра сингулярности $\Delta\alpha$. Величина α^* характеризует наиболее типичный и часто встречающийся показатель Гельдера-Липшица, тогда как $\Delta\alpha$ отражает разнообразие случайного поведения сигнала и является своего рода мерой числа скрытых степеней свободы стохастической системы.

Приведены результаты анализа эволюции параметров мультифрактальных спектров сингулярности сейсмических записей широкополосных сетей F-net (Япония, 1997-2009 гг., 83 станции) и сети IRIS (весь мир, 2004-2005 гг., 123 станции) с целью выделения долгосрочных трендов (усредненных как по станциям всей сети, так и по ее отдельным подгруппам) и ритмов изменения статистических свойств шумов поля микросейсмических колебаний и сопоставления выделенных особенностей с сейсмическим режимом. В частности, для сети F-net анализ показал, что после землетрясения на Хоккайдо 25.09.2003, $M=8.3$ произошла значительная синхронизация изменений мультифрактальных параметров низкочастотного микросейсмического поля, которая сохраняется до сих пор. Таким образом, землетрясение на Хоккайдо 2003 года является своего рода переломной точкой в поведении микросейсм и этот факт может свидетельствовать в пользу гипотезы о том, что это событие может быть форшоком еще более сильного землетрясения. Фактически выделены несколько сценариев синхронизации мультифрактальных параметров поля сейсмических шумов.

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРИРОДНОГО СИГНАЛА СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТОВ

О.В. Мандрикова, Т.С. Горева

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Камчатский государственный технический университет, г.Петропавловск-Камчатский,
oksanam1@mail.kamchatka.ru*

Наряду с другими методами исследований, обработка и анализ временных рядов систем геофизического мониторинга, регистрирующих вариации геофизических полей, имеет крайне важное значение для решения целого ряда задач физики, геофизики, геоэкологии. На основе прямых экспериментальных данных и соответствующих модельных построений этот подход позволяет получить качественную и количественную оценку процессам, которые формируются в той или иной природной среде. Природные сигналы являются нестационарными, имеют сложную многомасштабную структуру, помимо регулярных составляющих включают различного характера аномальные особенности, время появления и интенсивность которых является полезной для исследователей информацией. Выделение аномалий в вариациях геопараметров является сложной задачей и сталкивается с серьезными трудностями. Это связано с большим разнообразием и достаточно сложной формой аномалий и с отсутствием адекватных математических моделей.

В работе предложен метод идентификации структурных компонентов сложного природного сигнала на основе его представления в виде многокомпонентной модели, что позволяет подавить шум, идентифицировать характерные особенности сигнала, а также выделить и классифицировать аномалии. В основе метода построения модели сигнала лежит нелинейная аппроксимирующая схема в базисе ортогональных вейвлетов. На примере обработки данных критической частоты f_oF_2 показана эффективность метода. Вариации критической частоты f_oF_2 имеют сложную структуру. На фоне регулярных изменений, обусловленных суточным и сезонным ходом, могут возникать резкие одиночные «пики» длительностью от нескольких десятков минут до нескольких часов. Эти аномалии возникают на фоне мощных ионосферных возмущений. Путем обработки статистических данных были идентифицированы структурные составляющие сигнала критической частоты f_oF_2 , формирующие его в различные периоды времени. Детальный анализ выделенных компонент позволил определить особенности, возникающие в периоды возрастания индекса геомагнитной активности K, а также наблюдающиеся накануне сильных землетрясений на Камчатке.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКСЕЛЕРОГРАММ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 1992 И 1993 ГГ. КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ СЕЙСМОГЕННОЙ ЗОНЫ НА «СКАЛЬНЫХ» И «ГРУНТОВЫХ» СТАНЦИЯХ КАМЧАТКИ

О.В. Павленко

Институт физики Земли РАН, г. Москва, olga@ifz.ru

Для оценки параметров колебаний поверхности при возможных в будущем сильных землетрясениях и построения их синтетических акселерограмм исследуются закономерности излучения и распространения сейсмических волн в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне. Региональные параметры излучения и распространения сейсмических волн оцениваются путем решения обратных задач стохастического моделирования акселерограмм землетрясений, зарегистрированных сейсмостанциями Камчатки. Моделируются акселерограммы сильных землетрясений ($M_w = 6.9-7.5$) Курило-Камчатской зоны, очаги которых расположены на удалениях ~100-200 км от Петропавловска-Камчатского, на станциях, расположенных в пределах города на скальных и осадочных породах. По скоростным профилям оценено усиление сейсмических волн в земной коре, подобраны параметры, определяющие формы очаговых спектров, волновые формы и длительность акселерограмм; показано, что оценки частотно-зависимого затухания и геометрического расхождения, полученные ранее для Камчатки, дают хорошее согласие с наблюдениями. На станции Института Вулканологии смоделировано поведение грунтовой толщи при землетрясении, оценены ее мощность, скоростные и прочностные характеристики; на станции Никольская смоделированы эффекты поверхностной топографии. Получены предварительные оценки региональных параметров излучения и распространения сейсмических волн для Камчатки, которые в будущем планируется уточнить и использовать для прогноза сильных движений.

МАТРИЧНЫЙ ИМПЕДАНС В ЗАДАЧЕ РАСЧЕТА СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ В СЛОИСТО-ОДНОРОДНОЙ ИЗОТРОПНОЙ УПРУГОЙ СРЕДЕ

В.М. Павлов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, pvm@emsd.ru

Предлагается новый метод расчета полных синтетических сейсмограмм в плоскопараллельной среде, состоящей из однородных упругих изотропных слоев. При решении этой задачи в частотной области часто используется представление смещений в виде разложения по горизонтальным волновым функциям, включающее интегралы по волновому числу [Аки, Ричардс, 1983; Kennett, 1983]. Это представление является следствием разделения переменных в цилиндрической системе координат. Аналогичное представление справедливо для напряжений на горизонтальной площадке. Неизвестные функции глубины (вертикальные функции), входящие в указанные представления, зависят от частоты и волнового числа как параметров. Из этих функций составляется вектор, который принято называть вектором движения-напряжения; первая половина компонент этого вектора – вектор движения – относится к представлению для смещений, вторая половина – вектор напряжения – к представлению для напряжений. Вертикальные функции удовлетворяют системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка и подлежат определению на основе граничных условий.

Традиционный метод решения этой системы – метод матричного пропагатора – обладает известным недостатком, связанным с наличием экспонент с большими положительными показателями, что приводит к неустойчивости численного решения. Было предложено несколько методов преодоления этого недостатка (см., например, [Аки, Ричардс, 1983; Chapman, 2003] и ссылки там). В данной статье предлагается новый метод расчета вертикальных функций, который полностью лишен недостатков метода матричного пропагатора, т. к. не содержит экспонент, абсолютные величины которых больше единицы.

Предлагаемый метод расчета вертикальных функций является развитием метода Фатьянова [Фатьянов, 1990], в основе которого лежит использование потенциалов смещений волн и так называемых, вспомогательных функций. Метод Фатьянова был усовершенствован в заметке автора [Pavlov, 2002] за счет отказа от использования потенциалов. Вспомогательные функции (импедансы) были введены непосредственно для векторов движения-напряжения; импеданс – это матрица, на которую нужно умножить вектор движения, чтобы получить вектор напряжения. Это, с одной стороны, упростило логику алгоритма, а с другой улучшило его численную эффективность.

После того как введен импеданс, система дифференциальных уравнений для вектора движения-напряжения преобразуется в два (векторных) уравнения: нелинейное уравнение для импеданса, не зависящее от вектора движения и линейное уравнение для вектора движения, коэффициенты которого выражаются через компоненты импеданса. Сначала рассчитывается матричный импеданс, а затем с его помощью строится пропагатор для вектора движения, который и решает задачу расчета вектора движения. Вектор напряжения, если он нужен, получается умножением импеданса на вектор движения. Импеданс полностью определяется средой, граничными условиями и глубиной источника, но не его типом (сила, диполь).

Расчет сейсмограмм включает: (для каждой частоты) вычисление векторов движения для набора волновых чисел; вычисление интегралов по волновому числу; вычисление спектра для данной частоты в соответствии с представлением для смещения; переход во временную область с помощью дискретного преобразования Фурье.

Для вычисления интегралов по волновому числу применяется известная схема, впервые предложенная в работе [Алексеев, Михайленко, 1978] для случая вертикальной силы, а также в работе [Olson et al., 1984] для общего случая. В основе указанной схемы – замена исходной задачи на задачу с удаленной цилиндрической границей. Введение цилиндрической границы позволяет перейти от интегралов к рядам по дискретным волновым числам, связанным с корнями функций Бесселя нулевого и первого порядка.

При проведении расчетов для частоты вводится мнимая добавка. Это позволяет обойти сингулярности, связанные с полюсами вертикальных функций. Мнимая добавка вносит искажения в сейсмограмму, которые корректируются во временной области. При этом эффективно подавляются отражения от цилиндрической границы (при достаточном большом до нее расстоянии), попадающие на сейсмограмму вследствие дискретности преобразования Фурье (наложение времен).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ЕСТЕСТВЕННЫХ СРЕДАХ

Р.И. Паровик¹, Б.М. Шевцов¹, П.П. Фирстов²

¹*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатский край, с. Паратунка, gotapov84@mail.ru*

²*Камчатский филиал геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, firstov@emsd.ru*

Математическим моделированием процессов переноса радона занимаются уже более 70-и лет. Первые работы по исследованию радона проводились с целью обнаружения залежей урановой руды. Эти работы проводились под руководством А.Г. Грамакова в 30-е годы прошлого столетия. В результате этих исследований сформировался так называемый эманационный метод, основу которого составляет массоперенос в грунте под действием диффузии и адвекции радиоактивного газа радона (^{222}Rn), являющегося продуктом распада радия (^{226}Ra). Математическое моделирование этого процесса привело к разработке модели [1], которая потом стала классической и нашла широкое применение в различных областях знаний: геодинимике, геохимии, радиоэкологии и т.д.

Известно, что радон является индикатором напряженно-деформированного состояния геосреды. Радон также оказывает влияние на электрические характеристики приземного слоя атмосферы. Являясь радиоактивным газом он, при определенных условиях, несет опасность для населения. Поэтому исследование переноса радона в геосреде актуально и представляет научный интерес.

В настоящей работе представлены модели, которые были разработаны на основе классической модели эманационного метода [2] и формализма дробного интегро-дифференцирования [3,4]. Эманационный метод имеет ограничение по глубине (первый десяток метров), поэтому не дает представление о глубинных источниках радона и не объясняет аномальные всплески радона в случае отсутствия ореолов рассеивания урана. Также недостатком классической модели переноса радона в математическом построении является предположение об однородности геосреды. Это предположение накладывает ограничение на применимость модели к «реальным» средам.

Известно, что геологические среды могут обладать фрактальными свойствами. Например, если среда пористая, то распределение пор по размерам подчиняется степенному закону, причем этот закон выполняется на различных масштабах среды. Показатель в степенном законе тесно связан с фрактальной размерностью среды, а для широкого класса грунтов он ей пропорционален. Математический аппарат для описания процессов массопереноса на фрактале хорошо развит. Он включает в себя дробное исчисление, при котором классическая целочисленная производная заменяется производной дробного порядка. Эта производная определяется через интеграл со степенным ядром, что говорит о нелокальной характеристике искомой функции. Поэтому модели, построенные с помощью дробных производных, называются нелокальными моделями.

Порядок дробности производной является показателем в степенном законе распределения пор по размерам. Наличие этого степенного закона характеризует процессы массопереноса более интенсивные, чем в однородных средах и их принято называть аномальными. Интересно отметить, что если порядок дробности производной будет равен двойке, то модель становится классической с обычной диффузией, если – единице, то модель переходит в классический перенос с обычной адвекцией. Авторами были разработаны нелокальные модели переноса радона во фрактальной среде, что несколько дополнило классический эманационный метод, также было показано, что геосреда может обладать фрактальными свойствами [3,4].

Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1/544.

Литература:

1. Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н. Радиоактивные методы разведки. М.: Недра, 1965. 750 с.
2. Паровик, Р.И., Шевцов Б.М., Фирстов П.П. Модель переноса радона (^{222}Rn) в режиме супердиффузии во фрактальной среде // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной Академии Наук. – 2008. – №2. – Т.10. – С.79–85.
3. Паровик, Р.И. Моделирование процессов переноса радона ^{222}Rn в средах с фрактальной структурой и его стока в приземный слой атмосферы // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. – 2008. – №1. – Вып.12. – С.188–193.
4. Паровик Р.И., Ильин И.А., Фирстов П.П. Обобщенная одномерная модель массопереноса радона ^{222}Rn и его эксхалация в приземный слой атмосферы // Математическое моделирование. 2007. №11. Т.19. С. 43-50.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЛИВНЫХ ЭФФЕКТОВ В СЕЙСМИЧНОСТИ

В.А. Салтыков, А.В. Патонин, Ю.А. Кугаенко

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

Результаты воздействия приливов на разномасштабную сейсмичность, полученные только по естественным наблюдениям, не могут дать полного объяснения выявленных эффектов. Поэтому были выполнены эксперименты, которые могут воспроизвести влияние земных приливов на сейсмичность в контролируемых лабораторных условиях. Аналогом сейсмических событий выступают импульсы акустической эмиссии (АЕ). Приливы имитируются наложением слабых длиннопериодных вариаций на квазистационарную докритическую нагрузку. Амплитуда слабых вибраций должна быть много меньше среднего уровня квазистационарного напряжения. Лабораторное моделирование проведено в Геофизической обсерватории “Борок” ИФЗ РАН. В качестве основного инструмента используется программно-управляемая электрогидравлическая система INOVA, позволяющая проводить полномасштабные эксперименты по изучению процессов разрушения горных пород. Высокоточная система регистрации различных физических параметров, таких как нагрузка, осевая и радиальная деформация, скорости упругих волн, волновые формы АЕ, делают весь комплекс уникальным исследовательским инструментом, не имеющим аналогов в России. Программа управления позволяет контролировать ход эксперимента в автоматическом режиме. Имеется возможность задавать практически любой режим испытаний, включая программируемое модулирующее воздействие. В качестве основного режима был выбран режим с постоянной скоростью осевой деформации, равной $1 \times 10^{-7} \text{ с}^{-1}$, на которую накладывалось модулирующее воздействие заданной амплитуды и частоты. Форма модулирующего воздействия выбрана в виде меандра. Проведено четыре эксперимента с различным соотношением скорости нагружения и амплитуды меандра.

Для проведения испытаний на системе INOVA изготавливаются цилиндрические образцы высотой 60мм и диаметром 30мм. В качестве основного исходного материала был использован кварцевый песчаник Bentheim с пористостью 23%. Такой выбор обусловлен в первую очередь тем, что материал с равномерной мелкозернистой структурой создает в процессе разрушения стабильный и интенсивный поток событий АЭ. Кроме того, породы с высокой пористостью уплотняются под действием нагрузки и проявляют повышенную склонность к неупругим деформациям. Это дает возможность статистического анализа событий на всех стадиях нагружения образца.

Отличие представленных экспериментов от испытаний, проведенных ранее другими исследователями: (1) - точность удержания заданных физических параметров системой INOVA, таких как сила и перемещение, на порядок превосходит имеющиеся аналоги и позволяет контролировать модулирующее воздействие с высокой точностью. (2) – В проведенных нами экспериментах впервые удалось достичь соотношения «модулирующая деформация - квазистационарная деформация» порядка 0.1% при одноосном деформировании горной породы. Ранее эффект синхронизации интенсивности АЕ с внешним периодическим воздействием был выявлен при больших (5-10%) вариациях напряжений и деформаций.

Результаты лабораторных экспериментов. Для выявления эффекта модуляции АЕ периодическим воздействием применялась процедура, основанная на критерии равномерности Рэлея. Подразумевается равномерность распределения импульсов АЕ на временном интервале, кратном периоду воздействия. Кроме этого в скользящем окне по методике наложения эпох определялась характерная форма периодического отклика АЕ. В каждом эксперименте наблюдалась нестабильность рассматриваемого эффекта: на начальном участке можно говорить о синхронизации АЕ и периодического воздействия, затем на участке упругой деформации синхронизация отсутствует и появляется снова на участке пластической деформации. Обнаружено постоянство формы периодического отклика АЕ в пределах выделенных интервалов, но выявлены различия в форме отклика АЕ на начальном участке и при пластической деформации. Главным результатом проведенных экспериментов в настоящее время мы считаем обнаружение стадийности в акустическом отклике разрушаемого образца на слабое периодическое внешнее воздействие. Причем различные стадии связываются с различными состояниями образца в процессе разрушения. Полученные эффекты могут рассматриваться как аналоги эффектов приливной модуляции высокочастотных сейсмических шумов и возникновения «приливных» землетрясений в очаговой зоне готовящегося сильного землетрясения.

Исследования проводятся при поддержке РФФИ (Грант 08-05-00692-а).

НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНТРАСТНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ПРОХОЖДЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН БЛИЗКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Б. М. Седов¹, Е. И. Ведерников²

¹Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г. Магадан, sedov@neisri.ru

²Магаданский филиал Геофизической службы РАН, г. Магадан, e.vedernikov@gmail.com

Моделирование в сейсмологии и сейсморазведке играет важную роль при объяснении волновых полей, а также решении обратных задач о строении среды, в которой генерируются и распространяются колебания. Наиболее распространены методы физического и математического моделирования. Математическое моделирование применимо, если известны волновые уравнения для модели. В физическом (аналоговом) моделировании основную сложность представляет изготовление моделей, которые должны воспроизводить реальные объекты с желаемой детальностью. При этом часто невозможно изменить модель и требуется изготовление новой. Поэтому физическое моделирование осталось уделом отдельных энтузиастов. Несмотря на недостатки физическое моделирование не предано забвению из-за преимущества перед другими способами – возможностью моделирования волновых полей, где физика явлений не ясна. Помимо этих методов моделирования возможно использование геологических объектов, с известным строением, или моделей, воспроизводящих реальные условия и размеры. Например, модели скважин и пластов для ультразвукового каротажа, воспроизведенные в фактических размерах. При совершенствовании методики сейсморазведки, разработке новых методов и оборудования наблюдения выполняют на так называемых «опорных профилях». Основным требованием к такой модели является знание подробного строения и сейсмоакустических свойств. Кроме таких целенаправленных методов натурального моделирования существует и способ «не проходить мимо», т.е. не оставлять без внимания наблюдаемые, «необычные» сейсмические поля. Такие примеры следует ожидать на разрезах, где среды по сейсмоакустическим свойствам являются «необычными». К ним вполне могут быть отнесены зоны развития многолетней мерзлоты, где разрезы сложены рыхлыми породами, свойства которых зависят от многих факторов (литологии, льдистости, криогенной текстуры и др.). При переходе пород в талое состояние скорости всех типов волн уменьшаются в несколько раз. По перепаду акустической жесткости такие границы достаточно резки. Другой особенностью криолитозоны являются различные по размерам и положению в разрезе участки талых низкоскоростных пород. В долинах рек, под озерами такие участки часто выходят на поверхность. Влияние поверхностных неоднородностей на проходящие через них волны давно представляет интерес в сейсмологии. Так Пресс в 50-е годы XX в. для объяснения причины появления на сейсмограммах поверхностных волн Рэлея до момента прихода поперечной волны выполнил ультразвуковое моделирование, имитируя на поверхности горный хребет (треугольной призмой) и долину или рифт (углубление). Прошедшие через них волны сравнивались с записью на модели с ровной поверхностью. При поверхностной дефектоскопии материалов ультразвуковыми методами, изучалось влияние формы и размеров поверхностных неоднородностей в виде пустот, на «переизлучение» волн одного типа в другой. Поверхностные неоднородности на Земле не ограничиваются только выступами и впадинами. Кроме них есть реки, озера, моря, где через воду не проходят поперечные и рэлеевские волны. Другие поверхностные неоднородности, отличные по акустической жесткости, за счет разной скорости или плотности также не исследовались на моделях. Использование сейсморазведки при поисках глубокозалегающих россыпей в Магаданской области, где нижняя граница многолетней мерзлоты находится на глубине сотен метров, позволило выявить необычные волновые явления при прохождении волн всех типов через поверхностные талики. При шаге между скважинами 10-20 м и отборе проб каждые 20 см глубины, позволили получить исключительные по представительности геологические данные. Для анализа влияния поверхностных таликов на происхождение волн были выбраны участки, сложенные однородными мерзлыми галечниками мощностью более 200 м. При поверхностных взрывах генерировались объемные (P,S) и поверхностные (R) волны. Тип волны определялся по записям 9-канальных азимутальных установок. Они комбинировались с продольными расстановками сейсмоприемников через каждые 20 м, при максимальном удалении до 3 км. При наблюдениях использовались системы встречных и нагоняющих географов. Откалиброванные каналы позволяли получать истинные амплитуды волн. Материалы натурального моделирования позволили феноменологически объяснить волновые явления на поверхностных неоднородностях, влияющие на сложную форму записи близких землетрясений.

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ БАЛАНСА ЭНЕРГИИ ОЧАГА ЮЖНО – ЯКУТСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

С.В. Трофименко

Технический институт (филиал) ЯГУ, г. Нерюнгри, urovsky@yandex.ru

Для прогнозирования степени сейсмической опасности катастрофических землетрясений представляет несомненный интерес не только результаты инструментальных наблюдений, но и оценка потенциально возможной энергии землетрясения для данной области, его магнитуды и интенсивности, а также, радиуса действия (влияния) землетрясения на геофизические параметры.

Оценим полную энергию, занесенную в объеме неоднородности используя подход Цубои $E = 1/2 K_y \cdot \varepsilon(R)^2 \cdot V$, где K_y – модуль упругости среды $K_y = \rho V_s^2 (V_p^2/V_s^2 - 4/3)$, V_s – скорость поперечной волны, равная 3.6 км/с, V_p – скорость продольной волны, равная 6.3 км/с, ρ – плотность – 2.75 г/см³. $V = S \cdot H$ – объем, в котором происходит накопление энергии упругих деформаций, горизонтальные размеры которого возьмем по внутренней области максимальных градиентов количества землетрясений $S = A \cdot L = (25 \div 60) \cdot 350$ км², мощность H примем за удвоенную среднюю величину залегания гипоцентров землетрясений ОСЗ $H = 69$ км. Критическая деформация, при которой происходит разрушение пород, равна $\varepsilon_0 = 10^{-4}$. Деформация на границе очага землетрясения не может превышать эту величину. Фактически, возмущения в процессе деформации составляют часть этой величины, и на практике считается $\varepsilon_0 = 10^{-5} - 10^{-4}$. В упругом полупространстве возмущение деформации $\varepsilon(R)$ изменяется в дальней зоне по закону: $\varepsilon(R) \approx \varepsilon_0 (R_0/R)^3$, где R_0 – средний размер источника, R – расстояние от центра неоднородности (очага) до пункта наблюдения. Подставляя все значения в формулу для энергии, в данном приближении получим $E = 1/2 \cdot 5 \cdot 10^{10} \cdot 60 \cdot 32 \cdot 350 (10^{-5} + 10^{-4})^2 = 10^{17} \div 3.75 \cdot 10^{17}$ Дж. Магнитуду оценим по формуле Гутенберга - Рихтера $M_T = (K - 4,8)/1,5 = 7 \div 8,1$, верхняя граница которой на единицу выше магнитуды Тас-Юряхского землетрясения. Таким образом энергия, высвободившаяся в виде сейсмических волн составляет около 25% для Тас – Юряхского землетрясения и 8% – для Южно – Якутского от общей запасенной энергии упругих деформаций.

Рассмотрение и анализ результатов вариаций геофизических полей, сопоставление данных с сейсмичностью и геодинамикой позволило установить преимущественный возмущающий геофизические параметры фактор, которым может быть тектонический процесс, общий для всей переходной зоны и обусловленный активностью Южно – Якутского разлома. Если принять это во внимание, а также, то что определение магнитуды M , из инструментальных наблюдений и запасенной энергии деформации, рассчитанной в предположении о едином деформационном процессе переходной зоны, отличается на 0,5 – 1,8, то это может означать, что не вся энергия упругих деформаций выделилась в период основного события ($E_1 = 5 \cdot 10^{16}$ Дж). Часть запасенной энергии преобразовалась в другие виды, причем большая часть энергии упругих деформаций релаксировалась 4 главными афтершоками ($\Delta E_2 = 2 \cdot 10^{16}$ Дж). Около трех тысяч афтершоков высвободили энергию $\Delta E_3 = 3000(10^8 \div 10^{10}) \approx 3 \cdot 10^{13}$. Энергия упругих деформаций на границе ослабленной зоны равна: $\Delta E_4 \leq (5 \cdot 10^{11} \cdot 7^2) / 2 \approx 10^{13}$ Дж, при $\varepsilon = 10^{-6}$. В электромагнитное излучение преобразовалась часть энергии, равная $\Delta E_5 = 1,2 (10^9 - 10^{11})$ Дж. Однако большая часть энергии по-видимому преобразовалась в тепловую энергию. Измерение температуры в близи Южно – Якутского очага землетрясения показало, что в период между основным событием 20.04.89 и последним афтершоком 17.05.89 с $K=14,8$ размах суточных температур составлял 1.5⁰С. Это в апреле – мае месяце в условиях резко континентального климата, когда размах суточных температур обычно составляет 12 – 15⁰С. На обсерватории, расположенной в 150 км от очага подобный эффект не наблюдался. Прогрев атмосферы возможен при передаче дополнительного тепла от земной коры. Если рассматривать воздух как идеальный газ, то количество переданной теплоты $Q = CM\Delta T$ при массе газа, равной $M = 2.6 \cdot 10^{13}$ кг и изменении температуры на 10⁰С, приводит к величине $E_7 = 10^{17}$ Дж. Эта избыточная энергия (теплого потока) могла быть следствием физических процессов в очаге землетрясения: разогрева земной коры вследствие трения смещающихся по разрывам блоков (упругие деформации); дополнительного разогрева в очаге вследствие пластических деформаций. Это единовременный прогрев. За тридцать дней без учета теплоотдачи общая тепловая энергия очага составит $E_7 = 3 \cdot 10^{18}$ Дж. Вследствие этого, сейсмическая энергия очага (КПД землетрясения) Южно – Якутского землетрясения не превышает 0.1%, соответственно Тас – Юряхского в данных предположениях – 1%.

ГОРООБРАЗОВАНИЕ И СЖАТИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Шумилов В. Н.

ООО «ЭРА», г. Киев, Украина, vnshumilov@rambler.ru

Существует поток тепла из центральных областей нашей планеты к её поверхности, проявляющийся в увеличении температуры пород земной коры с глубиной. При этом измеренная концентрация тепловыделяющих радиоактивных элементов в твёрдой земной коре и в веществе мантии под корой (в расширяющейся океанической коре, в продуктах извержений вулканов) так мала, что поток тепла (и соответствующий ему геотермический градиент) с глубиной практически не меняется, что и наблюдается в глубоких скважинах. Это свидетельствует о том, что источник глубинного земного тепла находится существенно ниже твёрдой коры (ближе к центру планеты).

Такой быстрый, с постоянной скоростью, рост температуры с глубиной должен с необходимостью приводить к тому, что при **неизменном механизме** отвода тепла из недр и при наблюдаемой **неизменной плотности** тепловыделения уже на глубине 100 км земные недра под корой обязаны были бы быть жидкими. Но они наблюдаются как твёрдые – земная мантия пропускает поперечные сейсмические волны. Достаточная твёрдость верхней мантии свидетельствует о том, что температура пород мантии с глубиной растёт медленнее, чем в твёрдой коре. То есть, удельное тепловое сопротивление мантии меньше, чем коры. Отсюда вытекает, что под корой действует более эффективный, чем кондуктивный, механизм отвода тепла. Глубинное тепло переносится тепловой конвекцией гораздо быстрее, чем посредством кондуктивной теплопроводности, несмотря на относительно малую скорость перемещения огромных масс очень вязкого мантийного вещества. Скорость конвекции задаётся интенсивностью потока тепла.

Огромные массы очень вязких мантийных потоков проявляются в рельефе поверхности приведённого (к плотности вещества мантии) уровня и в форме геоида. В окрестностях более горячего и менее плотного восходящего мантийного потока и поверхность геоида относительно центра масс Земли, и поверхность приведённого уровня (относительно геоида) расположены выше, чем в окрестностях более холодного нисходящего потока. Этот перепад высот и является движущей силой для верхней части мантийного конвекционного потока. Эта часть очень вязкого мантийного потока увлекает твёрдую земную кору с некоторой силой (оценка которой приводилась ранее). Увлечение коры конвекционным потоком приводит к дрейфу участков земной коры (плит), плавающих на поверхности очень вязких мантийных потоков, начиная от зон спрединга. Однако вычисленная сила, с которой поток увлекает твёрдую кору, недостаточна для создания напряжений сжатия, наблюдаемых в коре и выдавливающих из неё горные хребты.

Кроме того, что твёрдая кора увлекается в направлении движения проскальзывающим под ней потоком очень вязкого (скорее, текучего при больших механических напряжениях) мантийного вещества, она ещё и **соскальзывает** (преодолевая сопротивление) по наклонной поверхности верхней части мантийного конвекционного потока в сторону нисхождения этого потока. Наклон этой поверхности (имеющей существенный перепад высот) образуется из-за очень малой текучести мантии, в которой действует тепловая конвекция, ответственная за перенос тепла из центральных зон Земли к земной коре с наблюдаемой скоростью.

Сделана обоснованная оценка напряжения сжатия в земной коре, порождаемого соскальзыванием твёрдой земной коры по наклонной поверхности очень вязкого мантийного потока. Полученные (вычисленные) значения позволяют объяснить наблюдаемые в земной коре напряжения сжатия, и вполне достаточны для выдавливания из земной коры даже самых высоких отдельных горных хребтов и целых горных массивов в местах конвергенции плит (нисхождения мантийных потоков). Эта сила вполне достаточна также для обеспечения субдукции и выдавливания во время вулканических извержений на поверхность Земли магмы из магматических камер, располагающихся на глубинах, где температура достаточна для плавления некоторых веществ, погружающихся в составе плиты, подвергающейся субдукции, тогда как другие вещества остаются в этих условиях твёрдыми.

Приведены описания натурных экспериментов, позволяющих проверить правильность приводимой оценки тектонических сил, порождающих дрейф материков, горообразование, землетрясения, извержения вулканов.

Исследование предвестников землетрясений и извержений вулканов

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ИНДИКАТОР СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

А.У. Абдуллаев, В.Ф. Остапенко, Г.Е. Тукешова

Институт сейсмологии МОН РК, г. Алматы, tgulziza@mail.ru

На основе многолетних непрерывных наблюдений за газохимическим составом подземных вод на Алматинском прогностическом полигоне проводились фундаментальные исследования по использованию различных параметров подземных вод с целью поиска предвестников сильных землетрясений. Среди них наиболее перспективным оказалось исследование частных и аддитивных показателей физико-химического состояния подземных вод. Более продуктивным является представление о подземных водах как о слабых электролитах. Такая модель позволяет рассматривать наблюдаемые подземные воды, как меняющееся во времени электрическое поле и охарактеризовать его количественно в непрерывном режиме.

Интегрированным аддитивным показателем такого поля является ионная сила раствора (I), которая может быть определена как половинная сумма концентраций анионов и катионов по данным ежесуточных химических анализов, т.е.

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i * z_i^2, \quad (1)$$

где m_i – концентрация соответствующих ионов, а z_i – заряд иона в данном растворе. Суммируются все ионы положительные и отрицательные.

Ионная сила (I) раствора, являясь мерой электрического поля, создаваемого ионами в электролите, существенно определяет его термодинамические и кинетические свойства и представляет собой важнейшую характеристику раствора.

Вклад каждого из ионов в этот аддитивный показатель может быть определен отдельно по его активности согласно уравнению Дебая-Хюккеля.

Если величина ионной силы становится очень низкой, уравнение сокращается до следующего предельного выражения:

$$-\lg Y_i = Az_i^2 \sqrt{I}, \quad (2)$$

где A – константа растворителя.

Экспериментальные результаты. Рассчитаны временные ряды изменения ионной силы подземных вод для ГГХ станций АПП за 18 лет. Отдельно были рассмотрены сильные землетрясения, произошедшие 12 ноября 1990 г.: Байсорунское ($K = 15.5$) и 1 ноября 1995 г.: Кегенское ($K = 14.5$). По всем станциям, особенно расположенных ближе к эпицентру, наблюдались аномальные отклонения параметра ионной силы раствора перед указанными событиями. Вариации временного ряда ионной силы раствора в данном случае можно считать среднесрочным предвестником сильных землетрясений.

Критерий Рако представляет собой временной ряд, состоящий из отношений имеющихся в данном растворе термальных вод суммы анионов (A) к сумме катионов (K).

$$P_{ako} = \frac{\sum A}{\sum K} \quad (3)$$

Сумма мг-экв. всех катионов пробы теоретически должна быть равна сумме мг-экв. анионов. По данному критерию были составлены синтезированные временные ряды, в вариациях которых также удастся зафиксировать предвещающие среднесрочные и краткосрочные аномалии Рако в ходе во времени химического состава подземных вод.

ТРЕНДЫ И СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНАХ (В АСПЕКТЕ ПОИСКА ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ)

Г.Н. Копылова, Е.Г. Сизова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru

Многолетние уровнемерные наблюдения в пьезометрических скважинах, контролирующих напорные горизонты подземных вод, показывают, что наиболее амплитудные изменения уровня воды связаны с проявлениями сезонных вариаций и многолетних трендов. Сезонные вариации уровня обусловлены внутригодовыми изменениями порового давления вследствие гидравлической связи напорных водоносных горизонтов с областями их питания, приуроченных, в основном, к контактам водовмещающих пород напорных горизонтов и грунтовых подземных вод. Основным фактором сезонного формирования напора в водоносном горизонте является изменение высоты столба воды в области питания в течение года за счет инфильтрации метеорных вод в грунтовый водоносный горизонт и подземного стока, а также передача давления из области питания в район скважины. Эффекты изменений давления в напорных водоносных горизонтах вследствие переменной геодинамической нагрузки или вариаций емкостных свойств водовмещающих пород накладываются на тренды и сезонность и обычно проявляются относительно слабо. Исключениями являются скважины, вскрывающие глубокие изолированные водоносные горизонты с замедленным водообменом. Для таких скважин геодинамическая группа факторов может быть определяющей в формировании их уровня режима.

При выделении гидрогеодинамических аномалий в изменениях уровня воды в диапазоне периодов суток – первые десятки суток необходимо учитывать процессы формирования сезонности и трендов. Такая возможность имеется при наличии многолетних рядов данных уровнемерных наблюдений. В настоящей работе рассматриваются способы учета трендов и сезонных вариаций в изменениях уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е1, Камчатка, при выделении аномалий, проявившихся в период подготовки Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., $M=7.8$ и Олюторского землетрясения 20.04.2006 г., $M=7.6$.

В изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5, вскрывающей в диапазоне глубин 310-800 м напорный водоносный горизонт в сланцах и туфоалевролитах позднемелового возраста, проявляются внутригодовые сезонные вариации. В поведении среднесезонной функции изменений уровня воды четко выделяются предвесенний минимум и летний максимум; менее выражены позднеосенний минимум и зимний максимум. Отклонения в сезонном поведении уровня воды наблюдаются при выпадении обильных (≥ 20 мм/сут) осадков: после осадков уровень повышается, затем стабилизируется. Анализ сезонного поведения уровня воды с сентября по ноябрь за многолетний период с учетом режима выпадения осадков показал, что с 13.11 по 04.12.1997 г. наблюдалось существенное отклонение в изменениях уровня воды от его сезонного поведения. Это подтверждает наличие выделенного ранее гидрогеодинамического предвестника перед Кроноцким землетрясением. Отклонение в изменении уровня воды в скважине ЮЗ-5 от его сезонного поведения обнаружено также с 02.02 по 02.03.2006 г. в период, предшествующий Олюторскому землетрясению.

Скважина Е1 расположена в районе Корякско-Авачинской вулканотектонической депрессии и вскрывает в диапазоне глубин 625-645 м водоносный горизонт в слабообводненных туфогенно-осадочных отложениях неогенового возраста. В изменениях уровня воды годовые сезонные вариации не проявляются. Это указывает на весьма слабую гидравлическую связь между контролируемым водоносным горизонтом и областью его питания. Отсутствие годовых сезонных вариаций уровня позволяет рассматривать контролируемый водоносный горизонт как гидравлически изолированный.

В многолетних изменениях уровня в скв. Е1 проявляются долговременные тренды повышения и понижения, природа которых может быть обусловлена космическими факторами либо вариациями напряженно-деформированного состояния водоносного горизонта. В гидродинамическом режиме скважины выделены: повышение уровня в 1987-1990 гг., понижение с 1991 по май 1997 гг., повышение с мая 1997 по 1999 гг. (?); слабое понижение с 2002 по середину 2006 гг., **аномальное** повышение уровня воды с середины 2006 по апрель 2009 гг. Особенности уровня режима скважины Е1 позволяют использовать параметр среднесуточной скорости изменения уровня воды с учетом величины средней скорости тренда для выделения относительно краткосрочных (сутки – десятки суток) гидрогеодинамических аномалий понижения порового давления в водоносном горизонте в периоды, предшествующие камчатским землетрясениям с $M \geq 5$ на расстояниях до 350 км. Ретроспективная сейсмопрогностическая эффективность такого гидрогеодинамического предвестника составляет 3-2 при вероятности связи предвестника и землетрясений 0.7-0.6.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАТИШИЙ, ОБНАРУЖЕННЫХ МЕТОДАМИ RTL И Z-ТЕСТ

Н.М. Кравченко

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, hope_k@emsd.ru

Перед рядом сильных землетрясений наблюдается уменьшение уровня сейсмичности по сравнению с фоновым для исследуемого района. Такое временное ослабление активности (сейсмическое затишье) может свидетельствовать о накоплении энергии в процессе подготовки землетрясения и рассматривается некоторыми исследователями как предвестник готовящегося землетрясения. В лаборатории сейсмического мониторинга КФ ГС РАН для оценки текущей сейсмической опасности используются два метода, ориентированные на выявление аномалий сейсмического затишья, с условными названиями Z-тест и RTL.

Метод Z-тест основывается на работах Висса и Хабермана и ориентирован на выделение в сейсмоактивной зоне пространственно-временных блоков со значимым изменением интенсивности потока сейсмических событий выбранного энергетического диапазона. В основе анализа лежит статистическая функция Z-тест.

Прогностический параметр RTL был предложен Г.А. Соболевым и Ю.С. Тюпкиным. Согласно модели авторов, пространственно-временные области с отрицательными значениями параметра RTL соответствуют зонам формирования сейсмического затишья.

Оба метода показали достаточно высокую надежность выделяемого сейсмического затишья в качестве предвестника сильного землетрясения. Методом Z-тест были определены области значительного уменьшения уровня сейсмичности перед 18 из 27 землетрясений с магнитудой не менее 6, произошедших в сейсмоактивной зоне Камчатки с 1970 по 2002 г. Землетрясения происходили, как правило, на границе зоны затишья или ближайшей его окрестности в интервале до двух лет после его окончания. Аналогичную надежность демонстрирует метод RTL: 13-ти из 22 камчатских землетрясений с $M \geq 6$, произошедших с 1980 по 2003 г., предшествовали сейсмические затишья, определенные по параметру RTL. Стадия затишья проявлялась в интервале до трех лет перед землетрясением в его эпицентральной зоне.

В данной работе аномалии сейсмических затиший, выделенные этими двумя разными методами, представлены на одних временных интервалах для того, чтобы сопоставить их положение в пространстве и времени. Особенно интересным это представляется для тех случаев, когда сильному землетрясению предшествовали сейсмические затишья по обоим параметрам.

За последние 30 лет в сейсмоактивной зоне Камчатки было выделено 28 аномалий сейсмических затиший по Z-методике со значимым уменьшением уровня сейсмичности не менее, чем в 8 раз, в течение не менее года и 18 аномалий сейсмических затиший по параметру RTL длительностью не менее года и с минимумом RTL не более -10.

15 аномалиям сейсмического затишья по Z-методу и 13 аномалиям по параметру RTL были сопоставлены сильные землетрясения. Землетрясение сопоставлялось с сейсмическим затишьем, если оно происходило в пределах аномальной зоны или ближайших ее окрестностях в интервале времени до трех лет после стадии затишья.

Сравнение аномалий сейсмических затиший, выделенных разными методами, показывает, в основном, хорошее согласование по положению в пространстве и времени. Выделенные области аномальных значений рассматриваемых параметров либо пересекаются, либо граничат друг с другом. Особенно интересным представляется сочетание сейсмических затиший перед землетрясениями 6.10.1987 г. с $M_s = 6.3$, 1.06.1996 г. ($M_s = 6.6$) и 5.12.1997 г. ($M_w = 7.8$): аномалии почти не пересекаются в пространстве, при этом эпицентры землетрясений, согласно обоим методикам, располагаются на границах выделенных аномальных зон.

Лучшее согласование результатов применения двух методик наблюдается при подготовке более сильных землетрясений. Перед 7 из 10 землетрясений с магнитудой ≥ 6.8 , произошедших за последние 30 лет в сейсмоактивной области Камчатки на глубинах до 100 км, были выделены сейсмические затишья по обоим методикам.

Следует отметить также обнаружение синхронных аномалий сейсмических затиший по обоим методикам, в окрестности которых не были отмечены сейсмические события с $M \geq 6$.

ГЕОАКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

И.А. Ларионов, Б.М. Шевцов

*Институт космических исследований и распространения радиоволн, с. Паратунка,
Камчатского края, igor@ikir.kamchatka.ru*

Геоакустическая эмиссия сопровождает многие геофизические процессы, например, фильтрацию грунтовых вод, диффузию газов, электрокинетические эффекты, генерацию электрических полей и т.д., поэтому результаты ее исследований будут полезны для специалистов очень широкого круга. В последнее время большое внимание уделяется роли акустических колебаний в процессах взаимодействия геосфер в условиях повышения различных видов природной активности. Несомненно, что геоакустическая эмиссия, возникающая в результате литосферных деформаций, занимает очень важное место в системе этих взаимодействий.

Осадочные породы по эмиссионным свойствам противоположны коренным. В твердых кристаллических материалах акустические эффекты начинают заметно проявляться в области больших напряжений при достижении пределов текучести и прочности, а в осадочных породах даже при незначительных нагрузках возникает акустическая эмиссия. В средах с такими свойствами создаются благоприятные условия для проявления даже слабых деформационных изменений, поэтому они перспективны для размещения в них систем обнаружения и исследования предвестников землетрясений, проявление которых и обусловлено специфическими свойствами осадочных пород.

Измерения деформационного поля осуществляется на геофизической станции «Карымшина» с помощью неравноплечного лазерного деформографа-интерферометра. Геоакустическая эмиссия регистрируется направленными акустическими приемниками, один из которых расположен на опоре деформографа.

В ходе совместных измерений получены данные, показывающие, что увеличение интенсивности высокочастотной геоакустической эмиссии осадочных пород является следствием роста скорости деформационных процессов, а интенсивные деформационно-акустические возмущения возникают, как правило, в периоды подготовки сейсмических событий и могут рассматриваться в качестве комплексных предвестников землетрясений.

ВОПРОСУ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ НА КАМЧАТКЕ

Ю.В. Маранулец, М.А. Мищенко

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Елизовский р-н, Камчатский край, micle@ikir.kamchatka.ru*

На протяжении нескольких лет в ИКИР ДВО РАН ведется мониторинг геоакустической эмиссии. С ростом временного ряда наблюдений появилась необходимость в систематизации, анализе и классификации данных. Работа посвящена результатам исследования рядов геоакустических возмущений, их сопоставления с метеорологическими и сейсмическими каталогами и последующему статистическому анализу. На первом этапе был определен период работы станций, произведен анализ данных и составлен каталог всех акустических возмущений. На этом этапе были определены виды возмущений, их длительность и разработаны методы их выявления. Далее, из каталога исключались возмущения, обусловленные действием плохой погоды (влияние осадков и сильного ветра) и техногенными помехами, после чего производилось сопоставление с сейсмическим каталогом. Далее производился статистический анализ, результаты которого представлены в докладе.

В работе использовались метеорологические данные с метеостанций ИКИР, а также данные по сейсмической обстановке, предоставляемые Камчатским филиалом ГС РАН.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МНТЦ ПРОЕКТОВ 2120 И 2990 И ВОЗМОЖНОСТЬ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

О.А. Молчанов + (московская МНТЦ группа), ИФЗ РАН, г. Москва, olmolchanov@mail.ru,
В.Н. Чебров + (камчатская МНТЦ группа), КФГС, г. Петропавловск- Камчатский

Обсуждаются основные результаты проектов: а) Эффективные методы наблюдения предвестников были отобраны и доказана их надежность; б) Новый метод глобальной диагностики сейсмичности с использованием наблюдений ОНЧ сигналов на земле и спутнике ДЕТЕТЕР был предложен и проверен в регионах Япония и Камчатка; в) Новый эффект УНЧ-КНЧ излучений из тропосферы, позволяющий прогнозировать время и положение эпицентра, был открыт и проверен на статистическую достоверность; г) новый эффект депрессий УНЧ излучений перед землетрясениями был найден и проанализирован на достоверность; д) теория литосферно-атмосферно-ионосферного взаимодействия была разработана. В заключение представлена стратегия краткосрочного прогноза с использованием одновременных наблюдений сейсмических и предложенных эффектов.

МОНИТОРИНГ ЕСТЕСТВЕННОГО НЕЙТРОННОГО ПОТОКА НА АЛМАТИНСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

В.Ф. Остапенко, А.У. Абдуллаев

Институт сейсмологии МОН РК, г. Алматы, ostvf@mail.ru

Непрерывные наблюдения за величиной естественного нейтронного потока (ЕНП) в штольне на глубине порядка 40 м водного эквивалента вблизи Алматы (Казахстан), которые проводятся более 10 лет, показали, что иногда величина ЕНП на часовом интервале резко возрастает по сравнению с обычной. Статистическое распределение разбросов величины ЕНП близко к нормальному, однако количество отклонений от среднего значения, превышающих его более чем на утроенную среднеквадратичную погрешность, выше в два с лишним раза теоретически ожидаемого из распределения Гаусса. Такие значения мы принимаем за аномальные. Очевидно, существует некий природный фактор, который обуславливает появление подобных аномалий. При анализе результатов измерений было установлено, что между величиной ЕНП и сейсмическими событиями имеется определенная связь. Периоды увеличения частоты появления аномалий обычно совпадают с периодами возрастания сейсмической активности. Аномальные значения величины ЕНП сопровождаются зачастую последующими землетрясениями энергетических классов $K \geq 10$, эпицентры которых располагаются в радиусе до первых сотен километров от места регистрации ЕНП. Аномалии опережают землетрясения на время от 1 часа до 10 суток, но в основном (до 70% случаев) этот временной интервал не превышает 4 суток. Установлено также, что амплитуда аномалии прямо зависит от энергетического класса последующего землетрясения. С 2005 г. такие же работы в аналогичных условиях начаты в другом пункте, находящемся на удалении порядка 150 км от первого. В этом месте получены подобные результаты, т.е. одному и тому же землетрясению предшествовали аномалии ЕНП в обоих пунктах. Вероятность возникновения аномалий ЕНП, предвещающих землетрясения, весьма существенна и растет с увеличением класса землетрясений. Из 44 землетрясений энергетических классов от 12 до 12.9 всего лишь 5 не предвещались аномалиями ЕНП, а из 18 землетрясений с $K \geq 13$ все были отмечены аномалиями. Таким образом, можно считать, что с помощью измерений ЕНП удастся определять вероятное время и оценивать возможную величину класса предполагаемого землетрясения. Однако для прогноза необходимо еще указывать и место возможного землетрясения. Для решения этой проблемы предполагается в ближайшее время организовать сеть из 5-8 пунктов наблюдений за ЕНП, контролирующей большую площадь сейсмоактивной территории.

АНАЛИЗ ПЕРВИЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ И ВОПРОСЫ КРАТКОСРОЧНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В.В. Прелов

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, г. Москва, prelov@iitp.ru

Актуальность и необходимость выдвижения новых содержательных идей в области краткосрочного прогнозирования значимых сейсмических событий очевидна как из-за нерешенности до настоящего момента данной проблемы, так и из-за возросших требований к стандартам и гарантиям безопасности и жизнеобеспечения. В нашей работе предложен новый взгляд на методы оценки сейсмических рисков с использованием информационных потоков, ретранслируемых сетью станций системы IRIS.

Мы предполагаем, что все регистрируемые сейсмическими станциями информационные потоки отображают процессы, протекающие в заведомо не поддающейся строгому научному описанию открытой динамической системе. Мы считаем, что любая катастрофа, заложенная в рассматриваемой геосистеме, обладает иерархической системой предвестников, т.е. наличием системных связей пространственных и временных масштабов в процессах своей самоорганизации. Наша задача состоит в анализе специфики генерации этих предвестников, а также в разработке методов фильтрации ложных курсоров, которыми обладает такая система.

Реализуя концепцию междисциплинарности при решении сложных научных задач, мы используем ряд методов прогнозирования фатальных событий, заимствованных из анализа как модельных, так и реальных хаотических открытых систем, и тестируем наши методы на потоковых данных станций системы IRIS ДВО РФ.

Проведенный нами анализ первичной информации и технический расчет показывает, что для ряда известных событий, например, Кроноцкого, Олюторского и Симуширского, наши параметры так называемой стохастической осцилляции, взятые с усреднением по окнам с фибоначиевыми характеристиками, обладают явно выраженной разнопериодной цикличностью. Это позволяет ставить вопрос о необходимости и целесообразности вычислительного эксперимента с целью оценки периода синхронизации таких осцилляторов в реальном масштабе времени, и захвата частот, – явления, отражающего специфику поведения сильно нелинейных систем.

Наряду с данным наблюдением, выявлены некоторые аномалии в дрейфе БПФ и поведении АЧХ протокольных событий, полученные при ретроспективном анализе событий средствами программного комплекса DIMAS и подтвержденные в стандарте MATCAD. Анализ полученных «спецэффектов», источники возможных ошибок анализа, перспективы дальнейших исследований и идеи относительно дополнения и доводки программных комплексов подробно обсуждаются в работе.

Предварительный анализ первичной информации ярко подчеркнул необходимость наискорейшего создания виртуальной научной среды, синхронизирующей информационные потоки в режиме реального времени и имеющей многозвенную архитектуру, позволяющую вести эффективную и экономически оптимальную научно-исследовательскую работу удаленным пользователям без ущерба основному геоинформационному комплексу.

Результаты предварительных исследований показывают, что на основе синхронной обработки весьма ограниченного количества технических сигналов, в перспективном центре обработки информации могут формироваться содержательные экспертные заключения и передаваться в службы и органы управления для принятия необходимых мер и минимизации ущерба от готовящихся сейсмических событий. Возможность создания в настоящее время единой системы сбора и анализа данных позволяет надеяться на продвижение в решении задачи краткосрочного прогнозирования разрушительных событий, прежде считавшуюся безнадежной.

Автор благодарен чл.-корр. РАН Махутову Н.А. и начальнику Камчатского филиала Геофизической службы РАН Чеброву В.Н. за проявленное внимание к данной проблеме и предоставленные архивы данных по сейсмическому мониторингу ДВО РФ.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ СТАТИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ – НЕОЖИДАННАЯ СВЯЗЬ С БАЗОВЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ КОНСТАНТАМИ

В.В. Прелов

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, г. Москва, prelov@iitp.ru

Стремительно развивающаяся в последние десять лет индустрия информационных технологий открывает новые возможности, ставит новые задачи и предъявляет новые требования в сфере прогнозирования, оценки риска и повышения эффективности менеджмента в области техногенных, природных, социальных и экономических катастроф.

Расширяется круг поиска новых подходов и эффективных методов, пригодных для экспресс-диагностики критических состояний сложных, заведомо сильно нелинейных, как технических, так и иных – геофизических, социальных и, например, финансово-экономических систем. Для множества прикладных и научно-исследовательских задач активно востребован ассортимент средств анализа, принадлежащих к области информационно емких OLAP-технологий (обработка потоков данных в режиме реального времени). Таких, например, как Data Mining (извлечение и сортировка знаний из современных цифровых хранилищ информации), предназначенных, в частности, и для непрерывного поиска неизвестных закономерностей зарождения и развития фатальных, в том числе и природных, тектонических, процессов.

Не является исключением в этом смысле и класс задач, связанных с прогнозированием, диагностикой, систематизацией и исследованием статистических свойств состоявшихся и занесенных в протокол значимых сейсмических и иных геофизических событий. В нашей работе предложен один из примеров извлечения знаний из агрегированных информационных потоков, сортируемых сетью станций системы IRIS.

Автором проанализирован каталог USGS NEIC, состоящий из технических протоколов по 605 494 сейсмическим событиям магнитуды от 0.1 до 9.0 баллов, произошедшим на земном шаре за период с 01.01.1973 по 31.03.2009 гг. В работе обсуждаются неожиданные, на первый взгляд, закономерности, обнаруженные в результате обработки этого архива, а также прогностическая сторона проведенных исследований.

В частности, мы графически доказываем неизбежность наступления сейсмического события с магнитудой порядка от 9.2 до 9.4 и сопутствующего ему шлейфа событий от 8.4 до 9.0 баллов для технического заполнения образовавшейся статистической брешы. Срок заполнения статистики может быть вычислен по дополнительным информационным сечениям (процедурам OLAP), что детально обсуждается в работе.

Подробно обсуждается факт проявления в процессе анализа описательных статистик, составленных по упомянутой выше базе данных, известных и популярных констант, например, числа Фидия, $\varphi = 1 - \Phi \sim 0.3820$ или Золотого сечения второго порядка $\phi = \Phi\sqrt{2}/2 \sim 0.4370$, где классическое Золотое сечение (первого порядка, приблизительно равное 0.6180) обозначено через Φ .

Так, первое из них проявляется в отношении числа зарегистрированных событий после моды $m = 4.5$ балла к интегральному числу событий до нее, а именно $N_{>4.5}/N_{<4.5} = 0.3822$. Второе, $\rho = 0.4375 R$, – при анализе цикличности сейсмических событий, связанной с арксинусоидальным разбиением $\alpha_k = \arcsin(k/n)$, $k=1 \dots n$, $n \rightarrow \infty$ земной поверхности по широте.

В обоих случаях отклонение от упомянутых констант составляет ничтожные доли процента.

ОНЧ/НЧ МОНИТОРИНГ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КУРИЛО-КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ

А.А Рожной¹, М.С Соловьева¹, О.А. Молчанов¹, В.Н. Чебров², В.Ф. Воронин²

¹Институт Физики Земли РАН, г. Москва, rozhnoi@ifz.ru

² Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Представлены результаты многолетних наблюдений связи вариаций субионосферных низкочастотных сигналов, принимаемых в г. Петропавловске-Камчатском и в Японии, с процессами подготовки сильных землетрясений ($M > 5.5$). Для анализа использовались ночные разностные характеристики амплитуды и фазы сигнала от навигационных передатчиков и передатчиков службы времени. Явные возмущения этих характеристик наблюдались в случае сильных изолированных землетрясений в течение 5-6 дней до землетрясения. Амплитудные аномалии во всех случаях были отрицательные, в фазе сигнала наряду с отрицательными нередко наблюдались аномалии переменных знаков. Статистически установлено, что чувствительность НЧ сигнала к сейсмическим процессам становится значимой, начиная с магнитуды $M > 5.5$. Для таких землетрясений аномалии в сигнале наблюдались в 15-20% случаев. За период наблюдений (2000-2008 гг.) в зоне анализа произошло семь землетрясений с $M \geq 7$. Аномалии в амплитуде и фазе сигнала наблюдались в четырех случаях на фоне спокойной геомагнитной обстановки. В двух случаях землетрясениям предшествовали сильные геомагнитные возмущения, которые могло скрыть эффект от землетрясений. Анализ спектра амплитуды и фазы НЧ сигнала, выполненный для трех серий сильных землетрясений ($M \geq 7$), выявил максимумы с периодами 10-25 минут, что совпадает с периодами атмосферных гравитационных волн. При анализе спектров во время магнитных бурь и суббурь подобного эффекта не обнаружено.

Результаты проведенных исследований дают возможность сделать вывод об эффективности использования этого метода для прогноза сильных землетрясений.

МЕТОД ФЛИККЕР–ШУМОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПО ДАННЫМ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ. АНАЛИЗ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА

Г.В. Рябинин

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gena@emsd.iks.ru

Метод фликкер-шумовой спектроскопии (ФШС) был предложен С.Ф. Тимашевым (Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, г. Москва) как общий феноменологический подход к анализу сигналов разной сущности [Тимашев, 2007]. Появление в системе фликкер-шума связывается с эффектом перемежаемости (интермиттанса), который представляет собой смену достаточно длительных участков ламинарного или регулярного во времени поведения характеристик неравновесной динамической системы, участками хаотических всплесков – нерегулярностями. Сущность ФШС метода заключается в том, что подобным нерегулярностям – хаотическим всплескам, скачкам, разрывам производных различных порядков – придается особое значение. Фактически, они рассматриваются как носители информации о структурных перестройках исследуемой динамической системы на каждом из множества пространственно-временных уровней ее иерархической организации. Для описания совокупных свойств каждого из типов нерегулярностей предлагается анализировать спектры мощности и переходные разностные моменты («переходные структурные функции»), рассчитанные по исходным временным реализациям. В качестве меры изменения спектров мощности и структурных функций предлагается использование безразмерного критерия – параметра нестационарности. Расчет параметра нестационарности в скользящем временном окне позволяет выявлять интервалы, на которых наблюдается нерегулярное поведение анализируемых динамических переменных. При этом размер скользящего временного окна является изменяемым параметром, вариация которым дает возможность обнаруживать нестационарности различного временного масштаба.

Фактический материал работы представлен данными гидрогеохимических наблюдений на Камчатке за период с 1985 по 2008 гг. В качестве анализируемых динамических переменных рассматриваются временные ряды изменений различных показателей химического и газового состава подземных вод.

Анализ прогностической эффективности метода фликкер-шумовой спектроскопии сводился к анализу таблиц сопряженности двух дихотомических признаков, одним из которых являлось наличие или отсутствие в определенном временном интервале положительного всплеска параметра нестационарности, рассчитанного по какому-либо показателю химического или газового состава подземных вод. В качестве второго признака принималось наличие или отсутствие в пределах последующего временного интервала сейсмического события с определенными пространственно-энергетическими характеристиками. Амплитуда положительных вариаций параметра нестационарности, равно как и пространственно-энергетические характеристики землетрясений рассматривались в качестве изменяемых параметров, которые варьировались в ходе анализа с целью установления их оптимальных значений, т.е. значений, при которых статистические критерии связи имели бы наибольшие величины. В качестве статистических критериев связи, оцениваемых по таблицам сопряженности, использовались коэффициент связи Юла [Кендалл, 1973] и показатель эффективности прогноза [Гусев, 1974].

Полученные результаты показывают, что вариации параметра нестационарности определенного масштабного уровня имеют во времени статистически значимую связь с сильными сейсмическими событиями полуострова Камчатка. Данное заключение позволяет говорить об эффективности использования метода фликкер-шумовой спектроскопии, как метода обработки временных рядов, в задаче оценки сейсмической опасности по данным гидрогеохимических наблюдений. Следует также отметить, что процедура идентификации прогностического признака – положительных вариаций параметра нестационарности – имеет более формализованный характер, если сравнивать ее с аналогичной процедурой, применяемой к исходным временным рядам вариаций различных гидрогеохимических показателей, для которых понятие «прогностический признак» не имеет однозначного формального определения.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДИК ПО МАТЕРИАЛАМ КФ РЭС

В.А. Салтыков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

Камчатка является ценнейшим исследовательским полигоном с высоким уровнем современной сейсмической и вулканической активности. В связи с этим в регионе существует постоянная угроза возникновения чрезвычайных ситуаций, что требует выработки мер по снижению риска катастроф на основе современных научных разработок, в том числе совершенствования получения комплексной оценки сейсмической и вулканической опасности для Камчатского региона. В мае 1998 г. на базе Камчатского филиала Геофизической службы РАН и Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН было создано Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ). В феврале 2006 г. оно было реорганизовано и продолжает свою работу в качестве Камчатского филиала Российского экспертного совета (КФ РЭС) по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска.

Основная функция КФ РЭС – оперативная оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений вулканов, возможных последствий их воздействий. На этом этапе мониторинга производится комплексирование более 20 методов прогноза [Чебров, 2008]. Наряду с долгосрочными (срок упреждения от 5 до 15 лет) методами используются средне- и краткосрочные прогностические методики (сроки упреждения от 1 до 5 лет и от 1 месяца до 1 года соответственно). В терминах общей прогностики рассматриваемые средне- и краткосрочные методики прогнозирования являются *поисковыми* и направлены на определение возможного положения явления (сильного регионального землетрясения) в будущем. Разрабатываемые прогнозы рассматриваются как *вероятностные*. Объектом прогнозирования являются региональные землетрясения в заданном временном интервале, определенном диапазоне магнитуд и эпицентральных расстояний. В большинстве случаев используются различные *параметрические* предвестники. При прогнозировании применяется метод *экстраполяции*: распространение выявленных закономерностей развития объекта прогнозирования на будущее в предположении, что выявленная закономерность, выступающая в качестве базы прогнозирования, сохраняется и в дальнейшем. Прогноз считается успешным только в случае попадания параметров землетрясения в упомянутые в прогнозе пространственные, временные и энергетические рамки. За основу оценки эффективности результатов прогнозирования взят подход из работы [Гусев, 1974]. Эффективность методики J определяется для конкретной пространственной области и фиксированного энергетического диапазона землетрясений по формуле:

$$J = \frac{N_+}{N \cdot \frac{T_{\text{тревоги}}}{T}},$$

где T – общее время мониторинга сейсмической обстановки по рассматриваемому методу; N_+ – количество землетрясений, соответствующих успешному прогнозу за время T ; N – общее количество землетрясений фиксированного энергетического диапазона, произошедших в рассматриваемой пространственной области за время T ; $T_{\text{тревоги}}$ – суммарная длительность всех промежутков времени, в которых действовал прогноз по оцениваемому методу в течение общего времени мониторинга. Знаменатель дроби отражает среднее число возникновения землетрясений за время $T_{\text{тревоги}}$ в случае отсутствия связи прогнозов с землетрясениями. Соответственно, эффективность J показывает, во сколько раз количество спрогнозированных землетрясений превышает число попавших в «тревожное» время случайным образом. При случайном угадывании эффективность J равна 1.

В докладе представлены результаты расчетов эффективности применения прогностических методик в реальном времени. Использованы имеющиеся в Камчатском филиале РЭС прогнозные заключения по отдельным методикам, включающие в обязательном порядке оценки энергии, пространственной области и временного интервала для ожидаемого землетрясения. Именно такая оценка эффективности прогнозирования землетрясений, как в определенном смысле технологии, представляет интерес при составлении комплексного заключения о развитии сейсмической обстановки, когда возможны существенные противоречия в результатах различных методик, и необходимо отдать предпочтение какой-то одной методике (или некой группе методик).

МОНИТОРИНГ ВАРИАЦИЙ НАКЛОНА ГРАФИКА ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ: МЕТОДИКА И ПРИМЕРЫ

В.А. Салтыков, А.А. Коновалова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, seismo@emsd.ru

Одним из предвестников приближающегося землетрясения является аномальное уменьшение наклона графика повторяемости. Наклон графика повторяемости b определяется на основе закона Гутенберга-Рихтера: $\lg N = a - bM$.

Данная работа направлена на обнаружение в пространстве зон, где наблюдаются такие аномалии наклона графика повторяемости.

В предлагаемом подходе приоритетной является статистическая значимость изменения b , а не его абсолютная величина.

Временные изменения параметра b представлялись и анализировались в виде безразмерной величины Z_b , являющейся мерой статистической значимости отклонений текущих значений параметра b от его долговременных (фоновых) значений:

$$Z_b = \frac{(b_2 - b_1)}{\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_1^2}}$$

b_1 и b_2 – значения наклонов графика повторяемости землетрясений за сравниваемые интервалы времени;

σ_1 и σ_2 – значения среднеквадратичного отклонения оценок b_1 и b_2 .

Проведен мониторинг изменения величины наклона графика повторяемости землетрясений во времени для сейсмоактивной области Камчатки.

В работе использовались данные регионального каталога сейсмичности Камчатского филиала Геофизической службы РАН за период 1962-2008 гг.

Пространственное сканирование проводилось цилиндрическими объемами с радиусом $R \leq 100$ км и высотой $H = 0 - 100$ км для площади $51^\circ - 57^\circ$ с.ш. и $156^\circ - 167^\circ$ в.д. Число землетрясений, попадающих в элементарный цилиндрический объем, менялось в различных вариантах счета: $N = 100, 200, 400, 800$. Значения параметра b рассчитывались за временной интервал T_1 длительностью 1, 2, 3, 4, 6, 8 и 11 лет. Для расчета фоновых значений использовались временные интервалы T_2 : 1) 1962-2007 гг., и 2) удвоенный интервал T_1 , предшествующий T_1 .

Статистически значимые изменения параметра b относительно фонового значения считаем аномалиями, а область, в которой они наблюдаются, аномальной областью. Представляют интерес аномалии при $Z_b \leq -3$, поскольку при таких значениях Z_b можно ожидать статистической значимости уменьшения b не хуже $\alpha = 0.01$.

Выявлены аномальные значения наклона графика повторяемости землетрясений Камчатской сейсмоактивной зоны.

Для возможности оценивать распределение выявленных аномалий в пространстве построены карты параметра Z_b . При ретроспективном анализе обнаружено, что аномальные области имеют локальный характер и сосредоточены в пределах очагов сильных землетрясений, а продолжительность, учитывая величину временного окна расчетов, указывает на неслучайный характер их появления.

Показаны эпицентры сильных землетрясений Камчатки 1962-2008 гг., которые можно связать с выявленными аномалиями.

Статистически значимое уменьшение наклона графика повторяемости наблюдалось перед многими сильными землетрясениями Камчатки. В частности, перед землетрясением 05.12.1997 $M_w(HRV) = 7.8$ (UTC = 11:26:51; $\varphi = 54.64^\circ$ с.ш.; $\lambda = 162.55^\circ$ в.д.) аномалия проявлялась на протяжении более 10 лет.

Данная методика позволяет проследивать локальные временные вариации наклона графика повторяемости относительно фоновых значений в местах подготовки сильных землетрясений Камчатки.

О ВОЗМОЖНОСТИ УСПЕШНОГО ПРОГНОЗА ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ. СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭТИХ ВУЛКАНОВ

С.Л. Сеньюков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

Вулкан Безымянный – координаты вершины: 55° 58' с.ш., 160° 35' в.д. Абсолютная высота вулкана 2869 м. После 1000-летней паузы на вулкане Безымянный произошло катастрофическое извержение (VEI-5) 30 марта 1956 г. После этого события вулкан извергается 1-2 раза в год. С 1956 г. и до конца XX века перед некоторыми извержениями были зафиксированы сейсмические предвестники в виде роев поверхностных землетрясений, но официально не было спрогнозировано ни одно извержение этого вулкана по сейсмическим данным. По литературным источникам зафиксирован один удачный краткосрочный прогноз для извержения 29 июня 1985 г. по визуальным наблюдениям «автоэксплозивных лавин» (при отсутствии сейсмических предвестников), автор – Малышев А.И. Камчатский Филиал Геофизической Службы (КФ ГС) РАН начал мониторинг активности вулканов Камчатки в 2000 г. (<http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>) по сейсмическим, спутниковым, визуальным и видео наблюдениям. С февраля 2000 г. по февраль 2004 г. было зарегистрировано и изучено 7 извержений. В результате исследований в мае 2004 г. был определен первый вариант алгоритма прогноза извержений вулкана Безымянный по сейсмическим и спутниковым данным. Алгоритм совершенствовался по мере накопления опыта и изучения новых извержений. Применение алгоритма в режиме реального времени позволило сделать 7 успешных краткосрочных прогнозов эксплозивных извержений из 8, произошедших в период с июня 2004 г. по апрель 2009 г.

Пропуск извержения, произошедшего 14-15 октября 2007 г., заставил задуматься над вопросом: «Каким образом нужно изменить алгоритм, чтобы не было пропущенных извержений?» Для ответа на этот вопрос был проведен ретроспективный анализ предвестников 16 извержений вулкана Безымянный (с 1999 г. - по 2008 г.) и их сопоставление с различными параметрами сейсмичности вулкана Ключевской, который расположен на расстоянии 10 км от Безымянного.

Вулкан Ключевской (координаты вершины: 56° 04' с.ш., 160° 38' в.д.) – самый высокий, активный и мощный базальтовый вулкан Курило-Камчатской вулканической области. Абсолютная высота вулкана ~ 4750 м. В течение 1999-2008 гг. на Ключевском произошло 4 продолжительных извержения в центральном кратере с мощными пепловыми выбросами и излияниями лавовых потоков.

Изучение сейсмических предвестников извержений вулкана Безымянный позволило разделить сейсмическую подготовку по силе и продолжительности на 4 группы:

- 1) наиболее продолжительная (7-14 дней) и относительно сильная (более 50 событий за сутки) сейсмическая подготовка перед извержениями Безымянного наблюдалась в тех случаях, когда на вулкане Ключевской не было землетрясений 4 типа (взрывы дегазирующей магмы в постройке) – 6 случаев;
- 2) если на вулкане Ключевской наблюдалась слабая активность (1-20 землетрясений 4 типа за сутки), то сейсмическая подготовка перед извержениями Безымянного продолжалась несколько дней (3-7) и достигала 20 событий за сутки накануне извержения – 4 случая;
- 3) если вулкан Ключевской был активен (100-300 землетрясений 4 типа за сутки), то сейсмическая подготовка перед извержениями Безымянного была наиболее короткая (1-2 дня) и слабая (1-10 событий за сутки) – 4 случая;
- 4) сейсмические предвестники извержений Безымянного невозможно зарегистрировать, если вулкан Ключевской находится в стадии извержения – 2 случая.

Дополнительно было отмечено, что перед всеми 4 извержениями вулкана Безымянный в период сильной активности вулкана Ключевской (3 группа) наблюдалось резкое уменьшение количества землетрясений 4 типа на Ключевском (в среднем на 100 событий) в течение 7 дней. Такое уменьшение числа землетрясений можно объяснить оттоком магмы (вероятно, частично дегазированной) из системы Ключевского в систему Безымянного. Такой отток провоцирует извержения вулкана Безымянного практически без сейсмической подготовки.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ВУЛКАНА КОРЯКСКИЙ С 1966 г. ПО МАЙ 2009 г. С ЦЕЛЮ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЕГО ИЗВЕРЖЕНИЙ

С.Л. Сеников, И.Н. Нуждина, С.Я. Дроздина

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

Действующие вулканы Корякский ($53^{\circ} 19'$ с.ш., $158^{\circ} 43'$ в.д., абсолютная высота вершины - 3456 м) и Авачинский расположены на удалении 25-30 км от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово. В связи с существующей вероятностью возможного катастрофического извержения в виде взрыва или обвала склона они представляют наибольшую потенциальную опасность для населения Камчатки.

Первая сейсмическая станция в районе Авачинско-Корякской группы вулканов была установлена в 1961 г. За период детальных сейсмологических наблюдений повышение сейсмической активности в районе вулкана Корякский регистрировалось в августе 1966 г., весной 1994 г. и в 2008-2009 гг.

Первые две сейсмические активизации не сопровождались усилением вулканической деятельности, наблюдалась только фумарольная активность. В период последней активизации вулкана, начавшейся в марте 2008 г. и продолжающей наблюдаться до настоящего времени (май 2009 г.), были отмечены парогазовые выбросы с содержанием пепла резургентного состава. Пепел в выбросах фиксировался с конца декабря 2008 г. по май 2009 г.

Результаты детального ретроспективного анализа сейсмичности вулкана Корякский позволят в будущем делать более обоснованные оценки его опасности на основе накопленного опыта.

НАБЛЮДЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ РАЙОНА ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ С ПОМОЩЬЮ СЕТИ GPS СТАНЦИЙ 2006-2009 гг.

С.С. Сероветников, Е.Ю. Гнитиева

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, kate2@emsd.ru

В районе вулкана Безымянный, деятельность которого характеризуется циклическими эксплозивными извержениями приблизительно 1-2 раза в год, создана локальная сеть, включающая в себя 10 пунктов GPS наблюдений. В ближайшей перспективе сеть необходимо уплотнить и расширить на территорию всей Ключевской группы вулканов с целью учета влияния вулкана Ключевская Сопка, уточнения выводов о глубинах источников давления под вулканами и о механизме внедрения магмы в поверхностные слои земной коры.

Некоторые пункты наблюдений сети работают непрерывно с использованием автономных GPS станций на базе двухчастотных GPS приемников TRIMBLE NETRS. Каждый такой пункт представляет собой армированный бетонный пилон с устройством принудительного центрирования антенны станции, вблизи которого устанавливается сварной металлический бункер. Внутри бункера располагается GPS приемник и система питания станции. В свою очередь, питание приемника реализуется по двум каналам (основной и резервный) от двух батарей сухих элементов «БАКЕН» напряжением 18 в. В результате, суммарная емкость системы питания позволяет постоянной GPS станции работать в автономном режиме в течение 380 суток.

Т.к. постоянные GPS станции не оснащены аппаратурой передачи данных, запись получаемых временных серий ведется на встроенный в приемник накопитель емкостью 2Гб, которые снимаются один - два раза в год во время проведения регламентных работ с использованием вертолета или пешим порядком в летнее время.

В период проводимых наблюдений, 24 декабря 2006 г., произошло сильное эксплозивное извержение вулкана с отложением пирокластических потоков. После обработки временных рядов данных с пункта BZ09, расположенного в 1.5 км от жерла вулкана Безымянный, наибольший интерес вызвали смещения до и после указанного события. За 15 дней до извержения динамика движения пункта стала резко отличаться от характерной в спокойный период, во время самого события произошел резкий скачок в направлениях смещения, далее в течение 25 дней сохранялась приобретенная до извержения аномальная скорость движения, после чего поведение пункта вернулось к первоначальному.

Таким образом, полученные результаты могут характеризовать процесс подготовки извержения, эксплозивный и постэруптивный процессы, относящиеся к извержению вулкана Безымянный 24 декабря 2006г. Это также подтверждают данные, которые были получены в 2007-2008 году и выявившие сходные деформационные процессы, сопряженные с вулканической активностью.

Из проведенных в 2006-2009 гг. наблюдений следует, что использование сети постоянных GPS станций позволяет оценивать длительные деформационные процессы, в том числе и связанные с активностью вулканов Безымянный и Ключевская Сопка, которые невозможно зарегистрировать с помощью сети сейсмических станций. Поэтому комплексные наблюдения с помощью сейсмической и GPS аппаратуры позволяют получить наиболее полные данные о глубинных процессах и механизмах внедрения магмы в поверхностные слои земной коры.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЕГМЕНТАРНОСТЬ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ ПЛИТЫ БЕРИНГА И ДИСКРЕТНОСТЬ ОБЛАСТЕЙ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Н.Г. Томилин

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, nikita.tomilin@mail.ioffe.ru

На основе кинетических представлений о разрушении твердых тел сформулирована иерархическая модель разрушения горных пород и предложены статистические критерии перехода от дисперсного накопления дефектов на очаговую стадию разрушения, которая завершается образованием дефекта следующего масштабного уровня. Имеющийся алгоритм позволяет, используя предложенные критерии, как целевую функцию, выделять область подготовки землетрясений (ОПЗ), магнитуа которых превышает порог достоверной регистрации на ДМ. Для анализа сейсмичности в зоне Алеутской дуги использовался каталог землетрясений NEIC. Вероятность выделения ОПЗ (1977-2007 гг., 51 событие) с $M \geq 6.6$ – $P = 0.9$. Значение $\Delta M = M_J - M_{J-1}$, как и для всех регионов Тихоокеанской плиты, ≈ 3 .

Области подготовки сильных землетрясений ($M_J \geq 6.6$) за исключением сегментов 0, VII и VIII (табл.) представляют собой пространственные зоны, вытянутые вдоль Алеутской дуги, а на востоке вдоль границы предполагаемой плиты Беринга (сегмент I), протяженностью в сотни километров. Основанием для разделения общего пояса сейсмичности на сегменты являлись пространственная дискретность расположения эпицентров рассматриваемых событий с $M_J \geq 6.6$, а также особенности пространственной структуры сейсмичности в области их подготовки. Координаты сегмента I определены из размеров ОПЗ и при этом все 6 событий с $M_J \geq 6.6$, попадающие в этот сегмент (N) смещены на запад (З – В) относительно формирующих ОПЗ землетрясений с M_{J-1} (N_{cm}). Аналогичные критерии использовались при выделении III, V, VI. В сегменте II указанное смещение не является преобладающим. Уникальность сегмента VIII, который представлен только двумя землетрясениями: Хаилинским и Олюторским, заключается в их значительной удаленности по часовой стрелке от областей подготовки. Сегмент VII представлен 4 событиями в области сочленения Алеутской и Курило-Камчатской дуг. Их области подготовки расщепляются, что характерно и для других узловых зон: Курило-Камчатской дуги и Японского разлома, Алеутской дуги и разлома Королевы Шарлотты (сегмент 0). Выдвигается предположение об общей направленности процесса разрушения по часовой стрелке от разлома Denali на востоке до Корякского нагорья на западе, что может рассматриваться, как косвенный сейсмологический признак существования плиты Беринга.

Таблица. Параметры выделенных сегментов сейсмичности.

Сегмент	LATN, град	LON, град	N_{cm} / N	Смещение З - В
0			-/2	расщепление ОПЗ
I	64 - 56	150W – 156W	6/6	100%
II	53 - 57	167W – 156W	1/6	нет
III	51 - 53	177W – 167W	2/3	66%
IV	~ 51	175E – 171W	13/22	59%
V	54 - 51	168E – 176W	2/2	100%
VI	56 - 52	165E – 172E	1/1	100%
VII			-/4	расщепление ОПЗ
VIII	62 - 54	168E - 168E	2/2	100%
Всего			27/42	64 %

Обнаружена дискретность пространственного распределения событий с M_{J-1} в области подготовки землетрясений с M_J , которая наиболее характерна для сегмента IV. Делается предположение о структурной природе эффекта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 07-05-00542, № 09-05-00639).

ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ МОЩНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНАХ СОЧЛЕНЕНИЯ ДУГ ТИХООКЕАНСКОЙ ПЛИТЫ

Н.Г. Томилин, Е.Е. Дамаскинская

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, nikita.tomilin@mail.ioffe.ru

На основе кинетических представлений о разрушении твердых тел сформулирована иерархическая модель разрушения горных пород и предложены статистические критерии перехода от дисперсного накопления дефектов на очаговую стадию разрушения и начала последующей после основного толчка фазы релаксации. Имеющийся алгоритм позволяет, используя предложенные критерии, как целевую функцию, выделять область подготовки землетрясений (ОПЗ), магнитуда которых превышает порог достоверной регистрации на ДМ. Для анализа сейсмичности границ Тихоокеанской плиты использовались каталоги землетрясений NEIC и КФ ГС РАН. Вероятность выделения ОПЗ Камчатской дуги (1962-2006 гг., 37 событий) с $\lg E \geq 14$ равна 0,89; Курильской дуги (1977-2007 гг., 11 событий) с $M \geq 7.5$ -1; Алеутской дуги (1977-2007 гг., 51 событие) с $M \geq 6.6 - 0.9$. Для всех регионов значение ДМ ≈ 3 .

Большинство областей подготовки сильных землетрясений представляют собой пространственные зоны, вытянутые вдоль разломов на сотни километров. Для структуры сейсмичности в ОПЗ Алеутской дуги характерна пространственная дискретность и воспроизводимость во времени. Особый интерес представляют ОПЗ сейсмических событий в области сочленения тектонических разломов. В работе рассматриваются области подготовки землетрясения с $M=8.5$ (3.11.2002) в области сочленения разломов Алеутского и Королевы Шарлотты, Denali; Хаилинское и Олюторское события, землетрясение с $M=6.1$ (7.04.1998) в области сочленения Алеутского и Курило-Камчатского разломов; а также события с $M=7.6$ (15.01.1993) в области сочленения Курило-Камчатского и Японского разломов. Несмотря на различия в магнитудах рассматриваемых событий, механизмах реализации общим для этих ОПЗ является их расщепление вдоль стыкующихся разломов.

Другим неожиданным результатом является значительное удаление от ОПЗ основного толчка $M=6.1$ (7.04.1998). Еще более удаленными (> 500 км) от своих ОПЗ, также расположенных в зоне сочленения, являются практически совпадающие эпицентры Хаилинского и Олюторского землетрясений. С целью качественного объяснения уникальной удаленности основных толчков от своих ОПЗ, в работе проведено моделирование механического состояния системы, имеющей конфигурацию Тихоокеанской плиты. В плоскости задается контур границы Тихоокеанской и Северо-Американской плит. К контуру, который можно рассматривать как разлом j -ранга, прикладывается распределенная сила, вектора которой совпадают с локальными векторами движения Тихоокеанской плиты. Затем с помощью метода конечных элементов вычисляются напряжения, которые возникают в прилегающей к контуру области. Показано, что в случае введения в систему разлома меньшего ранга, например, j -n происходит трансляция напряжений с контура на достаточно большие расстояния, что приводит к появлению зоны локальных перенапряжений. Результаты моделирования позволяют говорить о том, что максимальные напряжения сосредотачиваются именно на разломе j -n ранга, причем их величина примерно в 4 раза больше, чем напряжения, возникающие в системе без него. Таким образом, комбинация нагруженных разломов различных рангов, не обязательно контактирующих, реализует возможность появления мощных землетрясений на существенном удалении от области их подготовки, как в случае Олюторского землетрясения.

Полученные в работе данные по форме и размерам (для события $M=8.5$ (3.11.2002) более 2000 км) областей подготовки землетрясений в зоне сочленения тектонических разломов имеют практическое значение: повышают эффективность прогностических методов.

Авторы благодарят КФ ГС РАН за предоставленные исходные материалы по сейсмичности Камчатки. Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 07-05-00542, № 09-05-00639).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ (ЭМИ-ИЭМПЗ) В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ ОЛЕКМО-СТАНОВОЙ ЗОНЫ (ОСЗ)

С.В. Трофименко, Н.Н. Гриб, В.М. Никитин

Технический институт (филиал) ЯГУ, г. Нерюнгри, urovsky@yandex.ru

В течение цикла измерений в 2005–2007 гг. в ОСЗ отмечено два периода повышения сейсмической активности. В первом периоде произошло два землетрясения с энергией $E = 10^{15.7}$ Дж – 10.11.2005 и $E = 10^{14.8}$ Дж – 11.12.2005, во втором – также два землетрясения с энергией $E = 10^{14.6}$ Дж – 03.03.2007 и $E = 10^{14.2}$ Дж – 13.03.2007. Во всех четырех случаях имели место аномальные суточные вариации ИЭМПЗ в каждом из двух пунктов измерений (Нерюнгри, Иенгра). Зарегистрированные аномалии были условно разделены на 4 типа вследствие их различного проявления. В 2005 г. аномальные амплитуды суточного хода 17–22 октября не сопровождалось сейсмическим событием. Первое землетрясение ($K = 15.7$) предвлялось серией аномалий, в максимуме интенсивности 15–тикратно превышающих нормальный фоновый уровень. После землетрясения в течение 2–х недель вплоть до 28.11 наблюдались аномальные амплитуды суточного хода на фоне многочисленных низкоэнергетических ($K < 10$) сейсмических событий. Перед афтершоками $K = 12.5$ и $K = 14.8$ изменения ИЭМПЗ были аналогичными. В 2007 г. первая серия аномалий предвляла землетрясение с энергией в очаге $E = 10^{14.6}$ Дж, которая зафиксирована на обоих пунктах наблюдений. Вторая и третья серии аномалий отмечены в пункте «Иенгра» на фоне многочисленных афтершоков. Четвертая и пятая серии аномалий предвляли второе землетрясение с энергией в очаге $E = 10^{14.2}$ Дж. Шестая и седьмая серии с незначительными отличиями в пунктах наблюдений отмечены на фоне афтершоковых последовательностей второго землетрясения. Практически синфазные аномальные изменения ИЭМПЗ (8 серия) не сопровождалось землетрясением. До рассматриваемого периода наблюдений в феврале были выделены аномальные амплитуды с выходом в нормальное поле к 01.03 без сейсмического события.

Изучение аномалий в двух пунктах наблюдений позволило предположить, что отдельные регистрируемые аномалии являются следствием приповерхностного взаимодействия блоков земной коры при их относительном перемещении вблизи пункта наблюдения и определяются физическими свойствами горных пород, вещественным составом, характером движения по разлому. Размер области, формирующей аномалии ЭМИ, дополнительно зависит от общей структуры геодинамической системы взаимодействующих блоков. Подтверждением сеймотектонической природы аномалий ИЭМПЗ, формирующейся в ОСЗ, может служить отличительный характер их проявления в разных пунктах наблюдений, которые выделяются в отдельности по каждому пункту наблюдений, но проявляются не синфазно. Следовательно, вследствие выше изложенного данные серии аномалий проявляются как отражение сеймотектонических процессов. В противоположность этому, причиной аномалий, синфазно проявившихся на обоих пунктах, могут быть региональные либо глобальные источники не тектонической природы, либо сформированные за пределами ОСЗ.

Другой тип аномалий проявляется мозаично и связан с нестационарной фазой сейсмического процесса после сильного землетрясения. Данные аномалии суточных вариаций, в данном случае, являются следствием увеличенной подвижности геодинамической системы по активизированным разломам в модели развития сейсмического процесса в блоковой среде. В рамках теории (модели) сейсмического процесса в блоковой среде сделано предположение, что аномалии ЭМИ – ИЭМПЗ должны появляться дважды: перед землетрясением и после него, к тому же не обязательно симметрично относительно сейсмического события, так как скорость накопления энергии упругих деформаций и скорость разгрузки среды не одинаковы. Это третий тип аномалий. В июле 2007 г. были зарегистрированы изменения интенсивности ИЭМПЗ с аномальными изменениями в начале и в конце месяца на 300–400% от нормального уровня амплитуд суточных вариаций. Ни одного сильного землетрясения в ОСЗ в течение месяца не произошло. Повышение сейсмической активности было отмечено в Байкальской рифтовой зоне. Расстояние от эпицентра землетрясения до пункта регистрации составило около 1000 км.

В этой связи, необходимо проведение синхронного глобального эксперимента по регистрации ИЭМПЗ и сейсмического режима по профилю, охватывающему весь Байкало – Становой сейсмический пояс (возможно с выходом на Камчатку), с единой системой регистрации и методикой эксперимента относительно удаленной точки, вынесенной за пределы сейсмоактивной зоны.

ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ МИРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (ГЛОБАС) В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В ПЕРИОД ЯНВАРЬ 2008 - АПРЕЛЬ 2009 гг.

В.А. Широков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, shirokov@emsd.ru

При разработке модели подготовки тектонических землетрясений нами развивается альтернативная к имеющимся [Добровольский, 1991(обзор) и др.] модель, в соответствии с которой солнечная активность, электромагнитные и гравитационные поля в системе Солнца-Земля-Луна при подготовке землетрясений имеют ключевое значение [Широков, 1977, 2001 и др.]. В рамках этого подхода предложена планетарно-региональная модель [Широков, 2001], в соответствии с которой долгосрочная (годы) и краткосрочная (дни, недели) фазы подготовки любого сильного события имеют планетарную и зависящую от нее региональную составляющую. На основе этой модели разработана методика краткосрочного прогноза времени, места и магнитуды региональных землетрясений (алгоритм М6), основанная на анализе сейсмологических и космофизических данных [Широков, 2001]. Аналогом этой методики в глобальном варианте является пробная методика оперативного прогноза сильных мировых землетрясений ГЛОБАС (ГЛОБальная Активизация Сейсмичности), которая эпизодически тестируется с января 2008 г. в реальном времени с официальной регистрацией прогнозов в Камчатском филиале Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений. *Всего сделано 8 оперативных, со временем упреждения менее недели, прогнозов мировых землетрясений, каждый из которых, как показано далее, оказался успешным.*

Для того чтобы оценить степень неслучайности происходивших в течение недели после прогноза событий, введен параметр Q - «качество прогноза». Величина Q равна отношению среднего временного интервала между последними N землетрясениями (выбрано N=5) с магнитудой $M \geq M_{\text{ЗЕМЛ}}$ (данные каталога NEIC GS USA) к интервалу времени T от начала прогноза до произошедшего события с $M_{\text{ЗЕМЛ}}$. При Q = 3.0 вероятность р случайного прогноза составляет 0.28, а вероятность Р прогноза по ГЛОБАС равна 0.72. При этом случайно оправдается лишь один из четырех прогнозов. Таким образом, успешными могут считаться прогнозы землетрясений, для которых $Q \geq 3.0$, а $P \geq 0.72$.

Как видно из таблицы, после каждого из восьми прогнозов в течение недели в мире происходило от одного (7 раз) до трех землетрясений с моментной магнитудой M от 6.9 до 7.9 (катастрофическое Сычуаньское событие) на глубинах Н до 50 км и (или) с $M \geq 6.0$ на глубинах более 50 км. Так как качество прогнозов, рассчитываемое отдельно для событий с глубиной до 50 км и больше, было не менее 3.3 (при среднегеометрическом значении 15 и максимальном 34), все сделанные прогнозы можно считать успешными. Время упреждения менялось от половины до 6.2 суток. Дважды по форшоковой активизации был верно указан регион ожидаемого землетрясения. Из четырех мелкофокусных событий два были цунамигенными.

Таблица. Реализация оперативных прогнозов мировых землетрясений по методике ГЛОБАС с оценками вероятности Р неслучайного возникновения событий и качества Q их прогнозов

Дата прогноза	11.01.2008	07.05.2008	10.07.2008	14.11.2008	05.02.2009	27.03.2009	20.04.2009	23.04.2009
Упреждение T, сутки	4.74	0.59 2.81 5.36	4.87	2.71	6.22	1.17	1.14	3.0
M/H, км	6.5/597	6.9/27 6.8/76 7.9/19	6.4/52	7.3/30	7.2/22	6.0/96	6.2/152	6.1/131
Q	3.3	28 16 19	9.2	34	3.6	23	33	12
P	0.74	0.999	0.9	0.97	0.76	0.95	0.97	0.92

Тестирование показало, что на основе ГЛОБАС можно успешно прогнозировать сильные мировые землетрясения (отдельно для глубин до 50 км и более), не имея информации о региональных процессах вблизи их очагов. Для региональных прогнозов разработан алгоритм М6. Вероятность р прогноза цунами невелика, однако, при наличии форшоковой мелкофокусной активизации р существенно возрастает. Полученные результаты могут рассматриваться в качестве обоснования и подтверждения планетарно-региональной модели подготовки сильных землетрясений.

О СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ РОЕВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПОДГОТОВКОЙ И ХОДОМ ИЗВЕРЖЕНИЯ КОРЯКСКОГО ВУЛКАНА 2008 - 2009 гг.

В.А. Широков¹, И.К. Дубровская²

¹ – Камчатский филиал Геофизической службы, г. Петропавловск-Камчатский, shirokov@emsd.ru,

² – Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В соответствии с планетарно-региональной моделью подготовки землетрясений [Широков, 2001], на региональную сейсмичность значимое влияние оказывают планетарные сейсмостектонические процессы. Был проведён анализ распределения во времени мировых землетрясений 2008 г. с моментной магнитудой $M \geq 6.8$ (каталог NEIC) и выделены 4 кластера, занимающие 40% времени года. В них произошло 21 из 24 событий. Кластеры связаны с аномальным увеличением скорости $V_{\text{план}}$ сейсмостектонических движений [Ризниченко, 1975] на планете, которая в активные периоды была на 2 порядка больше, чем вне кластеров.

Первый кластер (8.02-12.04, $N = 9$, $M_{\text{макс}} = 7.4$) совпал по времени с начавшейся 29 февраля 2008 г. сейсмической активизацией под вулканом Корякским, проявлявшейся в виде роев вулканостектонических землетрясений (ВТЗ) и одиночных событий. Существенно, что начало сейсмической активизации под вулканом совпало с началом прогнозирувавшейся на период март 2008 - февраль 2010 гг. «опасной» фазы камчатских землетрясений с $M \geq 7$ приливного происхождения [Широков, Широкова, 2005].

Второй кластер (7.05-12.05, $N = 3$, $M_{\text{макс}} = 7.9$) совпал с 9-суточной паузой ВТЗ, с 7 по 15 мая. Такой длительной паузы в 2008-2009 гг. не было. *В третьем (30.06-23.07, $N = 4$) и четвёртом (29.09-9.12, $N = 5$) кластерах* самыми сильными событиями были 2 глубоких камчатских землетрясения 5 июля с $M = 7.7$ ($H = 632$ км) и 24 ноября с $M = 7/3$ ($H = 495$ км). Перед землетрясением 5 июля в течение 14 суток произошло 82 ВТЗ энергетического класса $K \geq 2.5$, а после события за такой же по длительности период только 13, что указывает на ярко выраженную зависимость сейсмичности вулкана от глубокого землетрясения. *Четвёртый кластер* совпал по времени с появлением первых фумарол (5-6 ноября, фото А. Сокоренко) и их активизацией в третьей декаде ноября, когда произошло глубокое землетрясение 24.11.2008 г. В октябре–ноябре 2008 г. скорость сейсмостектонического движения $V_{\text{ВТЗ}}$ была максимальной при подготовке извержения.

За дату начала извержения можно принять 26 декабря 2008 г., когда началось интенсивное непрерывное выделение пепла на высоту около одного км над вулканом и появился плотный пеплогазовый шлейф. Извержение началось через 16 суток после окончания четвёртого кластера. За это время произошло всего 20 ВТЗ, причём 11, 14, 16, 17, 19, 21, 22 и 25 декабря землетрясений не было. «Рваный» ритм сейсмичности был не характерен для предыдущих месяцев. За 3 дня до извержения в течение суток на глубине 3.4-3.5 км произошли 3 сильных умеренных события с K , равным 5.1, 5.6 и 6.5, возможно, завершивших формирование заглубленной привершинной трещины, где на одной линии появились 3 центра вулканической активности. В первые 4 месяца 2009 г. выделены ещё 2 кластера длительностью 13 и 56 суток. В последнем случае сейсмичность вулкана была повышенной. Можно, однако, обратить внимание на то, что в ходе начавшегося извержения роль планетарных сейсмостектонических процессов стала менее выраженной. Вероятно, это является следствием существенной роли в возникновении ВТЗ магматических и связанных с ними процессов. В работе исследовалась также связь вариаций $V_{\text{план}}$ и $V_{\text{ВТЗ}}$ в разные периоды подготовки извержения и после его начала с учётом солнечносуточной составляющей [Широков, Руленко, 2007] в сейсмичности вулкана. Выявлена зависимость роевой активности 2008-2009 гг. от фазы лунномесячного прилива с периодом 29.5 суток, от годовых вариаций скорости вращения Земли.

Выводы. В результате проведённых исследований сделан вывод, что вулканостектонические землетрясения Корякского вулкана, связанные с подготовкой извержения, определялись преимущественно планетарными и региональными сейсмостектоническими процессами, т.е. землетрясения имеют тектоническую природу. В ходе начавшегося извержения на сейсмичность вулкана оказывали существенное влияние как сейсмостектонические процессы, так и магматическая деятельность.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ И САЭ, КАК КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

***А.Ю. Щекотов¹, О.А. Молчанов¹, Е.Н. Федоров¹, В.Н. Чебров², В.А. Салтыков², В.И. Сеницын²,
С.Е. Андреевский¹, Г.Г. Беляев³, В.А. Гладышев¹***

¹ *Институт физики Земли РАН, г. Москва, checkit@post.ru*

² *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,*

³ *ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл.*

По результатам исследований проводимых в рамках проектов МНТЦ №2120 и №2990 на обсерватории Карымшина рассмотрены явления, наиболее перспективные с точки зрения краткосрочного прогноза землетрясений: сейсмо-акустическая эмиссия ($F = 30$ Hz), депрессия электромагнитного поля в диапазоне сотых долей герца и излучение из атмосферы в диапазоне единиц–десятков герц.

В первом случае анализировалась импульсная компонента САЭ. Показано, что в интервале нескольких часов перед землетрясениями частота регистрируемых импульсов статистически достоверно превышает фоновые значения в спокойные дни.

В вариациях магнитного поля было обнаружено уменьшение (депрессия) их уровня, возникающее примерно за 1-5 дней перед землетрясением. При этом величина депрессии пропорциональна магнитуде последующего землетрясения для $M_s > 5.5$. Показана также стационарность и локальность данного явления.

И, наконец, было обнаружено излучение, возникающее примерно в те же временные интервалы перед землетрясением в диапазоне от единиц до десятков герц, которое с высокой достоверностью позволяет предсказывать время последующего землетрясения. Проведенный статистический анализ показал целесообразность применения его для прогноза. Обоснован вывод, что применение данного метода на сети станций позволит определять не только время, но и однозначно место предстоящего землетрясения.

Технические и программные средства геофизического мониторинга

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К УМЕНЬШЕНИЮ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ДЕТЕКТИРОВАНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

С.В. Баранов

Кольский филиал Геофизической службы РАН, г. Апатиты, e-mail: bars.vl@gmail.com

Опытный аналит-сейсмолог практически всегда по форме сигнала может определить, соответствует участок сейсмограммы сейсмическому событию или нет. Принимая такое решение, эксперт не вычисляет количественные характеристики цифровой записи, он исходит из того, удовлетворяет ли качественное поведение сигнала определенным условиям или нет. В данной работе предлагается метод автоматического принятия решения о типе сейсмической записи с использованием методов нейроматематики. Метод был реализован в компьютерной программе StaSel, которая применяется в Кольском филиале (КолФ) ГС РАН для автоматической обработки данных мониторинга сейсмичности.

Будем характеризовать участок цифровой сейсмограммы, на котором наблюдается превышения сигнала над шумом трассой. Трасса представляет собой среднюю амплитуду записи, рассчитанную в некотором временном окне. В ходе анализа было выделено четыре типа трасс: *тип 1* соответствует локальным событиям; *тип 2* - региональным; *тип 3* - далекие события; *тип 4* - шумы (соответствующие участки записи не содержат сейсмического сигнала).

Требуется определить которому из четырех типов принадлежит соответствующий участок сейсмической записи. Решение задачи представим в виде вектора $r = (r_1, r_2, r_3, r_4)$, удовлетворяющего условиям: $0 \leq r_k \leq 1$ и $r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = 1$. Т.е., r_k можно рассматривать как вероятность, с которой анализируемая трасса принадлежит типу k . Для а поиска этих вероятностей использовалась разновидность нейронной сети, называемой многослойным перцептроном (МСП), на вход которого подавалась автоматически выделенная трасса STA, приведенная с помощью линейных преобразований к 100 отсчетам по времени.

Обучение МСП осуществлялось с помощью алгоритма обратного распространения (АОР), который фактически является методом градиентного спуска минимизации функции многих переменных. Отметим, что отсутствует стандартная методика выбора скорости градиентного спуска применительно к нейронным сетям. В то же время обучение сети с постоянной скоростью либо не позволяет достичь малых значений ошибки, либо приводит к явлению, называемому «параличом сети», т.е., в процессе обучения сети значения весов практически перестают изменяться и процесс обучения может замереть.

В теоретическом отношении эта проблема плохо изучена. Обычно этого избегают уменьшением размера скорости обучения, что приводит к увеличению время обучения. Кроме того, в рамках стандартной схемы, выход из АОР происходит, если изменения всех весовых коэффициентов становятся меньше некоторой константы. Однако на практике это может означать паралич сети, и как показали эксперименты, такое условие выхода не позволяет достичь приемлемых значений ошибки.

Для преодоления первой проблемы, использовалось так называемое «искусственное время» обучения, т.е. вводился параметр T , начальное значение которого равно нулю, на каждой итерации градиентного спуска мы придавали T малое приращение ($T = T + t$). Скорость обучения, η , изменялась следующим образом: $\eta = \eta_0 / (1 + T)$, где η_0 - начальное значение скорости. Такая техника позволяет сократить время обучения примерно в полтора раза.

Для преодоления проблемы паралича сети был использован диалоговый подход к процессу минимизации ошибки, т.е. в ходе обучения сети имеется возможность изменить параметры градиентного спуска или задать новое начальное значение.

Комбинация этих двух эвристических методов позволила сократить время обучения и добиться приемлемых значений ошибки порядка одной десятой.

В заключении отметим, что представленный метод автоматически определяет наличие сейсмического сигнала на некотором участке записи практически так же хорошо, как и опытный эксперт.

ГИС «ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ»

В.И. Бондаренко¹, А.А. Палуева², В.А. Рашидов², И.М. Романова²

¹*Костромской Государственный Университет им. Н.А. Некрасова, 156000, Кострома, ул. 1
Мая, 14; e-mail: yibond@list.ru;*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский,
бульвар Пийна, 9; e-mail: roman@kscnet.ru*

В последние годы наблюдается существенная нехватка средств на проведение в должном объеме морских научно-исследовательских экспедиционных работ Дальневосточных морей. Многие материалы, полученные в предыдущие годы и по ряду причин не архивированные должным образом, оказываются безвозвратно потерянными. В то же время наблюдается резкий скачок в области обработки данных геофизических исследований, связанный, прежде всего, с введением новых компьютерных технологий.

Используя современные геофизические технологии и имеющиеся научные контакты, в настоящий момент можно сохранить и сделать достоянием российской и мировой науки уникальные данные, полученные в прошлые годы во время проведения отечественных морских экспедиционных исследований в различных регионах Мирового океана. Одним из таких регионов, планомерно и детально изучавшимся отечественными учеными более 60-ти лет, является Курильская островная дуга (КОД), на Охотоморском склоне которой располагается большое количество подводных вулканов.

Планомерное изучение подводного вулканизма КОД было выполнено в 11-ти комплексных вулканологических экспедициях в рейсах НИС «Вулканолог» в 1981-1991 гг. Институтом вулканологии ДВО РАН и Институтом вулканической геологии и геохимии ДВО РАН. В этих экспедициях получен большой фактический материал и изучены 109 из 116 известных в настоящий момент подводных вулканов и гор КОД. Материалы этих исследований широко представлены как в научной литературе, так и в глобальной информационной сети Интернет.

В настоящее время выполняется векторизация имеющихся растровых карт аномального магнитного поля, батиметрических и структурных карт. Строятся новые оригинальные цифровые карты.

Для систематизации полученных материалов и их архивирования на современном уровне создается геоинформационная система (ГИС) «Геомагнитные исследования подводных вулканов Курильской островной дуги».

ГИС разрабатывается в среде ArcGIS 9.2. На данном этапе ГИС имеет следующую структуру:

1. Обзорная карта КОД, на которой показано местоположение подводных вулканов.

2. Детальные карты подводных вулканов: батиметрические карты с промерными галсами и точками драгирования, карты аномального магнитного поля, структурные карты.

Средствами ГИС на основе батиметрических карт построены 3D модели вулканических построек и вычислен их объем.

Материал по подводным вулканам КОД является составной частью базы данных (БД) «Позднекайнозойские подводные вулканы Тихого океана», создаваемой на основе обобщения и ревизии имеющихся оригинальных данных и литературных источников. Для создания БД используется система управления базами данных MySQL. Атрибутивные данные по вулканам включают описательные характеристики вулканов, магнитные свойства и химический состав драгированных пород. БД размещена в свободном доступе в сети Интернет на веб-сервере ИВиС ДВО РАН по адресу <http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/submarine/>.

Реализовано взаимодействие ГИС, БД и веб-сайта «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане», размещенного по адресу http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/.

Создание ГИС «Геомагнитные исследования подводных вулканов Курильской островной дуги» способствует сохранению и комплексному анализу накопленных данных и существенно облегчает работу исследователей с картографическим и аналитическим материалом.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проект 09-III-A-08-427).

ИНФРАЗВУКОВОЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Ю.А.Виноградов

Кольский филиал Геофизической службы РАН, г.Апатиты, Мурманской области, e-mail: vin@krsc.ru

В последнее время наблюдениям за распространением волн инфразвукового диапазона в атмосфере уделяется пристальное внимание в связи с разнообразной информацией, которую несут в себе эти волны. Исследования по распространению инфразвуковых волн в атмосфере были начаты еще в середине XX века, однако, интенсивное развитие сети инфразвуковых станций наблюдения произошло после подписания в 1996 году «Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний» и включения наблюдений за инфразвуком в единую сеть международного мониторинга (IMS), наряду с сейсмическими, гидроакустическими и радионуклидными методами контроля.

С 1999 года Кольский филиал геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) проводит наблюдения на сейсмоинфразвуковом комплексе «Апатиты», расположенном в 18 км западнее г.Апатиты. В этом комплексе применяются три вида мониторинга – сейсмический, инфразвуковой и метеорологический. Совместный интегральный анализ сейсмических и инфразвуковых данных дает возможность осуществлять верификацию источника возбуждения энергии, производить его локацию и оценивать интенсивность. Объединение сейсмического и инфразвукового методов регистрации волновых полей в единый комплекс позволяет достоверно разделять наземные и подземные взрывы, а также отличать происходящие в литосфере и гидросфере события, от различных ударно-взрывных возмущений, генерирующих инфразвуковые волны в нижних и верхних слоях атмосферы. Контроль метеопараметров позволяет вносить корректировки в направления и скорости прихода инфразвуковых волн, повышая точность локации, а также сопоставлять источники инфразвуковых колебаний с перемещением метеофронтов.

Опыт использования комплекса в 2003-2008 году показал его высокую эффективность для решения следующих практических задач:

- уверенное разделение взрывов на наземные и подземные в радиусе до 300 км от комплекса;
- исследование инфразвуковых колебаний атмосферы, связанных с развитием ионосферных и магнитосферных возмущений, вызываемых магнитосферными бурями и суббурями;
- изучение инфразвуковых волн, возбуждаемых в атмосфере стартовыми и пролетающими ракетами, самолетами, вертолетами;
- регистрация сгорающих в атмосфере болидов и примерная оценка их мощности взрыва;
- фиксация наличия в атмосфере акустического волновода, способствующего сверхдальному распространению инфразвуковых волн, на основании регистрации микробаром;
- использование инфразвукового «Апатиты» для оперативного контроля над формированием инверсных температурных слоев в нижней тропосфере, затрудняющих проветривание горных выработок после проведения массовых взрывов.

Значительное влияние на формирование инфразвуковых колебаний в атмосфере оказывает сейсмическая и вулканическая активность. В настоящее время имеется достаточное количество наблюдений подтверждающих взаимосвязь и взаимозависимость энергетических процессов в литосфере и атмосфере. Чаще всего регистрируются инфразвуковые волны с периодами 10 – 100 секунд, связанные с поршневым излучением колеблющейся земной поверхности. Однако исследованиям инфразвуковых волн с периодами более 10 минут уделяется еще недостаточно внимания. Именно в этом диапазоне частот регистрируются волны, вызываемые газовыми выделениями из трещин литосферы при возрастании сейсмической активности и распространяющиеся на значительные расстояния, наблюдения за которыми может быть использовано в качестве прогностического признака подготовки крупных землетрясений.

ПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧНОСТИ «ГАММА»

О.Г. Волович

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, olga@emsd.ru

Контроль параметров текущей сейсмичности Камчатки, который осуществляет лаборатория сейсмического мониторинга, в частности включает контроль за вариациями сейсмической активности A_{10} и наклона графика повторяемости γ . Определение наклона графика повторяемости γ и сейсмической активности A_{10} основано на повторяемости землетрясений как фундаментальном свойстве сейсмического процесса. Эти методики ориентированы на выявление аномалий в сейсмическом режиме, которые могут иметь предвестниковый характер.

Программа **Gamma**, разработанная по методике, предложенной В.А. Салтыковым, вычисляет параметры сейсмичности: наклон графика повторяемости γ , величину сейсмической активности A_{10} , Z-тест γ Z_γ в заданной области пространства-времени-энергии. Анализируется очищенный от афтершоков каталог. Пространственная область (границы $\varphi_0, \lambda_0, \varphi_1, \lambda_1$ задаются во входных параметрах) покрывается решеткой с заданным шагом по широте и долготе ($\Delta\varphi, \Delta\lambda$ - входные параметры). Для каждого узла решетки вычисляются указанные параметры сейсмичности. В расчете рассматриваются землетрясения с заданной глубиной $[H_0 : H_1]$, для которых расстояние от эпицентра до узла сетки не превышает $R_{\text{км}}$. Возможны два варианта счета: 1.если R (радиус) не задан – для каждого узла решетки вычисляется значение радиуса $R_{\text{г}}$, такое чтобы в элементарный цилиндр с окружностью радиуса $R_{\text{г}}$ с центром в данном узле решетки в основании и высотой $H_1 - H_0$ за указанный период времени попало ровно N_{min} событий; 2.если R (радиус) задан - для каждого узла решетки вычисляется число N_{n} событий, попавших в цилиндр с окружностью радиуса R с центром в данном узле решетки в основании и высотой $H_1 - H_0$ за указанный период времени. Результаты сохраняются в текстовом файле. Первая буква имени файла соответствует типу счета – ‘R’, если во входных параметрах задан радиус или ‘N’, если радиус переменный.

Программа имеет удобный для пользователя интерфейс, позволяющий в диалоговом окне устанавливать/изменять необходимые значения входных параметров, таких как имя файла каталога, границы области, шаг по широте и долготе, диапазон глубин, минимальное число событий N_{min} , радиус R , временной интервал T_1 и фоновый интервал T_2 .

Возможен одновременный запуск расчетов с различными значениями параметров.

ПРОГРАММА ВЫДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ГАРМОНИК «WaveInSliv»

О.Г. Волович

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, olga@emsd.ru

В лаборатории сейсмического мониторинга ведутся исследования высокочастотного сейсмического шума (ВСШ), в рамках фундаментальной проблемы сейсмологии, связанной с изучением возможности контроля напряженного состояния среды и подготовки сильных землетрясений по изменению параметров геофизических полей. Основной целью этих работ является изучение характеристик ВСШ, его подверженности внешним воздействиям и установление связи ВСШ с длиннопериодными деформационными процессами.

Программа выделения волновых гармоник WaveInSliv реализует метод синхронного суммирования, разработанный Серебренниковым М.Г. и Первозванским А.А, для выявления статистически значимых приливных эффектов в сейсмическом шуме. Анализируется файл осредненных данных. Программа имеет удобный для пользователя интеллектуальный интерфейс, позволяющий в диалоговом окне устанавливать/изменять необходимые значения входных параметров, таких как имя файла для обработки, начало регистрации данных, единицы измерения и шаг дискретизации интервала осреднения, исследуемый период в часах, что считать (если во входном файле несколько столбцов средних можно выбрать что именно анализируется), способ обработки. Программа позволяет осуществлять автоматизированный анализ большого объема данных.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАВИСИМЫХ СОБЫТИЙ «CLUSTERLINKS»

О.Г. Волович

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, olga@emsd.ru

Известно, что сейсмический поток нельзя рассматривать как последовательность независимых событий. Наблюдаются группы событий, произошедшие достаточно близко в пространстве-времени, такие как афтершоки землетрясений (причем, не только сильных), форшоки, предвещающие более сильное землетрясение, а также парные события, имеющие близкие параметры. При решении ряда сейсмологических задач нельзя игнорировать наличие таких групп событий (хотя их вклад в общий сейсмический процесс относительно невелик). Возникает необходимость в выделении таких группированных событий. Проблема не является новой в сейсмологии. Программа Aftsh_db.exe к.ф.-м.н. В.Б.Смирнова (МГУ им. Ломоносова), реализующая алгоритм Молчан-Дмитриевой выделения афтершоковых последовательностей, не ориентирована на выделение других типов группирования сейсмических событий. Кроме этого было обнаружено, что пропускаются афтершоковые последовательности, содержащие небольшое количество землетрясений.

Программа **Cluster** реализует кластерный метод доочистки каталога, предложенный к.ф.-м.н. В.А.Салтыковым. В качестве базового каталога землетрясений используются результаты расчетов программой Aftsh_db.exe, а именно, полный каталог с пометками типа события (мэйншок, афтершок) в специальных полях. При анализе этого каталога с маркированными в отведенных полях событиями, выделяются компактные группы, или кластеры, связанных событий. В выделенных кластерах определяется сильнейшее (основное) событие, а остальные определяются соответственно как его фор- или афтершоки. Все события в кластере маркируются соответствующими флагами.

Возможны случаи, когда землетрясение, имеющее форшоки, само является форшоком. В этом случае можно говорить о существовании форшоковой цепочки. Выделение форшоковых цепочек реализуется программой **Links**.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В. Ф. Воропаев, А. А. Смирнов, Г. М. Коркина, В. П. Долгих

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vyf@emsd.iks.ru

Рассматривается участие группы геофизических наблюдений КФ ГС РАН в этапах проектирования систем наблюдения, изготовления нестандартного оборудования и эксплуатации систем.

Кратко представлены результаты работ по проектированию и изготовлению блоков АЦП и интерфейсных блоков для комплектования цифровых сейсмостанций СЦСС-01 – нового оборудования для оснащения региональных сейсмических станций КФ ГС РАН.

Описаны конфигурация и аппаратный состав системы OmniPal, предназначенной для исследования связи между параметрами длинноволновых радиосигналов и состоянием подстилающей среды.

Представлены результаты разработки портативного регистратора водорода, предназначенного для площадной съёмки на местности по водороду с регистрацией концентрации водорода в воздухе, влажности и температуры газовой пробы, атмосферного давления, времени географических координат точки отбора пробы.

Сообщается о результатах разработки системы регистрации температуры и давления в оголовках скважин.

Описана история создания геофизической радиотелеметрической системы, рассмотрены причины отказов за более чем 12-летний период эксплуатации, показана необходимость полной замены системы.

МЕТОДИКА, ТЕХНИКА И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НЕПРЕРЫВНЫХ СКВАЖИННЫХ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В.А. Гаврилов, Ю.А. Власов, В.П. Денисенко, Ю.В. Морозова, О.В. Федористов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vgavr@kscnet.ru

К настоящему времени накоплен значительный опыт организации непрерывных скважинных геоакустических измерений, проводимых на Камчатке в целях разработки новых методов геофизического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды.

В докладе даются оценки основным результатам по разработке технических средств, используемым методикам измерений уровня геоакустической эмиссии. Также приводятся некоторые результаты непрерывного скважинного геоакустического мониторинга, проводимого на территории Петропавловск - Камчатского геодинамического полигона с августа 2000 г.

Для измерений используются скважинные геофоны нескольких типов, а также гидрофоны. Основой цифровой части аппаратуры измерительных пунктов является микропроцессорный измерительный контроллер на базе 8-разрядного AVR микроконтроллера с RISC-архитектурой. В контроллере используются 24-разрядные микромощные Сигма-дельта АЦП, обеспечивающие высокоточные измерения по 18 измерительным каналам с частотой квантования 32 Гц. В качестве каналов связи используются каналы сотовой GSM-связи или Dial-up модемы для передачи данных по коммутируемым телефонным линиям.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТРУКТУР

Н.З. Захарченко, В.Н. Мишаткин

Геофизическая служба РАН, г.Обнинск Калужской обл., zakh@gsras.ru

В последние годы с развитием технических средств для сейсмических наблюдений все чаще возникают вопросы организации сейсмической защиты крупных гражданских и промышленных объектов. К их числу относятся такие гражданские объекты как здания повышенной этажности, крупные культурные и развлекательные центры, где возможно пребывание большого количества людей. К числу промышленных объектов относятся, прежде всего, атомные станции; трубопроводы, проходящие через территории с высокой сейсмической активностью; крупные добывающие предприятия и целые промышленные районы, такие, например как Норильский промрайон.

Основными целями систем сейсмической защиты являются обнаружение сейсмических событий, оценка возможной интенсивности их проявления и своевременное оповещение о тревоге сейсмической опасности. С накоплением базы знаний и опыта в системах возможен переход к автоматической реакции на опасность путем останова реактора, сброса давления в трубопроводах и другим самым разнообразным мерам смягчения последствий воздействия разрушительных колебаний.

В отличие от систем сейсмического мониторинга, где цели достигаются различными методами и глубиной обработки сейсмических данных, получаемых различными сетями сейсмических наблюдений, в системах сейсмической защиты необходимо быстрое обнаружение события и оценка возможной его интенсивности с задержкой единицы секунд. Соответственно, в системах должна высокая плотность сетей пунктов наблюдений с передачей данных в режиме реального времени.

Рассматриваются вопросы выбора аппаратуры для систем защиты, её технические характеристики, особенности обработки данных, связанные с высокой ответственностью за принимаемые решения, вопросы метрологии работы систем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОСТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ В ПОРТАХ КОРСАКОВ И ХОЛМСК

Т.Н. Ивельская¹, Г.В. Шевченко²

¹ ГУ "Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды",
г. Южно-Сахалинск tanya.ivel'skaya@gmail.com

² Институт Морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Принятая Правительством РФ Федеральная целевая программа «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ до 2010 года» (ФЦП) предусматривает как один из основных элементов развития отечественной СПЦ создание сети телеметрических регистраторов цунами, передающих в реальном времени информацию о развитии волнового процесса на защищаемом побережье. Получение таких данных необходимо для подтверждения и оценки опасности реального цунами.

Были проанализированы записи длинноволновых процессов, полученные при помощи телеметрических регистраторов цунами, установленных в портах Корсакова (AANDERAA, Норвегия и ГМУ-2, Россия) и Холмска (AANDERAA, Норвегия) в рамках ФЦП. Выполнен сравнительный анализ полученных записей во время прохождения циклона и в обычную погоду, для учета возможного возрастания энергии в диапазоне волн цунами при активизации атмосферных процессов.

Выявлено, что характеристики уровенных данных искажаются ветровым волнением, что затрудняет идентификацию опасного сигнала (цунами), особенно во время шторма. Рекомендованный разработчиками системы критерий определения опасной ситуации (пороговое значение скорости изменения уровня - 5 см за 1 минуту) достигался неоднократно и не всегда на обоих датчиках одновременно. Но поднятие порога до 10 см для телеметрических регистраторов может быть слишком грубой оценкой, допускающей пропуск заметного цунами. Видимо, данная проблема в целом характерна для береговых станций, расположенных на открытом берегу, где влияние ветрового волнения (и в целом уровень длинноволнового шума) выше по сравнению с открытым морем и по сравнению с защищенными бухтами.

Очевидно, что критерий должен устанавливаться только в процессе опытной эксплуатации – предварительный, затем необходимо произвести уточнение по годовым измерениям (в том числе, уточнение приливных констант и других параметров системы). Кроме того, предложенная величина порога не может быть одинаковой для разных станций, и должна устанавливаться для каждого регистратора индивидуально.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ПРИЭЛЬБРУСЬЕ

А.В. Конаев, В.К. Милуков

Государственный астрономический институт им. Штернберга МГУ, г. Москва, gravity3@yandex.ru

Северная часть Главного Кавказского хребта является одним из наиболее активных в геодинамическом отношении регионов России. Особый интерес представляет собой район Приэльбрусья, включающий потухший или, возможно, «спящий» вулкан Эльбрус и ряд мелких вулканических центров. Последнее извержение Эльбруса имело место около 2000 лет назад, однако последние геофизические данные показывают, что возможность возобновления его активности исключить нельзя.

ГАИШ МГУ в содружестве с ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН и рядом других организаций проводит геодинамические исследования в Приэльбрусье на протяжении 15 лет. Создана комплексная система мониторинга, включающая 3 стационарные GPS-станции, большебазовый лазерный деформограф, 3 пункта для периодических абсолютных измерений силы тяжести баллистическим гравиметром FG-5 и сеть пунктов для периодических совместных определений координат при помощи GPS и приращений силы тяжести высокоточными относительными гравиметрами Scintrex CG-5.

Выполнена гравиметрическая съемка Приэльбрусья, интерпретация ее результатов позволила уточнить строение земной коры, в частности, подтвердить наличие под Эльбрусом не только магматической камеры, но и кальдеры. Наблюдения приливных вариаций силы тяжести в 1997-1998 выявили отрицательную аномалию приливного отклика, связанную, возможно, с повышенной температурой верхней мантии. Наблюдения приливных деформаций земной коры ведутся непрерывно на протяжении более 10 лет, их анализ также демонстрирует отрицательную аномалию, обусловленную влиянием главного мажмоконтролирующего разлома. Наличие магматической камеры подтверждается также анализом телесейсмических сигналов, регистрируемых лазерным деформографом. Возникающие после крупных землетрясений устойчивые спектральные пики с периодами порядка минуты мы связываем с резонансным откликом магматической камеры. Совместная интерпретация данных GPS и абсолютной гравиметрии уверенно выявляет интенсивный подъем Центральной части Главного Кавказского хребта со скоростью около 1 см в год.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 08-05-01067-а и 07-05-00786-а.

ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗЕМНЫХ ТОКОВ

А.Н. Кролевец

*Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский,
an@kamgu.ru*

К настоящему времени накоплен значительный опыт электротеллурических измерений. Обычно измеряются разности электрических потенциалов V_j между несколькими парами погребённых электродов, которые затем пересчитываются в компоненты «электротеллурического поля» $E_j = V_j / d_j$ (d_j – расстояния между парами электродов, индекс j помечает ориентацию направления пары от «-» к «+»). В отдельных работах делаются попытки отождествить электротеллурическое поле с компонентами напряжённости электрического поля в земле, однако имеются серьёзные основания считать, что делать это можно далеко не всегда. Пусть φ и $\vec{A}$ – скалярный и векторный потенциалы электромагнитного поля. Значение напряжённости электрического поля $\vec{E}$ связано с ними соотношением $\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$. Проекция слагаемого $-\vec{\nabla}\varphi$ на вполне законных основаниях можно интерпретировать, как компоненты «электротеллурического поля» E_j , однако принципиальная возможность существования также и индукционного вклада $-\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$, в полном электрическом поле, указывает на ситуации, когда отождествление электротеллурического поля с электрическим является необоснованным. Вместе с тем, знание помимо электротеллурического поля также и электрического поля, плотности токов $\vec{j}$ дало бы более полную информацию относительно локальных составляющих электромагнитного поля Земли. В настоящем сообщении предлагается способ определения компонент $\vec{E}$ и $\vec{j}$.

Плотности токов $\vec{j}$ в земле определяются напряжённостью именно электрического поля: $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ (1). Поэтому одновременные измерения компонент плотности тока $\vec{j}$ и проводимости σ немедленно позволят определить также и компоненты $\vec{E}$.

Укажем на принципиальную возможность измерения тока в Земле. Такая возможность может быть реализована при использовании техники измерения токов в режиме «короткого замыкания». Измерения в режиме короткого замыкания хорошо известны специалистам в области твёрдого тела, изучающим гальваномагнитные явления в полупроводниках, измеряющим подвижности носителей в монокристаллах в случае низкой проводимости исследуемого материала. Однако, насколько нам известно, специалистами геофизиками такой метод измерений не применялся. Суть предложения в следующем. Пусть вблизи земной поверхности протекают земные токи однородной плотности $\vec{j}$. Тогда через вертикально ориентированную площадку A с нормалью $\vec{n}$ и размерами $b \times c$, протекает ток $I = (\vec{j} \cdot \vec{n})bc$. Если бы удалось измерить ток I , то величину $I/(bc)$ можно было интерпретировать, как проекцию вектора $\vec{j}$ на направление $\vec{n}$. Для измерения тока I предлагается создать измерительную ячейку. Для этого следует осуществить выемку грунта из объёма шурфа в форме прямоугольного параллелепипеда размерами $d \times b \times c$, причём $d \ll b$ и $d \ll c$, а для замыкания линий тока к противоположным стенкам шурфа («граням параллелепипеда») прижать металлические электроды таким образом, чтобы обеспечить надёжный электрический контакт. Контактные электроды в свою очередь должны быть подсоединены к клеммам токового измерительного прибора с низким входным сопротивлением R . Ток I , протекающий через площадку, пересчитывается в компоненту плотности тока $j_n = I/(bc)$. Три разразлично ориентированные в пространстве измерительные ячейки дадут полную информацию о векторе $\vec{j}$. Добавление четырёхзондовой установки для измерения проводимости позволит определить σ и $\vec{E}$. Для уменьшения помех один из размеров (b – горизонтальный) должен составлять не менее 100 м, другой (c – вертикальный) около метра, наконец, расстояние между электродами d – может составлять 5-20 см. Выемка грунта для установки ячейки может осуществляться фрезой, а сама ячейка быть сборной и состоять из узких блоков влагостойкого прочного диэлектрика с широкими контактами наподобие плоских конденсаторов. Величина R

должна быть много меньше сопротивления между электродами после установки измерительной ячейки в шурф. В погрешность измерений помимо помех будут вносить вклад и краевые эффекты. Методика устранения таких погрешностей специалистами физики твёрдого тела хорошо отработана и может применяться без каких-либо модификаций.

ГАЗОТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КАМЧАТКИ

Ю.Д. Кузьмин

Камчатский филиал геофизической службы РАН, kuzu@emsd.iks.ru

В августе 1993 г на Камчатке была получена уникальная, и пока, наверное, единственная в мире запись магнитной бури, зарегистрированная не магнитометром, как принято, а в изменениях концентрации водорода во времени. Запись была получена во время мониторинга водорода на скважине Верхне-Паратунской гидротермальной системы. Измерения проводились на сбросе воды из напорной термальной скважины К-88 с помощью пробоотборного устройства и анализатора водорода «Эол», разработанного в ГЕОХИ Лупатовым В.М. Запись изменений концентрации водорода проводилась на чернильный самописец Н-39. Данное наблюдение было неожиданным, а для некоторых исследователей в науках о Земле – фантастичным. Необходимо было продолжить данные работы и получить повторную запись, но в цифровом формате. Началась перестройка в стране, и к этому вопросу удалось приступить только в 2001 г, с момента организации газотермодинамических наблюдений на ПКН «Карымшина». Однако, получить подобные наблюдения в цифровом формате нам не удалось. Для новых регистрации, понимания и объяснения наблюденного феномена, а также получения длинных рядов наблюдений необходимо было разработать новый анализатор водорода с цифровой регистрацией и твердотельной памятью. Такой регистратор водорода («Маршрут») был разработан и изготовлен в 2006 г. в КФ ГС РАН Воропаевым В.Ф. Но в рамках проводимой темы «Исследование реакции гидротермальной системы (геохимических и термодинамических параметров) на геофизические воздействия в сейсмоактивных регионах Камчатки» этого уже было недостаточно. Необходимо было с мониторингом водорода проводить, с достаточной точностью, синхронные наблюдения за давлением и температурой термальной воды на устье скважины К-88. Информация о флуктуациях давления, температуры и концентрации водорода в потоке термальной воды из глубокой термальной скважины может быть определяющей для понимания механизма флуктуаций эндогенного теплового потока и связанного с ним газового режима и сейсмичности региона. Такая система наблюдений и регистрации за термодинамическими параметрами потока термальной воды из скважины была разработана и изготовлена в КФ ГС РАН Воропаевым В.Ф. в 2007 г. и уже больше года показывает надежную работу на оголовке скважины К-88, показывая изменение термодинамических параметров скважины в зависимости от расхода воды стационарами ПКН «Карымшина» и ИКИР. В 2008 г с помощью анализатора водорода «Маршрут» и обычной термопары были проведены полевые наблюдения на термальных площадках гидротермальной системы Долины Гейзеров. Проведенные работы в Долине Гейзеров также показали корреляцию концентрации водорода с температурой на грязевых и пароводяных выходах, котлах и гейзерах.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости продолжения проведения газотермодинамических наблюдений в термальных скважинах, но для получения корректной новой информации о газотермодинамических флуктуациях гидротермальной системы необходима глубокая высокотемпературная не эксплуатируемая скважина, не связанная с поверхностными метеорными водами. Такой скважиной на Верхне-Паратунской гидротермальной системе является ГК-37. Постановка данных наблюдения соответствует выводам (Войтов Г.И., Киссин И.Г., Султанходжаев Ф.Н., Корценштейн В.Н., Летников Ф.А. и др) и, в частности, Д.Г.Осика, который отмечает, что геохимические (ГХ), гидрогеодинамические (ГГ), геотермальные (ГТ) аномалии в приповерхностных отложениях в связи с сейсмичностью формируются, преимущественно, за счет субвертикальной миграции глубинных флюидов и тепла с последовательной мобилизацией флюидов кристаллического и метаморфического фундамента и осадочного чехла, формируя в приповерхностных отложениях очень сложные по-своему химическому составу смеси флюидов, отражающие локальную и региональную геохимическую зональность.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ. Проект 07-05-00093а.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IMP.ITRIS ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО И ОПЕРАТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ОЦЕНКИ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

И.В. Маринин, С.В. Елецкий, В.В. Чесноков

Informap LLC, г. Москва;

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск; e-mail: igor.marinin@inbox.ru

Задачи, связанные с формированием оперативного прогноза последствий землетрясений, обеспечением доступа к полученной информации и созданием соответствующего программного обеспечения, образуют одну из основных областей интересов *Informap LLC* и *WAPMERR*. Разработанные в рамках проекта *QLARM* программные системы и организованные службы успешно решают обозначенные задачи в Европе, рассматривая населённые пункты в качестве материальных точек с известным набором основных характеристик.

Однако, требования к программному обеспечению и специализированным службам, выдвигаемые организациями занятыми планированием ликвидации последствий землетрясений, требуют серьёзного расширения возможностей существующих систем проекта *QLARM*.

Если говорить предметно, то оценка последствий землетрясений согласно *QLARM* ведётся только с использованием европейской шкалы *EMS-98*. При помощи сервисов предусмотренных *QLARM* серьёзно затруднено проведение различных оценок не специалистами. Кроме этого, невозможно широкомасштабное предварительное зонирование территории, например, во время оценочных работ предшествующих строительству объектов. Также не предусмотрено формирование экспертных заключений относительно риска связанного с разрушением строений и поражением в них людей вследствие землетрясения, воздействующего на определённые и уже введённые в эксплуатацию здания.

Разработанная в *Informap LLC* графическая экспертная система *Imp.ITRIS*, включая возможности *QLARM*, в значительной степени ликвидирует обозначенные выше недостатки и делает возможным оценку последствий землетрясений в регионах, где используется *EMS-98* и/или *MMSK-92*.

В рамках *Imp.ITRIS* предусмотрены два режима задания данных, характеризующих землетрясение или использующих информацию об уже произошедших землетрясениях в проблемном регионе. Первый режим ("*Advance*") требует от пользователя наличия определенных знаний характерных для специалиста геофизика и/или сейсмолога. Второй режим ("*Simple*") максимально адаптирован к пользователям, не обладающим минимумом специальных знаний, но имеющим поверхностное представление о землетрясениях.

Необходимо заметить, что некоторым аналогом *Imp.ITRIS* является широко известная и повсеместно используемая система *Google Earth*. Не смотря на то, что целевое предназначение этих систем разное, возможности визуализации у них одинаковы.

В *Imp.ITRIS* после проведения экспертных вычислений, помимо ознакомления с полученной табличной информацией, возможно три графических режима просмотра результатов:

4. Показ населённых пунктов на фоне рельефа.
5. Цветовой показ областей.
6. Комбинированный режим.

В *Imp.ITRIS* возможно графическое представление согласно моделям сейсмического воздействия PGA и интенсивности землетрясения. Для заданного набора интенсивностей землетрясения возможен расчёт соответствующих эпицентральных радиусов (и наоборот) и их графическое и табличное представление. В рамках работы с табличными данными происходит формирование Excel-таблиц, содержащих всевозможную информацию относительно повреждения зданий и поражения в них людей.

ПРОБЛЕМА СЕРТИФИКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

В.Н. Мишаткин, Н.З. Захарченко

Геофизическая служба РАН, г.Обнинск Калужской обл., vmish@gsras.ru

Геофизическая служба РАН и Геофизическая служба СО РАН вместе с их 10 филиалами по числу регионов ответственны и ведут сейсмический мониторинг территории страны и мира. Главные цели сейсмического мониторинга: анализ и обработка данных с оперативным оповещением органов исполнительной власти о землетрясениях и их возможных последствиях; создание баз данных сейсмологических наблюдений для обеспечения фундаментальных исследований по направлениям наук о Земле; проведение наблюдений за подводными землетрясениями в районах Тихого океана для оценки цунамиопасности; обеспечение межрегионального и международного обмена геофизической информацией.

Для достижения целей федеральная система сейсмических наблюдений использует данные более 270 сейсмических станций на территории страны, примерно 150 станций Глобальной сейсмической сети (GSN), около 170 станций международной системы мониторинга (MSM) и нескольких сотен зарубежных станций. На основе анализа волновых картин, регистрируемых станциями, центры сбора и обработки данных решают задачу определения местоположения очагов землетрясений, энергии землетрясений, оценки интенсивности воздействий землетрясений и оперативного оповещения о землетрясениях, накапливают данные в соответствующие базы. Основные результаты обработки: местоположение очага землетрясения как координаты точки (реально очаг характеризуется протяженностью разрыва при самых сильных землетрясениях до 1000 и более километров), энергия как магнитуда землетрясения или класс (существует порядка 50 шкал оценки магнитуды, энергетический класс используется только в РФ и некоторых странах СНГ), интенсивность проявления землетрясения оцениваемая 12-бальной шкалой МСК-64, имеющей описательный характер.

Федеральный закон об обеспечении единства измерений, принятый Государственной Думой 11 июня 2008 г. регулирует отношения, возникающие при выполнении измерений, установлении и соблюдении требований к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, средствам измерений, методикам измерений, а также при осуществлении деятельности по обеспечению единства измерений относит к сфере государственного регулирования измерения, которые выполняются при: осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды; осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Но сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется также на единицы величин, эталоны единиц величин, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования. Такие требования не установлены ни к точности определения местоположения землетрясения, ни к энергии землетрясения, ни к глубине очага, ни к интенсивности проявления землетрясения. Для параметров землетрясений об оценке точности определения можно говорить лишь на основе научных исследований механизма очага каждого землетрясения. Понятие погрешности определения параметров землетрясения существует лишь на основе оценки используемых методов исследований.

Согласно положению о федеральной системе сейсмологических наблюдений (ФССН), Постановлением СМ РФ от 25 декабря 1993 г. № 1346 Геофизическая служба осуществляет научно-методическое обеспечение работ по функционированию и развитию ФССН, в том числе нормативными актами по вопросам проведения инструментальных наблюдений, что дает основание для принятия ГС РАН предлагаемого к рассмотрению порядка сертификации сейсмических станций, за основу которого взята система сертификации, существующая в сети MSM.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МОГТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЫВНОЙ ТЕКТониКИ (СЕЙСМИЧНОСТИ) СЕВЕРО-ОХОТОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

Б. М. Седов

СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан, sedov@nersi.ru

Разломной тектонике в объяснение природы сейсмичности отводится одна из главных ролей. Доказано, что активные разломы являются основными источниками землетрясений, поскольку их подвижки сопровождаются отдачей упругой энергии, которая приводит к генерированию упругих волн. Площадь поверхности тектонического нарушения, как установлено изучением энергии сильных землетрясений, является интегральным показателем при оценке максимальной бальности потенциально возможного землетрясения. Определение площади тектонического нарушения требует проведения специальных работ. В частности, необходим длительный сейсмологический мониторинг густой сетью высокочувствительных сейсмостанций. По результатам наблюдений область положения гипоцентров принимается за плоскость разрыва. Поэтому чаще всего приходится вычислять не площадь разрыва, а определять по данным геологического картирования, аэро- и космоснимкам его протяженность.

Для акваторий эти методы практически не пригодны для выделения сейсмогенерирующих разломов и оценки максимально возможных энергетических классов землетрясений. В частности, несмотря на то, что за последние 25 лет в результате сейсмического мониторинга Охотского моря было зарегистрировано более 200 морских землетрясений, из которых для нескольких десятков определены эпицентры, разрывная тектоника шельфа до последнего времени оставалась неизученной. Поэтому определение природы этих землетрясений и оценка сейсмической опасности были невозможны.

В середине 70 годов XX века вдоль магаданского побережья начинает проводиться сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ) для оценки перспектив углеводородного потенциала. Основной задачей работ являлось изучение пликативной тектоники осадочного чехла и определение его мощности. Выделенные при этом редкие разломы, как показали более поздние исследования, не отражали истинных нарушений. На втором этапе работ стали использовать более сложную методику общей глубинной точки (МОГТ). На временных сейсмических разрезах МОГТ тектонические разломы как в осадочной толще, так и в акустическом фундаменте выражаются смещением отражающих горизонтов и дифрагированными волнами при амплитудах смещений начиная с первых метров. Сравнение структурных карт с временными разрезами МОГТ, показало, что на первых, из-за их мелкого масштаба, показанные разломы представляют некоторую генерализованную линию, чаще всего не отражающую истинного строения и протяженности. На разрезах МОГТ разломы почти всегда представлены зонами ступенеобразных смещений: в плане это как правило кулисообразные прямолинейные отрезки протяженностью до 20-40 км. Иногда между субпараллельными плоскостями выделяются участки, в которых породы раздроблены (милонитизированы). Ширина таких зон иногда составляет лишь первые десятки метров. Аномальная по протяженности зона милонитов шириной до 20-40 км протягивается от Охотска до о. Сахалин. Эта зона, совпадающая с северным отрезком западной границы между Евразийской плитой и Охотоморской микроплитой, практически асейсмична. Отсутствие землетрясений, возможно, объясняется тем, что милонитизированные породы имеют малую прочность. В результате смещения в зонах происходят при незначительных напряжениях без генерации землетрясений или с генерацией землетрясений очень малой энергии.

На разрезах МОГТ выделены многочисленные субвертикальные разломы в акустическом фундаменте, прослеживаемые до глубины 18-20 км и более.

Густая сеть профилей МОГТ позволяет определить амплитуды как вертикальных, так и горизонтальных смещений и, что более важно, выделить среди разломов сейсмогенерирующие, с которыми связаны современные землетрясения. Знание истинных размеров сейсмогенерирующих разломов позволяет оценить максимально возможную энергию морских землетрясений северного шельфа Охотского моря. Отметим, что сейсмические временные разрезы МОГТ, совместно с другими геофизическими материалами, в настоящее время позволяют исследовать тектонику Североохотоморского сейсмического пояса, определить природу землетрясений, эпицентры которых располагаются на шельфе.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА, ПРОВОДИМОГО ИКИР

С.Э. Смирнов, А.В. Иванов, А.Е. Москвитин

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, sergey@ikir.ru*

Институт космических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКИР ДВО РАН) организован в 1987 году на базе созданных в период с начала 60-х годов комплексных магнито-ионосферных станций. ИКИР находится в с. Паратунка, 26 км западнее г. Петропавловска-Камчатского ($\varphi=52^{\circ} 58,33' \text{ N}$, $\lambda=158^{\circ} 15,02' \text{ E}$).

На сайте института представлены:

Ионосферные наблюдения (<http://ru.www.ikir.ru/Data/ion.html>). Каждые 15 минут отображаются ионограммы, полученные на Камчатке ($52^{\circ}58.31'\text{с.ш.}$, $158^{\circ}14.877'\text{в.д.}$) и в Магадане ($60^{\circ}03'\text{с.ш.}$, $151^{\circ}43'\text{в.д.}$).

Уровень акустической эмиссии, измеренный в Паратунке (<http://ru.www.ikir.ru/Data/lra/paratunka.html>), на экспедиционных пунктах Микижа (<http://ru.www.ikir.ru/Data/lra/mikizha.html>) и Карымшино (<http://ru.www.ikir.ru/Data/lra/karymshina.html>). Сигнал отфильтрован по 7 диапазонам ($0.1 < f < 10 \text{ Hz}$, $30 < f < 60 \text{ Hz}$, $70 < f < 200 \text{ Hz}$, $0.2 < f < 0.6 \text{ kHz}$, $0.6 < f < 2 \text{ kHz}$, $2 < f < 6.5 \text{ kHz}$, $6.5 < f < 11 \text{ kHz}$).

Абсолютные обсерваторские наблюдения магнитного поля Земли на обсерватории Паратунка за 3 дня (<http://ru.www.ikir.ru/Data/data1fg.html>). Представлены графики H D Z компоненты поля.

Вариации геомагнитного поля обсерватории «Хабаровск» ($47^{\circ}36.63' \text{ с.ш.}$, $134^{\circ}41.80' \text{ в.д.}$) с периодичностью 1 сутки (http://ru.www.ikir.ru/Data/magnetogramm_khb.html). Представлены графики H D Z компоненты поля.

Вариации геомагнитного поля обсерватории «Магадан» ($60^{\circ}03' \text{ с.ш.}$, $151^{\circ}43'\text{в.д.}$) с периодичностью 15 минут (http://ru.www.ikir.ru/Data/magnetogramm_magadan.html). Представлены графики H D Z компоненты поля.

Вариации геомагнитного поля обсерватории «Паратунка» с периодичностью 15 минут (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/members/sergey/room1/crl.html>). Представлены графики H D Z компоненты поля.

По международной программе “Ground and Satellite Measurements of Geospace Environment in the Far Eastern Russia and Japan” (Университет Нагойи, Япония) измеряются H, D, Z –компоненты магнитного поля индукционным магнитометром с частотой 64 Гц для исследования геомагнитных пульсаций. График магнитограмм представлен на странице (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/members/sergey/room1/serc-mag.html>), график динамического спектра на странице (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/members/sergey/room1/serc-sp.html>).

Архив магнитограмм индукционного магнитометра за 2009-й год находится на странице (http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/magne/induction/rapid_2009.html).

Архив динамических спектров за 2009г. (http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/magne/induction/spect_2009.html).

Результаты наблюдений градиента потенциала напряжённости электрического поля приземного слоя воздуха на обсерватории Паратунка (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/members/sergey/room1/ez.html>).

Электропроводность в приземном слое воздуха, вызванная положительными и отрицательными ионами (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/members/sergey/room1/la.html>). Интервал обновления 1 сутки.

График показаний микробарографа представлен на странице (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/members/sergey/room1/mp.html>). Интервал обновления 1 сутки.

Значения K-индекса (мера возмущенности магнитного поля в 9-бальной шкале) за 2009 г представлены на странице (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/data/k-index-2009.html>)

Среднемесячная температура воздуха на обсерватории Паратунка 2004-2009 гг. представлена на странице (<http://ru.www.ikir.ru/Departments/Paratunka/lfg/data/temp.jpg>).

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ ПОСТОЯННЫХ GPS СТАНЦИЙ KAMNET

Н.Н. Тутков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, nik@emsd.iks.ru

Во второй половине 1996 года начато создание Камчатской региональной GPS сети «KAMNET». С пяти станций постоянных измерений в 1996 году сеть, к настоящему времени увеличилась до 18. Первоначально станции комплектовались приемниками ASHTECH Z-XII3 и ROGUE SNR-8000. Система сбора и передачи данных станций работала на компьютерах под ОС «MSDOS». Результаты наблюдений поступали в центр сбора данных ежемесячно на ZIP дискетах, на ряде станций ежедневно через аналоговые модемы. Существовавшая система отлично себя зарекомендовала. Она была проста, надежна, легка в установке и настройке. Но моральное устаревание ОС DOS, выражаемое в отсутствии поддержки нового аппаратного обеспечения и работы с сетевым протоколом TCP/IP поставило задачу модернизации системы сбора и передачи данных постоянных станций. В 2007 году была создана система сбора и передачи данных на базе операционной системы «Linux». Выбор ОС Linux обусловлен рядом преимуществ, порой критичных, перед семейством ОС Microsoft Windows. Linux не накладывает ограничений по производительности, не имеет жесткой привязки к «железу», что позволяет развертывать готовую систему на любом IBM PC совместимом компьютере. Имеет развитые средства для удаленного управления и взаимодействия в сети. Более стабилен при продолжительной постоянной работе. В 2009 году завершён переход на новую систему.

Подключение региональных сейсмостанций к корпоративной компьютерной сети КФ ГС, распространение технологий xDSL и GPRS для подключения к сети Internet, позволило перевести 11 станций сети KAMNET в оперативный режим передачи данных. Центр сбора данных раз в сутки, по расписанию, запрашивает данные со станций. Передача данных идет по протоколу SFTP для станций имеющих компьютер, или по FTP со станций оборудованных современными GPS приемниками TRIMBLE NETRS и JAVAD E_GGD, подключенными напрямую. Полученные данные преобразуются в формат RINEX и отправляются в архив, для последующей обработки. Имеется техническая возможность оперативного перевода GPS наблюдений станций на высокочастотный режим, позволяющий, после освоения технологии обработки, использовать GPS станцию как длиннопериодный сейсмометр.

Организация системы сбора и передачи данных GPS сети KAMNET позволяет оперативно получать результаты наблюдений, что дает возможность обрабатывать большую часть сети с задержкой в сутки.

МЕТОДИКА СЕГМЕНТАЦИИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

А.Б. Тристанов^{1,2}, П.П. Фирстов¹

¹*Камчатский филиал Геофизической службы РАН*

²*Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

г. Петропавловск-Камчатский

alextristanov@mail.ru

В настоящее время разработано достаточно большое количество алгоритмов сегментации сигналов, в том числе и геохимических. Сама задача сегментации сводится к выбору подходящей модели сигналов. Как правило, свойства модели определяются (идентифицируются) по сегментируемому временному ряду. На любой природный сигнал, как источник косвенных данных об исследуемой системе, действуют внешние факторы. Эти факторы в некоторых случаях могут рассматриваться как управляющие воздействия на систему. В связи с этим предлагается метод сегментации сигналов с учетом еще одного, управляющего, временного ряда.

В работе предпринята попытка решить задачу сегментации управляемого процесса на примере объемной активности радона (ОА Rn) в зоне аэрации. Известно, что большое влияние на массоперенос радона в зоне аэрации, и как следствие на его характеристики, такие как плотность потока (ППР), оказывают вариации метеорологических величин и в первую очередь атмосферного давления. Целью работы является сегментация временного ряда ОА Rn на основании оценки тесноты его связи с атмосферным давлением.

В ряде работ рассмотрен вопрос зависимости ОА Rn от баровариаций и построены математические модели. Тем не менее, не смотря на очевидную связь между атмосферным давлением и эманацией радона, следует отметить, что передаточная функция атмосферное давление-ОА Rn подвергается значительным флуктуациям во времени. Причиной этого является ряд факторов, в том числе и изменения напряженно-деформированного состояния геосреды.

С целью сегментации временных рядов ОА Rn на основе причинно-следственных связей между изменениями атмосферного давления и стоком радона в атмосферу предлагается применить метод, основанный на оценке качества улучшения прогноза линейной авторегрессии с учетом управляющего процесса и классической авторегрессионной модели, построенной только по отсчетам ОА Rn. Улучшение прогноза оценивалось по критерию Гейнджера.

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПАРАМЕТРОВ МОНИТОРИНГА

Г.Е. Тукешова

Институт сейсмологии МОН РК, г. Алматы, e-mail : tgulziza@mail.ru

Временные ряды ГГХ и ГГД параметров характеризуются некоторыми особенностями, затрудняющими их интерпретацию: точность измерения параметров зачастую близка к предельно возможной; некоторые временные ряды имеют периодические сезонные и приливные компоненты; эти ряды чаще всего нестационарных и имеют природу нелинейных процессов.

Для устранения выше перечисленных недостатков анализируемых временных рядов, а также для исключения (выделения) помех, располагающихся в доверительном интервале, временного хода значениями измеряемых параметров, используется известная программа «MEZOZAVR» которая в дальнейшем усовершенствована специальной программой «Модель-Фактор», обладающая более широкими возможностями.

Как уже отмечалось программа «Мезозавр» используется для предварительной обработки временных рядов, которая включает в себя комплекс операций. Настоящая программа позволяет сращивать временные ряды наблюдаемых параметров 2-х и более лет наблюдений; сглаживать их, выделять тренд, доверительный интервал ($\pm 2\sigma$). В автоматическом режиме осуществляется процедура обнаружения anomalно отклоняющихся от тренда значений (выбросов). При наличии пропусков в наблюдениях меньше определенного максимально допустимого количества, предусмотрена возможность автоматического их заполнения. В случае значительного интервала пропусков набивка осуществляется вручную.

За основу в программе «Модель-Фактор» (Абдуллаев, Стихарный, 2002) принят любой временной ряд (фактор), заданный явно (т.е. значениями в точках отсчета) или неявно (например, гармоники). Предполагается, что значение фактора в определенный момент времени испытывает воздействие от многих факторов, влияющих в данный или предшествующий момент времени. При этом, приняты следующие допущения:

- известны основные влияющие факторы, одни из которых замерены (температура воды, воздуха, атмосферное давление), а другие - это гармоники с известными периодами, обусловленные космическими факторами - солнечной активностью, приливными волнами и т.д.);
- влияние каждого фактора не зависимо от влияния других факторов, ограничено по времени и линейно.

Предварительно в подпрограмме «model» выделяется система факторов (моделируемого и влияющих) временных рядов, подготовленных в окне «Мезозавра» При этом, поскольку техногенные факторы, оказывающие существенное влияние (пропуски замеров), не входят в эту систему, задается их снятие.

Технология обработки временных рядов

В процессе предварительной обработки осуществляется низкочастотная фильтрация, т.е. удаляются явные выбросы в отобранных факторах и снимается тренд - совокупность гармоник с периодами больше заданного. Затем, с целью удаления гармоник (влияние космических факторов) задается список удаляемых периодов и осуществляется процесс моделирования в автоматическом режиме. В результате получается очищенный ряд моделируемого параметра (фактора), в котором устранены все влияющие факторы.

Для выделения anomalных значений параметра, зависящих только от воздействия глубинных процессов, используется подпрограмма «anom.exe». В этой подпрограмме из очищенного ряда через заданный доверительный интервал (2σ) получается очищенный anomalный временной ряд, поддающийся интерпретации с точки зрения предвестников землетрясения.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

В.Н. Чебров, В.А. Салтыков, Ю.А. Кугаенко, А.А. Коновалова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ku@emsd.ru

Проведение временных полевых сейсмологических наблюдений в наиболее интересных и геодинамически активных районах остается одним из важнейших направлений геофизических исследований. Сохраняют актуальность локальные временные сети в эпицентральных зонах сильных землетрясений, на активных вулканах, в районах проявления естественной и наведенной локальной микросейсмичности. Также рекогносцировочные сейсмологические наблюдения целесообразно проводить на малоизученных территориях, где планируется организация стационарных станций. Ранее на Камчатке развитию этого вида наблюдений уделялось значительное внимание. Интересные результаты были получены при исследовании Большого трещинного Толбачинского извержения, на Ключевском вулкане, в районах повышенной сейсмической активности. Регистрация велась станциями с аналоговой записью сигналов на магнитную ленту. Со временем это оборудование устарело, носители информации пришли в негодность, а финансовые проблемы не позволяли обновить парк аппаратуры. В итоге на рубеже веков на Камчатке были прекращены временные полевые сейсмологические наблюдения. В настоящее время ситуация с аппаратурой изменилась в лучшую сторону: начали использоваться цифровые регистраторы GeoSig GSR-24 (<http://www.geosig.com>), а в 2007-2008 гг. Камчатским филиалом Геофизической службы РАН были приобретены 7 современных портативных широкополосных сейсмометров с обратной связью CMG-6TD производства Guralp Systems Ltd. (<http://www.guralp.com>). Сейсмометры CMG-6TD составят основу временных полевых сейсмологических наблюдений на Камчатке в ближайшие годы.

CMG-6TD относятся к категории портативных широкополосных приборов со встроенной флэш-картой и могут одновременно сочетать в себе функции сейсмического датчика и цифрового регистратора. Основные характеристики CMG-6TD: частотный диапазон от 0.03 до 100 Гц; чувствительность 2×1200 В/м/с; 3-канальный 24-разрядный АЦП; частота оцифровки: 100 отсч./сек.; встроенная флэш-карта 2Гб; срок автономности по емкости памяти флэш-карты: 14 суток; Options: Wi-Fi, Ethernet, Fi-Wi. Широкий частотный диапазон частот обеспечивается благодаря применению современной технологии форс-балансных датчиков с петлей обратной связи. Встроенный цифровой преобразователь с разрешающей способностью 24 бита с высокой точностью конвертирует полученные на выходе датчиков сигналы в цифровые данные. При подключении питания CMG-6TD начинает работать автоматически. Полученные данные могут передаваться во внешнюю систему регистрации или сохраняться на встроенной флэш-карте памяти. Точная временная привязка информации обеспечивается благодаря GPS-приемнику, связанному с CMG-6TD через коммутационный блок.

В 2008 г. эти приборы впервые не только на Камчатке, но и в России были опробованы в полевых условиях в районе Долины Гейзеров. Получены цифровые сейсмические записи фонового шума, региональных землетрясений, локальных сейсмических событий, связанных с геодинамической активностью района и гидротермальной активностью. Показано, что Долина Гейзеров подходит для организации здесь региональной сейсмической станции и по уровню фонового микросейсмического сигнала соответствует мировым требованиям. Подтверждена локальная сейсмическая активность низкого энергетического уровня в районе Долины Гейзеров. Эпицентры землетрясений расположены компактно и в основном попадают на восточный борт Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии и вулканический массив Кихпинич. Сопоставление микросейсмичности с данными по тектонике и геодинамике позволяют рассматривать зарегистрированные сейсмические события как одно из проявлений активности Кихпиничского долгоживущего вулканического центра.

Результаты наблюдений будут использованы для обоснования целесообразности дальнейшего исследования этого района. В частности, точки наблюдений, на которых проведена регистрация, могут быть рекомендованы в качестве пунктов для долговременного сейсмического мониторинга. Для организации стационарной сейсмической станции наиболее подходящим местом представляется территория, примыкающая к кордону «Долина Гейзеров» Кроноцкого заповедника.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ КАМЧАТСКОГО ФИЛИАЛА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РАН В INTERNET

**В.Н. Чебров, Г.М. Бахтиярова, Д.В. Дроздин, Н.В. Дубровский, Ю.А. Кугаенко,
В.И. Левина, Е.А. Пантюхин, С.Л. Сеньюков, В.А. Сергеев**

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.ru

Представлены информационные ресурсы, созданные на основе систематизации и обработки данных комплексных геофизических и сейсмологических наблюдений, которые проводит Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) для обеспечения фундаментальных исследований в области наук о Земле. Информационные ресурсы КФ ГС РАН доступны через Internet и включают в себя следующие основные компоненты.

1. База данных «Региональный каталог Камчатки и Командорских островов». Ресурс зарегистрирован в Федеральном агентстве по информационным технологиям и включен в Государственный регистр баз и банков данных, № 0220711890. По состоянию на 1 января 2009 г. каталог содержит более 107000 записей о землетрясениях Камчатки, Командорских островов и северо-западной окраины Тихого океана за 1962-2009 гг. Обновление информации проводится ежедневно. Адрес доступа для внешних пользователей: http://data.emsd.iks.ru/dbquake.txt_min/index_r.htm#tops.

2. Информационно-вычислительная система «Землетрясения Камчатки» на основе цифрового архива волновых форм, полученных на региональных сейсмических станциях Камчатки с 1996 г. по настоящее время. Система разрабатывается совместно с Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. Прототип функционирует в пробном режиме и размещен в Интернете по адресу <http://opg.sssc.ru/kg/>. Разработаны и отлажены вычислительные модули, обеспечивающие выполнение следующих on-line процедур обработки данных с выводом результатов в веб-браузер пользователя: спектральный анализ; спектрально-временной анализ; линейная частотная фильтрация. В качестве ГИС-сервера используется картографический сервис Google. Работа ведется при финансовой поддержке РФФИ, грант 07-07-00106.

3. Информационная система «Монитор сейсмической активности Дальнего Востока России» по данным опорной сети широкополосных сейсмических станций. Разработка ведется в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года», проект "Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами". Цель работы - повышение надежности и сокращение времени выпуска предупреждений о цунами на основе данных сейсмических наблюдений путем развития научно-информационного и методического обеспечения сейсмологических наблюдений; создания и ввода в эксплуатацию специализированных сейсмических станций. Макет размещен в Internet по адресу <http://ts.emsd.ru>.

4. Фактографическая база данных «Активность вулканов Камчатки», обобщающая результаты обработки сейсмических, спутниковых, визуальных данных и видеонаблюдений за одиннадцатью наиболее активными вулканами Камчатки. По полученным данным производится оценка состояния вулканов Камчатки и определяется степень их опасности. Ресурс зарегистрирован в Федеральном агентстве по информационным технологиям и включен в Государственный регистр баз и банков данных, № 0220711891. Обновление производится ежедневно. Адрес в Internet: <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>.

5. Оперативные данные.

Ежедневно информация о происшедших в регионе землетрясениях и о состоянии вулканов передается по установленному регламенту в заинтересованные организации и размещается на сервере КФ ГС РАН в Интернете:

<http://data.emsd.iks.ru/regquake/> - карта эпицентров землетрясений Камчатки, Северных Курильских и Командорских островов по данным оперативной обработки;

<http://data.emsd.iks.ru/klyquake/index.htm> - карта эпицентров землетрясений Северной группы вулканов;

<http://data.emsd.iks.ru/avhquake/index.htm> - карта эпицентров землетрясений Авачинско-Корякской группы вулканов;

<http://www.emsd.ru/> - видеонаблюдения в реальном времени за состоянием вулканов Шивелуч, Ключевской и Безымянный.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТУД ПО ШИРОКОПОЛОСНЫМ СТАНЦИЯМ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А.Ю. Чеброва

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ayuch@emsd.ru

Для решения задач региональной сейсмологии необходимо устойчивое и надежное определение магнитуды, как величины, характеризующей энергию, выделившуюся при землетрясении. В мировой практике используется значительное число магнитудных шкал, каждая из которых имеет свои особенности. При этом довольно часто значения магнитуды, найденные по разным шкалам, плохо соответствуют друг другу. Причина этого в том, что различные магнитуды рассчитываются с использованием разных типов волн и относятся к разным диапазонам периодов. До недавнего времени, положение также усугублялось использованием записей приборов с разными амплитудно-частотными характеристиками.

В настоящее время в мире имеется стойкая тенденция к использованию широкополосных сейсмографов. Использование цифровых широкополосных записей позволяет определить магнитуду практически для любых типов волн и в любой полосе частот. Возможность эмуляции записи любого известного прибора снимает вопрос влияния типа сейсмографа на оценку магнитуды, что позволяет сохранить преемственность введенных ранее магнитуд и обеспечивает накопление методически однородной информации. Наличие для одного и того же землетрясения различных оценок магнитуд по различным шкалам несет определенную информацию об очаговом процессе и позволяет судить об особенностях очага. Этот подход может быть полезен, например, для применения в Системе Предупреждения о Цунами (СПЦ).

Развитие службы наблюдения и сбора информации, а именно введение в строй новых широкополосных станций в работу сейсмологических сетей Дальнего Востока России, позволяет провести глубокую модернизацию системы обработки записей землетрясений вообще, и методики оценки магнитуд в частности. Это означает как расширение номенклатуры магнитуд определяемых в режиме сейсмической службы, так и автоматизацию процесса обработки. Данная задача ставится в первую очередь в рамках работы Камчатской сети сейсмических станций. Следует также отметить, что для обеспечения преемственности регионального каталога Камчатки и Командорских островов, необходимо сохранение оценки энергетических классов (K_P по Р-волне, K_S по S-волне, K_C по коде).

Автоматизация процесса определения магнитуд имеет вполне очевидные достоинства. Это, прежде всего, быстрота оценки и унификация процедуры. Однако следует учитывать, что в настоящее время программа обработки не может полностью заменить опытного оператора. Случайные дефекты записи могут существенно исказить автоматические оценки, поэтому предполагается, что средства автоматизации должны обязательно контролироваться. Быстрые оценки могут быть особенно полезны для оператора СПЦ.

Для рутинной обработки и для использования в СПЦ предполагается использовать алгоритмы для быстрой оценки ряда магнитуд:

- по объемным волнам (MPV (mB и mb), MPH – магнитуды по Р-волне; MSH, MSV – магнитуды по S-волне);
- по поверхностным волнам (MLH, M_{S20}),
- по коде (M_C);
- а также энергетических классов (K_P , K_S , K_C) и локальной магнитуды, получаемой пересчетом из K_S .

В службу оценок магнитуд предлагается ввести новую магнитуду по поверхностным волнам, основанную на двадцатисекундных периодах M_{S20} , методика определения которой предложена А. А. Гусевым и О. С. Чубаровой. Процесс оценки магнитуды M_{S20} легко поддается автоматизации, что является несомненным преимуществом ее использования в СПЦ. Остальные магнитуды представляют собой стандартный набор магнитудно-энергетических шкал, используемых в практике сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке.

Первый этап работы по разработке и внедрению автоматизированной методики определения магнитуд включает в себя разработку и тестирование алгоритмов расчета ряда магнитуд, а также построение корреляционных соотношений с моментной магнитудой M_W , между собой и с другими магнитудами, наиболее часто используемыми в мировой практике.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМИЧНОСТИ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.М. Шарафутдинов¹, Л.В. Гунбина²

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан,
seismolog@neisri.ru,

²Магаданский филиал Геофизической службы РАН, Магадан, temsd@mail.ru

Имеющиеся в настоящее время сейсмологические данные по Северо-Востоку России в определенной степени разобщены (в первую очередь это касается первичных инструментальных данных) и труднодоступны для оперативного цифрового использования. В связи с быстро расширяющимся применением в процессе НИР компьютерных технологий и актуальности сейсмологических исследований с точки зрения сейсмобезопасного промышленного развития регионов возникла острая необходимость создания цифровых сейсмических баз данных и геоинформационной системы, систематизирующей всю имеющуюся сейсмологическую информацию по территории. А также позволяющую интерпретировать ее на принципиально новом количественном уровне, в том числе с точки зрения генезиса сейсмических событий.

Структура разрабатываемой геоинформационной системы «Сейсмичность Магаданской области» представлена базовым слоем (генеральный каталог землетрясений и его графическое представление на карте в географической системе координат), пятью статическими информационными слоями (базисные слои), шестью статическими интерпретационными слоями (слои поддержки) и двумя динамическими блоками. Информация о сейсмических событиях, составляющих статические слои, выдается по ключу из базового слоя, динамические блоки имеют самостоятельный запуск из ГИС. Числовой основой ГИС являются цифровые координированные базы данных, созданные на основе каталогов Магаданского филиала ГС РАН и включающие в себя информацию о 4.230 (на декабрь 2008 г.) сейсмических событиях с энергетическими классами от 4,3 до 16,8 (Артыкское землетрясение, 1971 г.), произошедших в пределах Магаданской области и прилегающих территорий с 1735 по 2008 гг.

Статические информационные слои представляют сейсмические события, зарегистрированные в каталогах Магаданского филиала ГС РАН. Информация о сейсмических событиях вызывается при выборе элемента площади территории. По ключу для этого участка выводятся значения моментов событий, глубины, географических координат эпицентров, макросейсмических эффектов и энергетических классов сейсмических толчков, зарегистрированных на выбранном участке. Выбирая конкретное сейсмическое событие из списка, можно на основе ГИС получить следующие сведения для данного события: по слою макросейсмических эффектов, занесенных в каталог МФ ГС РАН, по слою положения станций, работавших во время толчка, и станций, чьи наблюдения вошли в обработку, т.е. все сейсмостанции, где было инструментально зарегистрировано данное событие, по слою о моментах вступлений сейсмических волн на станции (с тем, чтобы при необходимости переопределить параметры события или провести дополнительную интерпретацию), по слою о модели события, включающей: расчетные значение переместившейся массы, величину переданного среде импульса, характерном периоде колебаний, оценку вероятного радиуса изосейст 3 и 5 баллов MSK-64.

Статические интерпретационные слои ГИС представляют собой: слой оценки распределения сейсмической активности A_{10} по территории, слой оценки распределения максимальной энергии землетрясений K_{max} , слой распределения сотрясаемости 6 баллов (ожидаемой повторяемости шестибалльных сотрясений в каждой точке региона), слой распределения сотрясаемости 7 баллов (ожидаемой повторяемости семибалльных сотрясений в каждой точке региона), слой распределения палеосейсмодислокаций (как результатов крупнейших древних землетрясений), слой распределение градиентов потенциальной энергии землетрясений.

Динамические блоки состоят из: пространственно-временной схемы сейсмических событий и пространственно-временной схемы размещения действующих сейсмостанций на территории Магаданской области для любого периода инструментальных наблюдений, шаг по времени задает оператор.

Создание геоинформационной системы «Сейсмичность Магаданской области» позволило:

1. Объединить и перевести в цифровой формат практически всю имеющуюся сейсмометрическую информацию по территории Магаданской области за период с 1735 по 2008 гг.

2. Открыть широкий и достаточно удобный доступ для специалистов различного профиля к сейсмологической информации, в том числе и первичной (что ранее было труднодоступно)

3. Путем синтеза имеющейся сейсмологической информации по территории работ проводить в дальнейшем комплексный анализ сейсмических событий, выявлять их пространственные и генетические связи.

РАЗРАБОТКА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В.М. Шарафутдинов¹, В.В. Кабанов¹, Л.В. Гунбина²

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан,
seismolog@neisri.ru, vvk20062@yandex.ru

²Магаданский филиал Геофизической службы РАН, г. Магадан, temsd@mail.ru

Для изучения электромагнитных характеристик сейсмических процессов на Северо-Востоке России была развернута региональная сеть из 3-х станций сейсмоэлектромагнитного мониторинга (СЭМ) с круглосуточной записью полного сигнала в ОНЧ диапазоне. Научно-исследовательские работы велись с 2001 г., за этот период были проведены теоретическое обоснование и лабораторные эксперименты, созданы аппаратные комплексы, разработано специализированное программное обеспечение, выполнены полевые опытно-методические работы. В мае 2003 г. начато развертывание СЭМ-станций, выполнены их настройка, тестирование и с января 2004 г. региональная сеть станций по регистрации электромагнитного излучения возможно сейсмогенного характера введена в рабочий режим круглосуточного мониторинга. Местоположение развертываемых СЭМ-станций было выбрано исходя из соображений охвата достаточно обширного (наиболее промышленно развитого) региона, оптимальности пеленгации источников аномальных ЭМ излучений, удобства размещения комплексов (электропитание, техобслуживание) и возможности выноса приемной антенны на 100-200 м от здания станции и других источников существенных техногенных помех.

Региональная сеть включает станции сейсмоэлектромагнитного мониторинга, размещенные в поселках Омчак, Сеймчан и Стекольный Магаданской области. В аппаратное обеспечение станций входят: антенные комплексы, регистрирующие комплексы, системы питания и коммуникационные блоки. На каждой станции выполняется непрерывная регистрация электрической компоненты электромагнитного поля в диапазоне 8-40 кГц. Данные с метками времени от GPS приемника циклически записываются на диск с периодом 30 суток. Интервалы времени, соответствующие выбранным для дальнейшего анализа сейсмоактивным периодам, защищаются от перезаписи. Также каждые 30 минут сохраняется 2 минуты записи с периодом 1 год. Регистрирующий комплекс станции выполнен на основе ноутбуков LG с процессором мобильный Celeron. Запись данных выполняется на внешний диск объемом 1 Тб. Оцифровка осуществляется с помощью модуля E14-140 фирмы L-Card с частотой дискретизации 100 кГц. Сигнал запуска формируется с использованием термостатированного кварцевого генератора. Прием сигналов выполняется с помощью специально разработанного приемника с двойным преобразованием частоты. Приемник состоит из антенного и центрального блоков.

За период регистрации выполнены записи в период подготовки на территории Магаданской области двух землетрясений с магнитудой $M \sim 5$ и нескольких землетрясений энергетического класса $K \sim 11$. В процессе анализа данных на предмет наличия сейсмогенных эффектов были разработаны и признаны перспективными алгоритмы на основе сортировки регистрируемых импульсных сигналов (атмосфериков) по углу прихода с последующим анализом свойств и соотношений спектров для разных станций в различных диапазонах углов. Аномальные электромагнитные эффекты, соотносящиеся с локализацией готовящегося землетрясения, обнаружены для событий с магнитудой $M \geq 5$.

Для землетрясения на северо-западе Магаданской области, произошедшего 19.10.2006 (магнитуда $M=5,1$) на расстоянии 226 км на северо-запад от ближайшей станции в Сеймчане наблюдались необычно интенсивные и разнообразные эмиссии с северных направлений. Их природа стала более ясной после обработки интервала записи за 19 часов до землетрясения с магнитудой

$M=6.0$, произошедшего в Якутии (22.06.2008). Для атмосфериков, трассы, которых проходили вблизи будущего эпицентра, обнаружались дополнительные задержки величиной до 360-400 мкс. Аналогичный эффект может объяснить и аномалии в угловом распределении атмосфериков и для землетрясения 19.10.2006. Значительно меньшие задержки (60-100 мкс) наблюдались перед землетрясением с магнитудой $M=7.2$ 05.07.2008 в Охотском море (700-1000 км от станций) и землетрясением энергетического класса $K=11,6$ вблизи станции Омчак, произошедшего 04.11.2009. Но связь этих задержек с данными землетрясениями пока не доказана однозначно. Одной из причин этого является расположение эпицентров этих землетрясений вблизи оси, соединяющей одну из пар станций. Это не дает возможности точно оценить углы прихода атмосфериков с данного направления. Для устранения таких ситуаций необходимо создание четвертой станции (желательно на Камчатке), чему в настоящее время препятствуют проблемы финансирования.

Цунами

СПЕЦИФИКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦУНАМИ В СЕВЕРНОМ ОХОТОМОРЬЕ

Б.П. Важенин

Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г. Магадан vazhenin@neisri.ru

Цунами в Северном Охотоморье бывают существенно реже, чем у восточных берегов Камчатки и Курил. Сформировалось даже мнение об их отсутствии здесь вовсе. Объясняют это слабостью и редкостью действия местных сейсмических источников цунами. Так, за период инструментальных наблюдений на Североохотоморском шельфе не отмечались землетрясения с магнитудой выше 5,8. Недостаточно известны сведения о крупных обвалах на северных берегах Охотского моря, как былых и потенциальных источниках цунами [Важенин, Лебединцев, 1999]. Не рассматриваются в качестве источников цунамиопасности для Северного Охотоморья вероятные взрывные извержения многочисленных Курильских вулканов – в том числе и подводных. Преувеличивается экранирующая роль Курильской островной дуги, якобы надежно заслоняющей Охотское море и, тем более, северные его берега, от мощных тихоокеанских сейсмических источников. Утверждения о слабой и почти нулевой цунамиопасности высказываются вопреки опубликованным достоверным данным о средних и сильных цунами в бух. Нагаева [Исторические сведения о цунами..., 1998; Тихий океан, 1970].

Высота волн, проникших в Охотское море, от Южно-Камчатского цунами 1952 г., возникшего в результате мощного землетрясения с магнитудой 8,5 [Апродов, 2000] достигала в бух. Нагаева 2 м. При этом на Сахалине (зал. Анива) отмечался уровень подъема воды лишь до 1 м. В 1960 г. цунами от среднечилийских землетрясений (два толчка с $M=8,5$) добежало до Северного Охотоморья за 28 час. Мареограф в бух. Нагаева зафиксировал 5 волн высотой до 2,2 м. По высоте (от 2 до 4 м) это цунами относится к классу сильных – 3 балла по 5-балльной шкале. В разных частях сахалинского побережья волны были ниже: 0,4, 0,7, 0,8, 0,9, 1,2, 1,9 м [Исторические сведения о цунами..., 1998].

Северное Охотоморье с Тауйской, Гижигинской и Пенжинской губами обладает ясно выраженными «фокусирующими» свойствами, обеспечивающими сужение фронта волн и увеличение их высоты при входе в выклинивающиеся по горизонтали и вертикали заливы и бухты. Это видно из сравнения северных берегов Охотского моря с менее изрезанным восточным берегом Сахалина, где высоты волн отмеченных цунами были ниже в 1,5-2 раза, несмотря на близость его во столько же раз к курило-камчатским источникам цунами и к Курильскому островодужному экрану.

К тому же и разные участки Тауйского побережья обладают различными фокусирующими свойствами. Так, в бух. Гертнера, заслоненной п-овом Старицкого от прямого воздействия волн слабого цунами, возникшего при Спафарьевском землетрясении 4 (5) января 2001 г. ($M=4,6$, $H=5$ км), ледовые цунамигенные деформации были выражены гораздо лучше, чем в открытой в сторону эпицентра бух. Нагаева [Важенин, 2004, 2005]. Причина этого видится в различной их морфологии. Бух. Нагаева – почти бутылковидная в плане, с зауженным входом в нее, Гертнера – клиновидная. В первой живое сечение воды возрастает от 70000 м^2 на входе – в створе г. Каменный Венец – до 80000 м^2 в створе торгового порта; во второй – уменьшается в 7 раз: с 42000 м^2 на входе в систему смежных бухт Гертнера и Веселая до 6000 м^2 в створе руч. Кедровый Ключ. Еще много более могут сужаться по горизонтали вероятные волны цунами при входе их в долины рек Магаданка и Дукча, впадающих в бух. Гертнера.

Помимо редкости возникновения цунами в Северном Охотоморье от местных источников и проникновения морских волн в Охотское море от мощных тихоокеанских землетрясений, а также отмеченных высоких фокусирующих свойств Североохотоморского взморья, имеется еще ряд специфических черт их проявления здесь. Ввиду редкости цунами северные берега Охотского моря менее пригодны для составления хронологии цунами, чем камчатские и курильские. К тому же шурфовка здесь осложняется наличием многолетней мерзлоты даже у самого берега моря. Изучение вероятных цунамигенных осадков возможно, главным образом, в довольно редких естественных обнажениях. Малая частота проявления цунами затрудняет прогнозирование их высот, дистанций проникновения на сушу, выявление наиболее цунамиопасных мест. На побережье и, особенно в полузакрытых бухтах в течение 6-7 месяцев сохраняется ледовый припай, что делает опасными для многочисленных рыболовов даже слабые цунами, такие как Спафарьевское 2001 г. Риск от них возрастает и в лососевую путину, когда на пляжах под прижимами работают лицензионные участки.

Актуальность выполнения оценки цунамиопасности в Северном Охотоморье много выше, чем на Камчатке и Курилах. Там давно известно о том, что сильные цунами были и возможны в будущем. Здесь же надо доказывать даже их принципиальную возможность вопреки алогичным утверждениям, что их не было и не будет.

ОПОРНАЯ СТАНЦИЯ СП СПЦ «ПЕТРОПАВЛОВСК». РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Викулина С.А., Ототюк Д.А.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский
oppets3@emsd.ru*

Опорная станция сейсмической подсистемы службы предупреждения цунами (СП СПЦ) «Петропавловск» была введена в опытную эксплуатацию 20.06.2008г.

Перед сотрудниками станции была поставлена задача - ознакомиться с возможностями программы «DIMAS», провести сравнительный анализ полученных данных. Для обучения были представлены волновые формы землетрясений на станциях сети IRIS северо-востока России и на цифровых широкополосных станциях Камчатской региональной сети. Каталог землетрясений с $M > 6.5$ за 1993-2007 гг. представлял 132 события, расположенные в северо-западной части Тихого океана.

На первом этапе знакомство с программой «DIMAS» проходило не так быстро и качественно, как хотелось бы. Причиной этому было очень длительная работа персонала по программе «DataAnalWin95», где определение параметров землетрясения проводится по одной станции «PET».

На втором этапе обучения программы для проведения анализа были созданы журналы, в которые заносились данные, полученные конкретно каждым сотрудником, конкретно по каждому землетрясению. Проводился анализ, выявлялись неточности, погрешности программы. Вносились предложения, которые доводились до разработчика программы. В результате этого появились временные инструкции для пользователя, потом стали вноситься изменения в программу, которые существенно повлияли на скорость обработки землетрясений. На сегодняшний день еще не все пожелания учтены.

Очень много времени заняла отладка порога срабатывания сигнализации - сигнала "Тревога цунами"- «ALARM». Опытным путем были выведены пороги срабатывания сигнала конкретно для каждой станции. Опорной станцией в этом случае служила станция «Петропавловск» - IRIS.

Новое и главное для станции «Петропавловск» это то, что на экран дисплея выводится сейсмограмма в реальном режиме времени для постоянного визуального контроля. Что очень важно в работе службы цунами, а так же службы срочных донесений.

Для удобства оператора было решено, что работа будет проводиться по двум мониторам реального времени (был учтен имеющийся на станции опыт работы с сетью РТСС – «Тест сети»).

Первый – «Ближняя зона» - каналы СП СПЦ (все акселерометры) + станции IRIS (PET и YSS).

Второй – «Дальняя зона» - велосиметры СП СПЦ + все привлеченные к СП СПЦ станции IRIS.

Набор станций по каждому экрану выбирался с учетом зоны ответственности станции «Петропавловск». «Ближняя зона» ответственности до 1000км. «Дальняя зона» ответственности Дальний Восток (Японское море, Тихоокеанский регион).

Звуковая сигнализация ALARM по каждому экрану настроена так, что позволяет оператору по звуку сразу оценить – близкое это землетрясение или удаленное и какой у него запас по времени.

Для лучшего восприятия и удобства оператора изменена конфигурация экрана реального времени – станции на мониторах располагаются не по алфавиту, а по географической широте, что способствует более быстрой и точной оценке местоположения эпицентра.

Сделана предварительная оценка полученных магнитуд, предлагается внести поправки по станции «Петропавловск».

В результате проведенных работ можно сделать выводы:

а) Оборудование, ПО и технология обработки сейсмических сигналов созданной в рамках ФЦП опорной станции для СП СПЦ позволяют уменьшить время для оценки параметров землетрясений ближней зоны и повысить их достоверность;

б) необходимы дополнительные работы для быстрых оценок энергетических характеристик события по ближайшей станции.

СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЦУНАМИ – ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ (ОБЗОР)

В.К. Гусяков

ИБМуМГ СО РАН, г.Новосибирск, gvk@sscc.ru

Задачей службы предупреждения о цунами (СПЦ) является заблаговременное извещение о времени подхода и возможной высоте волн цунами на побережье. Принципиальная возможность такого прогноза заключается в существенном различии скоростей распространения сейсмических волн в земной коре (4-7 км/с) и волн цунами в океане (0.1-0.2 км/с), благодаря чему создается некоторый (небольшой) запас времени между регистрацией подводного землетрясения и приходом цунами к побережью. Оперативный прогноз цунами осуществляется существующими в ряде стран службами предупреждения о цунами, техническую основу которых составляют системы сейсмологических и мареографных наблюдений, системы передачи и обработки данных, системы оповещения.

В докладе рассматриваются методологические основы и основные проблемы оперативного прогноза цунами и структура существующих служб предупреждения. Рассмотрение этих вопросов ведется с точки зрения существующих представлений о процессе возбуждения и распространения цунами, а также на основе анализа фактических данных наблюдений реальных цунами последних лет. Анализируются принципы построения СПЦ в США, Японии, Чили, Французской Полинезии, международной СПЦ с центром в Гонолулу и создаваемых служб предупреждения в Индийском и Атлантическом океанах. Прослеживается история создания и технической модернизации служб, проводится анализ эффективности их работы. Делается вывод о необходимости четкого разграничения зон ответственности СПЦ на три различных уровня, производимого на основе ожидаемого времени распространения цунами: локальный (0-10 мин), региональный (10-60 мин) и трансокеанский (более 60 мин). Это же разделение является решающим при определении принципов построения и функционирования СПЦ различного уровня.

СИСТЕМА СБОРА, ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ОБРАБОТКИ В СП СПЦ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, АЛГОРИТМЫ И ПО.

Д.В. Дроздин, В.А. Сергеев, Е.В. Пантюхин

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, ddv@emsd.ru

Система сбора, обработки (контроля), хранения и представления данных и результатов сейсмической подсистемы СПЦ включает в себя: коммуникационную подсистему (каналы связи-передачи данных, протоколы передачи данных, ПО); систему обработки сейсмических сигналов, архивизации данных и результатов их обработки; систему предоставления и отображения данных и результатов их обработки.

Сеть сбора данных СП СПЦ реализована на спутниковых каналах связи, на выделенных ресурсах Internet через оптические и DSL каналы. Данные станций мировой сети IRIS (MIDW, ADK, INCN, MAJO) доступны через сеть LISS серверов по каналам Internet. Трафик по информационно обрабатывающим центрам: входящий до 100 Гбайт/месяц; исходящий до 50 Гбайт/месяц.

ПО сервера сбора данных - Unix совместимая операционная система FreeBSD. Аппаратная платформа - IBM совместимые компьютеры специального исполнения.

Для контроля сейсмометрических каналов используется программа GeoDAS (GeoSIG), использующая графический интерфейс Microsoft Windows. Программа GeoDAS включает в себя средства конфигурирования и контроля работы регистраторов GSR-24, управления процессами записи, пересылки файлов между компьютером и регистрирующей системой.

Сервер сбора под ОС FreeBsd производит установку TCP/IP соединения с регистраторами данных GSR-24, прием пакетов данных в формате GSBUS, преобразование данных в формат MiniSeed и создание кольцевых буферов данных по каждой станции на дисковых массивах. Размер кольцевого буфера для каждой станции составляет 10 Гбайт – что позволяет хранить данные за последние 150-200 дней. Доступ к данным с удаленных или локальных систем также осуществляется по сокетам TCP/IP и производится по технологии клиент- сервер в двух режимах. 1) Режим непрерывной передачи реального времени. 2) Режим доступа к кольцевым буферам данных по запросу. Эта технология широко используется в GSN – LISS (Live Internet Seismic Server). На сервере также производится контроль состояния текущих каналов связи и потоков данных с отображением на Web сервере. Для контроля непрерывных сейсмических данных в текущем режиме создан экран реального времени (Дисплей реального времени («ДРВ»)). Первичный анализ и контроль данных производится на компьютере пользователя в интерактивном режиме программы DIMAS. Для работы с данными организованы TCP сокеты, через которые может обслуживаться до 100 соединений. Для глобального управления доступом к серверу используется пакетный фильтр (firewall). Программа сбора и архивации данных, поступающих с регистраторов, осуществляет анализ пакетов данных поступающих по каналам связи и осуществляет запись информации о состоянии систем сбора в SYSLOG файлы – и обеспечивает стандартный Web интерфейс для их просмотра на удаленных компьютерах. Визуальный мониторинг качества сейсмометрических каналов можно оценить через Web интерфейс путем просмотра 4-х часовых сейсмограмм.

Пакет программ обработки сейсмических данных СП СПЦ включает в себя: программу «Дисплей Реального Времени»; интерактивную программу обработки сейсмических сигналов DIMAS; программу «БЛИЦ» предварительной оценки параметров сильного землетрясения на уровне ИОЦ в автоматическом режиме (Д.В. Чебров¹, А.А. Гусев, наст. сборник). Программа Дисплей реального времени является клиентом сервера сбора данных (ССД) и предназначена для отображения потоков сейсмических данных в реальном времени на дисплеи монитора, оповещения дежурного оператора звуковым сигналом по превышению заданного порога, записи текущих данных в кольцевой буфер и их быстрой загрузки в программу оперативной обработки.

Программа Обработки (DIMAS): Программа предназначена для детальной обработки и цифрового анализа сейсмических сигналов, поступающих с системы сбора.

Для хранения результатов обработки создана база данных под SQL-server. В базу данных обеспечивается прием срочных донесений поступающих с удаленных рабочих мест и доступа к ним через Web интерфейс для удаленных пользователей.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ

М.И. Ишонин, А.В. Николаев

В Камчатском крае предупреждение о цунами осуществляют сейсмическая станция КФ Геофизической службы РАН и центр наблюдений и предупреждения о цунами ГУ «Камчатское УГМС».

6 января 2006 года Постановлением Правительства РФ утверждена Федеральная целевая программа (ФЦП) «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ до 2010 года», где системе предупреждения цунами (СПЦ) уделено большое внимание. Совершенствование СПЦ предусматривает:

Модернизацию и развитие необходимых элементов сети наблюдений за уровнем моря (гидрофизическая сеть) в целях обеспечения достоверной и оперативной информации об угрозах цунами.

Модернизацию региональных систем оперативного анализа сейсмологических и гидрофизических данных в целях предупреждения о цунами в г.г. Южно-Сахалинске, Петропавловске-Камчатском, и Владивостоке.

АИСЦП разработана и введена в опытную эксплуатацию в Камчатском центре наблюдений и предупреждения о цунами специалистами ГУ «НПО «Тайфун», которая включает в себя:

«Автоматизированное рабочее место дежурного океанолога», позволяющее автоматизировать прием и обработку сообщений в центре цунами, осуществить автоматический выбор схемы действий дежурного океанолога по информации о землетрясении поступившей от сеймостанции, спрогнозировать высоту и время подхода волн к защищаемым пунктам, произвести рассылку сообщений об угрозе цунами согласно регламента;

«Монитор уровня моря» предназначен для постоянного слежения за уровнем моря в заданных пунктах инструментальных наблюдений и подачи звукового сигнала в случае превышения критических значений скорости изменения уровня моря.

Внедрение в оперативную работу АИСЦП позволит перейти на качественно новый уровень формирования предупреждения и доведения тревоги цунами до органов исполнительной власти и организаций.

По старому регламенту время на формирование предупреждений и доведения тревоги цунами до органов исполнительной власти и организаций составляло 10 минут. Опытная эксплуатация АИСЦП показывает, что это время можно сократить до 2 минут.

При близких землетрясениях время подхода волн цунами к берегам Камчатки составляет не более 30 минут, поэтому сокращение времени оповещения на 8 минут позволит спасти не одну человеческую жизнь.

ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий природного и техногенного характера...» предусматривает дальнейшее развитие сети гидрофизических наблюдений СПЦ, включающая в себя автоматизированные посты инструментальных наблюдений за уровнем моря (АП), гидрометеостанции (ГМС) и гидрофизические станции (ГФС). В декабре 2009 года вводится в оперативную работу АП Петропавловский-Маяк. В ближайшие два года предполагается реконструировать и пустить в строй еще три АП на восточном побережье Камчатки и один АП на о. Беринга. В это же время планируется установка в открытом океане двух ГФС с донными датчиками системы DART (Deep Ocean Assessment and Reporting of Tsunami, США). Реализация всех аспектов ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ до 2010 года» позволит:

сократить количество ложных тревог;

сократить время доведения предупреждений до органов исполнительной власти и организаций;

добиться максимального снижения рисков гибели людей и материальных ценностей от угрозы цунами.

ЦУНАМИ КАК МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПОДВОДНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ.

Ю. Н. Левин, А. А. Поплавский

*Сахалинский филиал Геофизической службы РАН
г. Южно-Сахалинск, Levin@seismo.sakhalin.ru*

С. Л. Соловьевым была построена интегральная кривая распределения магнитуды цунамигенных землетрясений (происходящих в районах островных дуг). Аналогичные кривые распределения магнитуд землетрясений, способных вызвать в эпицентре сотрясения равные или выше 8, 9 и 10 баллов по шкале MSK-64 были построены нами. Оказалось, что распределение магнитуд цунамигенных землетрясений ближе всего к распределению магнитуд, вызывающих сотрясения 9 или более баллов.

Л. Н. Поплавской было установлено, что землетрясения в Курильской эпицентральной зоне, вызывающие интенсивные волны цунами с вертикальным заплеском 1 метр или более хотя бы в одной точке на ближайших к источнику берегах, сопровождаются максимальными сотрясениями (в эпицентральной области) силой 9 – 10 баллов.

С. Л. Соловьевым и Л. Н. Поплавской было показано, что при силе сотрясений 7 или более баллов в некоторой точке на берегах Курильских островов и Камчатки в этой точке следует ожидать подхода волны цунами, высотой 1 метр или более. Отсюда, в частности, следует, что источники цунами (очаги цунамиопасных землетрясений) в Курило-Камчатской эпицентральной зоне находятся примерно на одном и том же расстоянии от берега, независимо от их расположения в пределах названной зоны.

Нами разработана простая модель «макросейсмического» источника цунами, параметры которого связаны с размерами очага землетрясения и его максимальным баллом, которые, в свою очередь, определяются через магнитуду, фокальную глубину и константы макросейсмического поля. «Макросейсмический» источник использовался в качестве начальных данных при численном моделировании цунами-эффекта нескольких реально произошедших землетрясений (расчеты выполнял Д. Е. Золотухин с помощью комплекса программ, составленного В. Н. Храмушиным). Это моделирование дало более или менее удовлетворительное согласие с данными наблюдений.

Наиболее интересный результат был получен при моделировании Невельского (02.08.2007) землетрясения. Оно моделировалось дважды: сначала как прогнозируемое по решению Сахалинского филиала РЭС по прогнозу землетрясений (И. Н. Тихонов), а потом по следам уже произошедшего события. Положение гипоцентра и магнитуда этого землетрясения, в названных вариантах моделирования, заметно различались, но в обоих случаях интенсивность сотрясений в ближайших к очагу точках берега достигала 8 баллов (а максимальная сила сотрясений в эпицентральной области составила чуть более 9 баллов), и оно реально сопровождалось волнами цунами с высотой вертикального заплеска более 1 метра высоты. Этот случай явился убедительным подтверждением того факта, что истинным критерием цунамигенности и цунамиопасности подводного землетрясения является не магнитуда землетрясения, а интенсивность сотрясений в его эпицентральной области.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IMP.ITRIS ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО И ОПЕРАТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЦУНАМИ И ОЦЕНКИ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

И.В. Маринин, С.В. Елецкий, В.В. Чесноков

Informap LLC, г. Москва; Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск; e-mail: igor.marinin@inbox.ru

Разработанная *Informap LLC* графическая экспертная система *Imp.ITRIS* позволяет решать задачи оперативного прогноза во время развития катастрофических событий, связанных с надвигающейся угрозой воздействия волн цунами на побережье; а также в обстоятельствах потенциальной угрозы волн цунами при заблаговременном планировании освоения прибрежной территории, проектирования, возведения и эксплуатации прибрежных объектов.

В состав *Imp.ITRIS* входят базы данных, содержащие расширенную информацию относительно уже произошедших цунами, результаты моделирования потенциально опасных событий, а также различные вычислительно-статистические утилиты, обеспечивающие удобную обработку данных. *Imp.ITRIS* позволяет проводить динамическое и кинематическое моделирование цунами и снабжена различными измерительно-оптимизационными средствами, предназначенными для решения некоторых второстепенных задач исследования и оценки последствий обсуждаемых катастрофических волн.

Цель создания *Imp.ITRIS* заключалась в развитии и переводе на принципиально новую технологическую основу широко известной, однако по многим параметрам устаревшей, и в настоящий момент не поддерживаемой системы *WinITDB*. Программная система *WinITDB* явилась результатом научной деятельности *Informap LLC*, *WAPMERR* и лаборатории математического моделирования волн цунами *ИВММГ СО РАН*.

К настоящему моменту, с учётом уникальных особенностей использования технологий динамического трёхмерного отображения, вся рабочая функциональность *WinITDB* полностью реализована в *Imp.ITRIS*. Кроме этого, в *Imp.ITRIS* значительно расширены функциональные возможности и достаточно серьёзно улучшена алгоритмическая база.

Некоторым аналогом *Imp.ITRIS* является широко известная и повсеместно используемая система *Google Earth*. Не смотря на то, что целевое предназначение этих систем разное, возможности визуализации у них одинаковы.

Рассматривая в системе *Imp.ITRIS* объект с удалённой от Земли точки, можно приблизиться к нему на достаточно близкое расстояние. При этом пределом приближения, в некоторых случаях, будет, например, виртуальный вход пользователя в здание и осмотр модельного интерьера.

В таком же режиме возможен просмотр результатов расчётов полученных при динамическом моделировании цунами. Начиная слежение за волной с удалённой от Земли точки, и изучая её распространение относительно материков и крупных островов, у проблемного берега пользователь может приблизиться к волне на значительное расстояние и наблюдать накат.

Среди средств математического моделирования существенной доработке подверглись утилиты позволяющие проводить кинематическую оценку времени добегания волны из одной точки в другую и алгоритмы обеспечивающие построение соответствующих карт изохрон.

Основная цель, преследуемая при включении возможности динамического моделирования цунами в *Imp.ITRIS*, состояла в том, чтобы пользователи разной степени подготовленности могли при помощи нескольких манипуляций мышью и нажатии пары клавиш в течение 3-5 минут провести расчёт и получить в удобном виде результат. В *Imp.ITRIS* предусмотрено также проведение более качественных вычислений, требующих значительных временных ресурсов.

Imp.ITRIS уже успешно использовалась (и используется) в России и Индии при модернизации соответствующих систем безопасности.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПАЛЕОЦУНАМИ НА КАМЧАТКЕ, СЕВЕРНЫХ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛАХ.

Пинегина Т.К.¹, Буржуа Дж.²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, pinegtk@kscnet.ru

²Университет штата Вашингтон, Сиетл, jbourgeo@u.washington.edu

На протяжении 15 лет мы изучаем исторические и доисторические отложения цунами на Камчатке и Курильских островах. За короткий период исторических наблюдений (с 1737 г.) здесь произошло много сильных и несколько катастрофических цунамигенных землетрясений. Только за время наших исследований вдоль Курил и Камчатки произошло три цунами (Кроноцкое в 1997 г., Центрально-Курильские в 2006 и 2007 гг.). Многие обследованные нами участки побережий сохранили геологические следы исторических землетрясений и цунами, и мы используем эти данные как ключевые при реконструкции параметров доисторических событий. В ходе исследований мы датировали ряд сильных палеоземлетрясений и цунами, произошедших вдоль различных участков Курило-Камчатского побережья.

Методика наших исследований включает: 1) применение тефрохронологии и тефростратиграфии для датирования и корреляции на побережьях разных типов отложений и форм рельефа; 2) изучение отложений цунами для реконструкции интенсивности древних цунами и землетрясений, оценки периода их повторяемости; 3) изучение геологического строения морских террас и береговых валов, определение их возраста и реконструкция палеотопографии с целью выявления косейсмических деформаций, направления и амплитуд вертикальных движений побережий за различные временные промежутки (десяtkи лет – сотни – тысячи лет).

В ходе полевых исследований в 1995-2008 гг., мы проанализировали, сравнили и по возможности скоррелировали отложения исторических и доисторических цунами вдоль побережья от Петропавловска-Камчатского до о. Парамушир. На основании этих данных, мы выделили наиболее сильные цунами, и менее значительные события для последних 1000-1500 лет.

Два наиболее сильных исторических цунами, произошли на Камчатке и северных Курилах в 1952 г ($M_w \sim 9.0$) и в 1737 г. Наши данные по отложениям цунами позволяют сделать вывод о том, что очаги этих землетрясений были сопоставимы по размеру и примерно совпадали пространственно. Мы установили что, как минимум еще 2-3 катастрофических цунами (помимо 1952 и 1737 гг.) произошли вдоль южной Камчатки и северных Курил за последние ~ 1000 лет (или 1 событие в 200-250 лет). За последние ~ 1500 лет в этом же районе произошло как минимум 5-6 сильных цунами (в среднем 1 событие в 250-300 лет). Судя по интенсивности проявления реконструированных цунами, мы предполагаем, что они были вызваны межплитными землетрясениями с $M_w \sim 8.5-9.0$. Прочие отложения цунами, не коррелируемые между различными участками побережий, могли быть связаны с более слабыми землетрясениями.

Данные полученные в 2006-2008 гг. (в рамках Курильского биоконплексного проекта NSF) показали, что Центральные Курилы сейсмически так же активны, как и остальная часть Курило-Камчатской дуги. Землетрясения и цунами 2006-2007 гг. предоставили нам уникальную возможность сопоставить их параметры (вертикальные и горизонтальные заплески, характер отложений) с аналогичными параметрами более древних событий. По предварительным данным, цунами сопоставимые с 2006 г., либо более интенсивные, происходили в позднем голоцене на Центральных Курилах раз в 250-500 лет. Эти цунами могли быть вызваны землетрясениями с $M_w \geq 8$.

На протяжении 1998-2003 гг. мы исследовали западное побережье Берингова моря, к северу от зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Здесь были детально изучены отложения от единственного в этом районе исторического цунами 1969 г. с $M_w = 7.7$. В этом районе мы идентифицировали отложения еще 12-15 цунами за последние ~ 4500 лет. Реконструированные нами высоты вертикальных (4-8 м) и горизонтальных ($\leq 300-400$ м) заплесков выявленных палеоцунами примерно совпадают с аналогичными параметрами цунами 1969 г. На этом основании мы предположили, что большинство из выявленных нами цунами произошли от местных землетрясений с $M_w \sim 7.5 \pm 0.5$. Возможно, эти цунамигенные землетрясения по механизму являются подводными аналогами недавнего Олюторского землетрясения с $M_w = 7.6$, произошедшего 20 апреля 2006 г. в Корякии. Таким образом, северо-восточное побережье Камчатки так же цунамиопасно, как и остальная часть Курило - Камчатской дуги, и вероятность катастрофических событий в районе необходимо учитывать в будущем.

Работа проводилась при финансовой поддержке РФФИ, NSF, JSPS.

К ОЦЕНКЕ ЦУНАМИГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИМАГАДАНСКОЙ ЧАСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ (ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Б.М. Седов

Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, г. Магадан, sedov@nersi.ru

На побережье Охотского моря проживает более половины населения Магаданской области. При этом почти все населенные пункты, исключая лишь часть территории Магадана, располагаются в устьевых частях равнинных рек. Морской порт Нагаево, через который идет основной объем грузов области, построен на берегу, возвышающимся всего на несколько метров над уровнем моря, поверхность которого меняется в зависимости от приливно-отливных течений.

Несмотря на высокую сейсмичность северной части шельфа Охотского моря, за весь период существования порта, прибрежных поселков, сведений о цунами, достигавших, а тем более заливавших жилые или промышленные территории, не поступало. Тем не менее, рыбаками неоднократно отмечалось образование трещин во льду, выдавливание пробок льда из лунок, пробуренных для рыбной ловли, и ряд других явлений, которые связывались с цунами. Однако эти случаи не удавалось отнести к конкретным землетрясениям. Лишь одно повышение уровня воды в бухте Нагаева на 2 м может быть связано с землетрясением, эпицентр которого находится в Тихом океане. В прибрежных поселках, городе Магадане оно осталось незамеченным.

В последнее десятилетие на примагаданском шельфе Охотского моря произошло несколько землетрясений с энергией $K \geq 14$, которые в Магадане и прибрежных поселках ощущались сотрясением 4,5-5 баллов. Тем не менее, эти землетрясения не сопровождались цунами, по крайней мере, которые бы генерировали заметные по высоте волны. Для сейсмологии рассмотренный период не является из-за краткости представительным, и на основании имеющихся данных нельзя сделать вывод о том, что северное побережье является цунамибезопасным. При использовании исторических и археологических данных для северного побережья Охотского моря период оценки исторических и более древних цунами может быть увеличен в 50 раз.

На северном побережье Охотского моря прошлое русское население проживает с XVIII века. За этот период из прибрежных поселков сведений о цунами не поступало. В то же время в первом Каталоге землетрясений Российской Империи приведены сведения о макросейсмических проявлениях на побережье нескольких сильных землетрясений. В частности, как и на западном побережье Камчатки, сильное землетрясение 1747 г, описываемое С. П. Крашенинниковым, сопровождающееся необыкновенно большой отливной волной в Первом Курильском проливе между мысом Лопатка и о. Шумшу. Таким образом, за более чем 250-летний исторический период, как и на западной Камчатке, на северном побережье Охотского моря, несмотря на ряд ощущавшихся населением землетрясений, не только катастрофических, но и замеченных цунами не отмечалось ни разу. Рассмотренный период в 250 лет может рассматриваться как достаточный для вывода о том, что цунами невозможны на северном побережье.

Благодаря археологическим исследованиям неолитических стоянок, находящихся на побережье Охотского моря, период исследования палеоцунами может быть увеличен до 4000 лет. Например, на мысе Восточном, расположенном напротив островов три Брата, находится несколько десятков круглых углублений (ям), оставшихся от жилищ. Их обитатели занимались охотой на морских животных и рыбной ловлей. Согласно датировкам угля очагов, они были обитаемы, начиная со второго тысячелетия до новой эры. Ямы жилищ хорошо различимы в современном рельефе, а маломощные покровы, заполняющие их, не содержат несортированных отложений, характерных для цунами. Отсутствуют следы древних цунами и на других прибрежных неолитических стоянках. В заключение добавим, что наряду с историческими и археологическими данными об отсутствии на северном побережье Охотского моря следов древних цунами, нет и других бесспорных доказательств этих явлений в прошлом. Отсутствие следов цунами на таком по продолжительности периоде является основанием для заключения: северное побережье Охотского моря, несмотря на высокую сейсмическую активность шельфа и прилегающей суши, не является цунамиопасным. Такой вывод, основанный на историко-археологических аспектах этого явления, подтверждается сеймотектоническими исследованиями и морфологией дна моря в эпицентральных зонах, землетрясения на шельфе не генерировали цунами.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ОПАСНЫХ ЦУНАМИ И СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХООКЕАНСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОЯСА

Ю.К. Серафимова, В.А. Широков

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,
yulka@emsd.ru*

В работах [Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008] впервые исследовалось совместное влияние 19-летнего лунного прилива (T_1) и 22-летнего солнечного цикла Хейла (T_2) на возникновение сильных землетрясений и выявлена статистически значимая связь космических ритмов с сейсмичностью на примере 12 регионов Тихоокеанского и Альпийско-Гималайского тектонических поясов. Основываясь на этих результатах, разработан метод фазовых траекторий (МФТ), позволяющий рассчитывать на ближайшие два десятилетия «опасные» временные интервалы ожидаемых сильных событий и оценивать эффективность региональных долгосрочных прогнозов. В данной работе предпринята попытка применить МФТ для решения задачи долгосрочного прогноза опасных цунами на примере четырёх регионов северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса: Камчатки, Курильских и Алеутских островов, Японии.

В качестве исходных использовались данные о цунами с интенсивностью $I \geq 2.0$ [Соловьев, Го, 1974; http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml] за период 1870-2008 гг., при возникновении которых в ближней зоне побережья уровень заплеска морских волн, согласно принятой классификации, ориентировочно превышает 3-5 метров. При сравнении двумерных фазовых распределений сильных землетрясений в исследуемых регионах с аналогичными распределениями для «опасных» цунами, обнаружено, что в среднем 29% сильных землетрясений сопровождаются «опасными» цунами. «Опасные» цунами, вызванные землетрясениями с магнитудами M менее пороговой $M_{\text{пор}}$ для каждого региона в 38% случаев попадают в площадь выделенных ранее «опасных окон» (кластеров) или оказываются вне их (62%). Учитывая небольшой объём статистики для «опасных» цунами (всего 43 случая для четырех регионов), землетрясения и цунами для каждого региона были объединены с целью проведения анализа их совместного распределения на общей двумерной фазовой плоскости $\Phi(T_1, T_2)$. В выделенные в результате этой процедуры **новые** «опасные окна» попадают от 82% до 95% событий. Таким образом, комплексная схема оказалась более эффективной, чем схема только для «опасных» цунами.

В результате проведения этих исследований составлены комплексные долгосрочные прогнозы для сильных землетрясений и «опасных» цунами на период до 2025 года. Так, например, для Камчатки дан прогноз, согласно которому сейсмическая опасность, связанная одновременно с сильными землетрясениями с моментной магнитудой $M_{\text{пор}} \geq 7.6$ (глубина очагов до 100 км) и «опасными» цунами, приурочена к интервалу ноябрь 2014 – июль 2017 гг. Для Курильских островов ($M_{\text{пор}} \geq 7.5$) опасный период наступит чуть раньше – с августа 2012 г. по февраль 2016 г. Эффективность прогноза, по определению [Гусев, 1974], составляет 4.6 для Камчатки и 2.3 для Курильских островов. Поскольку для «случайного» прогнозирования эффективность в пределе равна единице, то величина эффективности показывает, во сколько раз предложенная методика прогноза лучше. Можно отметить, что для Камчатского региона представляют опасность и удалённые цунами из районов Курильских и Алеутских островов, а также Японии. Эта опасность определяется, в основном, долгосрочными прогнозами для этих регионов. Представляется целесообразным в дальнейшем реализовать предложенный подход для других высокосейсмичных и цунамиопасных регионов Земли.

ОПОРНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ «ЮЖНО-САХАЛИНСК» (РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ)

А.И. Спирин

Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, г. Южно-Сахалинск, spirin@seismo.sakhalin.ru

Опорная широкополосная цифровая сейсмическая станция (ОШЦСС) службы предупреждения о цунами (СПЦ) «Южно-Сахалинск» состоит из центральной станции (ЦС) и 4 выносных пунктов на удалении от 30 до 70 км от ЦС.

На ЦС установлен велосиметр Guralp CMG-3ESPВ и комплект сбора и обработки данных, а на выносных пунктах акселерометры Guralp CMG-5T.

За время опытной эксплуатации (октябрь 2008 г. - май 2009 г.) в оперативном режиме обработано одно местное землетрясение с магнитудой $M=4.5$ с эпицентром внутри минигруппы и десятки близких землетрясений, в т.ч. три с магнитудой $M=7.0$.

Результаты показали возможность использования ОШЦСС в СПЦ, но и выявили ряд недостатков. Минимальное число выносных пунктов и отсутствие доступа к данным локальной сети станций СФ ГС РАН в оперативном режиме резко снижает надежность системы во время обработки местных землетрясений (до 200 км), что не позволяет выполнить поставленную задачу с необходимой оперативностью. Это же справедливо и для Курильских землетрясений, даже при запуске ОШЦСС в г. Северо-Курильск и пгт. Южно-Курильск.

Различие методического обеспечения, заложенное в программах DIMAS, и использованное в службе срочных донесений и в оперативной каталоге СФ ГС РАН приводит к расхождениям в определяемых параметрах землетрясений не только за счёт использования различного набора станций.

Все это требует дальнейшей доработки системы на стадии опытной эксплуатации.

ГЕОИЗОСТАЗИЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЦУНАМИ: ОСНОВЫ ЦУНАМИГЕННОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

К.Ф. Тяпкин, М.М. Довбнич

Национальный горный университет, г. Днепрпетровск, Украина, dovbnichm@mail.ru

Несмотря на огромные достижения научно-технического прогресса, события последних лет убедительно свидетельствуют о недостаточном понимании такого опасного природного явления как цунами. Считается, что при сильных землетрясениях ($M > 8$) вероятность возникновения цунами очень высокая, однако далеко не всем сильным землетрясениям в океане сопутствуют волны цунами.

Используя явление *геоизостазии*, авторами получены ответы на некоторые вопросы о физической природе цунами. Понятие равновесного состояния всей Земли, как планеты (*геоизостазия*) впервые озвучено на XXVII сессии Международного геологического конгресса.

Согласно концепции геоизостазии, возникновению цунами должны удовлетворять следующие условия:

- *тектонические подвижки океанского дна должны иметь значительную вертикальную компоненту, так как именно вертикальные смещения блоков приводят к нарушению геоизостазии;*
- *вертикальные перемещения блоков должны происходить вдоль большого по длине разлома;*
- *землетрясение должно иметь протяженный очаг, так как значительное нарушение геоизостазии может произойти только в этом случае;*
- *должна быть высокая скорость вертикальных подвижек океанского дна, в противном случае произойдет плавная компенсация нарушения геоизостазии;*
- *данное условие автоматически выполняется, если речь идет о тектонических подвижках в результате землетрясения.*

Как следствие, одним из важнейших вопросов при изучении и прогнозировании цунами является исследование и прогнозирование механизмов очагов землетрясений. Возможный путь предупреждения рассматриваемых катастрофических явлений – **цунамигенное районирование** – прогноз места возникновения землетрясений в океане с определенным механизмом. Решение данной проблемы надо искать путем изучения распределения напряжений в тектоносфере во времени и пространстве.

На основе анализа данных спутниковой и наземной гравиметрии, авторами разработан подход расчета напряжений, обусловленных нарушением геоизостазии. Установлена взаимосвязь между геоизостатическими напряжениями, очагами землетрясений и их механизмом. Показаны примеры таких исследований для регионов, где сильные землетрясения вызвали цунами (*isl. Sumatra, 26.12.2004, 28.03.2005; isl. Solomon, 01.04.2007*) и где цунами отсутствовали (*isl. Macquarie, 23.12.2004*).

Сделан вывод, что комплексный анализ тектоники, напряженного состояния, механизмов очагов землетрясений и влияния космогонических факторов является основой подобного рода исследований, позволяющих сократить как пропуски катастрофических явлений, так и уменьшить вероятность ложных тревог.

ПЕРВАЯ ОЧЕРЕДЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ

**В.Н. Чебров¹, А.А. Гусев^{1,2}, Д.В. Дроздин¹, В.Н. Мишаткин³,
В.А. Сергеев¹, Ю.В. Шевченко¹, Д.В. Чебров¹**

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gusev@emsd.ru

³ Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, vmish@gstras.ru

До последнего времени службу цунами на Дальнем Востоке России несли всего 3 сейсмические станции «Петропавловск-Камчатский», «Южно-Сахалинск» и «Северо-Курильск», входящие в систему наблюдений ГС РАН и оснащенные устаревшим специальным аналоговым оборудованием. На станциях «Петропавловск-Камчатский» и «Южно-Сахалинск» при оценке параметров землетрясений кроме аналоговых приборов привлекались данные широкополосных станций IRIS. Основной недостаток – решение об опасности возникновения цунами от возникшего землетрясения принималось каждой сейсмической станцией автономно, обработка данных по сети станций не проводилась.

С 2006 г. ГС РАН ведет в рамках ФЦП "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года" НИОКР по проекту "Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами". Разработаны концепция развития системы сейсмологических наблюдений (сейсмической подсистемы) для СПЦ на Дальнем Востоке России (СП СПЦ), задания на создание программно-технических комплексов сейсмических станций для службы предупреждения о цунами, выполнены работы по созданию методического и информационного обеспечения сейсмической подсистемы СПЦ.

В 2008 г. введена в опытную эксплуатацию первая очередь сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами (СП СПЦ), которая включает в себя: созданные специализированные станции - опорные «Петропавловск» и «Южно-Сахалинск» с группами акселерометров, вспомогательную «Владивосток»; региональный информационно-обрабатывающий центр «Петропавловск». Каждая специализированная станция оснащена широкополосным велосиметром Guralp - CMG-3 (120 с). Опорная станция «Петропавловск» представляет собой сейсмическую группу с расстояниями до выносных пунктов 10-25 км. Опорная станция «Южно-Сахалинск» представляет собой сейсмическую группу с расстояниями до выносных пунктов 25- 70 км. Региональный ИОЦ «Петропавловск» организован на базе вычислительной сети КФ ГС РАН.

На этапе опытной эксплуатации первой очереди СП СПЦ проводится отработка созданных алгоритмов и ПО оценки параметров землетрясений в автоматическом и автоматизированном режиме в ближней и дальней зоне (до 200 км от станции и > 200 км) как на уровне опорной станции, так и на уровне ИОЦ.

Опытная эксплуатация 1-й очереди сейсмической подсистемы в составе: ОШЦСС «Петропавловск», ОШЦСС «Южно-Сахалинск», ВШЦСС «Владивосток», ИОЦ «Петропавловск» проводится в соответствии с Приказом ГС РАН № 1а от 13 января 2009 г. и утвержденной ГС РАН организационной структурой 1-й очереди сейсмической подсистемы, а также руководствуясь: программой опытной эксплуатации первой очереди сейсмической подсистемы и ее частей; временным руководством пользователя пакетом программ первой очереди СПСПЦ (ПП СПСПЦ-1); руководствами по эксплуатации специализированных сейсмических станций.

Персоналом опорных станций «Петропавловск» и «Южно-Сахалинск» ведутся журналы работы по форме заданной в программе опытной эксплуатации.

Персоналом станции «Петропавловск» с 15 ноября 2008 г. по настоящее время в режиме реального времени обработано более 300 землетрясений Дальнего Востока России и мира с магнитуды более 4.0. Персоналом станции Южно-Сахалинск с января 2009 г. по настоящее время в режиме реального времени обработано около 200 землетрясений Дальнего Востока России и мира с магнитуды более 4.0.

По предварительным результатам опытной эксплуатации первой очереди СП СПЦ время реакции на сильные землетрясения ($M > 6.0$) с эпицентральным расстоянием до 200 км от станции не превышает 7 минут (оценка их параметров и готовность тревожного сообщения к рассылке по схеме оповещения).

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАПИСЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ

Д.В. Чебров¹, А.А. Гусев^{1,2}

¹ Камчатский филиал Учреждения Российской академии наук Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, danila@emsd.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии РАН, Петропавловск-Камчатский, gusev@emsd.ru

Важным элементом новой системы предупреждения цунами для Дальнего Востока России являются средства автоматической обработки и анализа сейсмических сигналов. Такая обработка производится с помощью специального программного комплекса Быстрой Локализации Источника Цунами «БЛИЦ». БЛИЦ предназначен для оперативной оценки параметров очагов землетрясений с целью дальнейшей оценки цунамигенности события. При проектировании программного комплекса, мы исходили из таких условий работы системы как:

- определенная географическая зона ответственности;
- достаточно большая магнитуда анализируемого события;
- ограничения по времени принятия решения.

Зона ответственности охватывает, помимо территории России, прилегающие акватории Берингова и Японского морей и Тихого океана. Поскольку система нацелена на обнаружение цунамигенных землетрясений, можно задать нижний порог магнитуд обрабатываемых событий. Это позволяет упростить и сделать более надежными алгоритмы обработки, в которых можно предполагать, что отношение сигнал/шум всегда не мало. Для сокращения времени обработки используется система алгоритмов оценки параметров по неполным данным. Быстрая оценка параметров события и формирование сообщения для рассылки происходит не позже, чем через шесть минут после обнаружения события сетью. Система БЛИЦ тестировалась на архивных записях за период с 1993 года по настоящее время. Оказалось, что первая оценка параметров обычно не сильно отличается от окончательной, которая формируется после окончания регистрации землетрясения на всех станциях сети.

Предполагается, что система автоматической обработки должна работать самостоятельно (на одиночной станции), либо параллельно с оператором Информационно-Обрабатывающего Центра системы предупреждения о цунами. Оператору она предоставляет подробную и понятную информацию о ходе анализа данных, а также о причинах принятия того или иного решения. В настоящее время БЛИЦ работает в режиме опытной эксплуатации и производит оценку в реальном времени координат землетрясения и набора магнитуд. Для увеличения надежности подачи тревоги цунами при малом расстоянии очаг-станция разработан и внедрен региональный вариант 20-секундной магнитуды по поверхностным волнам $M_S(20)$.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ЦУНАМИ

В.М. Шершаков, И.П. Кузьминых, Д.А. Камаев, И.А. Зыскин

*Государственное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета,
г. Обнинск, Калужской области*

Модернизация российской системы предупреждения о цунами (СПЦ), осуществляется в соответствии с мероприятиями 18-22 ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ до 2010 года».

Основными компонентами СПЦ являются:

- сеть сейсмологических наблюдений;
- сеть гидрофизических (уровенных) наблюдений;
- центры предупреждения о цунами; сеть связи.

Модернизация СПЦ осуществляется по всем компонентам системы.

Сейсмологическая сеть – создаются и внедряются специализированные базовые и вспомогательные цифровые сейсмические станции (СС) – 8 СС, информационно-обрабатывающие центры – 3 центра, новые методы и алгоритмы групповой обработки сейсмических сигналов, обеспечивающие существенное повышение точности определения параметров землетрясений и прогнозирование их цунамигенности.

Гидрофизическая (уровенная) сеть – создаются и внедряются береговые автоматизированные посты (АП) для инструментальных измерений уровня и температуры воды – 18 АП, на 37 гидрометеорологических станциях, привлеченных к СПЦ, проводится техническое перевооружение, позволяющее обеспечить более высокий уровень наблюдений за проявлениями и последствиями цунами.

Центры предупреждения о цунами (ЦЦ) размещаются в г.г. Южно-Сахалинск, Петропавловск-Камчатский и Владивосток. Создаются и внедряются в каждом ЦЦ автоматизированные информационно-управляющие системы предупреждения о цунами (АИУСПЦ), которые обеспечивают на базе разработанной технологии принятия решений об угрозе цунами реализацию вновь разработанных регламентов работы ЦЦ, при этом обеспечивается, в том числе, обработка в режиме реального времени данных измерений АП для уверенного обнаружения волн цунами и расчета их характеристик – расчет времен подхода волн цунами и оценки возможных высот волн цунами в защищаемых пунктах. Обеспечивается также аппаратно-программное сопряжение АИУСПЦ с автоматизированной информационно-управляющей системой РСЧС для обеспечения своевременного оповещения организаций и населения об угрозе цунами на базе систем WiMAX, Р-166 и ОКСИОН.

Сеть связи СПЦ включает сеть низовой связи (сбор данных от сети АП и ГМС) и сеть связи верхнего уровня (обмен данными между ЦЦ, между ЦЦ и центрами СПЦ зарубежных стран, обмен данными со смежными системами). Сеть связи СПЦ для повышения надежности приема/передачи данных базируется на различных современных системах связи – наземных средствах связи и спутниковых системах связи (GlobalStar, VSAT, Inmarsat BGAN).

Проводимые мероприятия обеспечат существенное повышение эффективности функционирования СПЦ, в частности, снижение вероятностей пропуска и ложных тревог, сокращение времени на принятие решений и доведение сигналов и сообщений, обеспечение адресности предупреждений и т.п.

Работы молодых исследователей

ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЙ ГАЗОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

И.Д. Боярская, Д.В. Сирица

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский
denis-sirica@yandex.ru*

В аналитической химии под воспроизводимостью обычно понимается случайная ошибка определения содержания того или иного компонента, характеризующая «кучность» отдельных результатов измерений – степень их близости к среднему значению. В качестве численной меры воспроизводимости используется абсолютное или относительное стандартное отклонение, вычисляемое по нескольким анализам (параллельным определениям) одной и той же пробы. В таком виде оценка воспроизводимости является показателем качества химического анализа, а ее предельно допустимые величины для каждой конкретной методики даются в соответствующих нормативных документах (ГОСТы и т.п.).

В представленной работе понятие воспроизводимости трактуется в более широком смысле, как совокупность случайных погрешностей всего комплекса процедур, начиная с отбора пробы и кончая, собственно, определением в ней содержаний отдельных компонентов газового состава подземных вод. Знание суммарной величины относительной случайной ошибки необходимо для оценки «фоновому» уровня изменений того или иного показателя.

Оценка воспроизводимости проводилась по пробам, отобраным с 11 водопунктов (самоизливающихся скважин и источников), расположенных в окрестностях г. Петропавловска-Камчатского (Пиначево – 1 скважина и 4 источника, Морозная – 1 скважина, Хлебзавод – 1 скважина) и Верхне-Паратунского геотермального месторождения (4 скважины). Из каждой скважины (источника) было отобрано по 10 проб растворенного в воде газа. В каждой пробе анализировались содержания таких компонентов как: гелий (He), водород (H₂), кислород (O₂), азот (N₂), углекислый газ (CO₂), метан (CH₄), этан (C₂H₆), этилен (C₂H₄), пропан (C₃H₈), пропилен (C₃H₆), изо-бутан (iC₄H₁₀), н-бутан (nC₄H₁₀). Пробы анализировались хроматографическим методом на газовом хроматографе ЛХМ–8МД на базе Аналитического центра ИВиС ДВО РАН.

Отбор проб и химический состав газов определялся по методике МП–2ГХ (анализ проб растворенного газа в вулканических областях), разработанной ЦХЛ ИВ ДВО РАН от 2003 года.

По результатам химического анализа рассчитывались следующие статистические параметры: относительное стандартное отклонение, доверительный интервал, относительная (процентная) ошибка среднего значения. Кроме этого, с помощью критерия серий результаты анализа по каждому набору проб проверялись на независимость (наличие или отсутствие тренда).

Результаты работы могут быть использованы для оценки «фоновому» уровня изменений каждого из показателей газового состава подземных вод по каждому водопункту.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТКИ

В.Ю. Иванов, В.А. Касимова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vika@emsd.ru

Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) проводит организационные и научно-методические работы по созданию системы комплексных геофизических наблюдений на территории Камчатского края с целью мониторинга геологической среды и обеспечения прогноза сильных землетрясений и извержений вулканов. Основными элементами информационной системы комплексных геофизических наблюдений являются сети сейсмических станций, станций сильных движений, наблюдательные скважины, пункты электротеллурических и других видов геофизических наблюдений; телеметрические или иные средства передачи данных; система сбора, обработки, анализа геофизической информации и оповещения исполнительных органов власти о текущей сейсмической и вулканической опасности и прогнозах сильных землетрясений и извержений вулканов.

В настоящей работе представлен ГИС-проект, предназначенный для информационного обеспечения системы комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений на территории Камчатского края. ГИС-проект создан с использованием технологий ArcGIS. В нем собраны, организованы и визуализированы данные о сейсмических станциях и наблюдательных пунктах; реализована привязка топографической, геологической, тектонической, гидрогеологической и других карт к единой системе координат; осуществлен быстрый доступ к информации о пунктах и объектах. Данные по объектам и пунктам наблюдений представлены в таблицах, которые представляют собой базу геоданных, образованную посредством систематизации собранной информации. База геоданных состоит из атрибутивных таблиц, растровых изображений и слоев, которые разделяются на темы и подтемы. При отображении атрибутивных таблиц предусмотрена возможность просмотра содержания таблиц в целом, а также по отдельным объектам. Также имеется возможность представления таблиц атрибутов в компоновке карты.

Работа с картами различного качества первоначально включала в себя преобразование бумажных вариантов карт в растровые изображения и их привязку к единой системе координат. Имеется возможность использовать различные карты в сочетании друг с другом. В проекте реализована возможность отображения данных различными способами: отдельными символами, группами символов и различными цветовыми схемами. При построении окончательных вариантов карт используются компоновки, которые позволяют добавлять легенду, масштабную линейку, направление на север и другие необходимые элементы.

В настоящее время ГИС-проект включает набор тем, в т. ч. топографическую основу, гидрографию, данные о расположении пунктов по различным видам наблюдений, региональный каталог землетрясений; геологическую карту масштаба 1:200000, тектоническую, геоморфологическую карты и схемы аномалий магнитного и гравитационного полей масштаба 1:500000, а также контуры надежной регистрации землетрясений различных энергетических классов и границу планшета ответственности КФ ГС РАН. В состав базы геоданных включены основные данные об отображаемых объектах, в т. ч. их координаты и названия. Дополнительная информация об объектах представлена в таблицах, содержащих основные сведения о станциях, скважинах, вулканах, населенных пунктах, реках и др. На другую часть данных, представленных в отдельных файлах, организованы ссылки.

Информация в ГИС-проекте организована таким образом, чтобы было возможным идентифицировать объекты, предоставлять быстрый доступ к дополнительным данным об объектах и проводить различные аналитические процедуры. Также предусмотрены различные способы отображения данных для увеличения информативности карт, использованных при создании проекта.

Созданный проект предназначен для систематизации и графического отображения информации об объектах, таких как наблюдательные пункты, станции, скважины, контуры, населенные пункты, вулканы, реки, землетрясения и может эффективно использоваться для оценки состояния наблюдательной сети при проведении комплексного геофизического мониторинга территории Камчатского края.

ИНВЕРСИОННОЕ ITOUGH2-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ ЮЗ-5 И ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В КОРЯКСКО-АВАЧИНСКОМ ВУЛКАНОГЕННОМ БАССЕЙНЕ

А.В. Кирюхин¹, Г.Н. Копылова², Е.В. Черных¹

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, avk2@kscnet.ru*

²*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru*

Инверсионное iTOUGH2 моделирование использовано для воспроизведения режима изменений уровня воды в наблюдательной скважине ЮЗ-5, Камчатка, в период с 25.01.2007 г. по 20.02.2008 г. При моделировании использована радиально-цилиндрическая вычислительная сетка, включающая 8 слоев, каждый из которых состоит из 100 радиально-концентрических элементов. Радиус модели 1000 м, высота 800 м. Скважина ЮЗ-5 размещается в центре модельного цилиндра. До осуществления инверсионного моделирования исходные данные по часовым вариациям уровня были очищены от систематической компоненты, связанной с сезонными изменениями условий водного питания и разгрузки. Вариации уровня воды переведены в изменения давления.

При осуществлении инверсионного моделирования вариации атмосферного давления рассматриваются в качестве изменяющегося во времени граничного условия по давлению (зависимое от времени граничное условие Дирихле), заданного на поверхности земли и на устье скважины ЮЗ-5. По результатам моделирования установлено, что проницаемость водовмещающих пород является более чувствительным модельным параметром системы скважина-резервуар, по сравнению с их пористостью и сжимаемостью. Оцениваемое значение проницаемости составило 10^{-3} мД. Обнаружено, что изменения барометрического давления распространяются в резервуар непосредственно через устье скважины.

ГИС-модель Корякско-Авачинской группы вулканов использована для выявления потенциальных продуктивных резервуаров подземных вод. В настоящее время в этом районе разбурены Пиначевское месторождение термальных вод и Быстринское месторождение пресных вод. По сейсмическим данным предполагаются наличие резервуара «А» в конусе вулкана Авачинский, а также наличие в юго-западной части вулкана Корякский в диапазоне глубин 2-5 км резервуара «К», сообщающегося по зоне северо-северо-восточного простираения с Налычевской гидротермальной системой.

Инверсионный анализ по данным гидрогеологических наблюдений в существующих скважинах необходим для объективной оценки фильтрационно-емкостных параметров Корякско-Авачинского вулканогенного бассейна, оценки условий формирования водных и тепловых ресурсов, прогноза сейсмической и вулканической опасности.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РУТИННОЙ ОБРАБОТКИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «SEISAN»

А.В. Коновалов, А.А. Степнов, А.В. Гаврилов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, konovalov@imgg.ru

Успешно реализуется проект мониторинга естественной и техногенной сейсмичности на севере о. Сахалин, в том числе в его шельфовой зоне. Впервые после Невегайского землетрясения 1995 г. развернута локальная сеть цифровых сейсмических станций на базе короткопериодных трехкомпонентных сейсмометров, обладающая высокими регистрационными возможностями – средняя дальность регистрации сейсмических событий с магнитудами 1.5-2.0 составляет около 50 км. За инструментальный период цифровых сейсмологических наблюдений с сентября 2006 г. по март 2009 г. зарегистрировано более 500 сейсмических событий с магнитудой $M \geq 1$, основная часть которых локализована в очаговой зоне Невегайского землетрясения. Впервые получены результаты непрерывного мониторинга сейсмического режима, которые обсуждаются в данном докладе.

Опыт, накопленный за несколько лет практической работы с цифровыми данными, позволил выявить основные проблемы при обработке и анализе сейсмических данных. Регистрируемые данные, как правило, хранятся на персональном компьютере аналитика и обрабатываются различным набором программ, зачастую недостаточно хорошо отлаженных или не оптимизированных под выполнение необходимых задач. При такой организации рабочего процесса отсутствует возможность автоматизировать выполнение рутинных задач из-за разнородности прикладных программ, форматов данных и т.д. Дополнительные сложности возникают, когда с одними и теми же данными работает группа сейсмологов, когда у каждого специалиста-интерпретатора хранятся копии нужной информации и поэтому довольно трудно отследить прогресс модификаций данных. Решение описанных выше проблем может быть найдено путем интегрирования системы обработки сейсмической информации с единой базой данных, хранящей в себе как инструментальные данные, так и обработанный материал.

Вместе с тем, бурный прогресс в развитии методов обработки и интерпретации инструментальных данных в мировой практике позволяет адаптировать наиболее перспективные методы анализа сейсмической информации к условиям существующих и развивающихся систем сейсмологических наблюдений на территории Сахалинской области. Ключевым элементом данной системы является рабочее место для первичной обработки цифровых данных, автоматизация которого открывает качественно иной уровень рутинной обработки волновых форм и последующего анализа сейсмической информации.

Кроме требований функционального характера, к системе предъявляются требования общего плана: кроссплатформенность (запуск на различных операционных системах), приемлемое ресурсопотребление, доступность (возможность бесплатного использования и обновления), возможность модификации исходного кода программ, модульность (легкое добавление новых или модифицированных компонентов системы), сетевая поддержка (работа в группе).

Такая принципиальная модель реализована в пакете программ «SEISAN». Отдельная привлекательность «SEISAN» заключается в возможности использования современных методов детального анализа сейсмической информации, которые работают с форматом базы данных. Удобно реализован процесс одновременной многоканальной обработки как непрерывных данных, так и отдельных фрагментов записей землетрясений и последующего определения очаговых параметров. На высоком уровне реализованы графические приложения, визуализация сейсмостатистических данных и т.д.

Авторами была проделана работа по адаптации «SEISAN» для обработки и интерпретации цифровых данных в условиях системы сейсмологических наблюдений на Северном Сахалине, в частности, автоматизирована рутинная работа по первичной обработке инструментальных данных. Создана единая база инструментальных и обработанных данных. В докладе представлены основные этапы автоматизации процессов сбора, передачи, обработки и хранения данных на примере материалов, накопленных за время работы локальной сети сейсмического мониторинга.

ОЦЕНКА ПОЛОИДАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЯДРЕ ПО НАБЛЮДАЕМОМУ ПОЛЮ

Л.К. Крутьева¹, Г.М. Водинчар²

¹Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка,
Камчатский край, kruteva_lu@mail.ru

²Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский,
gvodinchar@yandex.ru

Наблюдаемое геомагнитное поле обычно описывают эмпирической моделью референтного поля. При этом предполагается, что источники поля расположены внутри Земли, и на поверхности поле безвихревое. Коэффициенты в разложении его потенциала по сферическим функциям (коэффициенты Гаусса g_n^m и h_n^m), вычисляемые по данным всемирной сети обсерваторий каждые пять лет, определяют эту модель.

В различных вариантах теории геодинamo для магнитного поля полагают нулевой ротор на границе ядро-мантия (вакуумные граничные условия). Тем самым источники главного поля локализируются ядром и за его пределами (в том числе в мантии и коре) поле безвихревое.

В настоящем докладе рассматривается возможность оценки полоидальной составляющей поля в ядре по референтному полю. Для этого предлагается экстраполировать референтную модель на границу ядро-мантия:

$$\mathbf{B}^{ref} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{r_C}{r_E} \right)^{n+2} \sum_{m=-n}^n A_n^m \left[(n+1) Y_n^m \mathbf{e}_r - \frac{\partial Y_n^m}{\partial \theta} \mathbf{e}_{\theta} - \frac{m}{\sin \theta} Y_n^m \mathbf{e}_{\varphi} \right]. \quad (1)$$

Здесь r_C и r_E – радиусы ядра и Земли, Y_n^m – сферические функции в среднеквадратической нормировке, $A_n^m = g_n^m N_n^m / L_n^m$, $A_n^m = h_n^m N_n^m / L_n^m$, $m = 0 \dots n$, N_n^m – нормировочный коэффициент Шмидта, L_n^m – среднеквадратический нормировочный коэффициент.

Поле в ядре представляется линейной комбинацией тороидальных ${}_k \mathbf{T}_n^m = \text{rot} (R_{kn}^T Y_n^m \mathbf{r})$ и полоидальных ${}_k \mathbf{P}_n^m = \text{rot} \text{rot} (R_{kn}^P Y_n^m \mathbf{r})$ компонент с неизвестными коэффициентами ${}_k \alpha_n^m$ и ${}_k \beta_n^m$, соответственно. Здесь $R_{kn}^T(r)$ и $R_{kn}^P(r)$ – некоторые полные системы функций на отрезке $[0; r_C]$. Например, их можно искать так, чтобы ${}_k \mathbf{T}_n^m$ и ${}_k \mathbf{P}_n^m$ были бы собственными полями оператора Лапласа. При этом граничное условие $\text{rot} {}_k \mathbf{T}_n^m(r=r_C) = \mathbf{0}$ приводит к тому, что сами поля ${}_k \mathbf{T}_n^m$ нулевые на границе ядро-мантия. Поэтому оценить их коэффициенты ${}_k \alpha_n^m$ по модели (1) невозможно.

Коэффициенты полоидальных компонент можно оценить, проведя конечное усечение рядов по n и k , сохранив крупномасштабные компоненты разложений. Минимизация функционала невязки

$$\oint_{r=r_C} \left[\sum_{k,n,m} {}_k \beta_n^m {}_k \mathbf{P}_n^m(r=r_C) - \mathbf{B}^{ref} \right]^2 dS$$

сводится к системе линейных уравнений относительно ${}_k \beta_n^m$. С учетом известной ортогональности полей ${}_k \mathbf{P}_n^m$ на сфере, система распадается на подсистемы для каждой комбинации n и m . Можно доказать, что каждая такая подсистема имеет ранг 2. Поэтому, при фиксированных n и m , можно оценить коэффициенты двух полоидальных компонент, соответствующих двум значениям k . Индекс k обычно соответствует числу нулей функции $R_{kn}^T(r)$ вдоль радиуса, тем самым определяя радиальный масштаб компоненты ${}_k \mathbf{P}_n^m$.

В докладе приводятся результаты оценивания коэффициентов ${}_k \beta_n^m$ и относительного вклада различных ${}_k \mathbf{P}_n^m$ в энергию поля.

ЭФФЕКТИВНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТСКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЫ

А.М. Макеев, А.Н. Кролевец

*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский,
an@kamgu.ru*

Разломы геофизической среды могут выявляться по группированию гипоцентров землетрясений. К настоящему времени предложен ряд моделей структурного строения среды, в которых среда состоит из блоков с плоскими границами, которые можно трактовать как разломы. В таком случае, выявление группирований гипоцентров землетрясений на плоских границах будет указывать на грани блоков. Поиск плоскостей группирования «вручную», без специальной программы, является исключительно трудоёмким. Оптимизация процесса возможна лишь при наличии эффективной и надёжной компьютерной программы. Целью работы было создание алгоритма и реализующей его программы. Однако все предыдущие программы оказывались неэффективными в исполнении. Слабым местом было небольшое число гипоцентров (не более полусотни), которые могли одновременно обрабатываться за разумное время. Усовершенствованный алгоритм позволяет за разумное время одновременно обрабатывать данные до 1000 гипоцентров. Алгоритм включает следующие блоки. Во-первых, координаты гипоцентров регионального каталога землетрясений Камчатского филиала ГС РАН пересчитываются из географических координат в декартовы. Начало системы координат помещено в точку на поверхности Земли с географическими координатами $\varphi=53.196^\circ$ N, $\lambda=162^\circ$ E. Оси направлены по сторонам света и к зениту. Из каталога для поиска плоскостей группирования отбираются события по пространственной близости и/или принадлежащие выбранному диапазону магнитуд (энергетических классов). Данные об этих событиях вместе с рассчитанными декартовыми координатами заносятся в оперативную память. Здесь же программа запрашивает критерии поиска. Среди них – минимальное число гипоцентров N , по которым должна быть установлена плоскость и диапазон допустимых отклонений гипоцентров от плоскости D . Во-вторых, осуществляется перебор всех возможных дискретных ориентаций плоскостей группирования. На каждую ориентацию приходится телесный угол около $7 \cdot 10^{-5}$ стерadian. Далее, для каждой плоскости возможной выбранной ориентации, вычисляются расстояния от гипоцентров отобранных событий до этой плоскости. Для каждой тестируемой ориентации программа заново заполняет динамический список, в который заносятся данные о событиях: порядковые номера в каталоге, вычисленные расстояния до гипоцентров, указатель на следующий элемент списка; при вычислениях для каждой следующей ориентации плоскости данный список очищается и заполняется заново. Занесение данных сопровождается одновременной их сортировкой в порядке возрастания расстояний. Для сортировки, при вставке очередного элемента, список перебирается, начиная с минимальных расстояний, до тех пор, пока не будет найдена соответствующая позиция для добавления. Именно таким способом удается обойти затратную по вычислительным ресурсам процедуру отдельной сортировки готового списка. Далее устанавливается, попадает ли на какую-либо плоскость, параллельную тестируемой, группа гипоцентров. Это сводится к установлению того, имеется ли группа из не менее чем N гипоцентров с близкими значениями расстояний в пределах $2D$. Если такая группа обнаруживается, то информация о каждом из событий группы в совокупности заносится в отдельный динамический список, который дополняется рассчитанными данными о координатах нормали, расстоянии до плоскости от начала координат, номерах гипоцентров в каталоге землетрясений с их отклонениями от плоскости и указателем на следующий элемент списка. В-третьих, выполняется «чистка» списка групп гипоцентров, попадающих на плоскости. Для такой «чистки» предусмотрен ряд настроек. Следует исключить повторяющиеся записи; исключить записи, которые являются подмножеством других более полных; исключить записи о группах, указывающие на плоскости строго горизонтальной ориентации, и ориентациях близких к горизонтальной (это устанавливается заданием граничного значения угла падения плоскости). Программа позволяет визуализировать найденные плоскости, т. е. рассматривать в разных масштабах их проекции на координатные плоскости. Предусмотрена возможность вывода данных в формате файлов MS Excel. С помощью программы выявлен ряд плоскостей. В настоящее время анализируется их взаимное пространственное расположение для определения структуры геофизической среды.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОДНОМЕРНЫХ СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ, РАСЧИТАННЫХ ДЛЯ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА, НА РЕЗУЛЬТАТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КООРДИНАТ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

З.А. Назарова, С.Я. Дрознина, С.Л. Сеньюков, Д.В. Дрознин

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, sva04@emsd.ru

Данная работа является продолжением нескольких поэтапно проведенных работ по рассмотрению факторов, которые оказывают влияние на определение основных параметров землетрясений (координат положения гипоцентров). Наиболее важными из них, с которыми работает лаборатория ИСиВА, являются программа обработки сейсмических сигналов и одномерная скоростная модель среды, заложенная в программу.

Для определения положений гипоцентров землетрясений на сегодняшний день необходимо учитывать результаты современных исследований скоростной структуры региона новыми методами.

Нами проведен сравнительный анализ, который заключался в том, чтобы определить, как повлияет замена используемого годографа на другие имеющиеся варианты годографов при определении координат положения землетрясений. Есть ли в этом необходимость? И насколько существенно изменится результат определения параметров гипоцентров.

Были рассмотрены реальные тектонические землетрясения, которые входят в район зоны планшета ответственности КФ ГС РАН. При выборе данных выполнялось необходимое условие, чтобы записи времен вступлений были четкими. Рассматривались землетрясения с глубинами гипоцентров до 160 км.

Исследование было проведено для программы DIMAS (автор Д.В. Дрознин), которая применяется в лаборатории ИСиВА в оперативной обработке, и с 2010 г. планируется ее использовать для создания окончательного каталога землетрясений Камчатки.

В программу DIMAS закладывались годографы, рассчитанные для Камчатки: 1) региональный годограф И.П. Кузина (применяется в оперативной и окончательной обработке), 2) годограф А. Gorbatov, 1999, 3) годограф, разработанный европейской группой авторов под руководством Е. Кислинга (Е. Kissling et al., 2001, 2004) и 4) IASP91 (мировой годограф). Оценивалось влияние одномерных скоростных моделей на результат определения положений гипоцентров.

Для всех полученных нами решений в программе DIMAS среднее значение ошибок в плане и по глубине варьируется в интервале 30 – 33 км. Минимальные значения ошибок составляют 4 - 9 км, а максимальные достигают 70 – 112 км. Полученные оценки дали незначительные расхождения в результатах определения положения координат гипоцентров, что является хорошим, подтверждающим результатом для данных оперативного каталога КФ ГС РАН.

ИЗМЕНЕНИЯ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПОПАДАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ЗАДАННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ГЛУБИНЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КЛАССА, ВЫЧИСЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ КАТАЛОГА КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.В. Павлов

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, alpvl@yandex.ru*

На основе теоретико-вероятностного подхода к каталогу землетрясений Камчатского региона для восьми сейсмоактивных областей, расположенных вдоль восточного побережья Камчатки, были вычислены в частотном представлении вероятности попадания сейсмических событий в заданные интервалы глубины $\Delta h=1$ км и энергетического класса $\Delta k=1$. Для анализа были выбраны землетрясения с глубинами до 70 км и энергетическим классом $K \geq 9$. Вероятности рассчитывались с временным окном $\Delta T=1$ год и скользящим шагом 1 год за период с 01.01.1978 по 31.12.2008 гг.

Рассматривая вероятность попадания сейсмического события в некоторый интервал Δh и Δk как случайную величину, для каждого временного периода были вычислены средние значения вероятности $p^*(\Delta h, \Delta k)$. Для этих значений вычислены доверительные интервалы I_β , накрывающие их с вероятностью $\beta=95\%$. Был проведён анализ значений величины $\varepsilon_\beta(\Delta h, \Delta k)$, равной половине доверительного интервала и прямо пропорциональной среднеквадратичному отклонению вероятности $p^*(\Delta h, \Delta k)$, в периоды, предшествующие землетрясениям с классом $K_s \geq 14$. Было замечено, что в преддверии Кроноцкого землетрясения (05.12.1997, $K_s=14,9$, $h=4$ км) произошло увеличение значений $\varepsilon_\beta(\Delta h, \Delta k)$ для глубин 5 – 10 км.

СВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ С НЕКОТОРЫМИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

О.В. Пономарева

*Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский,
ponomareva_ov@list.ru*

Исследования вариаций гравитационной постоянной (ГП) позволяют сделать вывод о переменности ГП, связанной не только с галактическими процессами и текущими изменениями в конфигурации планет Солнечной системы (СС), но и с влиянием гравитационного поля планет на динамику формы Земли (квадрупольное изменение формы Земли под воздействием гравитационных волн планет СС).

Гравитационные массы, движущиеся с переменным ускорением (при движении планет по «кеплеровским» орбитам ускорение всегда переменное), излучают гравитационные волны. Воздействуя на тела, гравитационные волны вызывают деформацию последних.

Исходя из особенностей квадрупольного характера влияния гравитационной волны на тела, через которые она проходит, Земля будет подвергаться достаточно сложным деформациям, при этом при наблюдении деформаций по направлению движения волны, сжатие с полюсов и, соответственно, растяжение в экваторе будет происходить не строго горизонтально, а под углом 45° . Если учесть вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, то становится ясно, сколь сложный характер деформаций она будет претерпевать под воздействием гравитационных волн.

Планеты СС были условно разделены на две группы: находящиеся между Землей и Солнцем – Венераианская группа; и находящиеся по другую сторону орбиты Земли – Юпитерианская группа.

В настоящем исследовании были рассчитаны уравнения орбитального движения барицентра каждой из планетных групп относительно Земли; выведены уравнения, описывающие изменение во времени гравитационного потенциала этих барицентров; определены параметры синодического движения барицентров относительно друг друга. В частности, когда Земля находится на одной прямой с барицентрами планетных групп, подвергаясь деформации под воздействием последних (особенно, когда Земля попадает в положение между барицентрами с периодом $T_{\text{снд}}=3.28$ года и как бы «растягивается» ими).

Такой барицентрический подход позволил перейти к представлению барицентров планетных групп как объектов с переменной во времени массой, а в случае «ньютоновского» подхода объекты с переменной массой сами являются генераторами гравитационных волн.

Этот же период $T=3.28$ года присутствует и в периодограммах вариаций ГП, и в периодограммах сейсмической активности (СА) Земли.

Рассчитаны временные ряды за период 1810-2310 гг. значений «ньютоновой» силы, действующей между барицентрами и Землей. Проведен Фурье-анализ полученных временных рядов.

Для сравнения проведен Фурье-анализ следующих временных рядов: СА наиболее главных тектонических плит; периодического движения полюса (ПДП) Земли и LOD (length of day).

Дана качественная оценка взаимосвязи вариаций ГП с СА, ПДП Земли и LOD, а также определены при помощи корреляционного анализа периоды, для которых целесообразно построение прогнозных моделей сейсмических событий.

Сравнение периодограмм вариаций ГП и СА некоторых регионов Земли (Аляска и Сан-Андреас – с одной стороны, Европа – с другой) говорит о видимой взаимосвязи между вариациями ГП и вызываемыми ими сейсмическими процессами с малыми значениями магнитуд.

Сравнительный анализ периодограмм вариаций ГП и СА правой окраины плиты Наска, выполненный для различных интервалов магнитуд, также выявил взаимосвязь между вариациями ГП и связанной с ними СА со средними и большими значениями магнитуд землетрясений.

Обнаружена хорошая корреляция вариаций ГП со значениями координаты X_p дрейфа среднего полюса Земли.

Сравнительный анализ периодограмм вариаций ГП и LOD выявляет взаимосвязь исследуемых процессов.

Рассмотрена модель влияния гравитационных волн, излучаемых барицентрами планетных групп СС, на изменение формы Земли; что, в свою очередь, связано с вариациями ГП, некоторыми геодинимическими показателями: ПДП и LOD, и СА Земли.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЯ АКТИВИЗАЦИЙ НА ВУЛКАНЕ БЕЗЫМЯННЫЙ В 2007-2008 ГГ. ПО ДАННЫМ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ И ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНЦИЙ

М.Ю. Рагунович^{1,2}, Т.Ю. Кожевникова²

¹ Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, *mgeo87@mail.ru*

² Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, *sva02@emsd.ru*

Вулкан Безымянный – один из активнейших вулканов Камчатки. Он расположен в центральной части Ключевской группы к юго-западу от вулкана Ключевской. Координаты вершины 56° 04' с.ш., 160° 43' в.д. Абсолютная высота вулкана составляет 2869 м.

Вулкан расположен на верхнеплейстоценовой толще вулкана Камень, представляющей собой переслаивание базальтов и андезито-базальтов мощностью до 1300 м.

Последнее катастрофическое извержение вулкана произошло 30 марта 1956 г., после 900-1000 летнего периода покоя. После этого вулкан извергается 1-2 раза в год.

В 2006-2007 гг. в рамках проекта «PIRE» вблизи вулкана Безымянный были установлены новые радиотелеметрические станции (BZM, KIR, BZG, BZW), что уплотнило сеть в районе Ключевской группы вулканов.

Также в районе вулкана Безымянный установлены широкополосные станции с трехканальным сейсмическим регистратором Quanterra Q-330, трехкомпонентным широкополосным сейсмометром Guralp и микробарографом. Установка широкополосных станций позволяет исследовать сигналы в более широком диапазоне частот, в том числе и акустические сигналы.

В данной работе проведено детальное исследование извержений вулкана в 2007-2008 гг. по данным радиотелеметрических и широкополосных станций. Изучены динамические характеристики сейсмических сигналов в широком спектре частот. Изучены миграции гипоцентров вулканических землетрясений при дополнении данными широкополосных станций Q-330 данных сети РТСС. Произведен поиск взаимосвязи вида, спектрального состава и интенсивности сейсмических сигналов с данными визуальных и спутниковых наблюдений. Впервые проведен анализ записей инфразвукового канала и сделана попытка их интерпретации во взаимосвязи с комплексом других данных.

В результате проведенной работы получена дополнительная информация для установления взаимосвязи между сейсмическими сигналами, данными инфразвукового канала, видео и спутниковых наблюдений с целью определения наличия пела в выбросах, наличием и мощностью пирокластических потоков по сейсмическим записям сети РТСС. Проверена возможность обработки землетрясений с вулкана Безымянный на фоне вулканического дрожания вулкана Ключевской. Сделаны выводы о развитии и оптимизации существующей сети РТСС в районе вулкана Безымянный. Проведена подготовительная работа для создания в дальнейшем базы данных эталонных сейсмических сигналов вулкана Безымянный.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ В 1984-2009 ГГ.

О.В. Соболевская

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006,
sva06@emsd.ru*

Вулкан Горелый (52° 33'с.ш., 158° 02' в.д., абс. высота вершины 1829 м) – один из двух (вместе с вулканом Мутновский) действующих вулканов Мутновского геотермального района. Современная постройка представлена тремя слившимися конусами, которые в виде хребта вытянуты в 3-СЗ направлении. Абсолютная высота центрального конуса 1829 м. Вулкан расположен в непосредственной близости от городов Петропавловск-Камчатский, Елизово и Вилучинск.

Мониторинг активности вулкана Горелый и остальных действующих вулканов Камчатки проводится КФ ГС РАН с целью оценки вулканической опасности. В настоящее время мониторинг вулканической активности основывается на данных трех видов дистанционных наблюдений:

1) сейсмический мониторинг на основе обработки и интерпретации данных автоматических телеметрических сейсмических станций; 2) визуальные и видео наблюдения; 3) спутниковый мониторинг термальных аномалий и пепловых выбросов на основе обработки и интерпретации данных датчика AVHRR спутников NOAA.

Ближайшая телеметрическая сейсмическая станция «GRL» была установлена 17.04.1981 г. и расположена в 4 км от кратера вулкана. До 2008 г. это была единственная сейсмическая станция в непосредственной близости от вулкана. Минимальный уровень регистрации по этой станции соответствовал энергетическому классу землетрясений $K_S = 2.2$. Теоретический уровень надежной регистрации по трем ближайшим станциям соответствовал классу землетрясений $K_S = 6.0$.

Вулкан Горелый последний раз извергался в период 1984-1985 гг. Активизация деятельности вулкана началась после сейсмической подготовки и проявилась в усилении фумарольной активности и появлении редких, слабо нагруженных пеплом паро-газовых выбросов на высоту до 1.5-2 км над кратером. Сейсмическая подготовка извержения началась с вулканического дрожания и продолжилась появлением взрывных вулканических землетрясений, которые фиксировались лишь в первой половине 1985 г. В начале августа стали регистрироваться местные вулканические землетрясения с $K_S \leq 6.0$.

На протяжении 20-ти лет сейсмичность в районе вулкана не превышала обычный, фоновый уровень. При оперативной обработке сейсмической информации формально принято, что сейсмичность является выше фоновой, если: 1) из района вулкана зарегистрировано более пяти землетрясений с $K_S \geq 4.0$ или больше двух землетрясений с $K_S \geq 5.0$ за сутки; 2) зарегистрировано свыше 100 событий по данным ближайшей сеймостанции; 3) амплитуда вулканического дрожания становится свыше 0.5 мкм/с; 4) зафиксирована термальная аномалия.

С весны 2007 г. в районе вулканов Горелый и Мутновский регистрировалась повышенная сейсмичность в виде вулканического дрожания, амплитуда которого достигала 2 мкм/с по станции «GRL». Установка летом 2008 г. в этом районе новых станций «MTV» и «ASA» однозначно определила принадлежность вулканического дрожания к вулкану Горелый, по крайней мере, в декабре 2008 г, а также позволила снизить теоретический уровень надежной регистрации сейсмических событий по трем станциям с $K_S = 6.0$ до $K_S = 3.5$.

Количество сейсмических событий в районе вулкана резко возросло с начала марта 2009 г. В феврале регистрировалось около сорока землетрясений с $K_S \geq 4.0$ (максимальная величина $K_S = 7.4$) за сутки. При оперативной обработке сейсмические события делятся на типы вулканических землетрясений по классификации П.И. Токарева, адаптированной к цифровой обработке.

По визуальным данным, в период 2008 - март 2009 гг. на вулкане наблюдалась лишь слабая парогазовая деятельность.

МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИЛИВОВ НА ТОКИ В МАГНИТОСФЕРЕ

О.В. Шереметьева

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с.Паратунка,
sheremolga@yandex.ru*

Естественное магнитное поле Земли испытывает постоянные возмущения. Суммарный регистрируемый эффект геомагнитных вариаций зависит как от процессов планетарного масштаба, так и от локальных процессов. В работе использовалась параболоидная модель магнитного поля и был рассчитан отклик магнитосферных токовых систем на приливное воздействие, приводящее к геомагнитным вариациям в планетарных масштабах.

В принятой модели считаем, что планетарные источники, т.е. кольцевые токи в магнитосфере, откликаются на приливные воздействия. На расстояниях менее 6-7 радиусов Земли магнитное поле можно считать почти дипольным, сферически симметричным и не зависящим от долготы. Асимметричный кольцевой ток в магнитосфере рассматривался как семейство пространственных токовых контуров в северном и южном полушариях, состоящих из участков частичного кольцевого тока в плоскости геомагнитного экватора на расстоянии четырех радиусов Земли и замыкающихся через ионосферу системой продольных токов.

Оценка значений геомагнитных вариаций, возникающих вследствие приливных деформаций кольцевых токов в магнитосфере, составила единицы нТл. Полученные расчетные значения совпадают по порядку величин с обработанными геомагнитными измерениями геофизической обсерватории «Паратунка» (Камчатский край).

Содержание

<i>Чебров В. Н.</i> 30 лет Камчатскому филиалу Геофизической службы РАН	3
Секция «Организация наблюдений и мониторинг опасных эндогенных процессов в Дальневосточном регионе»	
<i>Абдуллаев А.У.</i> Алматинский прогностический полигон в республике Казахстан	7
<i>Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю., Копеев А.В.</i> Первые результаты наблюдений приливных вариаций силы тяжести на территории Камчатского полуострова	8
<i>Абкадыров И.Ф., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Букатов Ю.Ю.</i> Особенности строения верхней части земной коры в районе Нижне-Кошелевской термоаномалии (южная Камчатка) по данным микросейсмического зондирования	9
<i>Авдейко Г.П., Левин В.Е., Палуева А.А.</i> Камчатско-Алеутское сочленение: сейсмичность, геодинамика, вулканизм	10
<i>Алёшина Е.И., Седов Б.М.</i> Развитие структуры и геодинамики северной границы Охотоморской микроплиты	11
<i>Бахтияров В.Ф.</i> Особенности временных рядов смещений некоторых постоянных GPS пунктов на Камчатке	12
<i>Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Гусяков В.К., Акманова Д.Р., Осипова Н.А.</i> Комплексная (катастрофические вулканические + сильнейшие сейсмические события) электронная база данных как основа для модифицированной геодинамической парадигмы (на примере Пацифики)	13
<i>Воропаев П.В.</i> Изменение во времени корреляционной размерности гипоцентров землетрясений Камчатки	14
<i>Гарбузова В.Т., Соболевская О.В.</i> Адаптация классификации вулканических землетрясений Камчатки П.И. Токарева к современным возможностям цифровой обработки	15
<i>Годзиковская А.А.</i> Исходные материалы и параметры Камчатских землетрясений по 1952 г. (информация, проблема, перспективы)	16
<i>Гунбина Л.В., Седов Б.М.</i> Природа техногенной сейсмичности в криолитозоне	17
<i>Гунбина Л.В., Седов Б.М.</i> Результаты сейсмического мониторинга по оценке исходного балла сотрясаемости и цунамегенной опасности Колымской ГЭС и водохранилища	18
<i>Гусев А.А., Чубарова О.С., Викулина С.А.</i> Региональная магнитудная шкала по поверхностным волнам $M_S(20\text{-reg})$	19
<i>Дроздин В.А., Дубровская И.К.</i> Тепловизионные исследования вулканов Камчатки 2008-2009г.	20
<i>Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В.</i> Оценка объемов изверженных продуктов вулкана Безымянный за 1955-2008 гг.	21
<i>Злотники Ж., Родкин М.</i> Косейсмические эффекты в электротеллурическом поле по данным геофизического мониторинга в Коринфском заливе (Греция)	22
<i>Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Фуджитта К., Маккей К.</i> Особенности сейсмической активности отдельных сегментов границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит	23
<i>Кожеевникова Т.Ю.</i> Результаты исследования сейсмических и акустических сигналов на вулкане Карымский по результатам полевых работ	24
<i>Кугаенко Ю.А., Нуржидина И.Н.</i> Низкочастотные землетрясения Мутновского вулкана	25

<i>Кузин И.П., Левина В.И., Флёнов А.Б.</i> О влиянии объема выборки и энергетического диапазона землетрясений на характеристики сейсмического режима перед Кроноцким землетрясением 1997 г. (M=7.9)	26
<i>Курткин С.В., Мартынов А.Ф., Седов Б.М.</i> Современные геодинамические процессы Чукотского полуострова и западной части Аляски	27
<i>Левина В.И., Чебров В.Н., Ландер А.В.</i> Характеристика сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий по сейсмоактивным зонам	28
<i>Лемзиков В.К., Лемзиков М.В., Левина В.И.</i> Предварительные оценки станционных поправок сейсмических станций юга Камчатки и Авачинско-Корякской группы вулканов	29
<i>Лунева М.Н.</i> Сейсмическая анизотропия под Южным Сахалином	30
<i>Маловичко А.А., Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Гунбина Л.В., Левин Ю.Н.</i> Развитие сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России. Результаты, проблемы, перспективы	31
<i>Маринин И.В., Елецкий С.В., Чесноков В.В.</i> Использование IMP.ITRIS для предварительного и оперативного исследования землетрясений и оценки их последствий	32
<i>Мельников Д.В.</i> Анализ деформаций земной поверхности в районе Ключевской группы вулканов на основе спутниковых данных ALOS PALSAR	33
<i>Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А.</i> Глубинная электропроводность района пункта комплексных геофизических наблюдений «Карымшина» (Камчатка) по данным мониторинга электромагнитного поля Земли	34
<i>Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Смирнов С.Э.</i> Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля в обсерваториях «Магадан» и «Паратунка»	35
<i>Пашаян Р.А.</i> Гидрогеодинамический мониторинг земной коры территории Армении	36
<i>Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Фокина Т.А.</i> Особенности распределений глубин гипоцентров Сахалинских коровых землетрясений	37
<i>Прелов В.В.</i> Теория больших систем и геофизический мониторинг	38
<i>Рожной А.А., Соловьева М.С., Гурьянов В.Б.</i> Первые результаты ОНЧ/НЧ наблюдений на Сахалине	39
<i>Салтыков В.А.</i> Методика вероятностной оценки регионального уровня сейсмичности	40
<i>Салтыков В.А., Кравченко Н.М.</i> Параметры сейсмичности Камчатки в 2007-2008 гг.	41
<i>Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрозина С.Я.</i> Сейсмичность вулкана Корякский в 1966-2009 гг.	42
<i>Серафимова Ю.К.</i> Опыт прогнозирования сильных землетрясений на Камчатке в 60-х гг. XX в. – начале XXI в. специализированными советами	43
<i>Славина Л.Б., Пивоварова Н.Б., Левина В.И.</i> Исследование особенностей скоростного строения фокальной зоны у берегов Камчатки по сейсмологическим данным	44
<i>Титков Н.Н., Ландер А.В., Левин В.Е.</i> Современные движения Камчатского региона по GNSS данным	45
<i>Фирстов П.П.</i> Регистрация ударно-волновых и акустических эффектов от вулканических извержений на полуострове Камчатка	46
<i>Чебров В. Н., Гордеев Е.И.</i> Комплексный геофизический мониторинг Камчатки и Командорских островов. Основные результаты. (30 лет деятельности КФ ГС РАН)	47
<i>Шаров Н.В.</i> Онежский геодинамический полигон	48
<i>Яроцкий Г.П.</i> Землетрясения на юго-западе Корякского нагорья и Морская транзиталь Северо-Востока Азии	49
<i>Яцук В.В., Дроздин Д.В., Лянник Ю.А., Головищикова И.А., Пудов А.Л.</i> Сеть радио-телеметрических сейсмических станций на Камчатке	50

Секция «Сильнейшие землетрясения Дальневосточного региона»

<i>Абдуллабеков К.Н., Муминов М.Ю., Туйчиев А.И., Сагдуллаева К.А.</i> Загадка Кызылкума	52
<i>Абубакиров И.Р., Павлов В.М.</i> Алгоритм оценки тензора сейсмического момента сильных региональных землетрясений	53
<i>Богданов В.В., Гаврилов В.А., Полтавцева Е.В., Полюхова А.Л.</i> Сравнение результатов электромагнитных измерений с использованием подземной электрической антенны и микроспутниковой платформы «Demeter» в период реализации катастрофических Симуширских землетрясений 2006-2007 гг.	54
<i>Важенин Б. П.</i> Интерпретация параметров Ямского и Артыкского землетрясений с использованием палеосейсмогеологической методики	55
<i>Делемень И.Ф., Константинова Т.Г.</i> Оценка оползневой опасности на территории г. Петропавловск-Камчатский при ожидаемом сильном землетрясении	56
<i>Карапетян С.С., Мкртчян Г.А., Карапетян С.А., Назарян Е.Х.</i> Ретроспективный анализ записей афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.	57
<i>Константинова Т.Г., Делемень И.Ф.</i> Обобщение результатов обследования повреждаемости деревянных зданий при Петропавловском землетрясении 1971 года в связи с оценкой возможных последствий ожидаемого в г. Петропавловске-Камчатском сильнейшего землетрясения	58
<i>Копылова Г.Н., Таранова Л.Н., Сдельникова И.А.</i> Оценка гидрогеологических последствий сильнейших землетрясений (на примере Камчатки и других сейсмоактивных районов России) ...	59
<i>Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В.</i> Хаилинское землетрясение 1991 г. ($M=6.6$) – форшок Олюторского 2006 г. ($M=7.6$)? (нестатистический взгляд на проблему)	60
<i>Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Левина В.И., Чеброва А.Ю.</i> Макросейсмические проявления промежуточных и глубоких землетрясений камчатской зоны субдукции	61
<i>Павлов В.М., Абубакиров И.Р.</i> Сравнение синтетических и реальных сейсмограмм от сильных региональных землетрясений Дальнего Востока России	62
<i>Пинегина Т.К., Ландер А.В.</i> Парадоксы очага Олюторского землетрясения 2006 г. и их решения ...	63
<i>Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Рудик М.И.</i> Костромское землетрясение 2004 г. $M=4.8$ (юго-западный Сахалин)	64
<i>Радзиминович Н.А., Мельникова В.И., Имаева Л.П.</i> Сеймотектоническая позиция Чаруодинских землетрясений 2005 г. с M_w 5.8 и M_w 5.6 (северо-восточный фланг Байкальской рифтовой зоны ...	65
<i>Славина Л.Б., Левина В.И., Бабанова Д.Н.</i> Особенности возникновения и распределения роевых последовательностей землетрясений в сейсмоактивной зоне в акватории тихоокеанского побережья Камчатки	66

Секция «Физическое и математическое моделирование в сейсмологии и геофизике»

<i>Абубакиров И.Р.</i> Реконструкция пространственно-временного распределения плотности энергии рассеянных волн методом моментов: точечный источник в трехмерной среде с изотропным рассеянием	68
<i>Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.</i> Геомагнитное моделирование подводных вулканов Охотоморского склона Курильской островной дуги	69
<i>Богомоллов Л.М., Сычев В.Н., Сычева Н.А.</i> Развитие феноменологических моделей потока сейсмических событий для описания афтершоков, форшоков, квазипериодических вариаций и триггерных эффектов	70
<i>Болдина С.В., Копылова Г.Н.</i> Моделирование гидрогеосейсмических вариаций уровня воды в скважине	71
<i>Быцань Е.Н.</i> Разработка пятиэлементных квазиупругих реологических тел для создания мониторинга на промышленных объектах	72

<i>Викулин А.В.</i> Новый тип упругих ротационных геодинамических волн	73
<i>Викулин А.В., Викулина С.А.</i> Два типа взаимодействия между очагами землетрясений	74
<i>Водинчар Г.М., Гаврилов В.А., Полтавцева Е.В.</i> Анализ физико-математических моделей, адекватных результатам измерений электромагнитного СНЧ-излучения с использованием подземной электрической антенны	75
<i>Гусев А.А., Гусева Е.М., Павлов В.М.</i> Опробование алгоритмов моделирования движений грунта на примере Петропавловского землетрясения 24.11.1971 (M=7.6)	75
<i>Довбнич М.М.</i> Нарушение равновесного состояния вращающейся Земли и сейсмические процессы	76
<i>Дрознина С.Я., Шапиро Н.М., Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Чебров В.Н.</i> Строение коры и верхней мантии полуострова Камчатка и близлежащих тектонических структур по инверсии групповых скоростей поверхностных волн	77
<i>Любушин А.А.</i> Мультифрактальные статистики региональных и глобальных полей низкочастотных микросейсм	78
<i>Мандрикова О.В., Горева Т.С.</i> Метод выделения структурных составляющих природного сигнала со сложной структурой на основе вейвлетов	79
<i>Павленко О.В.</i> Моделирование акселерограмм сильных землетрясений 1992 и 1993 гг. Курило-Камчатской сейсмогенной зоны на «скальных» и «грунтовых» станциях Камчатки	79
<i>Павлов В.М.</i> Матричный импеданс в задаче расчета синтетических сейсмограмм в слоисто-однородной изотропной упругой среде	80
<i>Паровик Р.И., Шевцов Б.М., Фирстов П.П.</i> Математические модели переноса радона в естественных средах	81
<i>Салтыков В.А., Патонин А.В., Кугаенко Ю.А.</i> Лабораторное моделирование приливных эффектов в сейсмичности	82
<i>Седов Б. М., Ведерников Е. И.</i> Натурное моделирование влияния контрастных поверхностных акустических неоднородностей на прохождение сейсмических волн близких землетрясений	83
<i>Трофименко С.В.</i> Модельные оценки баланса энергии очага Южно-Якутского землетрясения	84
<i>Шумилов В. Н.</i> Горообразование и сжатие земной коры	85

Секция «Исследование предвестников землетрясений и извержений вулканов»

<i>Абдуллаев А.У., Остапенко В.Ф., Тукешова Г.Е.</i> Физико-химическое состояние подземных вод как индикатор сейсмической активности	87
<i>Копылова Г.Н., Сизова Е.Г.</i> Тренды и сезонные вариации уровня воды в скважинах (в аспекте поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений)	88
<i>Кравченко Н. М.</i> Сопоставление сейсмических затиший, обнаруженных методами RTL и Z-тест	89
<i>Ларионов И.А., Шевцов Б.М.</i> Геоакустическая эмиссия и деформации осадочных пород	90
<i>Марапулец Ю.В., Мищенко М.А.</i> К вопросу выявления возмущений высокочастотной геоакустической эмиссии, предшествующих землетрясениям на Камчатке	90
<i>Молчанов О.А., Чебров В.Н.</i> Основные результаты МНТЦ проектов 2120 и 2990 и возможность краткосрочного прогноза землетрясений	91
<i>Остапенко В.Ф., Абдуллаев А.У.</i> Мониторинг естественного нейтронного потока на Алматинском прогностическом полигоне	91
<i>Прелов В.В.</i> Анализ первичных информационных потоков и вопросы краткосрочного сейсмического прогнозирования	92
<i>Прелов В.В.</i> Извлечение знаний из статистики сейсмических событий – неожиданная связь с базовыми физическими константами	93

<i>Рожной А.А., Соловьева М.С., Молчанов О.А., Чебров В.Н., Воронаев В.Ф.</i> ОНЧ/НЧ мониторинг ионосферных возмущений сейсмического происхождения в Курило-Камчатском регионе	94
<i>Рябинин Г.В.</i> Метод фликкер–шумовой спектроскопии в задаче оценки сейсмической опасности по данным гидрогеохимических наблюдений. Анализ прогностической эффективности метода	95
<i>Салтыков В.А.</i> Оценка эффективности прогностических методик по материалам КФ РЭС	96
<i>Салтыков В.А., Коновалова А.А.</i> Мониторинг вариаций наклона графика повторяемости землетрясений: методика и примеры	97
<i>Сенюков С.Л.</i> О возможности успешного прогноза извержений вулкана Безымянный в зависимости от состояния вулкана Ключевской. Сейсмологические доказательства взаимодействия магматических систем этих вулканов	98
<i>Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я.</i> Исследование сейсмичности вулкана Корякский с 1966 г. по май 2009 г. с целью изучения предвестников его извержений	99
<i>Сероветников С.С., Гнитиева Е.Ю.</i> Наблюдение деформационной обстановки района вулкана Безымянный с помощью сети GPS станций 2006-2009 гг.	100
<i>Томилин Н.Г.</i> Пространственная сегментарность сейсмичности предполагаемой плиты Беринга и дискретность областей подготовки землетрясений	101
<i>Томилин Н.Г., Дамаскинская Е.Е.</i> Области подготовки мощных землетрясений в зонах сочленения дуг Тихоокеанской плиты	102
<i>Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М.</i> Интерпретация результатов измерений электромагнитного поля (ЭМИ-ИЭМПЗ) в связи с сейсмичностью Олекмо-Становой зоны (ОСЗ)	103
<i>Широков В.А.</i> Тестирование методики оперативного прогноза сильных мировых землетрясений (ГЛОБАС) в реальном времени в период январь 2008 – апрель 2009 гг.	104
<i>Широков В.А., Дубровская И.К.</i> О сеймотектонической природе роев вулканических землетрясений, связанных с подготовкой и ходом извержения Корякского вулкана 2008-2009 гг.	105
<i>Щекотов А.Ю., Молчанов О.А., Федоров Е.Н., Чебров В.Н., Салтыков В.А., Синицын В.И., Андреевский С.Е., Беляев Г.Г., Гладышев В.А.</i> Электромагнитные УНЧ излучения и САЭ, как краткосрочные предвестники землетрясений	106

Секция «Технические и программные средства геофизического мониторинга»

<i>Баранов С.В.</i> Применение нейронных сетей к уменьшению ложных срабатываний при автоматическом детектировании сейсмических сигналов	108
<i>Бондаренко В.И., Палуева А.А., Рашидов В.А., Романова И.М.</i> ГИС «Геомагнитные исследования подводных вулканов Курильской островной дуги»	109
<i>Виноградов Ю.А.</i> Инфразвуковой метод мониторинга природной среды	110
<i>Волович О.Г.</i> Программа вычисления параметров сейсмичности «GAMMA»	111
<i>Волович О.Г.</i> Программа выделения волновых гармоник «WaveInSliv»	112
<i>Волович О.Г.</i> Программный комплекс обработки каталога землетрясений с целью выявления зависимых событий “CLUSTERLINKS”	112
<i>Воронаев В. Ф., Смирнов А. А., Коркина Г. М., Долгих В. П.</i> Некоторые вопросы технического обеспечения геофизических наблюдений	113
<i>Гаврилов В.А., Власов Ю.А., Денисенко В.П., Морозова Ю.В., Федористов О.В.</i> Методика, техника и некоторые результаты непрерывных скважинных геоакустических измерений	113
<i>Захарченко Н.З., Мишаткин В.Н.</i> Технические средства и технология инструментальной сейсмической защиты гражданских и промышленных структур	114

<i>Ивельская Т.Н., Шевченко Г.В.</i> Результаты опытной эксплуатации автоматических постов наблюдения за уровнем моря в портах Корсаков и Холмск	115
<i>Копаев А.В., Милуков В.К.</i> Геодинамический мониторинг в Приэльбрусье	116
<i>Кролевец А.Н.</i> Проблемы измерения земных токов	117
<i>Кузьмин Ю.Д.</i> Газотермодинамические наблюдения на гидротермальных системах Камчатки	118
<i>Маринин И.В., Елецкий С.В., Чесноков В.В.</i> Использование IMP.ITRIS для предварительного и оперативного исследования землетрясений и оценки их последствий	119
<i>Мишаткин В.Н., Захарченко Н.З.</i> Проблема сертификации сейсмических станций	120
<i>Седов Б. М.</i> Использование материалов сейсморазведки МОГТ для исследования разрывной тектоники (сейсмичности) Северо-Охотоморского шельфа	121
<i>Смирнов С.Э., Иванов А.В., Москвитин А.Е.</i> Представление в сети Интернет данных геофизического мониторинга, проводимого ИКИР	122
<i>Титков Н.Н.</i> Организация системы сбора и передачи данных в сети постоянных GPS станций KAMNET	123
<i>Тристанов А.Б., Фирстов П.П.</i> Методика сегментации взаимосвязанных геофизических сигналов	124
<i>Тукешова Г.Е.</i> Временные ряды параметров мониторинга	125
<i>Чебров В.Н., Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Коновалова А.А.</i> Новые возможности организации полевых наблюдений на Камчатке	126
<i>Чебров В.Н., Бахтиярова Г.М., Дрознин Д.В., Дубровский Н.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Пантюхин Е.А., Сеньюков С.Л., Сергеев В.А.</i> Информационные ресурсы Камчатского филиала Геофизической службы РАН в сети INTERNET	127
<i>Чеброва А.Ю.</i> Автоматическое определение магнитуд по широкополосным станциям Дальнего Востока	128
<i>Шарафутдинов В.М., Гунбина Л.В.</i> Использование геоинформационных технологий при изучении сейсмичности Магаданской области	129
<i>Шарафутдинов В.М., Кабанов В.В., Гунбина Л.В.</i> Разработка и функционирование региональной сети электромагнитного мониторинга землетрясений	130

Секция «Цунами»

<i>Важенин Б.П.</i> Специфика проблемы исследования цунами в Северном Охотоморье	133
<i>Викулина С.А., Ототюк Д.А.</i> Опорная станция СП СПЦ «Петропавловск». Результаты опытной эксплуатации	134
<i>Гусяков В.К.</i> Системы оперативного прогноза цунами - история развития и принципы построения (обзор)	135
<i>Дрознин Д.В., Сергеев В.А., Пантюхин Е.А.</i> Система сбора, обработки, хранения и представления сейсмологических данных и результатов их обработки в СП СПЦ, технические средства, алгоритмы и ПО	136
<i>Ишонин М.И., Николаев А.В.</i> Новые технологии в системе предупреждения о цунами	137
<i>Левин Ю.Н., Поплавский А.А.</i> Цунами как макросейсмический эффект подводного землетрясения	138
<i>Маринин И.В., Елецкий С.В., Чесноков В.В.</i> Использование Imp.Itrix для предварительного и оперативного исследования цунами и оценки их последствий	139
<i>Пинегина Т.К., Буржуа Дж.</i> Основные результаты изучения палеоцунами на Камчатке, Северных и Центральных Курилах	140
<i>Седов Б.М.</i> К оценке цунамигенной опасности примагаданской части побережья Охотского моря (исторический аспект)	141

<i>Серафимова Ю.К., Широков В.А.</i> Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов опасных цунами и сильных землетрясений для различных регионов северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса	142
<i>Стирин А.И.</i> Опорная сейсмическая станция службы предупреждения о цунами «Южно-Сахалинск» (результаты опытной эксплуатации)	143
<i>Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М.</i> Геоизостазия и физическая природа цунами: основы цунамигенного районирования	144
<i>Чебров В.Н., Гусев А.А., Дроздин Д.В., Мишаткин В.Н., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Чебров Д.В.</i> Первая очередь сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами	145
<i>Чебров Д.В., Гусев А.А.</i> Автоматическая обработка записей землетрясений в системе предупреждения о цунами	146
<i>Шершаков В.М., Кузьминых И.П., Камаев Д.А., Зыскин И.А.</i> Модернизация системы предупреждения о цунами для предупреждения чрезвычайных ситуаций, вызываемых цунами	147

Секция работ молодых исследователей

<i>Боярская И.Д., Сирица Д.В.</i> Оценка воспроизводимости результатов измерений содержаний газов в подземных водах	149
<i>Иванов В.Ю., Касимова В.А.</i> Использование геоинформационных технологий для обеспечения комплексных геофизических наблюдений на территории Камчатки	150
<i>Кирюхин А.В., Копылова Г.Н., Черных Е.В.</i> Инверсионное ITOUGH2-моделирование изменений уровня воды в скважине ЮЗ-5 и общая концепция формирования резервуаров подземных вод в Корякско-Авачинском вулканогенном бассейне	151
<i>Коновалов А.В., Степнов А.А., Гаврилов А.В.</i> Автоматизация рутинной обработки сейсмологических данных с использованием программного комплекса «SEISAN»	152
<i>Крутьева Л.К., Водинчар Г.М.</i> Оценка полоидальных компонент геомагнитного поля в ядре по наблюдаемому полю	153
<i>Макеев А.М., Кролевец А.Н.</i> Эффективная компьютерная программа поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений Камчатской сейсмоактивной зоны	154
<i>Назарова З.А., Дроздина С.Я., Сеньюков С.Л., Дроздин Д.В.</i> Сравнительный анализ влияния одномерных скоростных моделей, рассчитанных для Камчатского региона, на результат определения положения координат очагов землетрясений	155
<i>Павлов А.В.</i> Изменения доверительных интервалов для вероятностей попадания сейсмических событий в заданные интервалы глубины и энергетического класса, вычисленных на основе каталога Камчатских землетрясений	156
<i>Пономарева О.В.</i> Связь вариаций гравитационной постоянной с некоторыми геодинамическими показателями	157
<i>Рагунович М.Ю., Кожевникова Т.Ю.</i> Исследование сейсмических и акустических сигналов во время активизаций на вулкане Безымянный в 2007-2008 гг. по данным радиотелеметрических и широкополосных станций	158
<i>Соболевская О.В.</i> Сейсмичность вулкана Горелый в 1984-2009 гг.	159
<i>Шереметьева О.В.</i> Модель воздействия приливов на токи в магнитосфере	160

Научное издание

**Проблемы комплексного геофизического мониторинга
Дальнего Востока России**
Вторая региональная научно-техническая конференция
Петропавловск-Камчатский, 11-17 октября 2009 г.
Тезисы докладов

Макет книги выполнен
в Камчатском филиале Геофизической службы РАН

Подписано в печать 21.09.2009. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л. 16.7
Тираж 200 экз.

Учреждение Российской академии наук Геофизическая служба РАН,
Камчатский филиал
683006 г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

Отпечатано в типографии «ФОН»
г. Петропавловск-Камчатский