

СИЛЬНЫЕ КАМЧАТСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 года



Российская академия наук
Геофизическая служба
Камчатский филиал

СИЛЬНЫЕ КАМЧАТСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 года



Российская академия наук
Геофизическая служба
Камчатский филиал

Сильные камчатские землетрясения 2013 года



Петропавловск-Камчатский
Холдинговая компания
«Новая книга»
2014

УДК 550.34
ББК 26.21
С36

Рецензенты: доктор физико-математических наук *А. Д. Завьялов*,
доктор физико-математических наук *А. В. Викулин*

Ответственный редактор кандидат технических наук *В. Н. Чебров*

Монография издана по решению Ученого совета
Камчатского филиала Геофизической службы РАН

Сильные камчатские землетрясения 2013 года / Под ред. В. Н. Чеброва. –
Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2014. – 252 с., 4 с. ил.

ISBN 978-5-87750-298-7

Авторы: Чебров В. Н., Абубакиров И. Р., Богданов В. В., Болдина С. В., Бусс Ю. Ю.,
Власов Ю. А., Гаврилов В. А., Гашева О. А., Гусев А. А., Гусева Е. М., Денисенко В. П., Дронина С. Я.,
Душкина С. М., Иванова Е. И., Кайсин А. В., Колыкова Г. Н., Кравченко Н. М., Кугаенко Ю. А.,
Ландер А. В., Матвеенко Е. А., Митюшкина С. В., Морозова Ю. В., Павлов А. В., Павлов В. М.,
Полтавцева Е. В., Полюхова А. Л., Раевская А. А., Рябинин Г. В., Салтыков В. А., Серафимова Ю. К.,
Сизова Е. Г., Титков Н. Н., Федористов О. В., Чебров Д. В., Чеброва А. Ю., Широков В. А.

В монографии рассматриваются наиболее интересные и значимые сейсмические события, которые были зарегистрированы в 2013 г. в зоне ответственности Камчатской региональной сети сейсмических станций:

- землетрясение 28.02.2013 г. с магнитудой $Mw=6.8$, которое произошло у южной оконечности п-ва Камчатка;
- редкое для Северной Камчатки ощущимое землетрясение 13.03.2013 г. в районе Камчатского перешейка с магнитудой $Mw=5.8$ (Ильпирское землетрясение);
- майский рой 2013 г. в Авачинском заливе – самый сильный из зарегистрированных камчатской региональной сетью за период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. $Mw(\text{макс})=6.1$;
- глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $Mw=8.3$, которое произошло под Охотским морем на глубине 630 км и вызвало аномальный по дальности проявления макросейсмический эффект – сильнейшее в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины;
- землетрясение 12.11.2013 г. с $Mw=6.5$ у побережья Кроноцкого п-ва.

Приводятся результаты работы системы сейсмического мониторинга КФ ГС РАН в оперативном режиме, а также по регламентам службы предупреждения о цунами и службы срочных донесений. Проведен предварительный анализ пиковских амплитуд колебаний грунта по данным Камчатской региональной сети цифровых приборов для каждого из перечисленных выше событий, а также проанализированы их афтершоковые последовательности. Одной из целей представленного издания является публикация оригинальных данных комплексных наблюдений современных геодинамических процессов КФ ГС РАН и результатов их обработки, включая макросейсмические сведения. Рассматриваются эффекты отражения процессов подготовки и реализации сильных землетрясений в данных сейсмологических, геофизических, геодезических, гидрогеохимических и других наблюдений и в результатах их обработки.

© Камчатский филиал
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Геофизической службы РАН, 2014
© Федеральное агентство научных
организаций, 2014
© Холдинговая компания
«Новая книга», 2014

ISBN 978-5-87750-298-7

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский край относится к регионам России, где наиболее велики риски природных катастроф. Здесь, в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану и сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, происходят сильные землетрясения, которые вызывают сотрясения с интенсивностью 9 и более баллов (по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]) и огромные волны цунами, находится 30 действующих вулканов, в числе которых Ключевской и Шивелуч [Гордеев, Федотов, Чебров, 2013].

Чтобы уменьшить риски природных катастроф, необходимы научные исследования их природы и воздействия на территорию. Основные характеристики сейсмического режима региона и возможных воздействий на территорию (пространственно-временное распределение землетрясений, повторяемость сильных землетрясений, максимально возможные магнитуды M_{\max} , параметры зон ВОЗ, амплитудные и спектральные характеристики воздействий сильных землетрясений в различных грунтовых условиях и др.), необходимые для объективной оценки сейсмической опасности территории, могут быть получены по результатам долговременных детальных сейсмологических наблюдений и других геологических и геофизических исследований [Чебров, 2008]. Данные сейсмологических наблюдений также являются приоритетными в системе оперативного предупреждения о цунами и при оценке состояния и развития вулканической активности.

Важное место в современной стратегии борьбы с природными угрозами занимает разработка научных технологий прогноза опасных природных процессов и моделирование механизма их развития. Землетрясения, цунами, извержения вулканов характеризуются недостаточной изученностью, неопределенностью момента возникновения и высокой скоростью проявления. Результаты комплексных сейсмологических, геофизических, геодезических, гидрогеохимических и др. наблюдений дают возможность исследовать процессы подготовки сильных землетрясений, строить модели сейсмического процесса, выявлять и исследовать предвестники сильных землетрясений [Чебров, Салтыков, Серафимова, 2011].

В 2013 г. сейсмическая активность на Камчатке заметно повысилась.

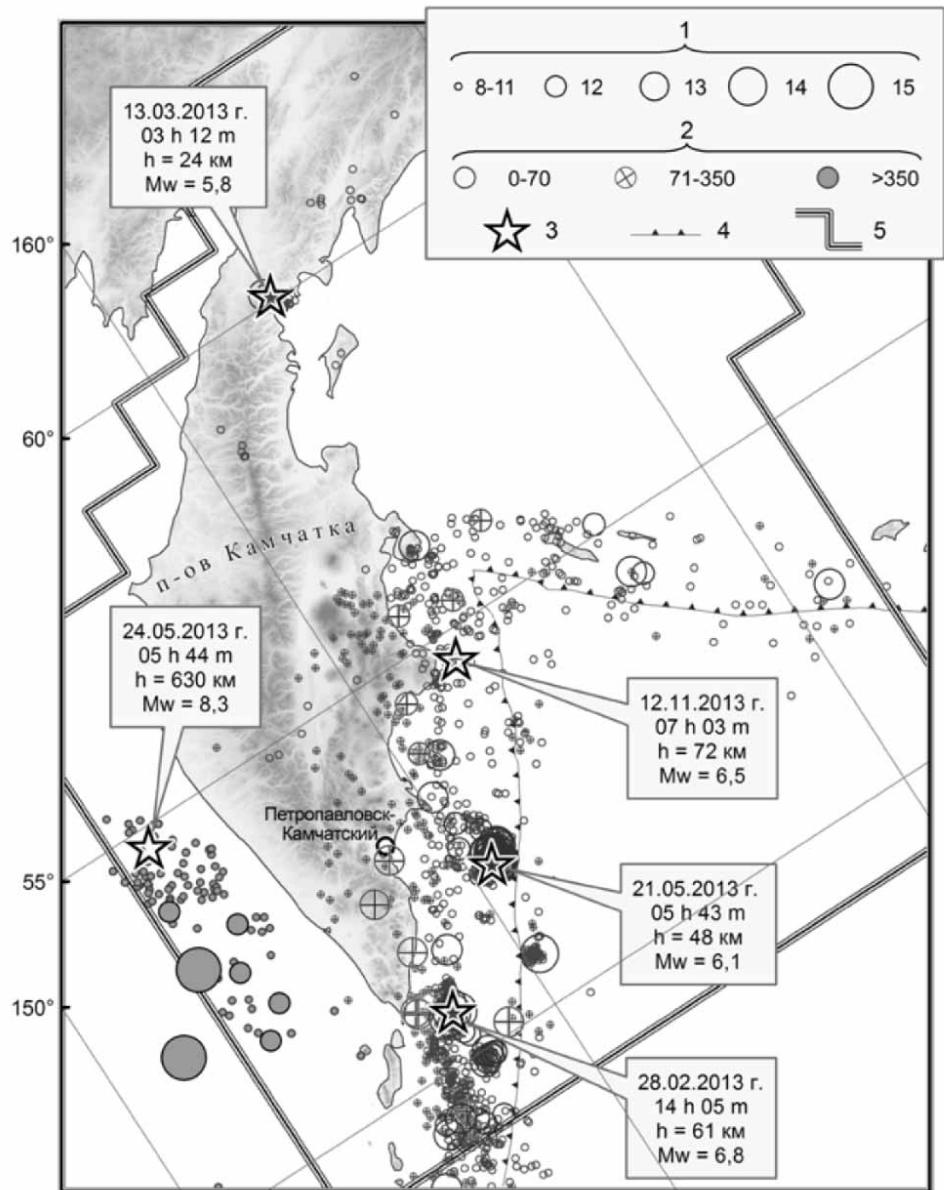


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Камчатки, Командорских островов и прилегающих территорий за 2013 г. 1 – энергетический класс землетрясений K_s ; 2 – глубина гипоцентра в км; 3 – сильные камчатские землетрясения 2013 г., рассмотренные в монографии; 4 – осевая зона глубоководного желоба; 5 – граница зоны ответственности КФ ГС РАН.

В пределах зоны ответственности Камчатской региональной сети обработано более 6 000 тектонических землетрясений (рис. 1), из них 58 землетрясений с $ML \geq 5.5$ ($K_s \geq 12.5$). В целом положение эпицентров является обычным для региона: большая часть землетрясений (82 %) относится к зоне субдукции Тихоокеанской плиты.

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F выделившейся в 2013 г. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [Салтыков, 2011]. В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных в зоне ответственности Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС РАН) землетрясений составила 1.0722×10^{17} Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным каталога за 1962–2013 гг. (рис. 2). Для 2013 г. $F=1$, что соответствует *экстремально высокому* уровню по шкале «СОУС'09».

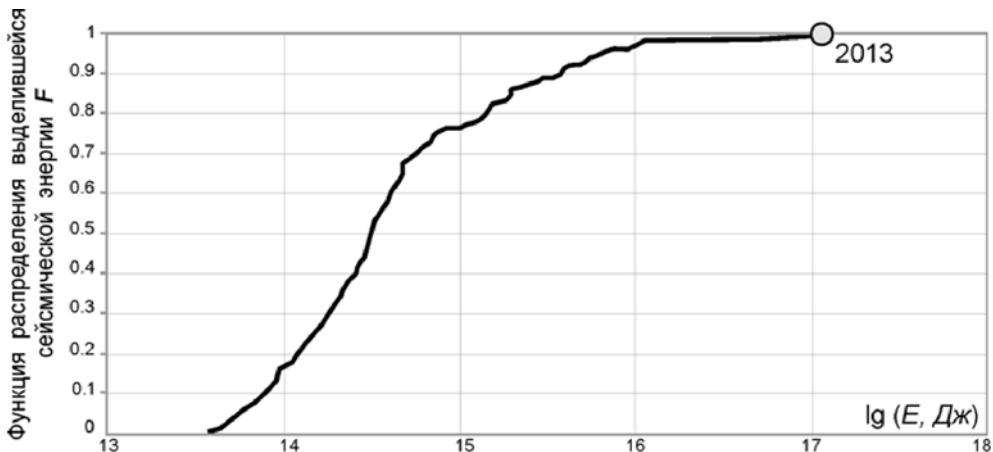


Рис. 2. Функция распределения F сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов. Кружком отмечено значение функции распределения F , соответствующее 2013 г.

На рис. 3 представлен временной ход уровня сейсмичности по шкале «СОУС'09» во временных окнах Δt различной длительности в течение 2013 г. Сейсмичность выходит на *высокий* и *экстремально высокий* уровень в связи с наиболее сильными сейсмическими событиями. Во временном окне $\Delta t = 1$ год наблюдается постепенный рост уровня сейсмичности со *среднего фонового* уровня до *экстремально высокого*.

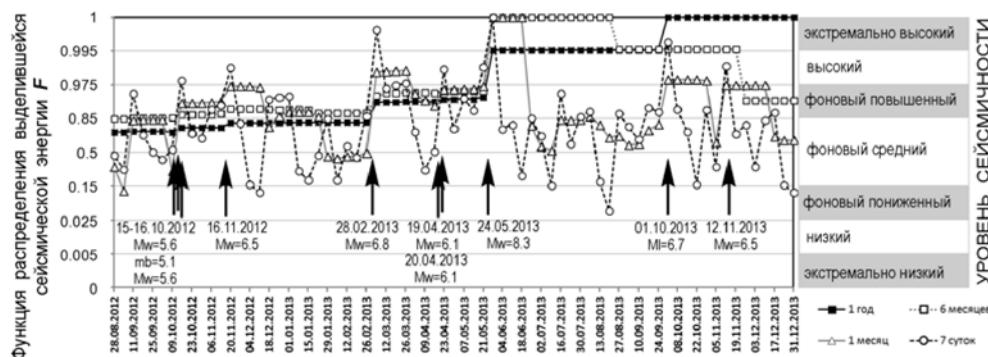


Рис. 3. Временной ход уровня сейсмичности для региона Камчатки и Командорских островов в различных временных окнах Δt . Стрелками отмечены наиболее сильные землетрясения, обеспечившие выход сейсмичности на *высокий* и *экстремально высокий* уровень по шкале «СОУС'09».

В монографии рассматриваются наиболее интересные и значимые сейсмические события 2013 г., которым посвящены первые 5 глав книги (рис. 1):

I. Землетрясение 28.02.2013 г. с магнитудой $Mw=6.8$, которое произошло у южной оконечности п-ва Камчатка;

II. Редкое для Северной Камчатки ощущимое землетрясение 13.03.2013 г. в районе Камчатского перешейка с магнитудой $Mw=5.8$ (Ильпирское землетрясение);

III. Майский рой 2013 г. в Авачинском заливе – самый сильный из зарегистрированных камчатской региональной сетью за период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. $Mw(\text{макс})=6.1$;

IV. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $Mw=8.3$, которое произошло под Охотским морем на глубине 630 км и вызвало аномальный по дальности проявления макросейсмический эффект – сильнейшее в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины [Ye, et al., 2013];

V. Землетрясение 12.11.2013 г. с $Mw=6.5$ у побережья Кроноцкого п-ва.

Приводятся результаты работы системы сейсмического мониторинга КФ ГС РАН в оперативном режиме, а также по регламентам службы предупреждения о цунами (СПЦ) и службы срочных донесений (ССД). Проведен предварительный анализ пиковых амплитуд колебаний грунта по данным Камчатской региональной сети цифровых приборов для каждого из перечисленных выше событий, а также проанализированы их афтершоковые последовательности.

Одной из целей представленного издания является публикация оригинальных данных комплексных наблюдений современных геодинамических процессов КФ ГС РАН и результатов их обработки, включая макросейсмические сведения, которые обобщены в Приложениях 5–9.

В главах 6–13 рассматриваются эффекты отражения процессов подготовки и реализации сильных землетрясений в данных сейсмологических, геофизических, геодезических, гидрогеохимических и других наблюдений и результатах их обработки.

Для оценки энергии сейсмических событий используется энергетический класс землетрясений K_s по [Федотов, 1972]. Обработка землетрясений с 2010 г. ведется программой DIMAS [Дроздин, Дроздина, 2011]. Для региональных землетрясений применяется годограф И. П. Кузина [Кузин, 1974].

Координаты и время землетрясений, энергетический класс K_s , магнитуды M_c и ML соответствуют каталогу КФ ГС РАН (<http://www.emsd.ru/sdis>). Значения магнитуд m_b , M_s , и M_w взяты из мировых каталогов *Global CMT* (www.globalcmt.org), NEIC (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>) и Геофизической службы РАН (<http://www.gsras.ru>).

Механизмы землетрясений представлены по данным каталогов *Global CMT* (www.globalcmt.org) и КФ ГС РАН [Иванова и др., 2011].

Полные первичные данные комплексных наблюдений и сведения о макросейсмических проявлениях сильных землетрясений 2013 г. хранятся в базах данных КФ ГС РАН и доступны заинтересованным пользователям через Internet (www.emsd.ru) и по запросу.

В сборе макросейсмических сведений о проявлениях Охотоморского землетрясения за пределами Камчатки наиболее активное участие принимали: А. Д. Завьялов (ИФЗ РАН) по г. Москва; Е. П. Семенова (Сахалинский филиал ГС РАН) по Сахалинской области; Н. А. Гилева (Байкальский филиал ГС РАН) по Иркутской области; Л. И. Карпенко (Магаданский филиал ГС РАН) по Магаданской области; Р. А. Дягилев (Горный институт УрО РАН, Пермь) по Пермскому краю. Мы выражаем искреннюю благодарность всем, кто оказал помощь в сборе макросейсмической информации.

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАМЧАТСКОГО ФИЛИАЛА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РАН

Система комплексных наблюдений КФ ГС РАН включает в себя: сети сейсмических станций; сети геофизических, геодезических, гидро-геохимических и др. наблюдений; технические и программные средства сбора, обработки и хранения данных. В основу создания и развития комплексных наблюдений положены сети сейсмических станций.

СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

При организации сейсмологических наблюдений на Камчатке необходимо иметь возможность регистрировать и сильнейшие тектонические землетрясения с $M>8$ и слабые землетрясения, начиная от $M=1.0$ и менее, на активных вулканах, что требует применения разномасштабных сетей станций с различными частотным и динамическим диапазонами [Чебров и др., 2013a].

Сейсмологические наблюдения на Камчатке проводятся как сетями постоянно действующих сейсмических станций, так и путем создания сетей временных локальных станций. Сети постоянно действующих сейсмических станций включают в себя: сеть стационарных цифровых сейсмических станций; сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС); сеть станций регистрации сильных движений (ССД). Деление на сети обусловлено принципами организации и эксплуатации пунктов наблюдений, способами регистрации и передачи сейсмических данных, целевым назначением сетей.

В 2013 г. сеть постоянно действующих сейсмических станций Камчатского филиала Геофизической службы РАН состоит из 71 пункта регистрации сейсмических сигналов, оснащенных каналами связи с передачей данных в реальном времени (рис. 4а, б, Приложение 1). В составе сейсмометрических каналов станций применяются различные датчики: короткопериодные велосиметры ОКБ ИФЗ (Россия) СМЗКВ (полоса частот регистрируемых сейсмических сигналов 0.7÷20 Гц); велосиметры Guralp (Англия) CMG 3ТВ (0.0083÷40 Гц); велосиметры Guralp (Англия) CMG 6Т (0.033÷40 Гц); модернизированные велосиметры СМЗКВ – СМЗвч (4÷20 Гц) и СМЗос (0.02÷7 Гц); акселерометры Guralp (Англия) CMG 5Т (0÷40 Гц).

Для цифровой регистрации сейсмических сигналов используется оборудование, разработанное в 2002–2005 гг. в КФ ГС РАН (стационарная

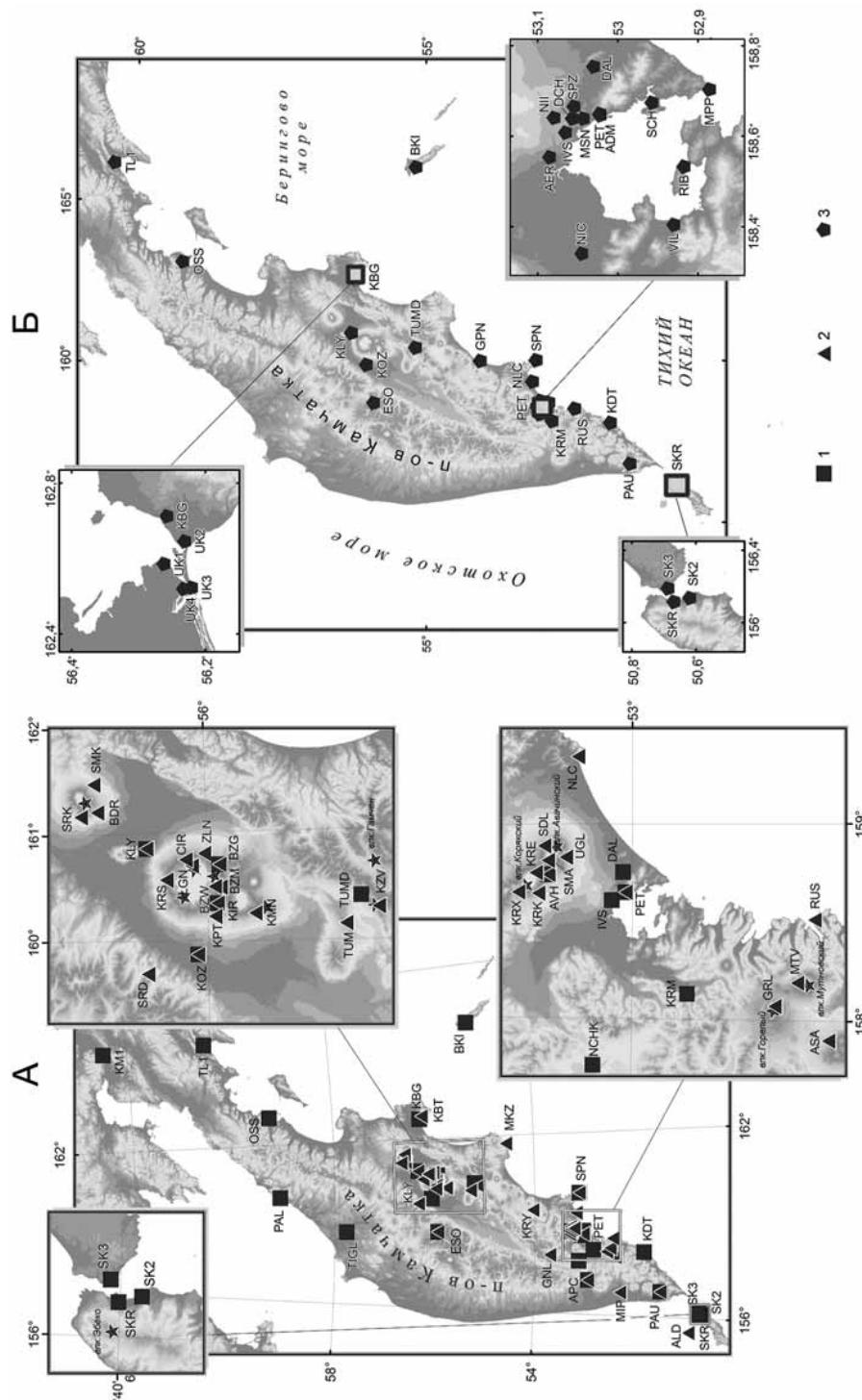


Рис. 4. Сеть постоянно действующих сейсмических станций Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 1 – широкополосные цифровые велосиметры; 2 – короткопериодные велосиметры; 3 – широкополосные цифровые акселерометры.

цифровая сейсмическая станция (СЦСС) [Чебров и др., 2006]), и регистраторы зарубежных специализированных фирм GSR-24 (GeoSIG, Швейцария), DM 24 (Guralp, Англия) [Мишаткин, Захарченко, Чебров, 2011].

Оборудование РТСС для решения задачи контроля активных вулканов в оперативном режиме было разработано еще в 1974–1982 гг. в Институте вулканологии и его Опытно-методической сейсмологической партии под руководством В. А. Гаврилова [Гаврилов и др., 1987]. Для передачи сейсмических сигналов по радиоканалу используется ЧМ-ЧМ модуляция. В 2010–2012 гг. в КФ ГС РАН разработаны и опробованы технические и программные средства для демодуляции ЧМ сигналов на приемных центрах РТСС методами цифровой обработки сигналов. В 2013 г. система цифровой демодуляции для каналов радиотелеметрических сейсмических станций введена в эксплуатацию на всех приемных центрах РТСС. Внедрение цифровой обработки сигналов на приемных центрах РТСС обеспечило за счет понижения аппаратурных шумов расширение динамического диапазона регистрируемых сигналов не менее чем на 6 Дб и повысило за счет уменьшения количества аналоговых элементов в измерительном тракте долговременную стабильность характеристик сейсмометрических каналов.

Сейсмические станции Камчатки (рис. 4а), оснащенные короткопериодными и широкополосными велосиметрами, обеспечивают надежную регистрацию сейсмических сигналов в широком частотном и динамическом диапазоне и идентификацию землетрясений на всей территории Камчатского края с прилегающими акваториями с $ML \geq 3.5$. Для событий из Авачинского залива – с $ML \geq 2.8$, для Авачинской группы вулканов – с $ML \geq 1.0$, для Ключевской группы вулканов – с $ML \geq 1.8$.

Сеть станций сильных движений (ССД), показанная на рис. 4б, обеспечивает регистрацию сильных землетрясений, когда все другие сейсмометрические системы неработоспособны. Результаты работы сети ССД, кроме научно-исследовательского значения, имеют важные практические приложения при строительстве в сейсмоопасных зонах. Записи сильных землетрясений, получаемые станциями сильных движений, лежат в основе исследований свойств очага землетрясения (источника колебаний), характера затухания амплитуд с расстоянием, влияния грунтово-геологических условий, соотношения колебаний грунта с фактическими повреждениями зданий. Сеть ССД на Камчатке в 2013 г. состоит из 31 пункта, которые оснащены 24-х разрядными цифровыми регистраторами и акселерометрами Guralp CMG-5; максимальное регистрируемое ускорение до $1\text{--}2 \text{ g}$. В районе г.Петропавловска-Камчатского имеется 15 пунктов ССД.

При обработке землетрясений по регламентам службы срочных донесений (ССД) и предупреждения о цунами (СПЦ) на межрегиональном

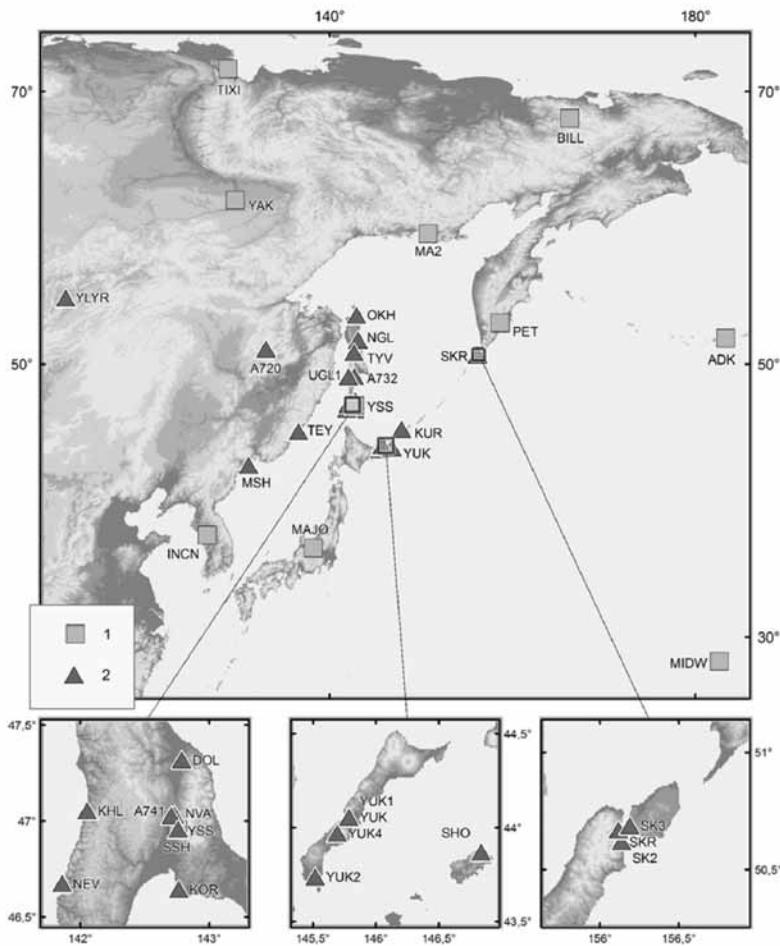


Рис. 5. Широкополосные сейсмические станции, расположенные на Дальнем Востоке России, в Японии, Южной Корее и США, данные которых доступны на межрегиональном информационно-обрабатывающем центре КФ ГС РАН «Петропавловск» в реальном времени. 1 – станции международной сети GSN (IRIS, США); 2 – станции сети Дальнего Востока РФ. На врезках более детально показаны южная часть о. Сахалин (слева), о-ва Кунашир и Шикотан (в центре), о-ва Парамушир и Шумшу (справа).

информационно-обрабатывающем центре (ИОЦ) КФ ГС РАН доступны в реальном времени данные всех действующих на территории Дальнего Востока РФ цифровых сейсмических станций, включая ряд станций глобальной сети (GSN) IRIS, установленных на территории России, Японии, США и Южной Кореи (рис. 5, Приложение 2).

Временные локальные сейсмометрические сети (ВЛСС) и детальные полевые сейсмологические наблюдения всегда ориентированы на конкретный локальный объект и на решение конкретных научных и практи-

Диапазоны сигналов, регистрируемых каналами сейсмических станций на Камчатке

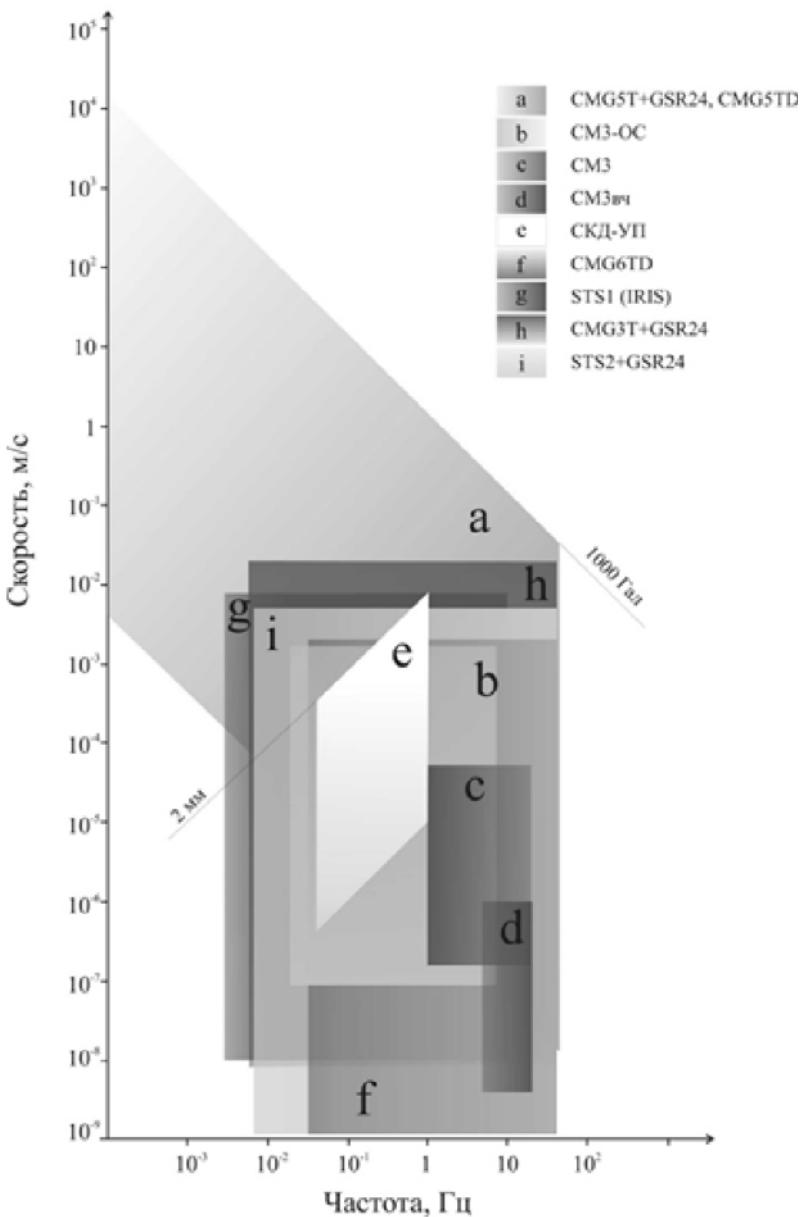


Рис. 6. Диапазоны сейсмических сигналов, регистрируемых каналами станций на территории Камчатского края и Дальнего Востока РФ.

ческих задач. Такими объектами на Камчатке являются: активные вулканы, эпицентральные зоны сильных землетрясений, сейсмически активные разломные зоны, населенные пункты и окружающая их территория и др. Среди научных и практических задач можно назвать: исследования связи сейсмического режима и активности вулканов; исследования очагов сильных землетрясений и строения верхних горизонтов земной коры; сейсмическое районирование. Основная задача таких сетей – это регистрация сейсмических сигналов от землетрясений или шумовых сейсмических сигналов (микросейсмы, техногенные шумы, вулканическое дрожание) в максимально возможном частотном и динамическом диапазоне. Для проведения наблюдений путем создания ВЛСС Камчатским филиалом при финансовой поддержке РФФИ были приобретены цифровые портативные широкополосные сейсмометры CMG-6TD производства Guralp Systems Ltd. Основными объектами детальных исследований путем организации ВЛСС в последние годы были вулканы Безымянный, Толбачик и Кизимен, а также Узон-Гейзерная вулканотектоническая депрессия [Чебров и др., 2013а].

Достоверность и качество сейсмологических данных и каталога землетрясений определяется метеорологическим обеспечением наблюдений. Передаточные функции каналов станций в форме полюсов и нулей рассчитываются по отклику на калибровочные сигналы с использованием фиксированных (паспортных) значений датчиков сейсмических сигналов. Кроме периодических калибровок каналов станций проводится также по ряду формальных признаков контроль состояния оборудования и формирование сводных таблиц, которые используются инженерами при обслуживании станций и операторами при обработке сейсмометрических данных. На рис. 6 показаны диапазоны сейсмических сигналов, регистрируемых каналами станций на территории Камчатского края и Дальнего Востока РФ.

Несмотря на значительные успехи в последние годы в создании на Камчатке современной цифровой системы сейсмологических наблюдений, работающей в режиме реального времени, актуальной задачей остается ее дальнейшее развитие: недостаточна плотность сетей на западном побережье и севере Камчатки, недостаточно станций сильных движений на территории г. Петропавловска-Камчатского и в других населенных пунктах Камчатки.

СЕТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ, ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ И ДР. НАБЛЮДЕНИЙ

Необходимым условием разработки научных технологий прогноза опасных природных процессов и моделирования механизма их разви-

тия, кроме сейсмологических наблюдений, является должный уровень разномасштабного комплексного геофизического мониторинга изменений напряженного состояния геологической среды, процессов подготовки сильных землетрясений и их отражения в параметрах физических полей. Наибольшее развитие комплексные наблюдения получили на геодинамическом полигоне в районе г. Петропавловска-Камчатского [Чебров, 2009].

Геодезические наблюдения [Левин и др., 2012]. Созданная КФ ГС РАН в середине 90-х годов XX века сеть GPS наблюдений позволяет измерять величины и скорости накопления деформаций земной коры в сейсмоактивных районах и в районах вулканической активности. С 2010 г., после длительного перерыва, на Камчатке начаты наблюдения за наклонами земной поверхности (в 2013 г. 8 пунктов, наклономеры APPLIED GEOMECHANICS 701-2A). По данным GPS наблюдений ранее были обнаружены пресейсмические, косейсмические и постсейсмические деформации, связанные с Кроноцким землетрясением 5 декабря 1997 г., $Mw=7.8$, Олюторским 20 апреля 2006 г. с $Mw=7.6$, с подготовкой и извержением вулкана Плоский Толбачик в его ареальной зоне в ноябре 2012 г. (НТТИ им. 50-летия ИВиС). По данным наклономерных наблюдений зарегистрированы косейсмические и постсейсмические деформации, связанные с землетрясением 28 февраля 2013 г., $Mw=6.8$, с извержением вулкана Ключевской в августе-октябре 2013 г.

Гидрогеохимические наблюдения [Хаткевич, Рябинин, 2006]. Сеть гидрогеохимических наблюдений состоит из четырех гидрогеологических станций, включающих в себя двенадцать водопунктов. Наблюдения ведутся с 1977 г. Параметры, измеряемые в полевых условиях: расход воды, температура воды и воздуха, атмосферное давление. В пробах воды в лабораторных условиях определяются: pH, концентрации хлора, гидрокарбоната, сульфата, натрия, калия, кальция, магния, борной и кремниевой кислоты. В пробах газа в лабораторных условиях определяются: метан, азот, кислород, углекислый газ, аргон, гелий, водород, углеводородные газы (УВГ). Все сильные землетрясения Камчатки за время многолетних наблюдений за режимом подземных вод на Камчатке сопровождались пресейсмическими, косейсмическими и постсейсмическими эффектами в гидрогеохимических параметрах.

Газодинамические наблюдения. Сеть состоит из девяти пунктов, где измеряются: температура, давление и влажность, концентрация водорода, радона, торона и углекислого газа. Наблюдения ведутся с 1997 г. [Фирстов и др., 2006; Кузьмин, 2010].

Гидрогеодинамические наблюдения [Копылова, 2009], 3 пункта. Измеряемые параметры: уровень воды, атмосферное давление, электропроводность.

Электротеллурические наблюдения, 4 пункта. Измеряемые параметры: разность потенциалов между электродами во взаимно перпендикулярных направлениях. Наблюдения ведутся с 1990 г. [Мороз и др., 1995].

Наблюдения за высокочастотными сейсмическими шумами (ВСШ), 2 пункта. Измеряемые параметры: параметры сейсмического шума в узкой частотной полосе с центральной частотой около 30 Гц. Наблюдения ведутся с 1992 г. [Салтыков и др., 2006].

Акустические наблюдения (волновые возмущения в атмосфере), 8 пунктов. Измеряемые параметры: вариации атмосферного давления в диапазоне 0.003–10 Гц и 0.3–10 Гц. Наблюдения ведутся с 1992 г. [Фирстов, 2009].

Метеопараметры, 2 пункта. Измеряемые параметры: температура, скорость и направление ветра, давление, влажность, количество осадков.

Полные сведения о пунктах геофизических, геодезических, гидрогеохимических и др. наблюдений приведены в Приложении 3.

СИСТЕМА СБОРА, ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ОБРАБОТКИ

В основе системы сбора, обработки, хранения и представления сейсмологической и геофизической информации лежит корпоративная сеть КФ ГС РАН, которая включает в себя: локальные вычислительные сети региональных ИОЦ ГС РАН «Петропавловск», «Южно-Сахалинск» и «Владивосток»; удаленных центров сбора данных (опорных сейсмических станций, групп станций, приемных центров РТСС) [Чебров и др., 2013a]. Включение в сеть Камчатского филиала ИОЦ «Южно-Сахалинск» и «Владивосток» было обусловлено необходимостью организации оперативной оценки параметров землетрясений в акваториях Тихого океана, Японского, Охотского и Берингова морей в целях предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России.

Система сбора и передачи данных организована на базе каналов сети Internet, RadioEthernet сетей технологической связи, спутниковых VSAT сетей по технологии «HughesNet» и «Idirect».

В сети используются специализированные серверы, осуществляющие буферизацию потоков данных с сети станций. Для задач оперативной обработки и повышения надежности оценок параметров землетрясений организована буферизация потоков данных с ряда станций IRIS, расположенных в северо-западной части Тихоокеанского региона (MIDW, ADK, INCN, MAJO, YAK, YSS, PET, TIXI, BILL). Основным файло-

вым хранилищем являются специализированные архивные серверы сейсмических данных, расположенные в РИОЦ «Петропавловск» и созданные на основе двух RAID массивов 6-го уровня. Данные хранятся в виде суточных файлов по каждой из станций.

В сети работают UNIX SQL серверы баз данных. Они обеспечивают работу различных информационных баз данных. Один из серверов выполняет в сети функции Web сервера с возможностью обработки и визуализации данных по запросам клиентов. В сети предусмотрен специализированный сервер для задач контроля и мониторинга работы сети и основных потоков данных.

В зависимости от времени задержки выходных результатов обработка данных сейсмологических наблюдений имеет 3 уровня [Чебров и др., 2013a]:

1. служба срочных донесений с задержкой до 30 минут;
2. оперативная обработка с задержкой до 24 часов;
3. окончательная (сводная) обработка с задержкой до одного года и более в зависимости от интенсивности потока землетрясений.

Региональный информационно-обрабатывающий центр (РИОЦ) «Петропавловск» КФ ГС РАН по всем сильным землетрясениям Дальнего Востока России работает в непрерывном круглосуточном режиме по регламентам Службы предупреждения о цунами (СПЦ) с $M \geq 6.0$ и Службы срочных донесений (ССД) с $M \geq 5.0$. По действующему регламенту СПЦ обработка землетрясения, зарегистрированного на расстоянии до 1 000 км от РИОЦ «Петропавловск», должна занять не более 10 минут. Для быстрой автоматической оценки параметров потенциально цунамигенных землетрясений в Дальневосточном регионе России используется программный комплекс «БЛИЩ» [Чебров Д., Гусев, 2010]. Программный комплекс обеспечивает определение координат и энергетическую оценку землетрясений с магнитудой более 5.5 не позднее, чем через 5.5 минут с момента начала регистрации события сетью станций.

Результаты обработки рассылаются в центры цунами Росгидромета, ГС РАН, МЧС и в администрацию Камчатского края, а также публикуются на официальной странице КФ ГС РАН в Internet (www.emsd.ru).

В режиме оперативной обработки работают лаборатория исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА) и приемный центр РТСС в п. Ключи. Основная работа в режиме оперативной обработки выполняется в ЛИСВА. Кроме мониторинга региональной сейсмичности здесь ведется мониторинг вулканической активности. Результаты оперативной обработки землетрясений концентрируются и организуются в базы данных. Оперативный каталог содержит координаты землетрясения, его глубину и энергетический класс $K_{S 1.2}^{\phi 68}$ по энергетичес-

кой классификации С. А. Федотова [Федотов, 1972]. Для сильных землетрясений определяется магнитуда по коде. Для расчета координат гипоцентров тектонических землетрясений в оперативной обработке на приемных центрах РТСС с 2010 г. используется программа DIMAS [Дроздин, Дроздина, 2010], годограф И. П. Кузина [Кузин, 1974] и локальные годографы вулканов Авачинский и Ключевской [Сенюков, 2006].

Окончательная обработка всех землетрясений совместно по всем наблюдательным сетям производится лабораторией сводной обработки. Для расчета координат гипоцентров землетрясений применяется программа А. А. Гусева [Гусев, 1979]. С 2010 г. благодаря развитию в КФ ГС РАН системы сбора данных наблюдений, обеспечивающей доступ к данным всех сейсмических станций в режиме близком к реальному времени, оценки основных параметров землетрясений (координаты гипоцентра, энергия), полученные в оперативном режиме, заносятся в окончательный каталог без изменений. Окончательный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов является основным результатом деятельности КФ ГС РАН.

Дополнительные параметры землетрясений, традиционно получаемые ЛСО в течение многих лет, включают в себя механизмы очагов, макросейсмические данные, а также разнообразные энергетические характеристики землетрясений. Механизмы очагов определяются по знакам первых вступлений объемных волн по программе FA2011, автор А. В. Ландер [Комплексные.., 2004, 2006]). Оценки интенсивности макросейсмических проявлений проводятся по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]. Время сейсмических событий указано по Гринвичу, если не оговаривается другое. Более подробное описание системы сбора макросейсмической информации приведено в Приложении 4.

Для обработки записей цифровых сейсмических станций в целях получения данных о сильных колебаниях грунта применяется программный пакет, кратко описанный в [Чубарова и др., 2010]. Его применение упрощается тем фактом, что акселерографы CMG-5 в рабочей полосе частот ведут регистрацию ускорения без аппаратурных искажений и не требуют обратной фильтрации.

В работе подразделений КФ ГС РАН, занятых сбором и оперативной обработкой сейсмологической информации, в зависимости от уровня сейсмической и вулканической опасности выделяются три режима: 1) повседневной деятельности; 2) повышенной опасности; 3) чрезвычайный.

Кроме сейсмологической информации, корпоративная сеть КФ ГС РАН обеспечивает сбор данных геодезических, геофизических и других наблюдений.

На основе систематизации и обработки данных комплексных геофи-

зических наблюдений КФ ГС РАН созданы и поддерживаются информационные ресурсы, доступные широкому кругу пользователей в Internet (www.emsd.ru) или по запросу.

В результате обработки исходных данных сейсмических станций формируются разделы Банка сейсмологических данных КФ ГС РАН. В состав Банка входит вся сопутствующая информация о землетрясениях Камчатки и прилегающих территорий, включая оценки параметров «камчатских» землетрясений международными и Российскими сейсмологическими центрами (ГС РАН в Обнинске, Сахалинский филиал ГС РАН, Геологическая служба США USGS, Международный сейсмологический центр ISC, Global CMT США). Разделы Банка сейсмологических данных Камчатки имеют разный уровень доступа: через Internet для всех пользователей открыт каталог основных параметров землетрясений с 1962 г. по настоящее время с энергетическим классом $K_s \geq 8.5$; остальная информация доступна пользователям локальной сети КФ ГС РАН или другим заинтересованным лицам по запросу.

Кроме каталогов землетрясений данные сейсмологических, геофизических и др. наблюдений и результаты их обработки представлены в информационных системах, в цифровых архивах и базах данных. На странице КФ ГС РАН в Internet (www.emsd.ru) доступны информационные системы «Служба срочных донесений», «Монитор сейсмической активности Дальнего Востока России», информационно-вычислительная система «Землетрясения Камчатки», фактографическая база данных «Активность вулканов Камчатки» и др. Для организации, визуализации и анализа данных комплексных геофизических наблюдений разработана информационная система «POLYGON» [Копылова, Латыпов, Пантиухин, 2003]. Цифровые архивы «Волновые формы региональных землетрясений Камчатки, Дальнего Востока России и мира», «Видеонаблюдения за активными вулканами Камчатки» и др. доступны по запросу.

Банк сейсмологических данных Камчатки и информационные ресурсы КФ ГС РАН в Internet подробно представлены в [Гордеев и др., 2008; Гордеев и др., 2010; Кугаенко, Матвеенко, 2013].

ВЫВОДЫ

Система комплексных наблюдений современных геодинамических процессов КФ ГС РАН, основанная на широком внедрении цифровых методов регистрации, сбора, контроля, обработки, хранения и представления данных комплексных сейсмологических, геофизических, гидро-геохимических и других наблюдений, позволяет проводить фундаментальные и прикладные исследования в области наук о Земле на мировом уровне, включая:

- исследования сейсмичности, природы, механизма и закономерностей сейсмических процессов, глубинного строения и геодинамики;
- изучение сейсмической опасности на территории Камчатского края и развитие методов ее оценки;
- развитие методов оценки цунамигенного потенциала землетрясений и предупреждения цунами;
- разработку и развитие методов прогноза сильных землетрясений и извержений вулканов.

Сильные землетрясения 2013 года показали готовность системы комплексных наблюдений современных геодинамических процессов КФ ГС РАН к сильным сейсмическим событиям.

ЧАСТЬ I

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 г. НА КАМЧАТКЕ

ГЛАВА 1

Землетрясение 28 февраля 2013 г., $Mw=6.8$ у южной оконечности Камчатки

28 февраля 2013 г. в 14^h05^m у юго-восточного побережья Камчатки произошло сильное землетрясение с магнитудой $Mw=6.8$ (рис. 1.1). Очаг землетрясения находился в Тихом океане, примерно в 120 км к востоку от г. Северо-Курильска и в 270 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского. Параметры гипоцентра землетрясения, его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период 1962 г. по 28.02.2013 г., а также их энергетические характеристики по данным различных сейсмологических центров России и мира приведены в табл. 1.1. По данным КФ ГС РАН землетрясение ощущалось в населенных пунктах Камчатки с интенсивностью до 5–6 баллов.

По регламентам ССД и СПЦ дежурные операторы РИОЦ приступили к обработке после срабатывания сигнализации о происходящем сильном землетрясении при превышении регистрируемым сейсмическим сигналом, заданным по эмпирическим соотношениям (амплитуда сигнала – гипоцентральное расстояние – магнитуда), уровня тревоги на ближайшей к эпицентру сейсмической станции «Северо-Курильск» (SKR).

Через одну минуту с начала регистрации землетрясения на станции SKR оператором РИОЦ с учетом данных других станций сигнал «Регистрируется сильное землетрясение!» был передан в Центр цунами ФБГУ «Камчатское УГМС» (Росгидромет).

Через 4 минуты с начала регистрации землетрясения на станции SKR по сети станций были получены предварительные оценки координат эпицентра и магнитуды землетрясения.

Через 6 минут с начала регистрации землетрясения на станции SKR была уточнена оценка параметров землетрясения (время в очаге: 14^h05^m50^s;

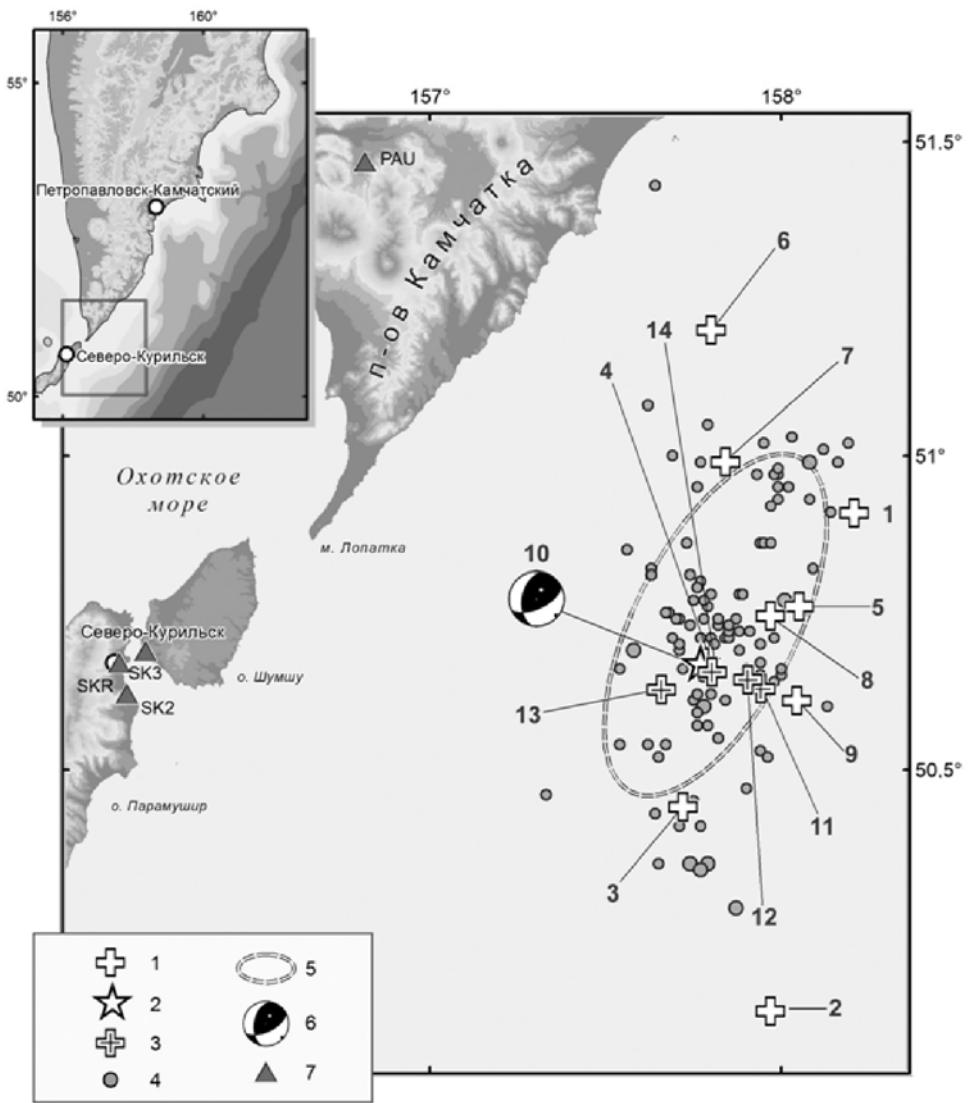


Рис. 1.1. Схема расположения эпицентра землетрясения 28.02.2013 г., его афтершоков с энергетическими классами $K_s \geq 8.5$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 28.02.2013 г. по данным каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов ($K_s \geq 8.5$ соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети в пределах границы зоны ответственности). 1 – эпицентры сильных землетрясений рассматриваемого района за период с 1962 г. по 28.02.2013 г.; 2 – эпицентр землетрясения 28.02.2013 г.; 3 – эпицентры сильных афтершоков; 4 – эпицентры афтершоков с $8.5 < K_s < 13.5$; 5 – 2 σ -эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 6 – стереограмма механизма очага землетрясения 28.02.2013 г. по Global CMT; 7 – сейсмические станции. Нумерация землетрясений соответствует табл. 1.1.

Таблица 1.1. Параметры землетрясения 28.02.2013 г., его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$, а также сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период 1962 г. по 28.02.2013 г.

№	Гипоцентр					Энергетический класс / Магнитуда								
	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	φ° , N	λ° , E	h , км	КФ ГС РАН			Global CMT	NEIC(USGS)			ГС РАН	
						K_s	ML	Mc		Mw	m_b	M_s	Mw	m_b
Сильные землетрясения рассматриваемого района за период 1962 г. по 28.02.2013 г.														
1	1966.04.08	01:46:43	50.91	158.21	18	13.9	6.2	—	—	6.0	—	—	—	—
2	1966.06.21	23:06:29	50.12	157.97	25	13.5	6.0	—	—	5.5	—	—	—	$M=5$
3	1973.03.12	19:39:19	50.44	157.72	39	14.3	6.4	—	—	6.1	—	—	6.0	6.2
4	1973.04.12	13:49:14	50.67	157.78	20	14.2	6.4	—	—	6.1	—	—	6.1	6.4
5	1992.07.13	15:34:03	50.76	158.05	39	13.7	6.1	—	6.1	5.7	5.8	6.2	5.8	5.9
6	1993.06.08	13:03:37	51.20	157.80	40	15.0	6.8	7.3	7.5	6.4	7.3	7.1	6.5	7.4
7	1999.09.18	21:28:34	50.99	157.84	40	13.8	6.2	6.0	6.0	5.9	5.6	6.0	6.2	5.6
8	2006.08.24	21:50:34	50.75	157.97	38	14.3	6.4	6.4	6.5	5.9	6.2	6.5	6.0	6.3
9	2008.07.24	01:43:15	50.61	158.04	40	13.8	6.2	6.1	6.2	6.0	6.0	6.2	6.1	6.1
Землетрясение 28.02.2013 г. и его сильнейшие афтершоки														
10	2013.02.28	14:05:48	50.67	157.77	61	15.2	6.9	6.6	6.8	6.4	6.7	6.9	6.3	6.8
11	2013.03.01	12:53:49	50.63	157.94	52	14.2	6.4	5.9	6.4	5.7	5.8	6.4	5.8	6.4
12	2013.03.01	13:20:48	50.64	157.90	62	15.1	6.8	6.5	6.5	6.3	6.3	6.5	6.2	6.6
13	2013.03.04	20:56:33	50.63	157.66	51	13.6	6.1	5.1	5.3	5.3	4.8	—	5.4	4.7
14	2013.03.09	14:56:27	50.66	157.80	49	13.7	6.1	5.6	5.8	5.7	5.3	5.8	5.7	5.5

Примечание. K_s – энергетический класс по S-волне; ML – локальная магнитуда; Mc – магнитуда по коду; Mw – моментная магнитуда; m_b – магнитуда по объемным волнам; M_s – магнитуда по поверхностным волнам Релея.

50.89° N, 157.55° E, глубина $h=61$ км, $M_s=6.4$, $M_s(20R)=6.6$, $ML=6.9$ и осуществлена рассылка срочных донесений по установленному списку адресов (ГУ МЧС России по Камчатскому краю, ССД ГС РАН, Росгидромет и др.).

Тревога цунами не объявлялась (пороговый уровень для объявления тревоги цунами $M_s \geq 7.0$).

Работа операторов РИОЦ «Петропавловск» соответствовала действующим регламентам СПЦ и ССД; полученные ими оценки параметров землетрясения близки к окончательным.

В оперативном режиме операторами ЛИСВА в течение первых 10 дней в радиусе 50 км от эпицентра землетрясения 28.02.2013 г. было обработано 102 афтершока с энергетическим классом в диапазоне $K_s=6.7-15.1$, из них 71 – в первые три дня после основного события. Преобладающее число гипоцентров находилось в интервале глубин от 30 до 60 км. Параметры наиболее сильных землетрясений (65 штук) были определены в оперативном режиме с задержкой не более суток. Обработка потока событий первых 10 суток была закончена к 10 марта. В дальнейшем обработка афтершокового процесса велась в повседневном оперативном режиме с задержкой ≤ 1 суток.

МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В табл.1.2 представлены параметры и стереограммы механизмов очагов землетрясения 28.02.2013 г. и его сильнейших афтершоков из табл. 1.1 по данным каталогов Global CMT и КФ ГС РАН (последние определялись по знакам первых вступлений P -волн на региональных станциях). Все механизмы соответствуют тектоническим условиям субгоризонтального сжатия в направлении СЗ–ЮВ. Для большинства механизмов более пологая плоскость падает под Камчатку, что соответствует геометрии зоны субдукции.

Таблица 1.2. Параметры механизмов очагов землетрясения 28.02.2013 г. и его афтершоков с $K_s \geq 13.5$ из табл. 1.1 по данным Global CMT и КФ ГС РАН.

№	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство			
				T		N		P		NP_1			NP_2						
				pl	azm	pl	azm	pl	azm	stk	dip	$slip$	stk	dip	$slip$				
10	2013.02.28	14:05:59	45	77	313	2	215	13	124	36	58	92	212	32	86	Global CMT			
		14:05:48	61	59	27	30	225	8	131	65	59	126	191	46	46	KФ ГС РАН			
11	2013.03.01	12:53:58	44	78	300	0	30	12	120	30	57	90	210	33	90	Global CMT			
		12:53:49	52	62	327	9	221	27	126	43	72	99	196	20	64	KФ ГС РАН			
12	2013.03.01	13:20:55	41	77	313	2	216	13	126	214	32	87	37	58	92	Global CMT			
		13:20:48	62	66	71	16	201	17	296	193	64	73	49	31	122	KФ ГС РАН			
13	2013.03.04	20:56:36	44	78	297	1	33	12	124	32	57	88	216	33	93	Global CMT			
		20:56:33	51	79	267	6	32	9	123	27	54	82	221	37	101	KФ ГС РАН			
14	2013.03.09	14:56:32	47	79	330	3	323	11	132	45	56	94	218	34	84	Global CMT			
		14:56:27	49	81	229	9	49	0	139	41	46	78	238	46	102	KФ ГС РАН			

ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Афтершоковая последовательность землетрясения 28.02.2013 $Mw=6.8$ выделена из оперативного каталога по методике Молчан-Дмитриевой [Молчан, Дмитриева, 1991], программно реализованной В. Б. Смирновым (МГУ им. М. В. Ломоносова). Полученная выборка включила 254 землетрясения с энергетическим классом в диапазоне $K_s = 5.8\text{--}15.0$ ($ML=2.2\text{--}6.8$). Построенный для нее кумулятивный график повторяемости (рис. 1.2) определил уровень представительности каталога как $K_{min} = 8.1$ ($ML = 3.3$), что соот-

ветствует левой границе линейного участка графика повторяемости. Используемая для дальнейшего анализа выборка была получена из оперативного каталога с учетом этого порогового значения и включила 121 землетрясение, произошедшее до конца 2013 г.

На рис. 1.1 облако эпицентров афтершоков оконтурено эллипсом расстояния, содержащим 90 % афтершоков первого месяца после главного землетрясения, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 28.02.2013 г. $M_w=6.8$: длина 90 км, ширина 40 км.

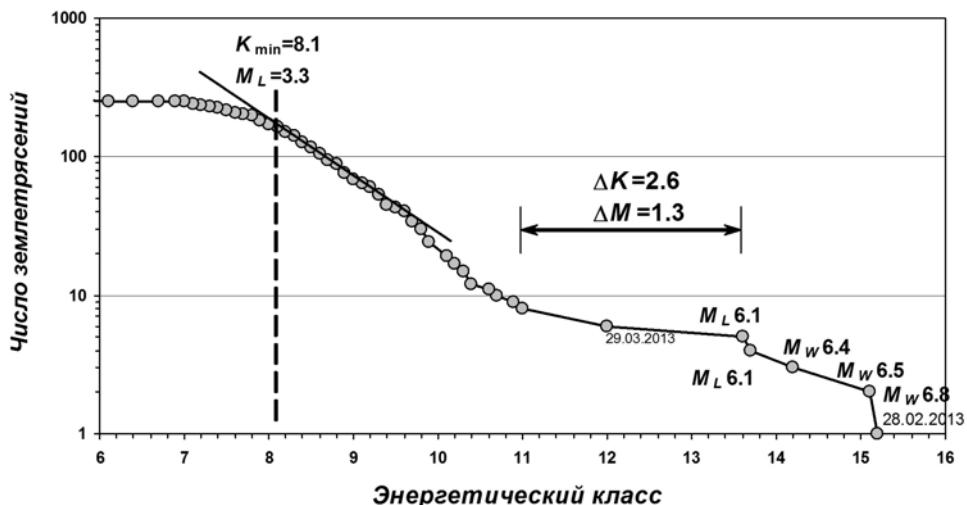


Рис. 1.2. Кумулятивный график повторяемости для афтершоковой последовательности землетрясения 28.02.2013 г. $M_w=6.8$.

На графике повторяемости наблюдается разрыв шириной $\Delta K=2.6$ ($\Delta M=1.3$) в распределении землетрясений по энергии (рис. 1.2). В отличие от типичного случая, когда подобный разрыв наблюдается между главным событием и остальными, здесь разрыв наблюдается между группой из пяти сильнейших событий (землетрясениями класса $K_s \geq 13.6$, включая главное событие и 4 наиболее сильных афтершока) и остальными афтершоками класса $K_s \leq 11.0$. Единственное землетрясение в диапазоне $K_s=11.1-13.5$ произошло через месяц после главного события, когда сейсмический процесс фактически вышел из активной фазы. Таким образом, наблюдаемая последовательность землетрясений имеет черты как роя, так и афтершоковой последовательности с $K_s \leq 11.0$.

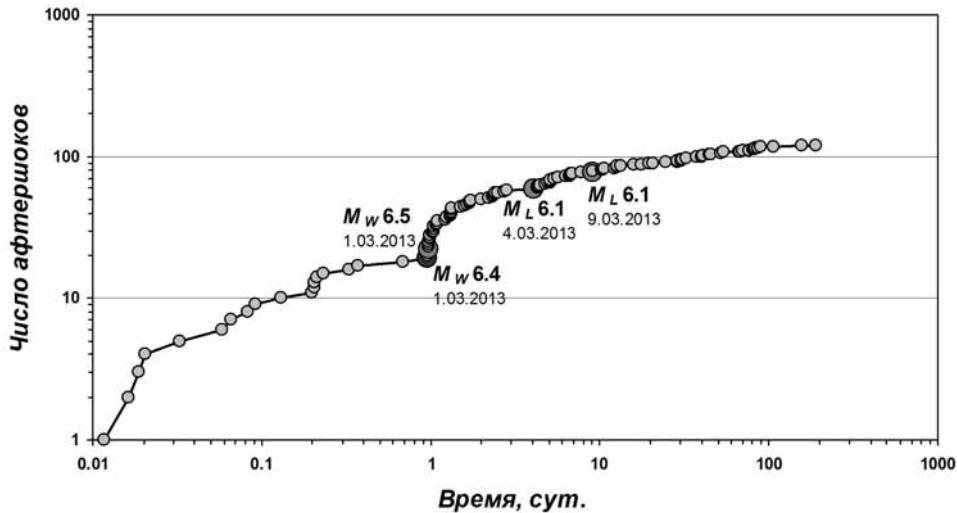


Рис. 1.3. Развитие афтершокового процесса землетрясения 28.02.2013 г. $M_w=6.8$ во времени. За начало отсчета взято время основного события – 28.02.2013 г. $M_w=6.8$. Приведены кумулятивные кривые числа афтершоков. Отмечены наиболее сильные землетрясения.

Временной ход афтершокового процесса представлен в виде кумулятивного графика числа землетрясений в билогарифмическом масштабе (рис.1.3). В течение первых суток после основного землетрясения график не противоречит обычно наблюдаемой картине: наклон кривой соответствует афтершоковой последовательности с убывающей во времени интенсивностью. Однако после двух землетрясений 01.03.2013 г. $M_w=6.4$ и $M_w=6.5$ характер графика резко меняется, что дает основания считать, что в дальнейшем мы наблюдаем уже другую афтершоковую последовательность, инициированную именно этими землетрясениями.

Более детальное рассмотрение временного хода афтершоков позволило выделить в нем несколько характерных фаз (рис. 1.4):

1. Затухающий афтершоковый процесс по гиперболическому закону убывания афтершоков $\frac{dN}{dt} \sim \frac{1}{t}$, прекращенный сильнейшими афтершоками 01.03.2013 г. Длительность фазы – ~ 23 часа. Следует отметить, что представительность каталога на этом участке была не хуже $K_{\min}=8.1$ ($ML=3.3$), определенной для всей выборки.

2. Сильнейшие афтершоки 01.03.2013 г. $M_w=6.4$ и $M_w=6.5$ сопровождались затухающим афтершоковым процессом по закону Омори $\frac{dN}{dt} \sim \frac{1}{t^p}$ с показателем $p=0.7$. Длительность фазы – ~ 33 часа. Представительность

каталога на этом участке была не хуже $K_{\min}=8.1$ ($ML=3.3$), за исключением первых 40 мин.

3. Следующая, самая продолжительная фаза, соответствует гиперболическому закону убывания афтершоков $\frac{dN}{dt} \sim \frac{1}{t}$ и завершается в июне 2013 г. Учитывая, что последующие землетрясения следуют с интервалом более 1 месяца, эту дату можно рассматривать как окончание афтершокового процесса землетрясения 28.02.2014 $Mw=6.8$, а длительность афтершокового процесса в целом оценить в ~ 100 суток.

Здесь и далее характер спада интенсивности афтершоков определяется качеством аппроксимации временного хода соответствующей кривой.

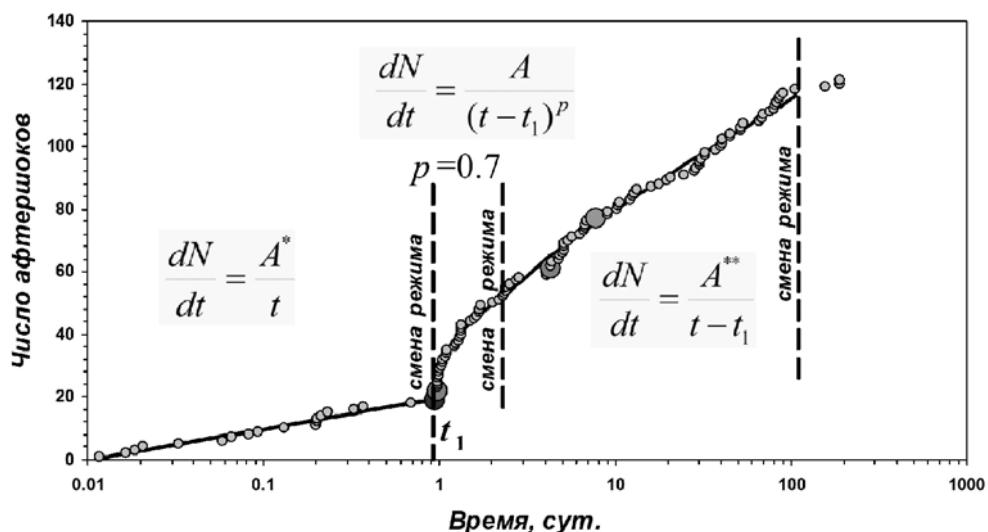


Рис. 1.4. Характерные фазы развития афтершокового процесса землетрясения 28.02.2014 $Mw=6.8$. За начало отсчета взято время основного события. Отмечены временные границы фаз.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Макросейсмическая информация собрана для 46 населенных пунктов Камчатского края и Северных Курил, из различных источников обработано 109 сообщений. Впервые жителями полуострова активно использовался интернет-опросник [Митюшкина и др., 2011], размещенный на официальном сайте КФ ГС РАН (www.emsd.ru/lsoopool/poll.php). О своих ощущениях сообщили 59 респондентов из 9 пунктов. Землетрясение произошло глубокой ночью 1 марта 2013 г. в 02^h05^m местного времени. Через интернет-опросник сразу стали поступать сообщения от респондентов, и к началу рабочего дня в КФ ГС РАН уже была предварительная

информация о силе сотрясения в 4-х населенных пунктах: г. Петропавловске-Камчатском, г. Вилючинске, г. Елизово и пос. Паратунка.

Землетрясение ощущалось с интенсивностью от 2 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 в 34 населенных пунктах, расположенных на расстоянии от 82 до 492 км от эпицентра. Площадь макросейсмического воздействия составила около 56 000 км². Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от эпицентра (Δ) и макросейсмической интенсивности в них приведен в табл. 1.3. Описание проявлений землетрясения в пунктах дано в Приложении 5.

Таблица 1.3. Макросейсмические сведения о землетрясении 28.02.2013 г.

№	Название пункта	Координаты		Δ , км	№	Название пункта	Координаты		Δ , км
		ϕ° , N	λ° , E				ϕ° , N	λ° , E	
5–6 баллов									
1	Мыс Лопатка	50.87	156.65	82	25	Елизово	53.19	158.38	283
2	Маяк Курбатова	50.87	156.48	94	26	Лесной	53.26	158.02	288
3	Северо-Курильск	50.67	156.10	118	27	Раздольный	53.27	158.32	291
4	Маяк Круглый	52.07	158.30	160	28	Зеленый	53.28	158.18	291
4–5 баллов									
5	Маяк Чибуйный	50.77	156.20	111	29	Коряки	53.28	158.22	292
6	Паужетка	51.47	156.81	111	30	ГМС Семячики	54.12	159.98	412
7	Запорожье	51.51	156.55	126	31	ГМС Кроноки	54.60	161.13	492
8	Озерновский	51.49	156.50	127	3 балла				
9	ГМС Водопадная	51.81	158.08	128	32	Апача	52.93	157.13	255
10	Вилючинск	52.92	158.43	254	2–3 балла				
11	Рыбачий	52.93	158.52	256	33	Пушкино	54.16	158.01	388
12	Николаевка	53.05	158.35	267	2 балла				
13	Петропавловск	53.02	158.65	268	34	мыс Васильева	50.00	155.40	184
14	Институт	53.07	158.61	273	Не ощущалось				
4 балла									
15	МГeoЭC-1	52.55	158.02	210	35	Октябрьский	52.67	156.22	247
16	р. Карымшина (стационар КФ ГС)	52.83	158.13	241	36	Усть-Большерецк	52.82	156.25	261
17	Термальный	52.95	158.20	255	37	Кавалерское	52.92	156.57	263
18	Паратунка	52.97	158.25	258	38	Сокоч	53.16	157.65	277
19	маяк Петропавловский	52.94	158.71	260	39	Малка	53.35	157.46	299
20	Сосновка	53.08	158.30	270	40	мыс Шипунский	53.10	160.01	312
21	Вулканый	53.09	158.34	272	41	Соболево	54.27	155.92	419
22	Начики	53.12	157.74	272	42	Мильково	54.70	158.63	452
23	Пионерский	53.09	158.55	274	43	Ключи	56.31	160.85	659
24	Новый	53.11	158.55	276	44	Усть-Камчатск	56.22	162.47	691
					45	Крутобергово	56.26	162.71	702
					46	Никольское	55.20	165.98	745

На рис. 1.5 представлена карта «пункты – баллы – изосейсты» землетрясения. Из-за малого объема данных по причине отсутствия населенных пунктов в исследуемой зоне изосейсты проведены схематично. Наблюдается вытянутость изосейст вдоль восточного побережья Камчатки, что характерно для камчатских землетрясений.

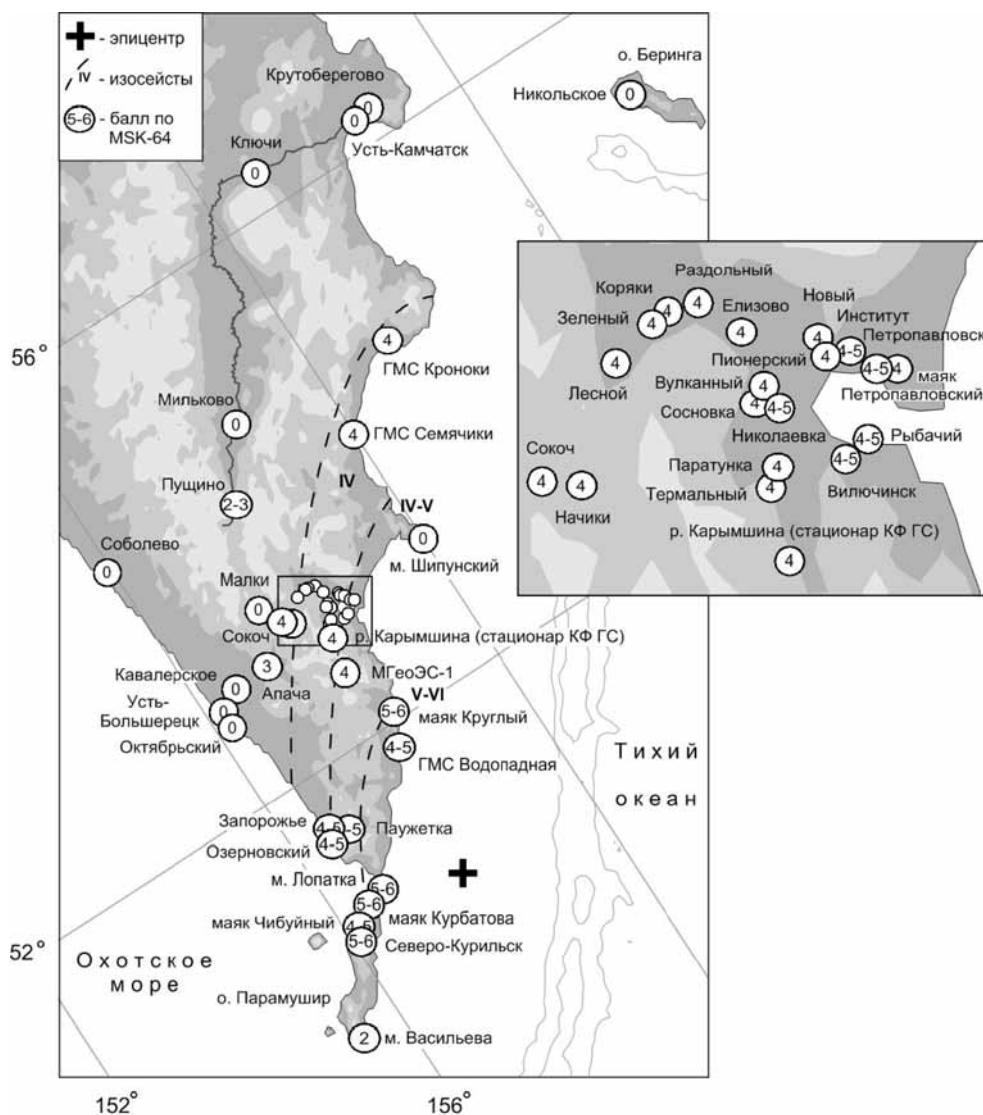


Рис. 1.5. Карта макросейсмического проявления землетрясения 28.02.2013 г.

На рис. 1.6 изображен график зависимости интенсивности землетрясения в пунктах от их гипоцентрального расстояния $I(r)$, на котором нанесены теоретические кривые спадания балльности, построенные по формуле из [Федотов, Шумилова, 1971]:

$$I = 1.5 \cdot M - 2.63 \cdot \lg(r) - 0.0087 \cdot r + 2.5, \quad (1.1)$$

где I – интенсивность в баллах; r – гипоцентральное расстояние; M – магнитуда.

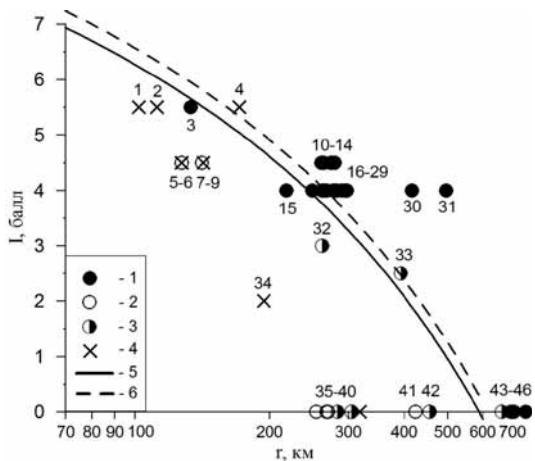


Рис. 1.6. График спадания интенсивности (I) с гипоцентрическим расстоянием (r). 1 – пункты наблюдения, расположенные на восточном побережье п-ова Камчатка и о. Парамушир; 2 – пункты западного побережья; 3 – пункты центральной Камчатки; 4 – пункты с оценкой балльности, переданной радиограммой без описания ощущений (маяки и ГМС Водопадная); 5 – кривая спадания балльности для значения магнитуды $M=6.6$; 6 – кривая спадания балльности для значения магнитуды $M_w=6.8$.

Приняв макросейсмический гипоцентр землетрясения совпадающим с его инструментальным определением, была подобрана макросейсмическая магнитуда $M=6.6$, для которой кривая спадания балльности с расстоянием наилучшим образом описывает исходные данные. Из графика видно, что на одинаковых расстояниях от гипоцентра значения балльности в населенных пунктах восточного побережья выше значений в пунктах западного побережья и центральной Камчатки, где на расстоянии более 260 км землетрясение совсем не ощущалось. Стоит отметить отсутствие ощущений на мысе Шипунский (№ 40 в табл. 1.3), расположенном на восточном побережье. Сильные ветры и шторма нередко «прятут» события в этом пункте. Балльность на ГМС Водопадная и маяках Чибуйный и мыс Васильева (№ 9, 5, 34 в табл. 1.3) значительно ниже ожидаемой, что может быть связано с локальными особенностями грунтов или, возможно, с ошибками в использовании методики определения интенсивности, так как сотрудники маяков определяют ее самостоятельно.

После землетрясения 28 февраля 2013 г. в течение первых 9 дней было зафиксировано 4 ощутимых афтершока с $K_s > 13.5$ (табл. 1.4). Все события, включая главное, имеют похожую картину макросейсмических проявлений: макросейсмический эффект более выражен на восточном побережье Камчатки; самые сильные сотрясения зафиксированы в Северо-Курильске на о. Парамушир (табл. 1.5, рис. 1.7).

Таблица 1.4. Ощущимые афтершоки землетрясения 28.02.2013 г.

№	Дата г. м. д.	Время ч.:мин.	Координаты		Глубина <i>h, км</i>	<i>K_S</i>	<i>M_c</i>
			φ°, N	λ°, E			
1	2013.03.01	12:53	50.628	157.941	52	14.2	5.9
2	2013.03.01	13:20	50.643	157.904	62	15.1	6.5
3	2013.03.04	20:56	50.626	157.658	51	13.6	5.1
4	2013.03.09	14:56	50.655	157.803	49	13.7	5.6

Таблица 1.5. Макросейсмические сведения об афтершоках землетрясения 28.02.2013 из табл. 1.4 с указанием эпицентрального расстояния (Δ) до пунктов.

Название пункта	Координаты		№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
	φ°, N	λ°, E	Δ, км	<i>I</i> , балл						
Апача	52.93	157.13	262	не ощ.	260	не ощ.	259	не ощ.	257	не ощ.
Вилючинск	52.92	158.43	257	3	256	3–4	261	2–3	256	3
Вулканый	53.09	158.34	275	не ощ.	274	3	278	не ощ.	273	не ощ.
ГМС Водопадная	51.81	158.08	132	2	130	2	135	не ощ.	130	не ощ.
ГМС Кроники	54.60	161.13	492	2	491	не ощ.	501	не ощ.	493	не ощ.
ГМС Семячики	54.12	159.98	413	не ощ.	412	не ощ.	420	не ощ.	413	не ощ.
Елизово	53.19	158.38	287	2–3	285	2–3	290	не ощ.	285	не ощ.
Запорожье	51.51	156.55	138	4	135	3–4	125	3	129	3–4
Зеленый	53.28	158.18	295	—	294	—	297	не ощ.	293	не ощ.
Институт	53.07	158.61	276	3	274	3–4	280	2–3	274	3
Коряки	53.28	158.22	296	не ощ.	294	3–4	298	не ощ.	294	не ощ.
Лесной	53.26	158.02	293	не ощ.	291	не ощ.	294	не ощ.	290	не ощ.
маяк Круглый	52.07	158.30	162	4	161	5	167	2	161	3
маяк Курбатова	50.87	156.48	106	не ощ.	104	не ощ.	87	не ощ.	96	2
маяк Чибуйный	50.77	156.20	124	не ощ.	121	не ощ.	104	2	114	не ощ.
МГеоИС-1	52.55	158.02	214	не ощ.	212	2–3	215	не ощ.	211	не ощ.
мыс Васильева	50.00	155.40	194	3–4	192	—	175	не ощ.	186	не ощ.
мыс Лопатка	50.87	156.65	95	2	92	2	76	2	85	2
мыс Шипунский	53.10	160.01	311	не ощ.	310	не ощ.	320	не ощ.	312	не ощ.
Начики	53.12	157.74	278	не ощ.	276	2	278	не ощ.	274	не ощ.
Николаевка	53.05	158.35	271	2–3	270	3	274	не ощ.	269	не ощ.
Новый	53.11	158.55	279	2	278	2	283	не ощ.	278	не ощ.
Озерновский	51.49	156.50	139	3–4	136	3–4	126	3	130	3–4
Октябрьский	52.67	156.22	256	не ощ.	254	не ощ.	248	не ощ.	250	не ощ.
Паратунка	52.97	158.25	261	не ощ.	260	3–4	264	2–3	259	3
Паужетка	51.47	156.81	123	не ощ.	120	2	111	2	114	3–4
Петропавловск	53.02	158.65	271	3	269	3–4	275	2–3	270	3
Пионерский	53.09	158.55	277	3–4	276	3–4	281	не ощ.	276	не ощ.
р. Карымшина (стационар КФ ГС РАН)	52.83	158.13	245	не ощ.	244	2–3	247	не ощ.	243	не ощ.
РНС Подгорная	50.17	155.58	175	—	173	—	156	не ощ.	167	3
Раздольный	53.27	158.32	295	не ощ.	294	3–4	298	не ощ.	293	не ощ.
Рыбачий	52.93	158.52	259	не ощ.	258	3–4	263	2–3	258	3
Северо-Курильск	50.67	156.10	130	5	127	6	110	4–5	120	4–5
Сокоч	53.16	157.65	282	не ощ.	281	не ощ.	282	не ощ.	279	не ощ.
Сосновка	53.08	158.30	274	3	273	3	277	не ощ.	272	не ощ.
Термальный	52.95	158.20	259	2	258	2	261	не ощ.	257	не ощ.

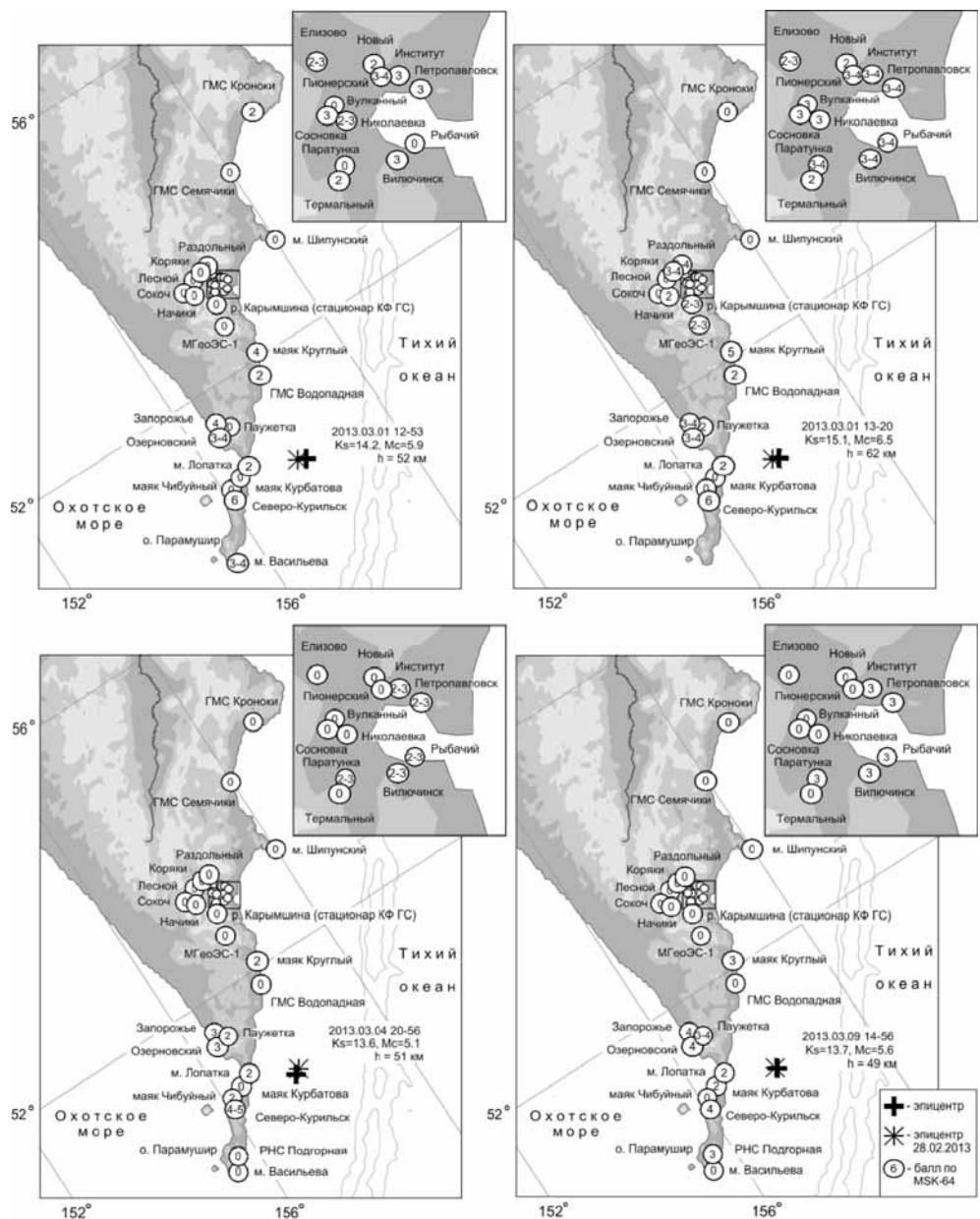


Рис. 1.7. Макросейсмические проявления афтершоков землетрясения 28.02.2013 из табл. 1.4.

АНАЛИЗ ПИКОВЫХ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

На рис. 1.8 для иллюстрации приведены графики регистрации движений грунта на ст. Северо-Курильск. В табл. 1.6 приводятся материалы обработки – пиковые амплитуды ускорений и скоростей. При наличии на станции и акселерографа, и велосиграфа приводятся результаты по обоим приборам.

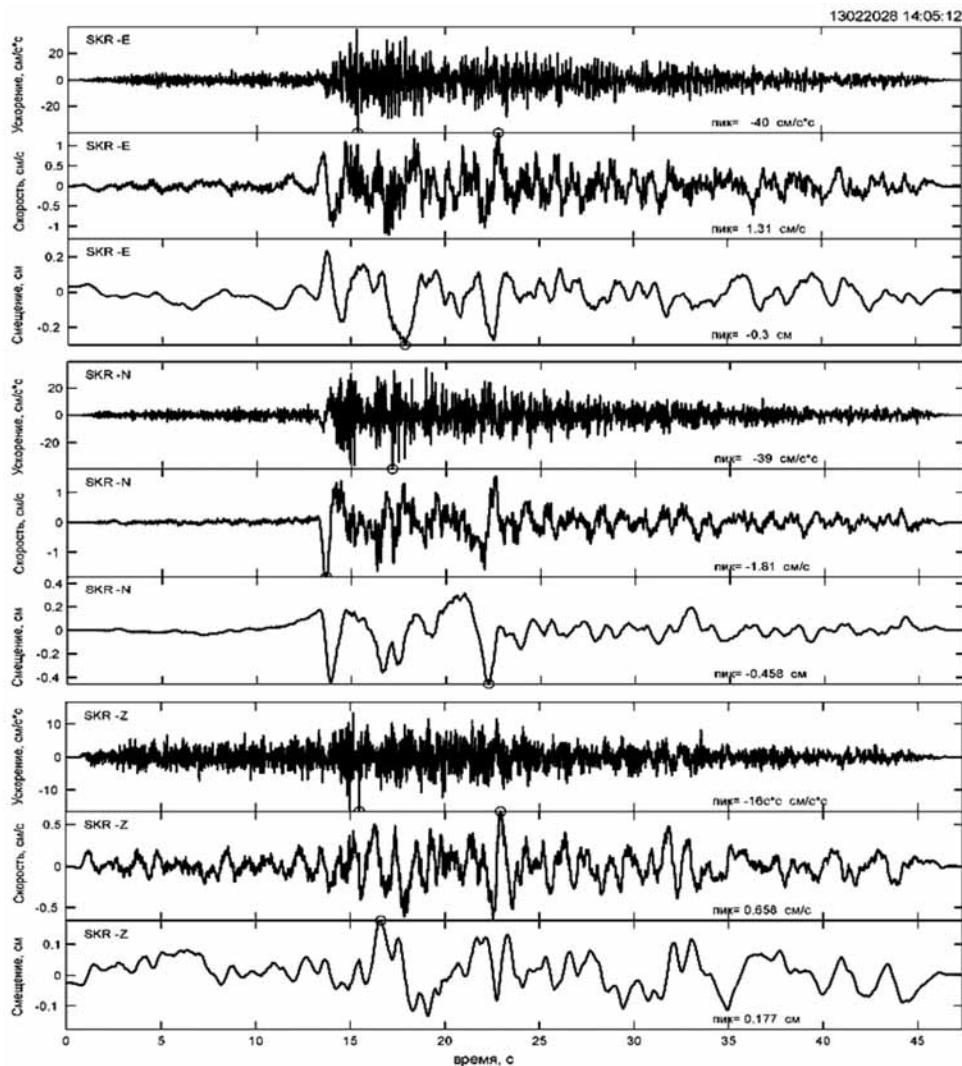


Рис. 1.8. Пример записи ускорения на каналах цифрового акселерографа Guralp CMG-5 с регистратором GEOSIG станции Северо-Курильск (SKR), одной из ближайших к эпицентру, а также восстановленных по этим записям сигналов скорости и смещения в полосе от 0.1 до 40 Гц.

Таблица 1.6. Пиковые амплитуды сильных движений грунта от землетрясения 28.02.2013 г.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r км	комп.	$a_{\text{пик}}$ HN, см/ s^2	$\Omega_{\text{пик}}$ HN, см/с	$a_{\text{пик}}$ ВН, см/ s^2	$\Omega_{\text{пик}}$ ВН, см/с
			ϕ° , N	λ° , E						
1	Администрация-УК	UK1	56.263	162.586	697/700	E N Z	3.97 -3.25 -1.55	0.669 -0.598 -0.339		
2	Беринг	BKI	55.194	165.984	743/746	E N Z	-0.354 -0.409 -0.232	0.0463 0.0597 -0.0393	-0.321 -0.391 -0.229	0.0462 0.0587 -0.0403
3	Вилючинск	VIL	52.931	158.405	254/262	E N Z	30.1 30.3 18.1	-2.36 2.73 1.62		
4	Дальний	DAL	53.031	158.754	270/277	E N Z	-7.51 8.45 -4.94	-1.13 0.808 0.685	** ** **	** ** **
5	Дачная	DCT1	53.057	158.639	271/278	E N Z	-7.41 -8.67 3.71	-1.11 1.26 -0.637		
6	Жупаново	GPN	54.082	159.989	407/412	E N Z	12.2 -17.5 5.26	1.76 -2.26 0.777		
7	Звездный	SPZ	53.055	158.66	271/278	E N Z	7.69 -7.95 3.38	0.746 -0.645 -0.532		
8	Институт вулканологии сейсмологии	IVS	53.066	158.608	272/279	E N Z	-12.5 -12.2 6.21	-1.74 1.37 -0.796	-10.06 -10.7 5.56	0.951 -1.602 -0.778
9	Каменская	KMSK	62.467	166.206	1403/1404	E N Z			0.016 -0.013 0.012	0.0156 -0.0175 0.0143
10	Карымшина	KRM	52.828	158.131	241/248	E N Z	9.84 -11.2 5.17	1.301 1.16 -0.389	** ** **	** ** **
11	Ключи	KLY	56.313	160.852	658/661	E N Z	0.947 0.681 -0.574	-0.269 0.198 0.161	1.01 -0.895 -0.591	-0.296 0.234 0.166
12	Крутоберегово	KBG	56.258	162.713	700/703	E N Z	4.16 3.31 -2.29	-0.832 -0.689 -0.461	4.15 3.41 -2.31	-0.839 -0.709 -0.459
13	Маяк	MPPA	52.886	158.704	254/261	E N Z	67.2 64.60 -19.02	-2.89 -2.61 0.637		
14	Мишенная	MSN	53.043	158.639	270/276	E N Z	-53.05 -42.2 22.8	7.28 -4.70 2.33		
15	Мор. порт	UK3	56.222	162.523	691/694	E N Z	-3.27 3.56 -1.06	0.785 0.707 -0.243		
16	Налычево	NLC	53.17	159.348	297/304	E N Z	-5.39 10.22 2.12	-0.438 0.520 -0.221		
17	НИИГТЦ	NII	53.080	158.641	274/281	E N Z	-13.8 14.2 -7.46	-1.802 2.04 -0.84		
18	Николаевка	NIC	53.045	158.341	266/273	E N Z	17.5 15.1 -5.31	-2.21 1.68 -0.634		
19	Палана	PAL	59.094	159.968	945/947	E N Z			-0.0558 -0.0258 -0.0268	-0.021 0.013 0.0132
20	Наужетка	PAU	51.468	156.815	111/126	E N Z	-30.1 -26.9 14.4	-1.44 1.11 -0.699		

Таблица 1.6. Продолжение.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r км	комп.	$a_{\text{пик}}$ HN, см/с ²	$v_{\text{пик}}$ HN, см/с	$a_{\text{пик}}$ ВН, см/с ²	$v_{\text{пик}}$ ВН, см/с
			φ° , N	λ° , E						
21	Петропавловск	PET	53.024	158.653	268/275	E N Z	5.85 -5.34 3.19	-0.656 -0.642 -0.383	5.35 -4.78 3.029	-0.566 -0.571 -0.406
22	Русская	RUS	52.431	158.513	202/211	E N Z	-13.1 -14.5 -10.1	0.916 -0.781 -0.832		
23	Рыбачий	RIB	52.917	158.533	255/262	E N Z	19.09 29.9 8.93	2.053 2.68 -0.733		
24	Сев. Курильск	SKR	50.670	156.116	116/131	E N Z	-39.9 -39.03 -16.4	1.31 -1.806 0.657	-32.7 -31.7 -11.1	-1.29 -1.87 0.631
25	Тигиль	TIGL	57.765	158.671	789/792	E N Z			0.301 -0.219 -0.094	0.150 0.095 0.059
26	Тиличики	TL1	60.446	166.145	1203/1204	E N Z	0.041 -0.038 0.024	-0.022 -0.029 0.019	-0.044 -0.043 0.025	0.0198 -0.0332 0.0193
27	Тумрок_источники	TUMD	55.202	160.399	533/536	E N Z	-4.75 -4.01 -2.03	0.666 -0.565 -0.312		
28	Ходутка	KDT	51.809	158.077	128/141	E N Z	73.6 41.6 37.8	-3.67 2.67 1.28	** ** **	** ** **
29	Шипунский	SPN	53.107	160.011	311/316	E N Z	-7.97 9.92 -4.77	0.976 -0.888 0.533	** ** **	** ** **

Примечание. Δ — эпицентральное расстояние, r — гипоцентральное расстояние; $a_{\text{пик}}$ — максимальная амплитуда пикового ускорения; $v_{\text{пик}}$ — максимальная амплитуда пиковой скорости.* — региональный код станции; ** — амплитуда сигнала вышла за динамический диапазон прибора.

Расхождения в оценках амплитуд по двум приборам связаны с рядом факторов. На некоторых станциях акселерограф установлен на постаменте, обычно в здании (одноэтажном), в то время как велосиграф установлен вне здания, на расстоянии до 40 м, в скважине с глубиной 5–30 м. Кроме того, для скважинных приборов не учитывались отклонения в ориентировке по сторонам света.

Также изучен характер затухания амплитуд с гипоцентральным расстоянием r . На рис. 1.9 отображены пиковые ускорения. Для сопоставления приводятся два варианта графиков затухания пиковых амплитуд горизонтального ускорения для землетрясения с $Mw=7$ согласно закону затухания, основанному на формуле из [Fukushima, Tanaka, 1990]

$$A \sim r^{-1.218} \quad (1.2)$$

(Фактически эти авторы приводят закон в функции эпицентрального расстояния; формула 1.2 является прямым следствием приведенного там закона.) Уровень верхней кривой привязан (при $r=200$ км) к результатам анализа [Gusev, et al., 1997] для пиковых ускорений Камчатки; для другой кривой уровень взят по [Fukushima, Tanaka, 1990]. Данные при расстояниях более 300 км располагаются намного ниже обеих прямых. Поэтому по изученным данным сделаны другие аппроксимации.

Первый вариант аппроксимации – линейный, это – штрихпунктирная прямая. Ее наклон равен -2.55 . Качество приближения недопустимо низкое. Второй вариант аппроксимации – это штриховая ломаная. Она имеет изломы на значениях $r=300$ и 600 км; наклон звеньев составляет -1.37 , -2.42 и -5.8 .

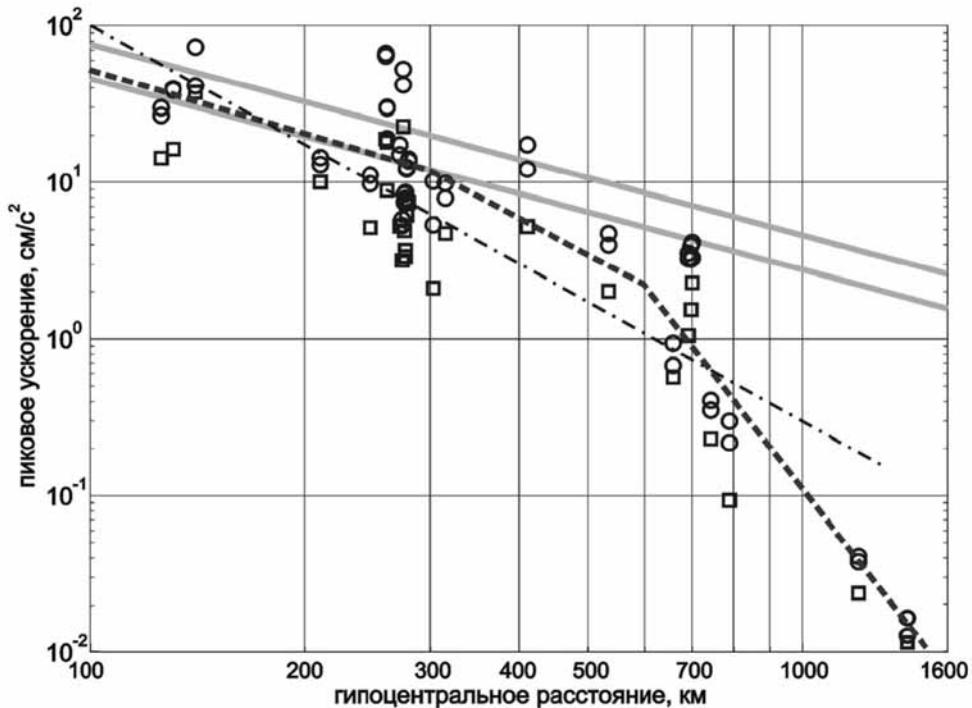


Рис. 1.9. Пиковые ускорения в функции расстояния. Кружки и квадраты – значения ускорения на горизонтальных и вертикальных компонентах соответственно. Серые прямые – следуя [Fukushima, Tanaka, 1990] (нижняя) и [Gusev, et al., 1997] (верхняя), детали см. текст. Штрих-пунктир – линейная аппроксимация данных, недопустимо грубая. Штриховая линия – принятая аппроксимация данных в виде ломаной.

На рис. 1.10 отображены пиковые скорости. Для сопоставления приводится график затухания пиковой скорости, значение которой принималось равным $2\pi(A/T)$, причем значения параметра A/T рассчитаны согласно калибровочной кривой для энергетического класса Федотова $K^{\Phi 68}$ [Федотов, 1972]. Уровень кривой подобран и соответствует значению $K^{\Phi 68}=16.3$. Наклон кривой равен -1.75 . Принятое значение уровня заметно (в 3.2 раза) превышает уровень, соответствующий фактической оценке $K^{\Phi 68}=15.3$ для данного землетрясения. Расхождение, по-видимому, связано с широкой полосой канала цифрового велосиграфа в сравнении с ограниченным по полосе сигналом на канале 1.2-секундного сейсмографа ВЭГИК, эмулируемого по цифровым записям для расчетов $K^{\Phi 68}$. Качественное согласие тренда наблюденных данных с трен-

дом калибровочной кривой вполне приемлемое. Отметим, что калибровочная кривая была построена для диапазона расстояний до 600–800 км, в диапазоне 700–1 600 км ее изображение на рис. 1.9 является, в сущности, экстраполяцией. Эта экстраполяция оказалась удачной.

Более детальный анализ амплитуд может быть проведен после выполнения аккуратной классификации станций по типам грунтов.

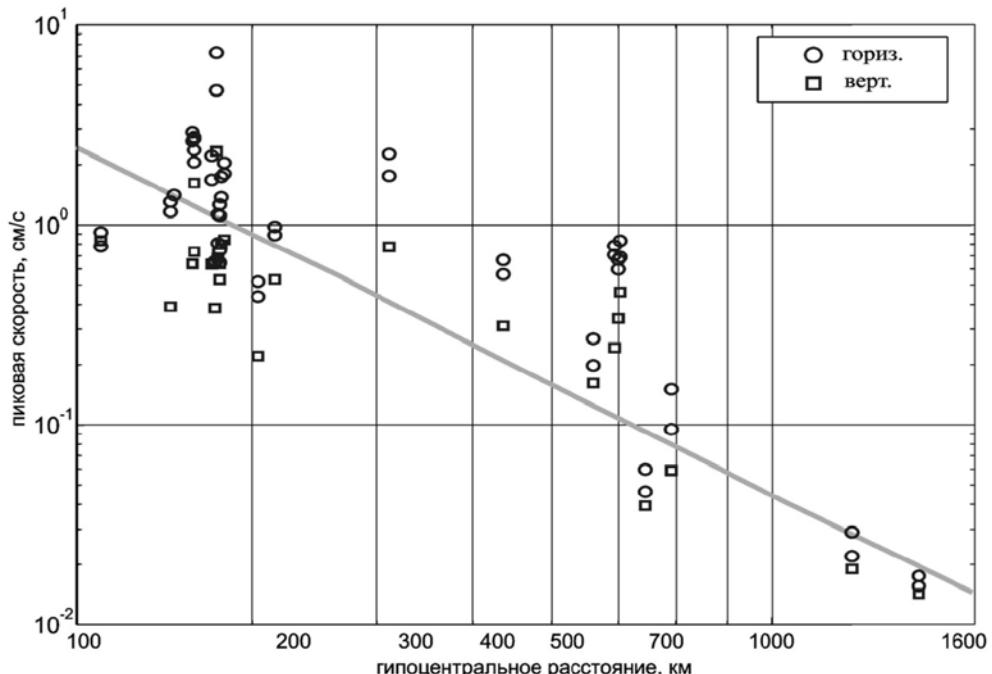


Рис. 1.10. Пиковые скорости в функции расстояния. Прямая соответствует калибровочной кривой шкалы $K^{\Phi 68}$ [Федотов, 1972] при значении $K^{\Phi 68}=16.3$.

По ограниченным данным анализа амплитуд одного землетрясения 28.02.2013 г. можно сделать следующие предварительные выводы:

(1) уровень амплитуд ускорений и скоростей данного землетрясения приблизительно согласуется со средними тенденциями для Камчатки;

(2) затухание с расстоянием для пиковых ускорений в диапазоне расстояний 100–300 км близко к таковому для типичных землетрясений Камчатки и Японии. Соответствующий тренд $A \sim r^{-1.218}$ здесь вполне согласуется с данными. На больших расстояниях затухание резко увеличивается и может быть грубо описано ломаной с точками излома при $r=300$ и 600 км;

(3) затухание с расстоянием для пиковых скоростей во всем изученном диапазоне расстояний 100–1 600 км неплохо согласуется с калибровочной кривой шкалы энергетического класса Федотова $K^{\Phi 68}$. Поведение этой калибровочной кривой близко к $V \sim r^{-1.75}$.

ГЛАВА 2

Ильпирское землетрясение 13 марта 2013 г., $Mw=5.8$ на Камчатском перешейке

13 марта 2013 г. в 03^h12^m в Карагинском районе Камчатского края произошло сильное мелкофокусное землетрясение с $Mw=5.8$ (рис. 2.1). По данным КФ ГС РАН очаг землетрясения находился в северной оконечности Срединного хребта недалеко от побережья Карагинского залива, примерно в 40 км к западу от п. Ильпирское. Для зоны с линейными размерами 200x200 км² это землетрясение является сильнейшим за время детальных сейсмологических наблюдений (с 1962 г.). Параметры гипоцентра землетрясения 13 марта, его энергетические характеристики по данным различных сейсмологических центров России и мира приведены в табл. 2.1. Землетрясение ощущалось на территории Карагинского, Олюторского, Пенжинского и Тигильского районов Камчатского края с интенсивностью до 6–7 баллов. Это событие по макросейсмическим проявлениям оказалось наиболее интенсивным на территории Камчатского края в 2013 г.

Таблица 2.1. Параметры землетрясения 13.03.2013 г. и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период 1962 г. по 13.03.2013 г.

№	Гипоцентр					Энергетический класс / Магнитуда									
	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	φ°, N	λ°, E	h, km	КФ ГС РАН			Global CMT		NEIC(USGS)			ГС РАН	
						K_s	ML	Mc	Mw	m_b	M_S	Mw	m_b	M_S	
Сильные землетрясения рассматриваемого района за период 1962 г. по 13.03.2013 г.															
1	1969.11.22	23:09:31	57.93	164.00	40	15.3	6.9	—	—	6.3	7.3	—	—	7.7	
2	1991.03.08	11:36:30	60.90	167.20	35	14.4	6.4	—	6.6	6.4	6.6	6.6	6.7	7.0	
3	2006.04.20	23:24:57	60.98	167.37	1	15.7	7.1	7.8	7.6	6.8	7.6	7.3	6.8	7.7	
4	2006.04.29	16:58:03	60.54	167.76	0	14.6	6.6	6.7	6.6	6.4	6.6	6.4	6.4	6.6	
5	2006.05.22	11:11:56	60.75	166.10	3	14.7	6.6	—	6.6	6.0	6.7	6.5	6.2	6.8	
6	2012.06.24	03:14:59	57.53	163.80	40	13.9	6.2	6.8	6.0	5.8	5.8	6.0	5.9	5.8	
Землетрясение 13.03.2013 г.															
7	2013.03.13	03:12:52	60.08	163.47	24	13.9	6.2	6.3	5.8	5.7	5.6	5.8	5.9	5.7	

Примечание. K_s – энергетический класс по S-волне; ML – локальная магнитуда; Mc – магнитуда по коде; Mw – моментная магнитуда; m_b – магнитуда по объемным волнам; M_S – магнитуда по поверхностным волнам Релея.

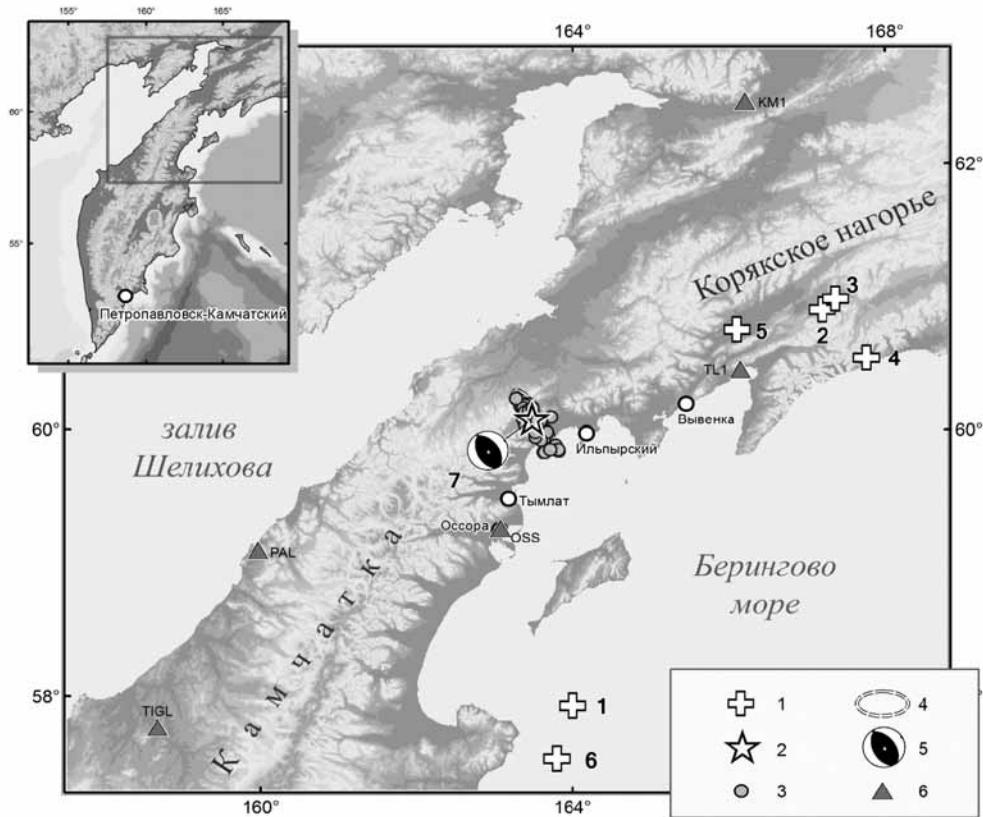


Рис. 2.1. Схема расположения эпицентра землетрясения 13.03.2013 г., его афтершоков с энергетическими классами $K_s \geq 8.7$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 13.03.2013 г. по данным каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов ($K_s \geq 8.7$ соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети для рассматриваемого района). 1 – эпицентр сильных землетрясений рассматриваемого района за период с 1962 г. по 13.03.2013 г.; 2 – эпицентр землетрясения 13.03.2013 г.; 3 – эпицентры афтершоков; 4 – 2σ-эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 5 – стереограмма механизма очага землетрясения 13.03.2013 г. по Global CMT; 6 – сейсмические станции. Нумерация землетрясений соответствует табл. 2.1.

По регламентам ССД и СПЩ первая оценка параметров землетрясения операторами РИОЦ «Петропавловск» была получена через 4 минуты 10 секунд (время в очаге 3:12:49, координаты 60.1° N, 163.4° E, глубина $h=3$ км, $M_s(20R)=5.6$ по данным одной станции, $\Delta_{PET}=7.6^\circ$). По результатам визуальной оценки сигнал «Регистрируется сильное землетрясение!» не подавался.

Через 7 минут была получена более состоятельная оценка по группе станций (время в очаге $3^h12^m48.2^s$, координаты 60.1° N, 163.7° E, глубина $h=0$ км, $M_s=5.8$ по данным одной станции, $\Delta_{PET}=860$ км). Тревога цунами не объявлялась.

Опыт оперативной обработки афтершоков Ильпирского землетрясения и проблемы расчета гипоцентров землетрясений в зонах пониженной разрешающей способности сети обсуждаются в работе [Салтыков, Дроздина, 2014].

МЕХАНИЗМ ОЧАГА И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В табл. 2.2 приведены параметры двух определений механизма очага землетрясения 13 марта 2013 г.: из каталогов Global CMT и КФ ГС РАН (последнее по знакам первых вступлений P -волн на региональных станциях). В обоих решениях преобладает взбросовая компонента тензора с субгоризонтальной осью сжатия в направлении СВ–ЮЗ.

Таблица 2.2. Параметры механизмов очага землетрясения 13.03.2013 г. из табл. 2.1 по данным Global CMT и КФ ГС РАН.

№	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	$h,$ км	Оси главных напряжений			Нодальные плоскости						Агентство			
				T		N	P		$NP1$			$NP2$				
				pI	azm	pl	azm	pI	azm	stk	dip	$slip$	stk	dip	$slip$	
7	2013.03.13	03:12:52	12	58	135	30	339	11	243	176	62	124	301	43	44	Global CMT 
		03:12:55	24	84	148	6	328	0	58	322	45	81	154	45	99	KФ ГС РАН 

Тектоническая позиция Ильпирского землетрясения 13 марта дискуссионна. Пространственно оно располагается вблизи (возможно, несколько западнее) Корякского сейсмического пояса [Ландер и др., 1994], протянувшегося от Аляски через Чукотку и Корякское нагорье на западный шельф Берингова моря, и далее к области сочленения Алеутской дуги с Камчаткой. Однако приведенные выше механизмы землетрясения 13.03.2013 г. дискордантны простиранию этого пояса, а также большинству механизмов произошедших в нем событий. Для последних характерно сжатие в направлении СЗ–ЮВ (здесь и ниже данные каталога Global CMT). В то же время указанная дискордантность не является единичной. В ближайших прилегающих с запада к Корякскому поясу районах Камчатского перешейка и залива Шелихова зафиксировано еще несколько землетрясений с механизмами, соответствующими, как и в Ильпирском, северо-восточному сжатию, а еще дальше к северо-западу в хр. Черского похожая тектоническая картина надежно установлена [Имаева и др., 2011]. Север Камчатки часто рассматривается как область тройного сочленения плит: Северо-Американской, Охотской и Берингии [Fujita et al., 2009], причем одна из границ плит проводится поперек Камчатского перешейка [Ландер и др., 1994]. Действительно, с северо-запада к этому району подходит (вдоль хребта Черского) Аркти-

ческий сейсмический пояс. Однако при переходе в залив Шелихова и на Камчатский перешеек его активность резко спадает. До землетрясения 13.03.2013 г. здесь (западнее Корякского пояса) было зарегистрировано всего четыре события с магнитудами около 5.0, не выражена граница плит и в слабой сейсмичности, которая имеет рассеянный характер. Геологические структуры Камчатского перешейка (включая разломы разного возраста) имеют четко выраженное северо-восточное простирание, поперечных линеаментов здесь не установлено. Все это не позволяло провести через перешеек надежной границы плит северо-западного простирания. Поэтому сильное Ильырское землетрясение оказывается очень важным для понимания тектоники региона, являясь серьезным доводом в пользу продолжения на Камчатку области сжатия между Охотской и Северо-Американской плитами.

ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Афтершоковая последовательность землетрясения 13.03.2013 $ML=6.2$ выделена из оперативного каталога по методике Молчана-Дмитриевой [Молчан, Дмитриева, 1991], программно реализованной В. Б. Смирновым (МГУ им. М. В. Ломоносова). Полученная выборка включила 74 землетрясения с энергетическим классом в диапазоне $K_s=8.5-13.9$ ($ML=3.5-6.2$). Построенный для нее кумулятивный график повторяемости (рис. 2.2) определил уровень представительности каталога как $K_{min}=8.7$ ($ML=3.6$), что соответствует левой границе линейного участка графика повторяемости. График повторяемости демонстрирует достаточно неплохую представительность каталога для рассматриваемого удаленного района в настоящее время: пороговое значение энергетического класса $K_s=8.7$ близко к среднему для всей Камчатки значению. Наклон графика повторяемости γ , оцениваемый как 0.49 ± 0.06 , также соответствует среднему для Камчатки – 0.50. Используемая для дальнейшего анализа выборка была получена из оперативного каталога с учетом этого порогового значения и включила 65 землетрясений, произошедших до 1 мая 2014 г.

На рис. 2.1 облако эпицентров афтершоков оконтурено эллипсом рассеяния, содержащим 90 % афтершоков первых 40 суток после главного землетрясения, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 13.03.2013 г. $ML=6.2$: длина 60 км, ширина 15 км. Однако следует учитывать, что в этом удаленном районе редкая сеть сейсмических станций обладает низкой разрешающей способностью в направлении большой оси эллипса рассеяния. Поэтому приведенная формальная оценка размеров очага может быть завышена.

На графике повторяемости наблюдается разрыв шириной $\Delta K_s=2.1$ ($\Delta M=1.1$) в распределении землетрясений по энергии (рис. 2.2). Это

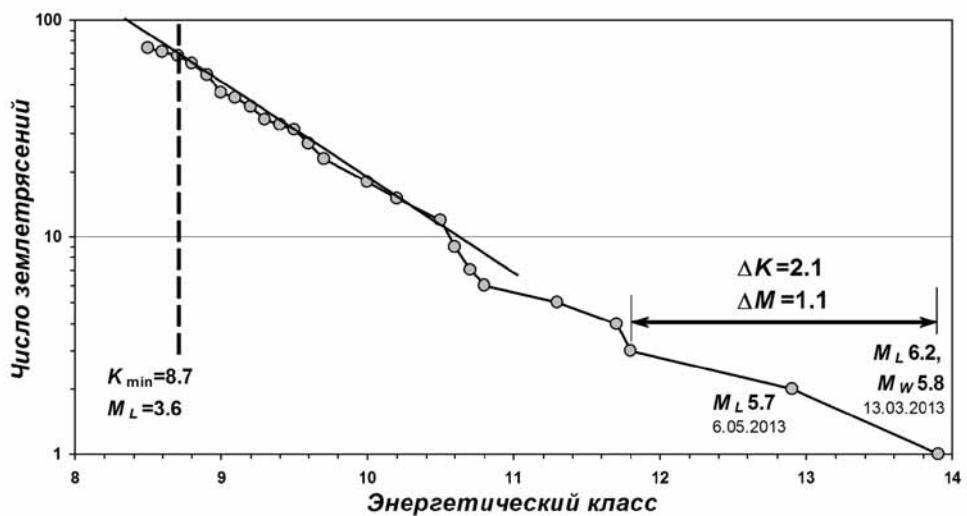


Рис. 2.2. Кумулятивный график повторяемости для афтершоковой последовательности землетрясения 13.03.2013 г. $ML=6.2$.

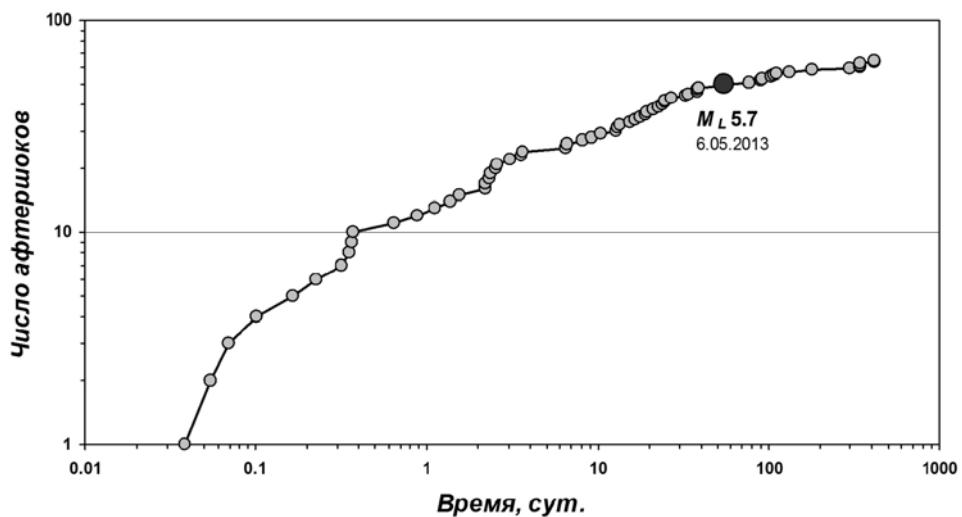


Рис. 2.3. Развитие афтершокового процесса землетрясения 13.03.2013 г. $ML=6.2$ во времени. За начало отсчета взято время основного события – 13.03.2013 г. $ML=6.2$. Приведена кумулятивная кривая числа афтершоков. Отмечен наиболее сильный афтершок.

Временной ход афтершокового процесса представлен в виде кумулятивного графика числа землетрясений в билогарифмическом масштабе (рис. 2.3). В целом график не противоречит обычно наблюдаемой картине: афтершоковая последовательность с убывающей во времени интенсивностью.

Более детальное рассмотрение временного хода афтершоков позволило выделить в нем несколько характерных фаз (рис. 2.4):

1. Затухающий афтершоковый процесс по закону Омори $\frac{dN}{dt} \sim \frac{1}{t^p}$, завершившийся самым сильным афтершоком 06.05.2013 г. Длительность фазы – ~ 55 суток. Зарегистрировано 50 землетрясений. Величина $p=0.76$ находится в интервале обычно наблюдаемых значений. В течение первого часа после основного события афтершоки не зафиксированы (наиболее вероятная причина – невозможность обнаружения относительно слабых землетрясений на фоне коды основного события).

2. Следующая фаза соответствует экспоненциальному закону убывания афтершоков $\frac{dN}{dt} \sim \exp(-bt)$ и ограничена окончанием используемого каталога (май 2014 г.).

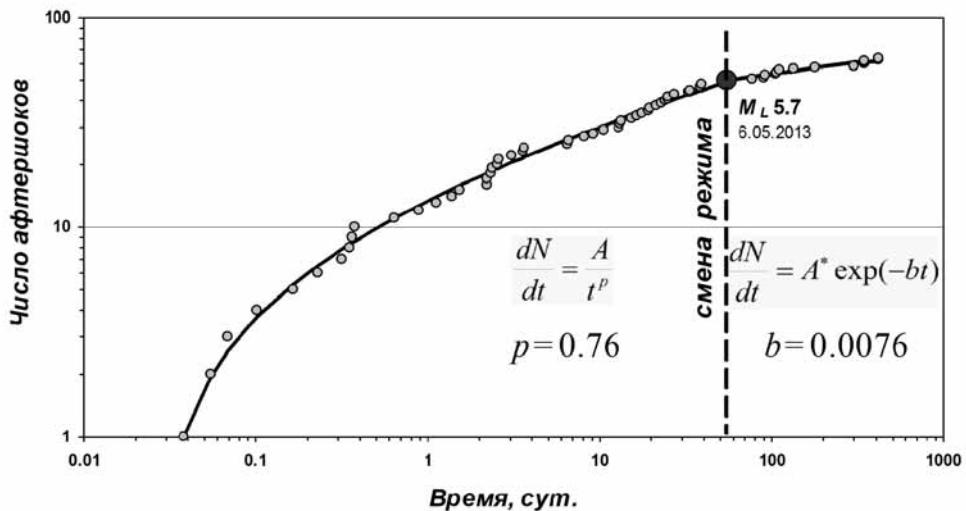


Рис. 2.4. Характерные фазы развития афтершокового процесса землетрясения 13.03.2013 г. $M_L=6.2$. За начало отсчета взято время основного события. Отмечены временные границы фаз, а также указан характер убывания интенсивности афтершоков с величинами параметров.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Макросейсмические сведения собраны для 23 населенных пунктов Камчатского края, обработано 67 сообщений, поступивших из различных источников. В том числе через интернет-опросник (<http://www.emsd.ru/lsoPool/poll.php>) поступило 40 сообщений из 8 пунктов.

Таблица 2.3. Макросейсмические сведения о землетрясении 13.03.2013 г.

№	Название пункта	Координаты		$\Delta, \text{км}$
		ϕ°, N	λ°, E	
<u>6–7 баллов</u>				
1	р. Анапка	60.07	163.92	25
<u>5–6 баллов</u>				
2	Оссора	59.25	163.06	95
<u>5 баллов</u>				
3	Ильпирский	59.97	164.18	41
4	Карага	59.18	162.92	105
5	Кострома	59.08	163.15	113
<u>4–5 баллов</u>				
6	Тымлат	59.48	163.17	69
<u>4 балла</u>				
7	Вывенка	60.19	165.45	110
8	Корф	60.37	166.01	144
9	Тиличики	60.43	166.05	148
<u>3–4 балла</u>				
10	Лесная	59.48	160.57	176
<u>3 балла</u>				
11	Ивашка	58.55	162.29	183
12	Халинино	60.96	166.85	209
13	Палана	59.10	159.95	226
14	Таловка	62.05	166.71	280
<u>2–3 балла</u>				
15	Ледяное	60.95	166.02	170
16	Манилы	62.49	165.30	285
<u>Ощущалось*</u>				
17	ГМС Чемурнаут	60.73	163.02	76
<u>Не ощущалось</u>				
18	Парень	62.42	163.08	261
19	ГМС мыс Озерной	57.65	163.23	271
20	Каменское	62.46	166.22	303
21	Воямилка	58.31	159.39	305
22	Пахачи	60.56	169.13	316
23	Средние Пахачи	60.83	169.06	318

Примечание. * – для оценки интенсивности сотрясений в пункте 17 мало данных.

Землетрясение ощущалось с интенсивностью от 2 до 6–7 баллов по шкале MSK-64 в 17 пунктах, расположенных от эпицентра на расстоянии от 25 до 285 км. Площадь макросейсмического воздействия составила около 45 000 км². Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от эпицентра (Δ) и макросейсмической интенсивности в них приведен в табл. 2.3. На рис. 2.5 представлена карта «пункты – баллы». Описание проявлений землетрясения в пунктах дано в Приложении 6. Следы наиболее сильных сотрясений, $I=6$ –7 баллов, были замечены на р. Анапка (№ 1 в табл. 2.3) жителями пос. Ильцырский. Они обратили внимание, что на льду реки появились тонкие трещины, которых раньше не было, а в одном месте образовалось нагромождение торосов с проломом внутри.

Среди населенных пунктов наиболее сильные сотрясения, $I=5$ –6 баллов, были зафиксированы в пос. Оссора (№ 2 в табл. 2.3).

В первые сутки после основного события 13 марта было зафиксировано еще 8 ощущимых землетрясений с $9.5 \leq K_s \leq 11.3$, вызвавших в окрестных населенных пунктах колебания интенсивностью от 2 до 3 баллов. Всего после основного события в районе произошло 19 ощущимых землетрясений с $8.5 \leq K_s \leq 12.9$ и интенсивностью сотрясения от 2 до 4 баллов (табл. 2.4).

Отметим, что до землетрясения 13 марта 2013 г. ощущимые события в этом районе были зафиксированы в северной части Карагинского залива в 2011 г. 24 марта и 25 апреля ($10.1 \leq K_s \leq 11.5$) с интенсивностью сотрясения от 2 до 4–5 баллов в ближайших от эпицентров населенных пунктах.

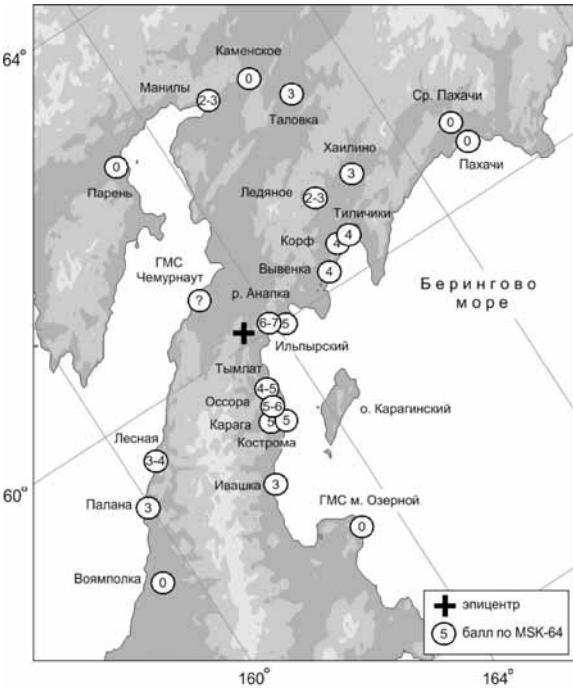


Рис. 2.5 Карта макросейсмического проявления землетрясения 13.03.2013 г.

Таблица 2.4. Макросейсмические сведения ощущимых афтершоков землетрясения 13.03.2013 г. в период март 2013 – январь 2014 гг.

№	Дата г. м. д.	Время ч.:мин.	Координаты		$h, \text{км}$	K_S	M_C	Интенсивность в пунктах, балл			
			ϕ°, N	λ°, E							
1	2013 03 13	04:08	59.83	163.62	49	10.5		Вывенка (109 км) 3			
2	2013 03 13	04:31	59.23	164.59	68	9.5		Ильпирский (86 км) 3			
3	2013 03 13	04:52	60.09	163.43	7	9.7		Ильпирский (44 км) 3			
4	2013 03 13	05:38	60.00	163.54	55	10.6		Ильпирский (36 км), Вывенка (108 км) 2			
5	2013 03 13	07:08	60.10	163.51	56	11.3		Тымлат (71 км) 2-3; Ильпирский (40 км) 2			
6	2013 03 13	08:38	59.93	163.63	62	10.8		Ильпирский (31 км) 2			
7	2013 03 13	10:49	59.84	163.82	54	10.2		Ильпирский (25 км) 2			
8	2013 03 13	11:58	59.88	163.78	55	10.5		Ильпирский (25 км) 2			
9	2013 03 14	06:13	59.83	163.64	52	9.3		Ильпирский (34 км) 2			
10	2013 03 14	07:42	59.58	164.07	81	8.5		Ильпирский (44 км) 2			
11	2013 03 15	17:23	60.15	163.43	18	10.0		Ильпирский (46 км) 3			
12	2013 03 16	18:11	59.85	163.71	54	10.7		Ильпирский (29 км) 3			
13	2013 03 26	14:26	59.75	163.89	65	10.3		Ильпирский (29 км) 2-3			
14	2013 04 03	11:44	60.14	163.47	3	9.2		Ильпирский (44 км) 2			
15	2013 04 20	11:33	60.05	163.53	52	11.8		Ильпирский (37 км) 3			
16	2013 05 05	18:58	60.06	163.41	59	10.6		Ильпирский (44 км) 3			
17	2013 05 06	18:23	60.13	163.41	20	12.9	5.1	Ильпирский (46 км), Карага (109 км), Вывенка (113 км) 4; Тымлат (74 км), Оссора (100 км) 3-4; Кострома (118 км) 3			
18	2013 09 08	05:05	60.12	163.51	47	11.7	4.3	Ильпирский (40 км), Вывенка (107 км) 2			
19	2014 01 07	16:57	60.08	163.46	25	10.0		Ильпирский 2			

АНАЛИЗ ПИКОВЫХ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

В табл. 2.5 даны материалы обработки записей землетрясения 13.03.2013 г. в 03^h12^m. Эта запись с заметной пиковой амплитудой ускорения более $0.5 \text{ см}/\text{с}^2$ была получена на сейсмической станции «Тиличики» на эпицентральном расстоянии 153 км. Остальные станции, в силу удаленности от эпицентра, записали его с меньшей амплитудой.

Таблица 2.5. Пиковые амплитуды сильных движений грунта от землетрясения 13.03.2013 г.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		$\Delta/r, \text{км}$	комп.	$a_{\text{пик}}, \text{см}/\text{с}^2$	$v_{\text{пик}}, \text{см}/\text{с}$	$a_{\text{пик}}, \text{см}/\text{с}^2$	$v_{\text{пик}}, \text{см}/\text{с}$
			ϕ°, N	λ°, E						
1	Тиличики	TL1	60.446	166.145	153/155	E	-16.71	2.903	-17.79	3.021
						N	-15.74	2.004	-14.21	-1.61
						Z	7.19	0.961	-7.65	-0.973

Примечание. Δ – эпицентральное расстояние, r – гипоцентральное расстояние; $a_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пикового ускорения; $v_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пиковой скорости.

ГЛАВА 3

Майский рой землетрясений 2013 г. в Авачинском заливе, $Mw(\text{макс})=6.1$

Начиная с 16 мая 2013 г. в Тихом океане напротив Авачинского залива приблизительно в 150–190 км к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского наблюдался рой землетрясений (рис. 3.1). За пе-

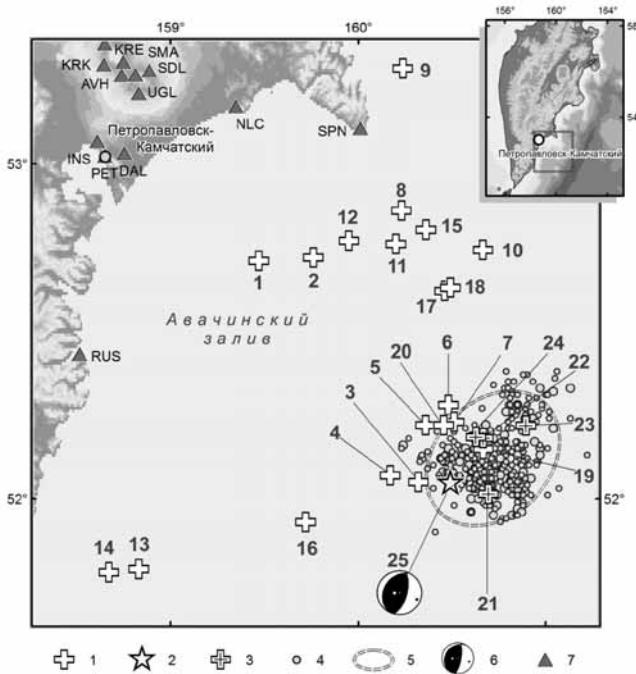


Рис. 3.1. Схема расположения эпицентров землетрясений майского роя 2013 г. с энергетическими классами $K_s \geq 8.5$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 16.05.2013 г. по данным каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов ($K_s \geq 8.5$ соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети в пределах границы зоны ответственности). 1 – эпицентры сильных землетрясений рассматриваемого района за период с 1962 г. по 16.05.2013 г.; 2 – эпицентр сильнейшего землетрясений роя 21.05.2013 г.; 3 – эпицентры сильных землетрясений роя; 4 – эпицентры землетрясений роя с $8.5 \leq K_s < 13.5$; 5 – 2σ -эллипс аппроксимации зоны роя; 6 – стереограмма механизма очага землетрясения 21.05.2013 г. по Global CMT; 7 – сейсмические станции. Нумерация землетрясений соответствует табл. 3.1.

риод с 16 по 23 мая в районе роя зарегистрировано 358 событий с $K_s \geq 8.5$. 45 из них ($10.7 \leq K_s \leq 14.4$) были ощущимы и вызвали в 23 населенных пунктах Камчатки сотрясения интенсивностью от 2 до 5 баллов. 19–21 мая в рое произошли 5 землетрясений с магнитудой $K_s \geq 13.5$ (табл. 3.1). По этому параметру рой стал наиболее сильным на Камчатке за время детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. Параметры гипоцентров сильных землетрясений рассматриваемого района за период с 1962 г. по 16.05.2013 г. и сильнейших землетрясений роя с магнитудой $K_s \geq 13.5$, а также энергетические характеристики по данным различных сейсмологических центров России и мира приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Параметры сильнейших землетрясений майского роя 19 и 21 мая 2013 г. с $K_s \geq 13.5$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 16.05.2013 г.

№	Гипоцентр					Энергетический класс / Магнитуда									
	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	φ°, N	λ°, E	h, km	КФ ГС РАН			Global CMT		NEIC(USGS)			ГС РАН	
						K_s	ML	Mc	Mw	m_b	M_s	Mw	m_b	M_s	
Сильные землетрясения рассматриваемого района за период 1962 г. по 16.05.2013 г.															
1	1971.11.24	19:35:29	52.71	159.47	110	15.9	7.2	—	—	6.3	—	—	—	7.2	
2	1972.12.25	18:55:58	52.72	159.76	50	13.5	6.0	—	—	5.7	—	—	5.8	5.6	
3	1975.04.06	09:55:18	52.05	160.32	41	13.5	6.0	—	—	—	6.2	—	—	7.0	
4	1975.04.06	10:34:55	52.07	160.17	19	13.7	6.1	—	—	—	6.2	—	6.1	6.8	
5	1980.01.23	02:34:10	52.22	160.36	14	13.7	6.1	—	5.7	5.6	5.6	—	6.1	6.0	
6	1980.01.23	06:52:49	52.28	160.48	29	13.6	6.0	—	5.5	5.7	5.4	—	6.1	5.9	
7	1980.01.23	08:12:26	52.23	160.51	38	13.5	6.0	—	5.6	5.7	5.5	—	6.1	5.8	
8	1987.10.06	20:11:36	52.86	160.23	33	14.1	6.3	—	6.5	6.1	6.3	6.5	6.4	6.6	
9	1990.03.01	02:23:23	53.28	160.24	25	13.5	6.0	—	5.8	5.4	5.6	—	5.5	5.8	
10	1990.12.19	13:48:25	52.74	160.66	20	13.5	6.0	—	5.9	5.9	5.6	—	6.3	6.1	
11	1992.03.02	12:29:38	52.76	160.20	20	14.6	6.6	—	6.8	6.5	6.8	6.9	6.8	7.1	
12	1992.03.05	14:39:10	52.77	159.95	31	13.9	6.2	—	6.3	6.3	6.1	6.4	6.7	6.2	
13	1993.11.13	01:18:06	51.79	158.83	40	14.6	6.6	7.0	7.0	6.5	7.0	7.0	6.5	7.1	
14	1993.11.17	11:18:55	51.78	158.67	40	13.7	6.1	6.0	6.0	6.1	5.6	6.0	6.1	5.9	
15	1998.06.01	05:34:02	52.80	160.36	31	13.8	6.2	6.3	6.5	6.2	6.3	6.5	6.3	6.6	
16	1999.03.08	12:25:42	51.93	159.72	7	14.3	6.4	6.9	6.9	5.8	—	6.8	6.1	7.1	
17	2001.10.08	18:14:25	52.62	160.46	31	13.8	6.2	6.5	6.5	5.9	6.4	6.4	6.0	6.3	
18	2001.10.08	18:20:37	52.63	160.49	24	14.1	6.3	—	6.3	5.9	—	6.1	5.9	6.6	
19	2003.03.15	19:41:24	52.15	160.67	5	14.1	6.3	6.4	6.0	5.6	5.8	6.1	5.6	5.8	
20	2010.07.30	03:56:10	52.22	160.45	38	14.1	6.3	6.6	6.3	6.1	6.3	6.3	6.3	6.5	
Сильнейшие землетрясения майского роя 2013 г.															
21	2013.05.19	18:44:07	52.01	160.69	50	13.7	6.1	6.4	5.9	5.9	5.8	6.1	6.2	6.3	
22	2013.05.19	22:40:22	52.18	160.67	40	13.5	6.0	—	—	5.0	—	—	5.5	—	
23	2013.05.21	01:55:03	52.22	160.89	59	13.6	6.1	6.3	6.0	5.6	5.7	6.0	6.1	—	
24	2013.05.21	03:08:16	52.18	160.63	43	13.9	6.2	6.0	5.8	5.6	5.8	5.7	6.2	—	
25	2013.05.21	05:43:16	52.05	160.49	48	14.4	6.5	6.3	6.1	5.8	6.1	6.1	6.2	—	

Примечание. K_s – энергетический класс по S-волне; ML – локальная магнитуда; Mc – магнитуда по коду; Mw – моментная магнитуда; m_b – магнитуда по объемным волнам; M_s – магнитуда по поверхностным волнам Релея.

По регламентам ССД за период с 16 по 23 мая включительно обработано 82 землетрясения. 16 землетрясений ощущались дежурной сменой РИОЦ «Петропавловск».

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РОЯ

Эпицентры событий роя располагаются на юго-восточном склоне подводного хребта Шацкого, протянувшегося на юг от окончания Шипунского полуострова и отделяющего котловину Авачинского залива от глубоководного Камчатского желоба [Селиверстов, 2009]. Предполагается, что происхождение данного хребта-барьера связано с развитием аккреционной призмы, формирующейся при погружении Тихоокеанской плиты под Камчатку. Этот процесс, вообще говоря, может порождать дополнительные землетрясения, происходящие выше основной сейсмофокальной зоны, в ее висячем крыле. Однако точность определения глубины гипоцентров в данном районе не позволяет пространственно отделить субдукционные землетрясения от событий висячего крыла.

Тем не менее, рассматриваемый рой, по-видимому, следует относить к основной сейсмофокальной зоне. Об этом говорит высокая степень упорядоченности многочисленных механизмов землетрясений, определенных для данного роя, соответствующих направлению субдукции в данном районе.

В табл. 3.2 представлены параметры и стереограммы механизмов очагов сильнейших землетрясений роя, произошедших 19 и 21 мая 2013 г. с $K_s \geq 13.5$ из табл. 3.1 по данным каталогов Global CMT и КФ ГС РАН. Последние построены по знакам первых вступлений P -волн на региональных станциях. Все решения имеют взбросовый тип, причем для них характерно присутствие одной из нодальных плоскостей, полого падающей на северо-запад или запад (под Камчатку).

Таким образом, наиболее вероятно, что основные события майского роя землетрясений 2013 г. в Авачинском заливе, отражают движения вдоль поверхности погружающейся Тихоокеанской плиты и имеют субдукционный характер.

Таблица 3.2. Параметры механизмов очагов сильнейших землетрясений роя 19 и 21 мая 2013 г. с $K_s \geq 13.5$ из табл. 3.1 по данным Global CMT и КФ ГС РАН.

№	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство			
				T		N		P		$NP1$			$NP2$						
				pl	azm	pl	azm	pl	azm	stk	dip	$slip$	stk	dip	$slip$				
21	2013.05.19	18:44:14	21	68	317	3	219	21	128	40	67	93	212	24	82	Global CMT			
		18:44:09	23	62	266	9	13	27	107	10	72	81	217	20	46	КФ ГС РАН*			
23	2013.05.21	01:55:12	18	69	310	0	219	21	129	39	66	90	219	24	92	Global CMT			
		01:55:02	15	76	220	11	0	9	92	352	55	77	195	37	122	КФ ГС РАН*			
24	2013.05.21	03:08:23	23	66	297	2	32	24	123	31	69	88	217	22	93	Global CMT			
25	2013.05.21	05:43:26	29	70	315	2	218	20	127	39	65	93	213	25	84	Global CMT			
		05:43:18	27	71	271	6	18	18	110	16	63	84	210	28	103	КФ ГС РАН*			

Примечание. Номера землетрясений соответствуют номерам из табл. 3.1. Событие № 22 из табл. 3.1 накладывается на предыдущее землетрясение, поэтому ни одно из агентств не дает решения механизма очага. Для события № 24 не достаточно данных для определения механизма КФ ГС РАН. * – Параметры гипоцентров посчитаны по программе GIP (автор А.А. Гусев) [Гусев, 1979].

ОСОБЕННОСТИ РОЯ

Последовательность землетрясений, квалифицированная как рой с наиболее сильным землетрясением 21.05.2013 05^h43^m $Mw=6.1$, выделена из оперативного каталога по методике Молчана-Дмитриевой [Молчан, Дмитриева, 1991], программно реализованной В. Б. Смирновым (МГУ им. М. В. Ломоносова). Построенный для полученной выборки кумулятивный график повторяемости (рис. 3.2) определил уровень представительности каталога как $K_{min}=7.0$ ($ML=2.8$), что соответствует левой границе линейного участка графика повторяемости. Используемая для дальнейшего анализа выборка была получена из оперативного каталога с учетом этого порогового значения и включила 1 085 землетрясений, произошедших до мая 2014 г. Отмечено низкое значение наклона графика повторяемости $\gamma=0.26\pm0.01$ по сравнению с наблюдающимся в этом же районе в 2010–2012 гг. $\gamma=0.32\pm0.02$. Возможно, что такое низкое значение g является артефактом, связанным с «потерей» слабых землетрясе-

ний на фоне более сильных при больших скоростях сейсмического потока и, следовательно, их отсутствием в каталоге.

На рис. 3.1 облако эпицентров землетрясений оконтурено эллипсом рассеяния, содержащим 90 % землетрясений роя в течение первого месяца, что позволяет формально оценить его пространственные размеры: длину 50 км, ширину 40 км.

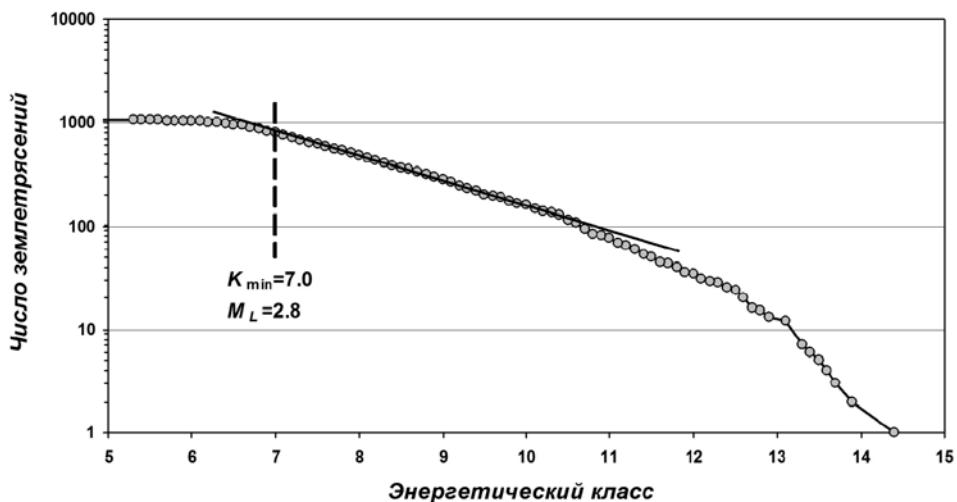


Рис. 3.2. Кумулятивный график повторяемости для роевой последовательности землетрясений с наиболее сильным землетрясением 21.05.2013 05^h43^m $M_w=6.1$.

Как следует из графика повторяемости, распределение землетрясений по энергии близко к непрерывному (рис. 3.2), что характерно для роев в отличие от афтершоков, сильнейшие из которых обычно слабее на несколько порядков основного события.

Временной ход последовательности землетрясений можно разбить на несколько этапов (рис. 3.3–3.5):

- А. – с 16.05.2013 9:23 по 19.05.2013 18:44 – нарастание интенсивности роя;
- Б. – с 19.05.2013 18:44 по 21.05.2013 12:00 – участок максимальной активности роя. Именно на этом этапе произошли все землетрясения с $ML \geq 6.0$;
- В. – с 21.05.2013 12:00 по май 2014 г. (конец используемого каталога) – спад потока землетрясений.

Пространственное расположение эпицентров землетрясений, соответствующих этим этапам, показано на рис. 3.6.

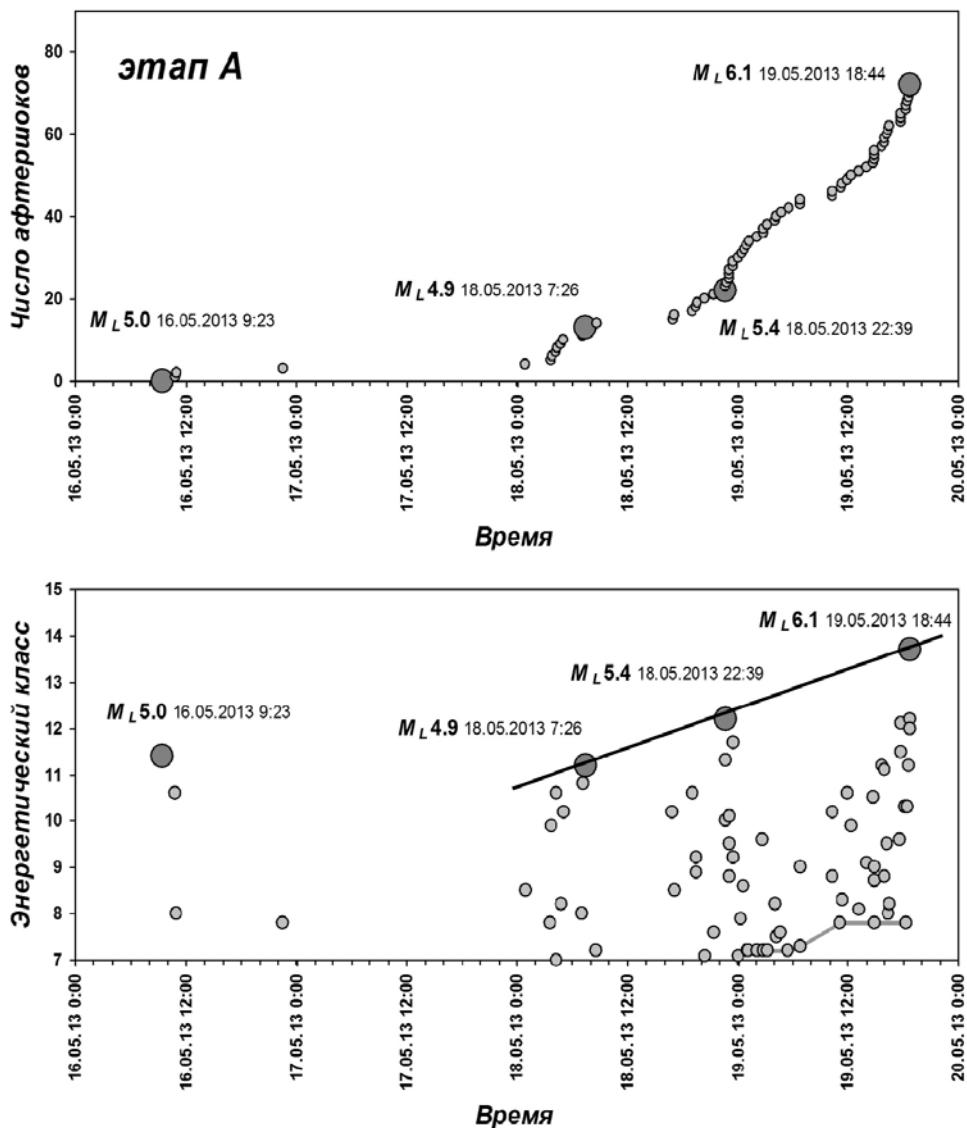


Рис. 3.3. Временной ход сейсмичности на участке, предваряющем землетрясения роя с магнитудой с $ML \geq 6.0$ (этап А). Приведены кумулятивные кривые числа землетрясений (*вверху*) и их энергетические классы (*внизу*). Отмечены все землетрясения роя с магнитудой более 6.

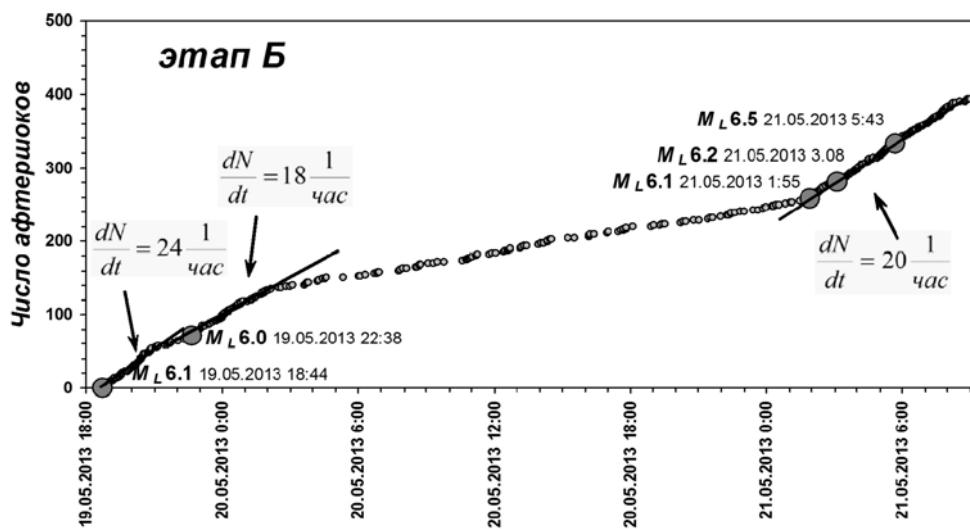


Рис. 3.4. Участок максимальной активности роя землетрясений (этап Б). Приведены кумулятивные кривые числа землетрясений N . Отмечены все землетрясения роя с магнитудой более 6. Отмечены участки максимальных значений сейсмического потока (число землетрясений в единицу времени) с указанием его величины.

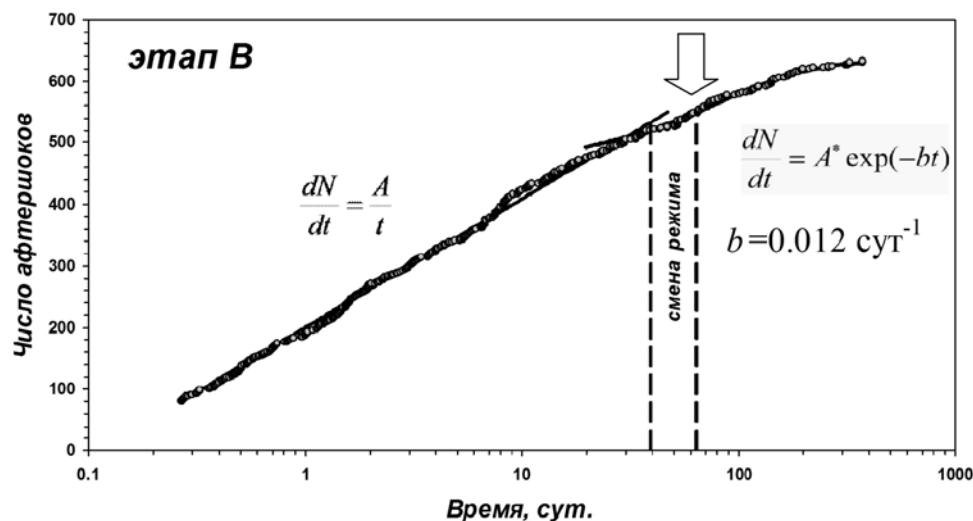


Рис. 3.5. Участок спадающей активности роя землетрясений (этап В). Приведены кумулятивные кривые числа землетрясений N . За начало отсчета взято время землетрясения 21.05.2013 05^h43^m Mw=6.1. Отмечена граница смены режима затухания афтершоков с гиперболического на экспоненциальный. Стрелкой указано время возникновения группы землетрясений 25–30.07.2013 г. с максимальной магнитудой $ML=5.5$ юго-западнее рассматриваемого роя.

Начало роевой последовательности можно связать с землетрясением 16.05.2013 09^h23^m $ML=5.0$, исходя из пространственного совпадения с последующей последовательностью землетрясений, хотя в течение 1.5 суток землетрясения в этой зоне не наблюдались (рис. 3.3). 18–19.05.2013 г. наблюдалось усиление сейсмической активности. В частности, это проявилось в увеличении потока землетрясений (рис. 3.3, вверху), в росте магнитуды наблюдавшихся землетрясений (рис. 3.3, внизу). Причем с 19.05.2013 г. землетрясения с $K_s < 7.8$ перестали фиксироваться наблюдательной сетью (см. рис. 3.3, внизу), что может предполагать превышение потоком событий разрешающей способности системы регистрации. В связи с этим реальный рост числа землетрясений отличается от линейного в еще большей степени, чем на рис. 3.3.

Этап Б также не является однородным во времени, он может быть представлен в виде двух участков длительностью около 8 часов, когда происходили землетрясения магнитудой более 6. Эти два участка разделены существенно более спокойным интервалом в 1 сутки. Заметим, что эффект постоянной скорости сейсмического потока (такие участки отмечены на рис. 3.4 прямыми отрезками) является кажущимся по упомянутой выше причине – превышение возможностей системы регистрации землетрясений, проявляющееся в маскировке слабых землетрясений на фоне более сильных.

Этап В похож на обычный афтершоковый процесс (рис. 3.5). Затухающая по гиперболическому закону убывания афтершоков $\frac{dN}{dt} \sim \frac{1}{t}$ последовательность землетрясений наблюдалась в течение ~40 дней после сильнейшего землетрясения в рое. Затем гиперболический характер затухания сменился на экспоненциальный $\frac{dN}{dt} \sim \exp(-bt)$, где $b=0.012$ сут⁻¹. Исходя из этого, можно оценить продолжительность последовательности землетрясений как $t = 3\pi = \frac{3}{b} = 250$ суток после землетрясения 21.05.2013 05^h43^m $Mw=6.1$, то есть до 26 января 2014 г., что не противоречит наблюдавшейся в районе роя сейсмичности.

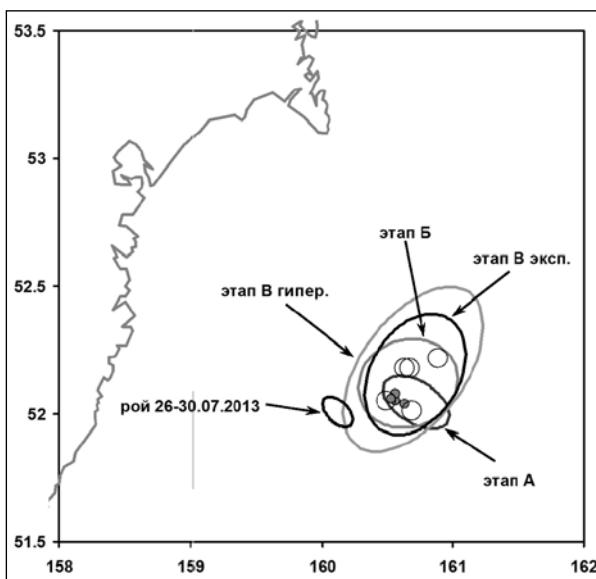


Рис. 3.6. Аппроксимация эпицентрических областей, соответствующих различным этапам роевой последовательности. Эллипс определялся как эллипс рассеяния эпицентров, включающий 90 % событий. Большими окружностями отмечены землетрясения с магнитудой $ML \geq 6.0$, малыми – землетрясения 16.05.2013 г.

Обращает на себя внимание факт появления роя землетрясений 26–30.07.2013 г. с максимальной магнитудой $ML=5.5$ в непосредственной пространственной близости к рассматриваемому рою. Причем по времени этот рой соответствует переходу последовательности из гиперболического в экспоненциальный режим затухания скорости сейсмического потока.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

21 мая в 17^h43^m по местному времени (05^h43^m по Гринвичу) произошло самое сильное землетрясение майского роя 2013 г. в Авачинском заливе. Первое ощутимое событие роя было зарегистрировано 18 мая в 22^h39^m по Гринвичу. Оно вызвало в единственном пункте, г. Петропавловске-Камчатском, сотрясения силой 2–3 балла по шкале MSK-64. Затем было зафиксировано еще 29 ощутимых событий ($11.0 \leq K_s \leq 13.9$) с интенсивностью сотрясения в населенных пунктах Камчатки от 2 до 4 баллов.

Землетрясение 21 мая вызвало колебания интенсивностью от 2 до 5 баллов в 18 населенных пунктах Камчатки и Северных Курил, расположенных от эпицентра на расстоянии от 148 до 342 км. К сожалению, не удалось собрать исчерпывающую информацию о проявлениях этого землетрясения. Многие землетрясения роя были ощутимые и следовали одно за другим, люди путались в своих показаниях, а специалисты не успевали своевременно реагировать на каждое событие. Кроме

того, сильное глубокое землетрясение в Охотском море, которое произошло 24 мая 2013 г., отвлекло внимание от менее значимых событий. В результате по землетрясению 21 мая 2013 г. макросейсмические сведения были собраны всего лишь из 18 пунктов.

Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от эпицентра (Δ) и макросейсмической интенсивности в них приведен в табл. 3.3. Из различных источников обработано 64 сообщения, из них через интернет-опросник (<http://www.emsd.ru/lsoopool/poll.php>) получены 46 сообщений из 6 пунктов. На рис. 3.7 представлена карта «пункты – баллы». Описание проявлений землетрясения в пунктах дано в Приложении 7.

Таблица 3.3. Макросейсмические сведения о землетрясении 21.05.2013 г.

№	Название пункта	Координаты		$\Delta, \text{км}$
		ϕ°, N	λ°, E	
5 баллов				
1	маяк Круглый	52.07	158.30	148
4-5 баллов				
2	Петропавловск	53.02	158.65	159
3	Рыбачий	52.93	158.52	160
4	Вилючинск	52.92	158.43	165
5	Пионерский	53.09	158.55	169
6	МГeoЭС-1	52.55	158.02	173
7	26 км Елизовского шоссе	53.14	158.48	177
8	Паратунка	52.97	158.25	178
9	Термальный	52.95	158.20	180
10	Сосновка	53.08	158.30	182
4 балла				
11	Институт	53.07	158.61	165
12	р. Карымшина (стационар КФ ГС)	52.83	158.13	177
13	Елизово	53.19	158.38	185
14	Раздольный	53.27	158.32	194
3 балла				
15	ГМС Водопадная	51.81	158.08	166
16	ГМС Семячки	54.12	159.98	227
17	ГМС Кроники	54.60	161.13	281
2 балла				
18	Северо-Курильск	50.67	156.10	342
Не ощущалось				
19	Мыс. Шипунский	53.11	160.01	116

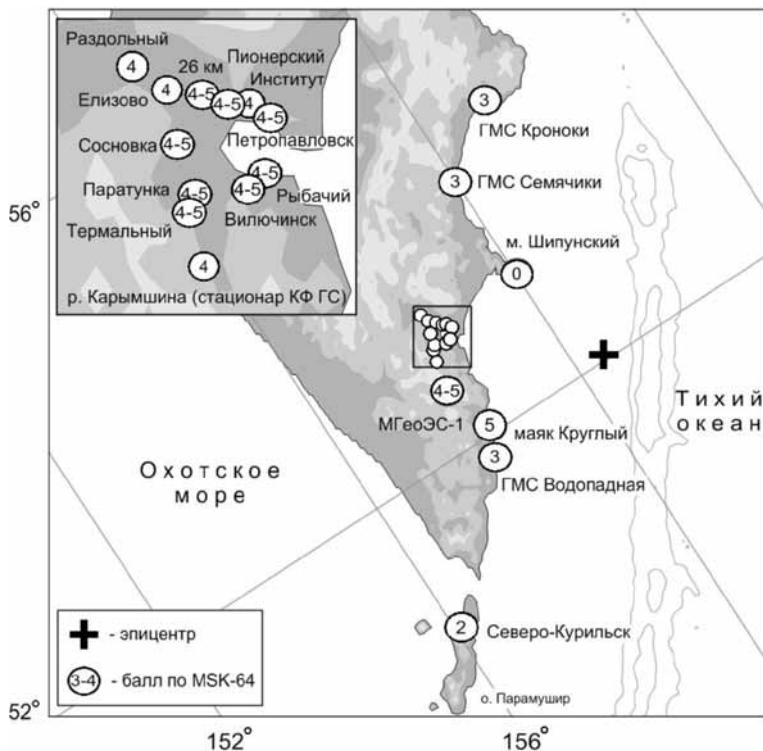


Рис. 3.7. Карта макросейсмического проявления землетрясения 21 мая 2013 г.

От события 21 мая самые сильные сотрясения, $I=5$ баллов, были зафиксированы на маяке Круглом (№ 1 в табл. 3.3). В жилом одноэтажном здании маяка появились тонкие трещины в штукатурке несущих стен и перегородок, наблюдалось откалывание небольших кусков штукатурки. Еще в 9 населенных пунктах (№№ 2–10 в табл. 3.3) интенсивность сотрясений достигала 4–5 баллов. Большинство жителей, находясь внутри помещений, ощутило сильное плавное покачивание, вызывающее легкое головокружение и испуг. Немногие люди покинули помещения. Наблюдалось сотрясение зданий в целом. Раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах. Раскачивалась мебель, колебалась жидкость в открытых сосудах, дребезжала посуда и стекла окон в старых рамках. Сильно беспокоились домашние животные. На улице плавно раскачивался стоящий автотранспорт.

Всего с 16 мая до конца 2013 г. было зафиксировано 45 ощущимых землетрясений с эпицентрами в области роя, вызвавших в населенных пунктах Камчатки и Северных Курил колебания с интенсивностью от 2 до 5 баллов, 6 из них ощущались с интенсивностью более 3 баллов (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Макросейсмические сведения ощущимых землетрясений майского ряда 2013 г. в Авачинском заливе, которые ощущались хотя бы в одном из пунктов с интенсивностью $I > 3$ баллов.

№	Дата г. м. л.	Время ч.:мин.	Координаты		$h, \text{км}$	K_S	M_C	Интенсивность в пунктах, балл
			ϕ°, N	λ°, E				
1	2013.05.19	18 44	52.013	160.693	50	13.7	6.4	р. Карымшина (стационар КФ ГС) (196 км) 4; Петропавловск (178 км), Институт (183 км), Вилючинск (184 км), Пionерский (188 км), МГеоЭС-1 (191 км), Елизово (204 км) 3-4; Рыбачий (179 км), Николаевка (196 км), Паратунка (197 км), Термальный (198 км), Вулканский (199 км) 3; ГМС Кроноки (289 км) 2
2	2013.05.19	22 38	52.081	160.655	42	13.4	5.8	Петропавловск (171 км), Рыбачий (173 км), Институт (177 км), Вилючинск (177 км), Пionерский (181 км), Новый (182 км), Николаевка (189 км), р. Карымшина (стационар КФ ГС) (190 км), Термальный (192 км), Вулканский (192 км), Сосновка (194 км) 4; МГеоЭС-1 (187 км), Паратунка (190 км), Елизово (197 км) 3-4; маяк Круглый (161 км) 2
3	2013.05.19	22 40	52.181	160.666	40	13.5		Петропавловск (165 км), Институт (170 км) 4; Николаевка (184 км), Термальный (187 км), Сосновка (188 км), Елизово (191 км) 3-4; Сокол (231 км) 3; маяк Круглый (162 км) 2
4	2013.05.20	23 1	52.143	160.660	43	13.3	5.7	Вилючинск (174 км), Николаевка (186 км), р. Карымшина (стационар КФ ГС) (188 км) 4; маяк Круглый (161 км), Петропавловск (167 км), Институт (173 км), Паратунка (187 км), Термальный (189 км), Сосновка (190 км) 3-4; Пionерский (177 км), МГеоЭС-1 (185 км), Елизово (193 км) 3
5	2013.05.21	3 5	52.119	160.758	61	13.1	6.2	Рыбачий (176 км), Вилючинск (181 км), МГеоЭС-1 (192 км), Николаевка (193 км), Паратунка (194 км), Вулканский (196 км), Термальный (196 км), Сосновка (197 км) 4; Петропавловск (174 км) 3-4; Институт (180 км), Пionерский (184 км), Елизово (200 км) 3
6	2013.05.21	3 8	52.184	160.626	43	13.9	6.0	Петропавловск (163 км), Институт (168 км), Вилючинск (170 км), Паратунка (183 км), Сосновка (186 км), Зеленый (205 км) 4; Елизово (188 км) 3-4; Пionерский (173 км) 3; ГМС Водонадзия (179 км), Северо-Курильск (356 км) 2

АНАЛИЗ ПИКОВЫХ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

В табл. 3.5 даны материалы обработки записей землетрясения 21.05.2013 г. в 05^h 43^m в случае, когда пищевая амплитуда ускорения превышает 0.5 см/ s^2 хотя бы на одной компоненте. Приведены значения пищевых ускорений и скоростей для трехкомпонентных акселерографов и велосиграфов сейсмических станций Дальнего Востока.

Таблица 3.5. Пиковые амплитуды сильных движений грунта от землетрясения 21.05.2013 г. в 05^h43^m.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r ки	комп	$a_{\text{пик}}$ HN, см/ s^2	$v_{\text{пик}}$ HN, см/с	$a_{\text{пик}}$ ВН, см/ s^2	$v_{\text{пик}}$ ВН, см/с
			φ° , N	λ° , E						
1	Администрация ПК	ADM	53.023	158.650	164/171	E N Z	-3.78 -5.36 -2.64	0.702 0.712 -0.342		
2	Администрация УК	UK1	56.263	162.586	487/489	E N Z	-0.609 -0.543 -0.201	0.111 0.096 0.035		
3	Вилючинск	VIL	52.931	158.405	171/178	E N Z	15.5 -11.5 -8.17	2.09 2.06 0.815		
4	Дальний	DAL	53.031	158.754	160/167	E N Z	-3.57 -3.13 -2.19	-0.360 0.418 -0.317	** ** **	** ** **
5	Дачная	DCH	53.057	158.639	168/174	E N Z	5.29 6.47 -3.65	1.07 0.789 -0.393		
6	Журавово	GPN	54.082	159.987	228/233	E N Z	-3.58 5.62 -1.51	-0.506 0.582 0.214		
7	Звездный	SPZ	53.055	158.66	166/173	E N Z	4.64 8.36 -3.24	0.686 -0.748 -0.477		
8	Институт вулканологии сейсмологии	IVS	53.066	158.608	170/176	E N Z	-6.14 7.18 3.67	0.914 -0.671 -0.641	-5.59 -5.11 3.503	0.577 0.919 -0.656
9	Карымшина	KRM	52.828	158.131	181/188	E N Z	-7.83 12.6 -5.53	0.742 -1.04 0.273	** ** **	** ** **
10	Крутоберегово	KBG	56.258	162.713	489/491	E N Z	-0.575 -0.572 -0.361	-0.119 -0.157 0.0701	-0.575 -0.581 0.356	-0.121 -0.159 0.069
11	Петропавл.маяк	MPPA	52.886	158.704	152/160	E N Z	27.7 -38.4 15.8	-1.56 -1.98 0.696		
12	Морской порт	UK3	56.222	162.523	482/484	E N Z	-0.575 -0.508 -0.147	-0.105 0.0795 0.0374		
13	Налычево	NLC	53.171	159.348	146/154	E N Z	-15.7 16.8 -5.69	-0.903 1.11 0.537		
14	НИИГТЦ	NI1	53.080	158.641	169/176	E N Z	7.19 -9.16 -3.95	-1.208 -1.17 0.498		
15	Николаевка	NIC	53.045	158.341	182/188	E N Z	7.39 -7.84 -2.95	1.39 -1.36 -0.663		
16	Паужетка	PAU	51.468	156.815	261/265	E N Z	-1.47 1.39 0.617	-0.189 -0.137 0.096		
17	Петропавловск	PET	53.024	158.653	164/ 171	E N Z	-3.83 -2.81 -1.72	0.796 0.538 -0.354	-3.96 -2.76 -1.59	0.788 0.481 -0.356
18	Русская	RUS	52.431	158.513	141/149	E N Z	5.46 10.9 7.27	-0.471 0.493 0.571		
19	Рыбачий	RIB	52.918	158.533	164/170	E N Z	16.4 -21.5 9.45	3.49 -2.23 1.26		
20	Сев. Курильск	SKR	50.670	156.116	340/343	E N	1.34 1.41	0.083 0.094	1.27 1.32	-0.096 0.094

Примечание. Δ — эпицентральное расстояние, r — гипоцентральное расстояние; $a_{\text{пик}}$ — максимальная амплитуда пикового ускорения; $v_{\text{пик}}$ — максимальная амплитуда пиковой скорости. * — региональный код станции; ** — амплитуда сигнала вышла за динамический диапазон прибора.

ГЛАВА 4

Глубокое Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г., $Mw=8.3$

24 мая 2013 г. в 05^h44^m по Гринвичу в акватории Охотского моря, к западу от п-ва Камчатка, произошло сильное землетрясение с магнитудой $Mw=8.3$ (рис. 4.1). Это сильнейшее землетрясение, зарегистрированное в районе Камчатки за годы детальных сейсмологических наблюдений (с 1962 г. по настоящее время) и самое сильное в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины. По данным КФ ГС РАН эпицентр землетрясения 24.05.2013 г. находился примерно в 360 км к северо-западу от г. Петропавловска-Камчатского, гипоцентр зафиксирован в камчатской сейсмофокальной зоне на глубине 630 км, что соответствует предельному диапазону глубин для сейсмических событий. Землетрясение сопровождалось последовательностью афтершоков. Параметры гипоцентра землетрясения и его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$, а также энергетические характеристики по данным различных сейсмологических центров России и мира приведены в табл. 4.1.

Охотоморское землетрясение 2013 г. ощущалось в Камчатском крае с интенсивностью до 5–6 баллов, на остальной территории России – до 4–5 баллов, а также в ряде стран Европы, Азии и Северной Америки. Макросейсмические проявления землетрясения 24.05.2013 г. были зафиксированы на эпицентрических расстояниях до 9 500 км.

По регламентам Службы срочных донесений (ССД) и Службы предупреждения о цунами (СПЦ) операторы РИОЦ «Петропавловск» КФ ГС РАН приступили к обработке землетрясения при срабатывании сигнала тревоги (при превышении регистрируемым сейсмическим сигналом заданного уровня) по данным станции «Карымшина» (KRM). Обработка проводилась в условиях, когда сила сотрясений в рабочем помещении достигала 4–5 баллов. Протокол действий дежурной смены РИОЦ по регламентам ССД и СПЦ (здесь и далее время приводится по Гринвичу):

05^h46^m10.7^s сигнал тревоги срабатывание сигнализации на регистрацию сильного землетрясения по данным станции «Карымшина» (вступление Р-волны);

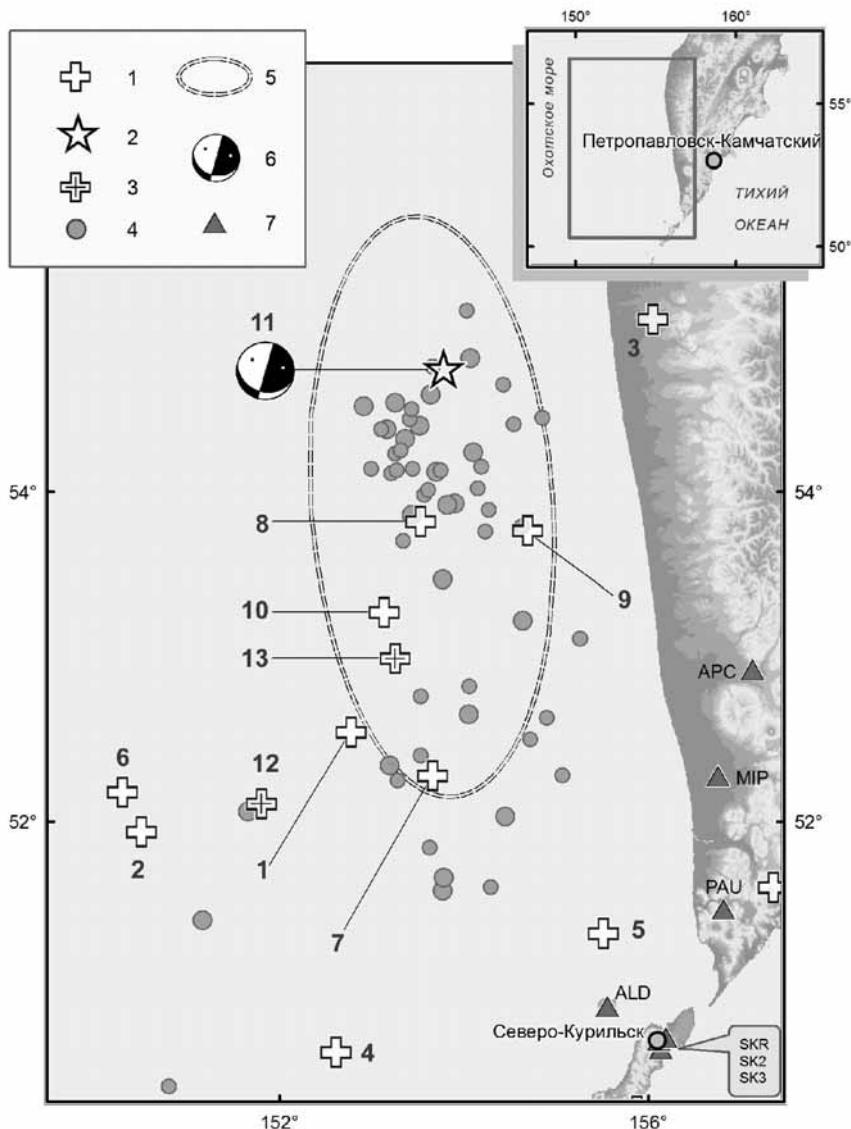


Рис. 4.1. Схема расположения эпицентра землетрясения 24.05.2013 г., его афтершоков с энергетическими классами $K_s \geq 9.9$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 24.05.2013 г. по данным каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов ($K_s \geq 9.9$ соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети для района Охотского моря): 1 – эпицентры сильных землетрясений рассматриваемого района за период с 1962 г. по 24.05.2013 г., 2 – эпицентр землетрясения 24.05.2013 г.; 3 – эпицентры сильных афтершоков; 4 – эпицентры афтершоков с $9.9 \leq K_s < 13.5$; 5 – 2σ-эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 6 – стереограмма механизма очага землетрясения 24.05.2013 г. по Global CMT; 7 – сейсмические станции. Нумерация землетрясений соответствует табл. 4.1.

Таблица 4.1. Параметры землетрясения 24.05.2013 г., его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$, а также сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период 1962 г. по 24.05.2013 г.

№	Гипоцентр					Энергетический класс / Магнитуда									
	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	ϕ° , N	λ° , E	h , км	КФ ГС РАН			Global CMT		NEIC(USGS)			ГС РАН	
						K_s	ML	M_c	M_w	m_b	M_s	M_w	m_b	M_s	
Сильные землетрясения рассматриваемого района за период 1962 г. по 24.05.2013 г.															
1	1965.08.01	16:41:07	52.54	152.77	467	14.1	6.3	—	—	5.1	—	—	—	—	
2	1971.01.29	21:57:51	51.94	150.50	550	16.1	7.3	—	—	6.1	—	—	6.8	—	
3	1972.05.27	04:06:45	55.05	156.05	467	14.0	6.2	—	—	5.7	—	—	6.2	—	
4	1975.12.21	10:54:06	50.60	152.61	701	15.2	6.8	—	—	6.0	—	—	6.4	—	
5	1977.09.21	21:01:42	51.32	155.51	247	13.7	6.1	—	—	5.6	—	—	6.1	—	
6	1979.12.30	04:18:21	52.18	150.29	553	13.6	6.0	—	—	5.4	—	—	5.8	5.0	
7	2001.02.07	15:16:10	52.28	153.66	476	14.2	6.4	5.0	5.7	5.6	—	5.7	5.9	—	
8	2008.07.05	02:12:06	53.82	153.53	610	15.7	7.1	6.9	7.7	6.8	—	7.7	6.9	6.5	
9	2008.11.24	09:02:52	53.76	154.69	564	15.2	6.8	6.7	7.3	6.5	—	7.3	6.5	6.2	
10	2009.12.10	02:30:51	53.40	152.61	621	14.8	6.6	5.4	6.3	6.1	—	6.3	6.2	—	
Землетрясение 24.05.2013 г. и его сильнейшие афтершоки															
11	2013.05.24	05:44:47	54.76	153.79	630	17.0	7.8	7.4	8.3	7.5	—	8.3	7.7	—	
12	2013.05.24	14:56:29	52.11	151.81	642	15.0	6.8	5.8	6.7	6.7	—	6.7	7.0	—	
13	2013.10.01	03:38:19	52.99	153.25	605	15.2	6.9	6.1	6.7	—	—	—	6.7	—	

Примечание. K_s – энергетический класс по S-волне; ML – локальная магнитуда; M_c – магнитуда по коде; M_w – моментная магнитуда; m_b – магнитуда по объемным волнам; M_s – магнитуда по поверхностным волнам Релея.

05^h46^m11.6^s вступление волны Р на станции «Петропавловск»;

05^h47^m23.5^s вступление волны S на станции «Петропавловск»;

05^h47^m12^s, через 1 мин после сигнала тревоги – передача сообщения «Регистрируется сильное землетрясение!» в Центр цунами ФБГУ «Камчатское УГМС» (Росгидромет);

05^h50^m, через 4 мин после сигнала тревоги, – предварительная оценка района очага землетрясения ($\Delta=3.2^{\circ}$, Охотское море), оценка координат землетрясения по сети станций и первая энергетическая оценка ($\Delta=360$ км, $M_s=6.7$, MPSP=8.0, координаты: 54.53° N, 153.69° E, глубина $h=686$ км);

05^h54^m, через 8 минут после сигнала тревоги, – уточненная оценка района очага и параметров землетрясения (время в очаге: 05:44:42.96, $\Delta=360$ км, $M_s=6.7$, MPSP=8.0, $ML=7.5$, $M_s(20R)=7.2$, координаты: 54.51° N, 153.80° E, глубина $h=694$ км) и рассылка информации по установленному списку адресов (ГУ МЧС России по Камчатскому краю, Росгидромет, ССД ГС РАН, ССД КФ ГС РАН, ССД Сахалинского филиала ГС РАН и др.).

Тревога цунами не объявлялась по решению дежурной смены, так как гипоцентр землетрясения имел глубину выше 600 км.

Необходимо отметить заметное различие в оценках магнитуд землетрясения, полученных в рамках ССД и СПЦ и при последующей камеральной обработке. Такая ситуация вызвана сложным характером сейсмической записи (рис. 4.2), что связано с большой глубиной сейсмического события. На относительно близких к очагу сейсмических станциях Камчатки (например, PET и KBG на рис. 4.2) поверхностьные волны, по которым оценивается магнитуда M_s , принятая в СПЦ на Дальнем Востоке России для оценки цунамигенного потенциала землетрясения, практически еще не сформировались (глубина землетрясения превышает эпицентральное расстояние до сейсмических станций Камчатки). На более удаленных пунктах наблюдения поверхностьные волны выделяются уверенно. Однако в целях ССД и СПЦ для сокращения времени принятия решения при обработке в первую очередь используются ближайшие к эпицентру станции, что в случае глубокого близкого землетрясения может привести к ошибкам.

Таким образом, обработка землетрясения по регламентам ССД и СПЦ заняла ~ 8 минут, что соответствует утвержденным времененным рамкам (по действующему регламенту СПЦ – не более 10 минут при эпицентральном расстоянии до 1000 км). РИОЦ «Петропавловск» в сложной ситуации показал удовлетворительную точность оценок параметров землетрясения в целях СПЦ в оперативном режиме.

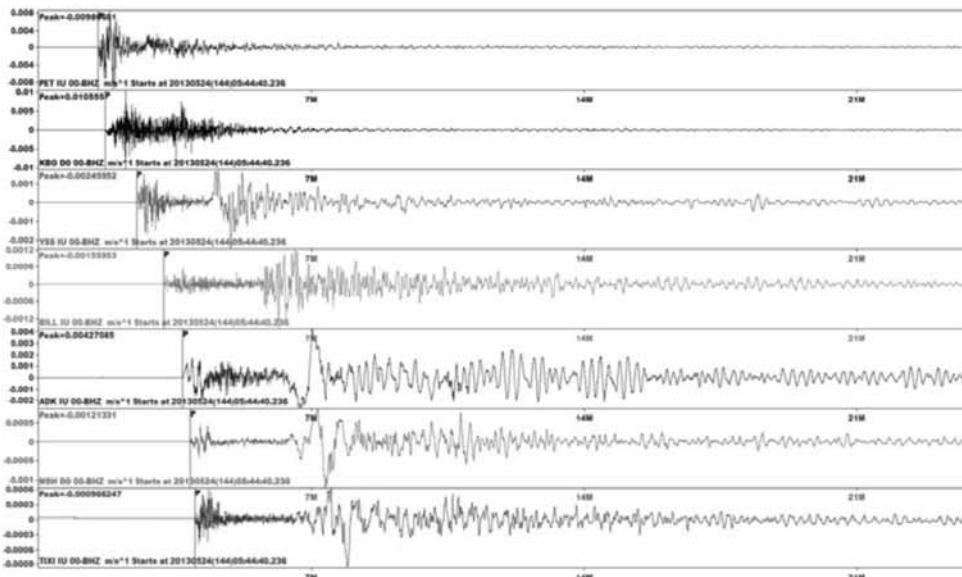


Рис. 4.2. Примеры записей землетрясения 24.05.2013 г. широкополосными сейсмическими станциями (вертикальные каналы): PET – «Петропавловск»; KBG – «Крутоберегово»; YSS – «Южно-Сахалинск»; BILL – «Билибино»; ADK – «Адъяк»; MSH – «Мыс Шульца»; TIXI – «Тикси».

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Курило-Камчатская зона субдукции разделяется по простиранию на два сегмента: Курило-Южно-Камчатский и Северо-Камчатский [Левина и др., 2013]. Граница между ними проходит в районе Авачинского залива и далее по падению погружающейся Тихоокеанской плиты. Многочисленные геологические и сейсмологические данные подтверждают различие в возрасте возникновения субдукции на этих двух (современных) сегментах. Наблюдаемые сейсмофокальные зоны достигают в южном и северном сегментах принципиально разных глубин, соответственно 650–700 км на юге и только 350–400 км на севере (рис. 4.3).

Глубокое землетрясение 24.05.2013 г. произошло практически на указанной поперечной границе, точнее на северо-восточном торцевом краю Курило-Южно-Камчатского сегмента погружающейся Тихоокеанской плиты. Севернее гипоцентра на соответствующих землетрясению глубинах современная погружающаяся плита, по-видимому, отсутствует, поскольку проявления сейсмичности здесь заканчиваются значительно ближе к земной поверхности.

В табл. 4.2 представлены параметры и стереограммы механизмов очагов землетрясения 24.05.2013 г. и его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$ из каталогов Global CMT и КФ ГС РАН (последние определялись по знакам первых вступлений P -волн по данным Камчатской и мировой сети). Для глубоких землетрясений обычная классификация по типам механизмов неинформативна. В данном случае наиболее интересно, что все представленные механизмы приблизительно отражают сжатие погружающейся Тихоокеанской плиты в направлении ее падения.

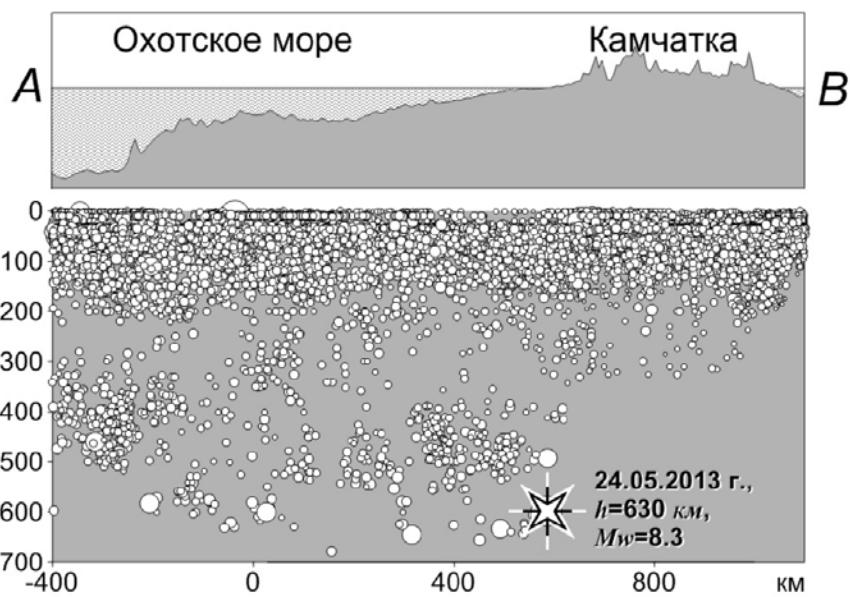
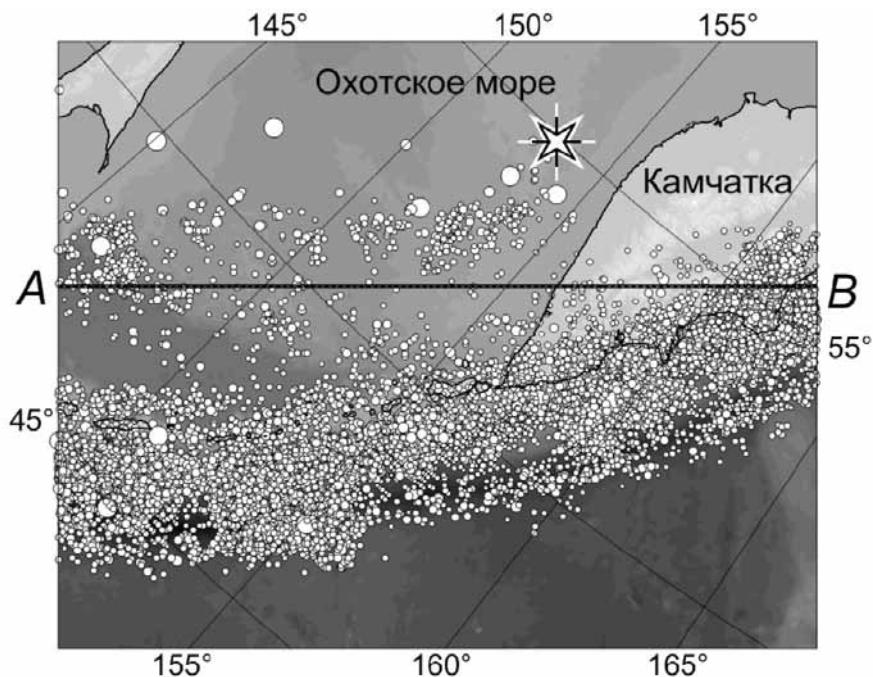


Рис. 4.3. Схема расположения эпицентров землетрясения 24.05.2013 г. и событий сейсмофокальной зоны с 1962 г. по август 2013 г. по данным каталога NEIC (USGS) и проекция их гипоцентров на вертикальную плоскость, проходящую через линию AB.

Таблица 4.2. Параметры очагов землетрясения 24.05.2013 г. и его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$ из табл. 4.1 по данным Global CMT и КФ ГС РАН.

№	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство			
				T		N		P		$NP1$			$NP2$						
				pl	azm	pl	azm	pl	azm	stk	dip	$slip$	stk	dip	$slip$				
11	2013.05.24	05:45:08	611	34	102	1	192	56	283	12	79	-89	189	11	-93	Global CMT			
		05:44:47	630	39	81	28	196	39	311	196	90	62	106	28	180	КФ ГС РАН			
12	2013.05.24	14:56:34	642	19	124	11	30	68	272	25	64	-102	231	28	-67	Global CMT			
		14:56:29	642	9	138	9	229	78	3	56	55	-79	218	37	-105	КФ ГС РАН			
13	2013.10.01	03:38:24	585	13	171	28	74	59	284	59	64	-121	293	40	-44	Global CMT			
		03:38:19	605	25	190	21	90	56	325	83	73	-112	318	28	-39	КФ ГС РАН			

ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Афтершоковая последовательность землетрясения 24.05.2013 $Mw=8.3$ включила 94 землетрясения с энергетическим классом в диапазоне $K_s=9.1-15.2$ ($ML=3.8-6.9$). Построенный для нее кумулятивный график повторяемости (рис. 4.4) определил уровень представительности каталога как $K_{min}=9.9$ ($ML=4.2$), что соответствует левой границе линейного участка графика повторяемости. Используемая для дальнейшего анализа выборка была получена из оперативного каталога с учетом этого порогового значения и включила 62 землетрясения, произошедших до апреля 2014 г.

На рис. 4.1 облако эпицентров афтершоков оконтурено эллипсом расстояния, содержащим 90 % афтершоков первых 14 часов после главного землетрясения, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 24.05.2013 $Mw=8.3$: длина 400 км, ширина 180 км.

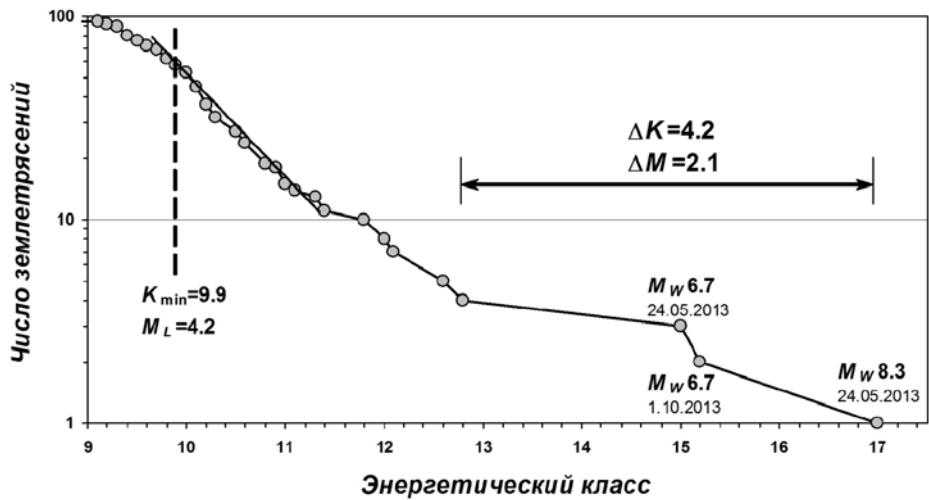


Рис. 4.4. Кумулятивный график повторяемости для афтершоковой последовательности землетрясения 24.05.2013 $M_w=8.3$.

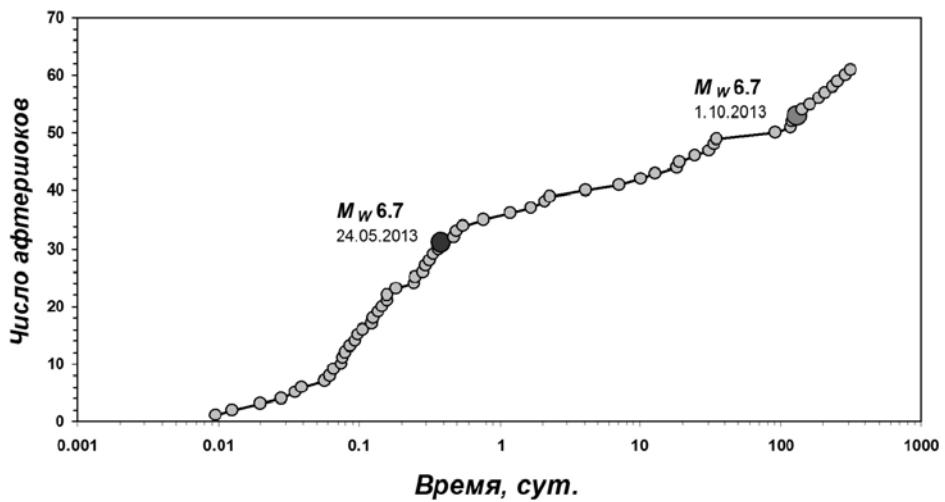


Рис. 4.5. Развитие афтершокового процесса землетрясения 24.05.2013 $M_w=8.3$ во времени. За начало отсчета взято время основного события – 24.05.2013 $M_w=8.3$. Приведены кумулятивные кривые числа афтершоков. Отмечены наиболее сильные землетрясения.

Согласно графику повторяемости энергетический интервал между основным событием и сильнейшими афтершоками $\Delta K=1.8$ ($\Delta M=0.9$) близок интервалу между сильнейшими афтершоками и относительно многочисленной группой афтершоков, имеющей «непрерывное» распределение по энергии, который составляет $\Delta K=2.2$ ($\Delta M=1.1$) (рис. 4.4).

Временной ход афтершокового процесса представлен в виде кумулятивного графика числа землетрясений в логарифмическом масштабе времени (рис. 4.5). В таком представлении наиболее ярко проявляется разделение всего афтершокового процесса (в целом имеющего характер последовательности с затухающей со временем интенсивностью) на несколько отдельных фаз.

Прежде всего, из рассмотрения необходимо исключить начальный участок, имеющий продолжительность 1 час и состоящий из 6 афтершоков энергетического класса $K_s=10.2-12.1$ ($ML=4.4-5.3$), которые не соответствуют графику повторяемости. Причиной этого является «потеря» землетрясений на фоне коды основного события.

Оставшаяся последовательность землетрясений разбивается на три участка, каждый из которых аппроксимируется прямой (в логарифмическом масштабе времени t и линейном масштабе числа землетрясений N) с различным наклоном (рис. 4.6). Такая аппроксимация соответствует гиперболическому закону убывания афтершоков $\frac{dN}{dt} = \frac{A}{t}$, а величина наклона соответствует коэффициенту пропорциональности A . Заметим, что для последнего участка аппроксимация в соответствии с гиперболическим законом является достаточно условной в связи с малым объемом данных.

Яркой особенностью является соответствие времен смены «линейных» участков и двух самых сильных афтершоков с магнитудой $Mw=6.7$ 24.05.2013 (через 9 часов после майншока) и 01.10.2013 (через >4 месяцев). Причем ни одно из этих сильных землетрясений не инициировало своей собственной афтершоковой последовательности. Также следует отметить, что завершившее наиболее интенсивный участок афтершокового процесса землетрясение 24.05.2013 $Mw=6.7$ произошло за пределами определенного выше контура очага землетрясения $Mw=8.3$.

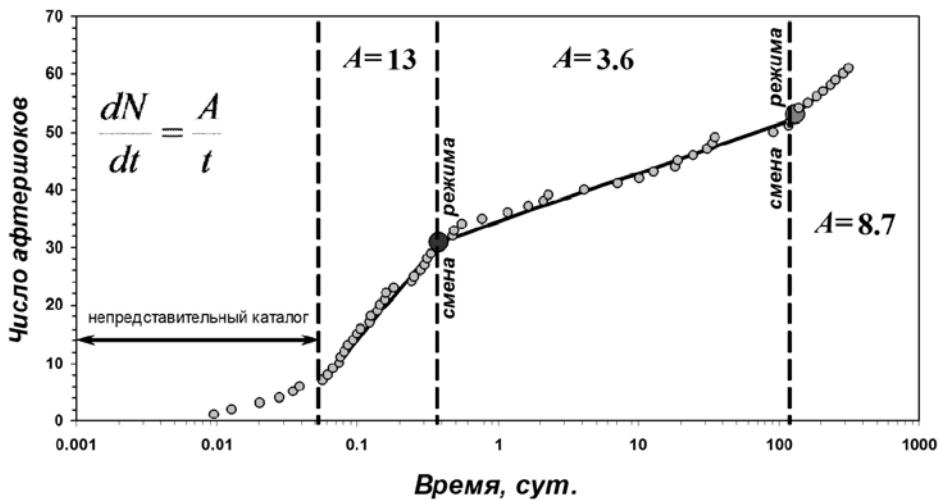


Рис. 4.6. Характерные фазы развития афтершокового процесса землетрясения 24.05.2013 $Mw=8.3$. За начало отсчета взято время основного события. Отмечены временные границы фаз.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Макросейсмические сведения собраны для 190 населенных пунктов. Из различных источников обработано 546 сообщений, из них через интернет-опросник (<http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php>) поступило 90 сообщений из 29 пунктов.

Охтоморское землетрясение 24 мая 2013 г. имело огромную площадь макросейсмического воздействия, при этом оно нигде не имело катастрофических проявлений. Это событие ощущалось с интенсивностью от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64 в населенных пунктах, расположенных от эпицентра на расстоянии от 139 до 9470 км. В северном полушарии Земли на значительной части Евразии и Северной Америки его проявление зафиксировано в России, Казахстане, Японии, Китае, Индии, Объединенных Арабских Эмиратах, Польше, Канаде, США, Мексике, Италии, Эстонии и Киргизии; в южном полушарии – в Индонезии на о-ве Ява.

Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от эпицентра (Δ) и макросейсмической интенсивности (I) в них приведен в табл. 4.3. Описание проявлений землетрясения в пунктах дано в Приложении 8.

Таблица 4.3. Макросейсмические сведения об Охотоморском землетрясении 24.05.2013 г.

№	Название пункта, код региона	Координаты ϕ° , N λ° , E		I, балл	Δ , км	№	Название пункта, код региона	Координаты ϕ° , N λ° , E		I, балл	Δ , км				
Данные КФ ГС РАН															
I. Россия															
1	Кругогорово, 41	55.03	155.90	4	139	50	Воямполка, 41	58.31	159.39	не ощ.	524				
2	ГМС Ича, 41	55.58	155.58	не ощ. ¹	146	51	Магадан, 49	59.57	150.80	4	565				
3	Соболево, 41	54.27	155.92	3	148	52	Кленка, 49	59.75	151.48	4	573				
4	Усть-Большеречк., 41	52.82	156.25	3–4	269	53	Погодинский, 41	56.26	162.59	4–5	579				
5	Кавалерское, 41	52.92	156.57	3–4	274	54	Крутоберегово, 41	56.26	162.71	4–5	586				
6	Пущино, 41	54.16	158.01	4	281	55	Палана, 41	59.10	159.95	3–4	611				
7	Октябрьский, 41	52.67	156.22	5	282	56	Лесная, 41	59.48	160.57	не ощ.	666				
8	Шаромы, 41	54.42	158.25	4	290	57	ГМС мыс Озерной, 41	57.65	163.23	не ощ.	666				
9	Ганали, 41	53.70	157.94	4	294	58	Ивашка, 41	58.55	162.29	3	669				
10	Апача, 41	52.93	157.13	4–5	299	59	Талая, 49	61.10	152.39	2	711				
11	Хайрузово, 41	56.85	157.02	не ощ. ¹	309	60	Оха, 65	53.60	142.95	3	716				
12	Сокоч, 41	53.16	157.65	5	309	61	Нынрово, 65	54.33	142.63	2	721				
13	Мильково, 41	54.70	158.63	4	311	62	Тунгор, 65	53.39	142.96	2–3	722				
14	ГМС Начики, 41	53.12	157.73	3	316	63	Карага, 41	59.18	162.92	2–3	740				
15	Усть-Хайрузово, 41	57.08	156.71	4	316	64	Кострома, 41	59.08	163.15	не ощ.	744				
16	Ковран, 41	57.15	156.96	3	332	65	Оссора, 41	59.25	163.06	2	751				
17	Эссо, 41	55.93	158.70	3–4	337	66	Москальво, 65	53.35	142.30	2–3	765				
18	Долиновка (Мильково), 41	55.13	159.05	3–4	339	67	Тымлат, 41	59.48	163.17	не оп.	772				
19	Раздольный, 41	53.27	158.32	4	339	68	Никольское, 41	55.20	165.98	4	779				
20	Елизово, 41	53.19	158.38	4–5	347	69	Ноглики, 65	51.78	143.13	3	781				
21	Вулканый, 41	53.09	158.34	3–4	351	70	Ильцырский, 41	59.97	164.18	не ощ.	850				
22	Термальный, 41	52.95	158.20	4–5	352	71	Тымовское, 65	50.86	142.68	4	862				
23	Паратупка, 41	52.97	158.25	4–5	354	72	Пильво, 65	50.04	142.18	3	944				
24	р. Карымшина (стационар КФ ГС), 41	52.84	158.15	4	357	73	Сусуман, 49	62.78	148.15	3–4	949				
25	Новый, 41	53.11	158.55	4	362	74	Тиличики, 41	60.43	166.05	не ощ.	963				
26	Вилючинск, 41	52.92	158.43	4–5	367	75	Паренъ, 41	62.42	163.08	не оп.	1006				
27	Институт, 41	53.07	158.61	4	367	76	Макаров, 65	48.62	142.78	не оп.	1018				
28	Рыбачий, 41	52.93	158.52	4–5	371	77	Углегорск, 65	49.08	142.07	4	1020				
29	МГеоЭС-1, 41	52.55	158.02	4	371	78	Каменское, 41	62.46	166.22	не оп.	1116				
30	Петропавловск, 41	53.02	158.65	4–5 ²	373	79	Рейдово, 65	45.27	148.03	2–3	1131				
31	Атласово, 41	55.64	159.53	4–5	378	80	Курильск, 65	45.23	147.87	3–4	1140				
32	Радыгина, 41	53.11	158.85	4–5	379	81	Санаторийный, 65	47.10	142.63	2	1153				
33	Лазо, 41	55.54	159.75	3	389	82	Китово, 65	45.15	147.53	3–4	1157				
34	Запорожье, 41	51.51	156.55	4	405	83	Южно-Сахалинск, 65	46.95	142.73	3–4	1162				
35	Озерновский, 41	51.49	156.50	4	406	84	Горячие Ключи, 65	45.03	147.76	2–3	1164				
36	ГМС Семячики, 41	54.12	159.98	6 ³	407	85	Троицкое, 65	46.92	142.65	4	1168				
37	Шумный, 41	51.49	156.62	4	409	86	Горное, 65	44.93	147.57	4–5	1179				
38	Долина Гейзеров (кордон), 41	54.44	160.13	6	410	87	Холмск, 65	47.06	142.05	3	1184				
39	Козыревск, 41	56.06	159.87	3–4	411	88	Анива, 65	46.72	142.52	4	1192				
40	Паужетка, 41	51.47	156.81	4	417	89	Малокурильское, 65	43.88	146.83	3	1309				
41	маяк Круглый, 41	52.07	158.30	5–6	423	90	Южно-Курильск, 65	44.06	145.79	2	1321				
42	Седанка, 41	57.73	158.27	3–4	432	91	Горячий Пляж, 65	44.00	145.80	2	1327				
43	ГМС Водопадная, 41	51.81	158.08	не ощ. ¹	434	92	Голубинино, 65	43.74	145.52	не оп.	1362				
44	мыс Шипунский, 41	53.11	160.01	не ощ. ¹	447	93	Хабаровск, 27	48.48	135.07	2–4 ²	1462				
45	Тигиль, 41	57.77	158.66	4	451	94	Якутск, 14	62.03	129.73	3–4	1605				
46	ГМС Кроники, 41	54.60	161.13	5	472	95	Благовещенск, 28	50.26	127.54	3–4 ²	1834				
47	мыс Лопатка, 41	50.87	156.65	не ощ. ¹	473	96	Владивосток, 25	43.12	131.90	не оп.	2042				
48	Ключи, 41	56.31	160.85	3–4	477	97	Усть-Илимск, 38	58.00	102.67	2	3092				
49	Северо-Курильск, 65	50.67	156.10	4–5	480	98	Иркутск, 38	52.28	104.30	2–3	3216				
						99	Братск, 38	56.12	101.60	2	3217				
						100	Ангарск, 38	52.57	103.92	ощущ.	3226				
						101	Вихоревка, 38	56.12	101.17	3	3242				
						102	Саянск, 38	54.12	102.17	2	3263				
						103	Нижнеудинск, 38	54.90	99.02	ощущ.	3418				

Таблица 4.3. Продолжение.

№	Название пункта, код региона	Координаты		<i>I</i> , балл	Δ , км				
		ϕ°	N	λ°	E				
104	Зеленогорск, 24	56.10	94.58	2	36.24				
105	Лесосибирск, 24	58.23	92.48	3	36.52				
106	Железногорск, 24	56.25	93.53	2–3	36.77				
107	Сосновоборск, 24	56.13	93.37	ощущ.	36.91				
108	Красноярск, 24	56.02	92.87	3	37.25				
109	Ачинск, 24	56.27	90.50	ощущ.	38.47				
110	Кемерово, 42	55.33	86.07	2–3	41.41				
111	Томск, 70	56.49	84.95	2	41.43				
112	Новосибирск, 54	55.03	82.92	2–3	43.33				
113	Искитим, 54	54.63	83.30	2	43.34				
114	Бердск, 54	54.75	83.10	2	43.38				
115	Линево, 54	54.46	83.38	2–3	43.39				
116	Барнаул, 22	53.36	83.79	2–3	43.78				
117	Омск, 55	54.97	73.38	не ощ.	48.51				
118	Екатеринбург, 66	56.83	60.58	не ощ.	53.66				
119	Мурманск, 51	68.97	33.08	2–3	54.46				
120	Нерюнгри, 59	58.01	56.25	2–3	54.79				
121	Апатиты, 51	67.57	33.39	ощущ.	55.55				
122	Ижевск, 18	56.85	53.22	2	57.00				
123	Уфа, 2	54.73	55.97	3	57.37				
124	Стерлитамак, 2	53.63	55.95	ощущ.	58.22				
125	Набережные Челны, 16	55.70	52.33	3–4	58.29				
126	Ельбуга, 16	55.77	52.03	ощущ.	58.37				
127	Салават, 2	53.37	55.93	ощущ.	58.43				
128	Нижnekамск, 16	55.63	51.82	ощущ.	58.57				
129	Запинск, 16	55.30	52.02	ощущ.	58.74				
130	Альметьевск, 16	54.90	52.30	ощущ.	58.93				
131	Казань, 16	55.79	49.11	3	59.64				
132	Зеленодольск, 16	55.85	48.52	3	59.84				
133	Оренбург, 56	51.77	55.10	2–3	60.08				
134	Самара, 63	53.18	50.12	ощущ.	61.29				
135	Нижний Новгород, 52	56.33	44.01	3	61.34				
136	Костромская область			ощущ.	61.35				
137	Иваново, 37	57.00	40.98	2–3	61.98				
138	Навашино, 52	55.53	42.20	2–3	62.75				
139	Выкса, 52	55.32	42.17	2–3	62.94				
140	Санкт-Петербург, 78	59.95	30.32	2–3	63.18				
141	Москва, 77	55.75	37.62	2–4 ²	64.37				
142	Рязань, 62	54.62	39.72	ощущ.	64.53				
143	Тула, 71	54.20	37.62	2	65.74				
144	Смоленск, 67	54.78	32.05	2–3	67.31				
145	Нововоронежская АЭС ⁴ , 36	51.28	39.20	2–3	67.69				
II. Казахстан									
146	Усть-Каменогорск	49.95	82.62	2–3	46.53				
147	Курчатов	50.76	78.54	3	48.37				
148	Астана	51.18	71.40	2	52.08				
149	Алматы	43.25	76.90	2	54.59				
150	Уральск	51.23	51.37	2	62.30				
151	Атырау	47.12	51.88	2–3	65.44				
152	Тентиз	46.15	53.38	ощущ.	65.50				
Данные USGS⁵ (кроме сведений по России и Казахстану)									
III. USA									
153	Kodiak	57.58	-153.38	3	3203				
154	Anchor Point	59.81	-151.66	2	3231				
155	Homer	59.53	-151.19	3	3265				
156	Palmer	61.60	-149.12	ощущ.	3318				
157	Sutton	61.71	-148.88	3	3327				
158	Juneau	58.47	-134.15	3	4216				
159	Petersburg	56.82	-133.17	3	4353				
160	Honolulu	21.33	157.83	3	5467				
161	Seattle	47.69	-122.29	3	5542				
162	Goleta	34.49	-120.05	4–5	6716				
163	Irvine	33.75	-117.74	2	6917				
164	Rock Island	41.48	-90.57	3–4	7706				
IV. Japan									
165	Sapporo	43.06	141.34	3	1582				
166	Aomori	40.83	140.74	3	1823				
167	Furukawa	38.57	140.96	3	2042				
168	Sendai	38.26	140.89	2	2076				
169	Tokyo	35.67	139.77	3	2380				
170	Yokohama	35.47	139.62	3	2406				
V. China									
171	Chongqing	29.57	106.58	3	4663				
172	Chengdu	30.67	104.07	3	4725				
173	Xichang	27.88	102.30	3	5073				
VI. Canada									
174	Vancouver	49.28	-123.13	2	5380				
VII. India									
175	Chandigarh	30.75	76.78	3	6457				
176	Mohali	30.78	76.69	3	6461				
177	Noida	28.58	77.33	ощущ.	6604				
178	Delhi	28.67	77.21	3	6604				
179	Gurgaon	28.47	77.01	3	6634				
VIII. Poland									
180	Gdansk	54.36	18.64	2–3	7211				
IX. Indonesia									
181	Malang	-7.98	112.62	2–3	7956				
X. United Arab Emirates									
182	Dubai	25.27	55.33	3	8255				
XI. Mexico									
183	Ixtaczoquitlán	18.85	-97.07	3	9470				
Данные EMSC⁶ (дополнительные к уже имеющимся)									
184	Pemberton, Canada	50.32	-122.82	ощущ.	5324				
185	Бишкек, Киргизия	42.87	74.57	ощущ.	5628				
186	Таллин, Эстония	59.42	24.75	ощущ.	6539				
187	Ставрополь, Россия	45.03	41.97	ощущ.	7204				
188	Новороссийск, Россия	44.72	37.77	ощущ.	7424				
189	Ferrara, Italy	44.83	11.58	ощущ.	8384				
190	Milan, Italy	45.47	9.20	ощущ.	8385				

Примечание. ¹ – отсутствие ощущений в пункте вызывает сомнение; ² – в разных районах города землетрясение ощущалось с разной интенсивностью: «от – до»; ³ – описания проявлений отсутствуют; ⁴ – информация о макросейсмических проявлениях из [Надёжка, 2014]; ⁵ – оценка интенсивности данных USGS проведена по шкале MSK-64; ⁶ – в используемом источнике не приведены оценки интенсивности.



Рис. 4.7. Карта макросейсмического проявления Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. в населенных пунктах Камчатского края и Северных Курил.

На территории Камчатского края макросейсмические сведения были собраны из 64 населенных пунктов, в 50 из которых землетрясение ощущалось с интенсивностью от 2 до 6 баллов (рис. 4.7). В ближайшем к эпицентру пункте, пос. Кругогорово (№ 1 в табл. 4.3), и других населенных пунктах западного побережья Камчатского полуострова землетрясение ощущалось с интенсивностью не более 4 баллов (за исключе-

нием пос. Октябрьский, $I=5$ баллов, № 7 в табл. 4.3). Сотрясения наибольшей интенсивности были отмечены в пунктах восточного побережья: $I=6$ баллов на ГМС Семячики и в Долине гейзеров (№№ 36 и 38 в табл. 4.3), $I=5-6$ баллов на маяке Круглом (№ 41 в табл. 4.3). Таким образом, наблюдается смещение максимальной интенсивности сотрясений в пункты наиболее близко расположенные к глубоководному Курило-Камчатскому желобу. Подобная особенность глубоких землетрясений характерна для островных дуг, и впервые была замечена еще в начале XX в. для событий сейсмофокальной зоны в Японии [Utsu, 1996]. По мере накопления данных был сделан вывод, что это явление обеспечивается крупными неоднородностями среды в районах островных дуг.

Для сбора макросейсмических сведений о проявлениях Охотоморского землетрясения за пределами Камчатки были направлены официальные запросы в МЧС России, во все филиалы Геофизической службы РАН и Геофизической службы Сибирского отделения РАН, Институт физики Земли, Уральский Горный институт и ряд других научных учреждений в различных регионах России. Были отправлены письма коллегам-сейсмологам из Азербайджана, Киргизии, Узбекистана, Беларуси, Молдовы, а также в Казахстанский национальный центр данных с просьбой сообщить имеющуюся информацию о проявлениях этого землетрясения. Ответы пришли на 17 из 29 отправленных запросов. Наиболее подробные сведения прислали А. Д. Завьялов (ИФЗ РАН), Е. П. Семёнова (Сахалинский филиал ГС РАН), Н. А. Гилева (Байкальский филиал ГС РАН), Л. И. Карпенко (Магаданский филиал ГС РАН), Р. А. Дягилев (Горный институт УрО РАН, Пермь). Кроме того, сведения собирались из различных новостных сайтов и других ресурсов Интернета. Мы выражаем искреннюю благодарность всем, кто оказал помочь в сборе макросейсмической информации.

В итоге, помимо Камчатского края, была получена макросейсмическая информация из 82 населенных пунктов на территории России, в 75 из которых землетрясение ощущалось с интенсивностью от 2 до 4–5 баллов. Землетрясение ощутили жители Дальневосточного (за исключением входящего в него Приморского края, рис. 4.8), Сибирского, Приволжского, Центрального, Южного, Северо-Кавказского и Северо-Западного федеральных округов (ФО) Российской Федерации (рис. М.8.1 в Приложении 8).

На территории России за пределами Камчатского края сотрясения наибольшей силы, $I=4-5$ баллов, были отмечены в двух пунктах – г. Северо-Курильске и пос. Горное Сахалинской области (№№ 49, 86 в табл. 4.3). Колебания интенсивностью 4 балла ощущались в г. Магадане и с. Клепка Магаданской области, г. Углегорске, г. Анива, пос. Тымовское и с. Троицкое Сахалинской области, (№№ 51, 52, 77, 88, 71 и 85 в табл. 4.3). В Москве и Хабаровске (№№ 141 и 93 в табл. 4.3) интен-

сивность проявления землетрясения варьировалась в пределах от 2 до 4 баллов, очевидно, в зависимости от типа грунтов и качества застройки. В остальных российских населенных пунктах землетрясение ощущалось с примерно равной силой от 2 до 3 баллов.

Из Казахстанского национального центра данных были получены макросейсмические сведения по 7 населенным пунктам, расположенным на территории Казахстана (№№ 145–152 в табл. 4.3), что позволило дополнить и уточнить данные по ощущениям землетрясения в этой стране, размещенные Геологической службой США (USGS) (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/dyfi/>).

По сведениям, полученным от сейсмологических служб Молдовы, Беларуси и Азербайджана, землетрясение на территории этих стран не ощущалось. В то же время на сайте Европейского Средиземноморского сейсмологического центра (EMSC) (<http://www.emsc-csem.org/Earthquake/Testimonies/comments.php?id=318696>) имеется информация о проявлениях Охотоморского землетрясения на территории Эстонии, Италии, Киргизии. К сожалению, дать оценки интенсивности в этих пунктах по имеющимся данным не удалось.

В табл. 4.3 и на рис. 4.8 также представлены сведения о макросейсмических проявлениях в разных пунктах мира (№№ 153–183), собранные Геологической службой США (USGS) с помощью системы DYFI (Did You Feel It?) [Wald, et al., 2011]. Тексты полученных анкет были любезно предоставлены нам сотрудником USGS D.J. Wald. В результате анализа текста сообщений были получены оценки интенсивности сотрясений в этих пунктах по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]. В большинстве анкет отмеченные респондентами проявления землетрясения 24 мая не превышают $I=3$ балла. Лишь в 2 пунктах США зафиксированы более ощутимые сотрясения: наибольшая интенсивность $I=4\text{--}5$ баллов – в г. Голета (№ 162); $I=3\text{--}4$ балла – в г. Рок-Айленд (№ 164).

Таким образом, макросейсмический эффект Охотоморского землетрясения 2013 г. проявился в глобальном масштабе. Оно ощущалось практически во всех крупных городах России и вызвало заметный интерес сейсмологов. Исследованию особенностей макросейсмических проявлений от Охотоморского землетрясения посвящен ряд работ, например, [Рогожин и др., 2013; Маловичко А. А. и др., 2013; Старовойт О. Е. и др., 2013; Татевосян и др., 2014; Маловичко Е. А., 2014] и др.

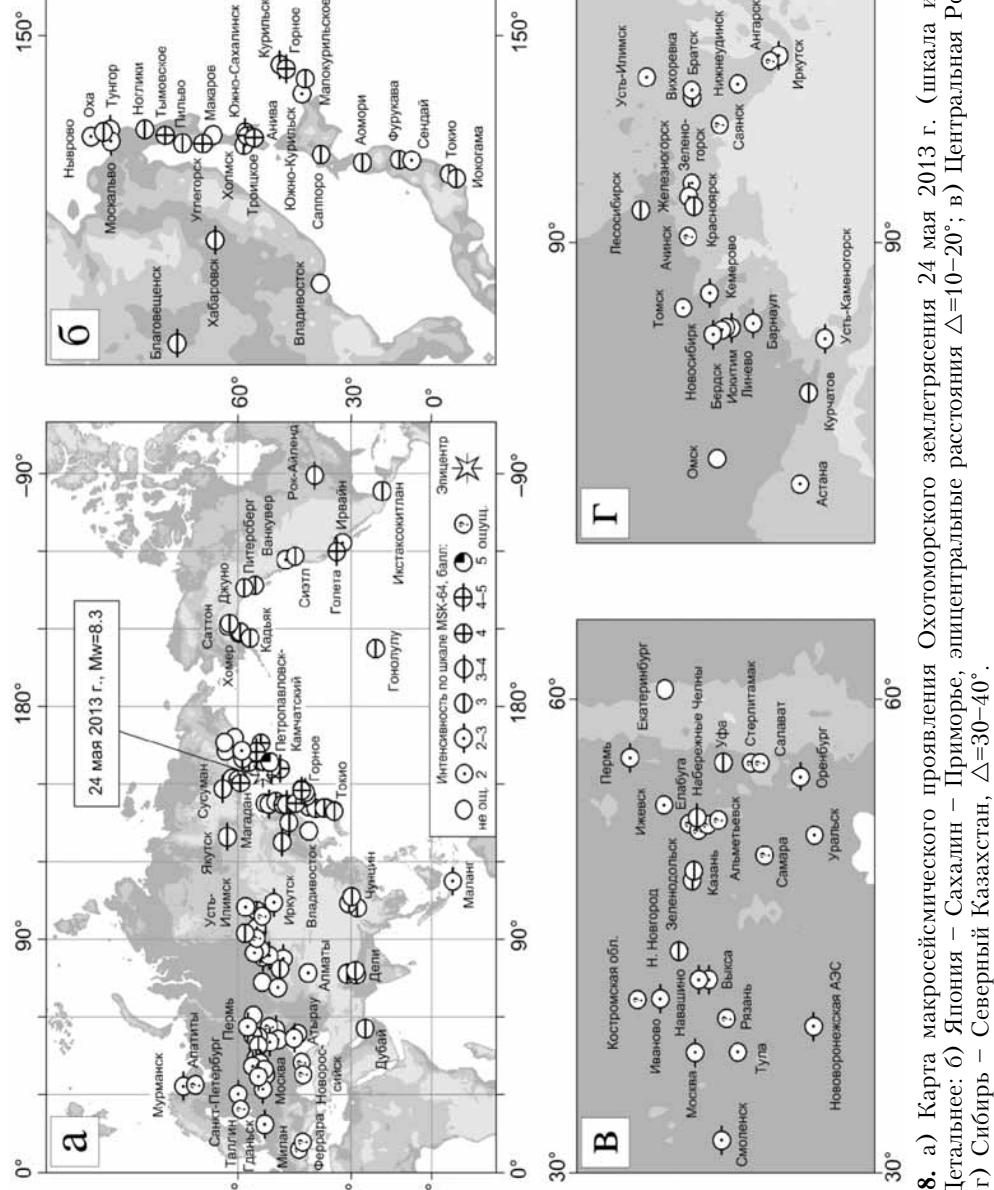


Рис. 4.8. а) Карта макросейсмического проявления Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. (шкала интенсивности MSK-64). Дальность: б) Япония – Сахалин – Приморье, эпцентральные расстояния $\Delta=10-20^{\circ}$; в) Центральная Россия – Урал, $\Delta=50-60^{\circ}$; г) Сибирь – Северный Казахстан, $\Delta=30-40^{\circ}$.

АНАЛИЗ ПИКОВЫХ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

В табл. 4.4 даны материалы обработки записей землетрясения 24.05.2013 г. в 05^h44^m в случае, когда пиковая амплитуда ускорения превышает 0.5 см/с² хотя бы на одной компоненте. Приведены значения пиковых ускорений и скоростей для трехкомпонентных акселерографов и велосиграфов сейсмических станций Дальнего Востока.

Таблица 4.4. Пиковые амплитуды сильных движений грунта от землетрясения 24.05.2013 г.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r км	комп	$a_{\text{пик}}$ HN, см/с ²	$v_{\text{пик}}$ HN, см/с	$a_{\text{пик}}$ ВШ, см/с ²	$v_{\text{пик}}$ ВШ, см/с
			ϕ° , N	λ° , E						
1	Администрация-ПК	ADM	53.023	158.650	372/731	E N Z	4.33 -6.59 5.98	0.931 -0.643 -1.201		
2	Администрация-УК	UK1	56.263	162.586	578/854	E N Z	-6.58 7.05 7.03	1.65 -1.62 -1.06		
3	Аляска	ADK	51.883	176.684	1963/2061	E N Z			-0.318 -0.315 0.205	0.107 -0.098 -0.065
4	Билибино	BILL	68.065	166.453	1613/1732	E N Z			0.588 0.422 0.295	-0.313 -0.233 -0.153
5	Беринг	BKI	55.194	165.984	778/1000	E N Z	4.11 -5.93 -5.32	1.001 0.801 -1.41	-6.89 9.96 9.08	-1.71 -1.34 2.42
6	Ванино	A732	49.091	140.255	1116/1281	E N Z	-0.625 0.5005 -0.817	-0.408 -0.281 -0.195	-0.624 0.5004 -0.817	-0.408 -0.281 -0.195
7	Вилючинск	VIL	52.931	158.405	364/727	E N Z	-9.02 6.63 13.01	0.855 0.921 -1.84		
8	Водозабор	UK2	56.232	162.646	581/856	E N Z	8.04 -10.02 8.51	-1.56 -1.96 1.25		
9	Дальний	DAL	53.031	158.754	.377/733	E N Z	5.57 -5.96 5.29	0.904 0.589 -0.948	*	*
10	Дачная	DCH	53.057	158.639	369/729	E N Z	-6.58 -5.32 8.01	-1.12 -0.855 -1.28		
11	Жупаново	GPN	54.082	159.989	408/749	E N Z	19.8 18.8 22.6	-1.93 2.16 -2.95		
12	Звездный	SPZ	53.055	158.66	371/730	E N Z	-5.05 -4.31 -7.26	-0.941 -0.806 -1.48		
13	Институт вулканологии сейсмологии	IVS	53.066	158.608	367/728	E N Z	-7.74 -7.79 7.54	-1.35 1.32 -1.64	-6.68 6.28 7.04	-1.25 -1.26 -1.63
14	Каменская	KMSK	62.467	166.206	1113/1279	E N Z			1.66 -0.993 1.701	-0.511 -0.516 0.4005

Таблица 4.4. Продолжение.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δr км	комп.	$a_{\text{ник}}$ HN, см/ c^2	$v_{\text{ник}}$ HN, см/ c	$a_{\text{ник}}$ ВН, см/ c^2	$v_{\text{ник}}$ ВН, см/ c
			φ° , N	λ° , E						
14	Каменская	KMSK	62.467	166.206	1113/1279	E N Z			1.66 -0.993 1.701	-0.511 -0.516 0.4005
15	Карымшина	KRM	52.828	158.131	356/723	E N Z	-6.36 -7.11 7.06	-0.855 0.794 -1.31	** ** **	** ** **
16	Ключи	KLY	56.313	160.852	476/789	E N Z	-4.17 -2.84 3.32	1.42 -1.39 1.03	-4.65 -3.24 -3.21	-1.37 -1.42 0.866
17	Кругоберегово	KBG	56.258	162.713	585/859	E N Z	-10.5 -9.64 -9.41	1.64 -2.05 -1.09	-11.8 -10.08 -10.1	1.78 -2.07 -1.09
18	Курильск	KUR	45.231	147.873	1137/1299	E N Z	-0.873 1.07 0.832	-0.265 -0.257 -0.181	-0.826 1.03 0.850	-0.265 -0.239 0.163
19	Магадан	MA2	59.575	150.768	565/845	E N Z			-0.952 -0.978 -1.72	0.576 0.884 -0.495
20	Матсуширо (Япония)	MAJO	36.542	138.207	2333/ 2416	E N Z			0.157 -0.089 -0.157	-0.112 0.077 -0.065
21	Мор. порт	UK3	56.222	162.523	573/851	E N Z	-10.2 9.01 -7.905	2.04 -1.89 -1.03		
22	Мыс Шулыца	MSH	42.581	131.157	2115/ 2207	E N Z			-0.099 0.125 0.162	-0.134 0.136 0.084
23	Налычево	NLC	53.171	159.348	404/747	E N Z	-11.9 16.1 9.82	-1.36 -1.31 -1.47		
24	НИИГТЦ	NII	53.080	158.641	368/728	E N Z	8.76 -6.62 8.01	1.92 -1.42 -1.46		
25	Николаевка	NIC	53.045	158.341	353/721	E N Z	5.62 7.37 5.89	1.20 1.603 -1.57		
26	Новоалександровск	NVA	47.032	142.72	1152/1313	E N Z	2.13 1.71 1.79	0.474 -0.741 -0.291	** ** **	** ** **
27	Оха	OKH	53.601	142.946	715/952	E N Z	-3.48 1.91 -5.35	1.12 -0.775 -1.101		
28	Палана	PAL	59.094	159.968	610/876	E N Z			-1.04 0.925 1.33	-0.412 -0.394 -0.327
29	Паужетка	PAU	51.468	156.815	417/755	E N Z	-4.36 4.56 4.19	1.13 0.918 -0.941	** ** **	** ** **
30	с/ст. Петропавловск	PET	53.024	158.653	372/731	E N Z	3.46 2.88 4.87	0.895 -0.674 -1.29	3.23 2.77 ***	0.759 -0.716 ***
31	Русская	RUS	52.431	158.513	405/748	E N Z	9.91 11.9 -10.3	0.865 -0.82 -1.07		
32	Рыбачий	RIB	52.917	158.533	372/731	E N Z	-7.38 -11.09 8.30	-0.957 1.28 -1.65		
33	Сев. Курильск	SKR	50.670	156.116	480/791	E N Z	15.4 10.7 -4.92	-1.04 -0.874 -0.743	12.3 -9.87 4.48	-1.39 0.885 -0.812

Таблица 4.4. Продолжение.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r км	комп	$a_{\text{пик}}$ HN, $\text{см}/\text{с}^2$	$v_{\text{пик}}$, HN, $\text{см}/\text{с}$	$a_{\text{пик}}$, ВН, $\text{см}/\text{с}^2$	$v_{\text{пик}}$, ВН, $\text{см}/\text{с}$
			E	N						
34	Терней	TEY	45.062	136.601	1622/1740	E N Z	-0.285 0.234 0.416	0.301 0.330 0.131	** ** **	** ** **
35	Тикси	TIXI	71.649	128.866	2207/2295	E N Z			0.151 0.145 0.324	0.124 -0.075 -0.0731
36	Тиличики	TL1	60.446	166.145	967/1153	E N Z	-1.37 1.01 -1.16	-0.843 0.738 -0.601	-1.08 1.106 -1.18	-0.858 0.670 -0.573
37	Туманное	YUK3	43.992	145.772	1325/ 1466	E N Z	1.53 -1.52 1.08	0.231 -0.238 -0.148		
38	Тумрок_источники	TUMD	55.202	160.399	424/759	E N Z	-5.87 -5.72 3.72	0.791 -0.831 -0.889	** ** **	** ** **
39	Углегорск	UGL1	49.076	142.065	1018/1197	E N Z	2.24 -1.53 -3.18	-0.626 0.627 0.556		
40	Ходутка	KDT	51.809	158.077	434/764	E N Z	-12.6 11.7 6.95	-0.981 -0.931 -0.682		
41	Чегдомын	A720	51.136	133.041	1437/1568	E N Z			0.807 0.484 0.767	-0.578 -0.528 0.308
42	Шипунский	SPN	53.107	160.011	446/771	E N Z	40.7 -62.3 -31.1	2.75 4.81 -2.11		
43	Школа	SCH	52.958	158.674	377/733	E N Z	-6.39 -5.95 -13.1	0.965 0.944 1.56		
44	Эримо (Япония)	ERM	42.015	143.157	1610/1728	E N Z			0.747 0.725 0.752	0.173 0.208 0.323
45	Южно-Курильск	YUK	44.055	145.786	1318/1460	E N Z	2.51 -2.43 1.59	-0.548 0.606 0.242	2.49 -2.44 -1.40	-0.554 0.586 0.237
46	Южно-Сахалинск	YSS	46.959	142.76	1157/1317	E N Z	0.733 0.803 -0.829	0.125 -0.131 -0.137	0.743 0.717 -0.835	0.385 -0.505 -0.148

Примечание. r – эпицентральное расстояние, r – гипоцентральное расстояние; $a_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пикового ускорения; $v_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пиковой скорости. * – региональный код станции; ** – амплитуда сигнала вышла за динамический диапазон прибора.

ГЛАВА 5

Землетрясение 12 ноября 2013 г., $Mw=6.5$ у побережья Кроноцкого полуострова

12 ноября 2013 г. в 07^h03^m у Кроноцкого п-ва произошло сильное землетрясение с магнитудой $Mw=6.5$ (рис. 5.1). Очаг землетрясения находился в Тихом океане, примерно в 180 км к юго-юго-западу от п. Усть-Камчатск и в 300 км к северо-востоку от г. Петропавловска-Камчатского. По данным КФ ГС РАН гипоцентр землетрясения зафиксирован в точке с координатами $\phi=54.63^\circ$ N, $\lambda=162.45^\circ$ E и глубиной $h=72$ км. Землетрясение ощущалось в населенных пунктах Камчатки с интенсивностью до 6 баллов.

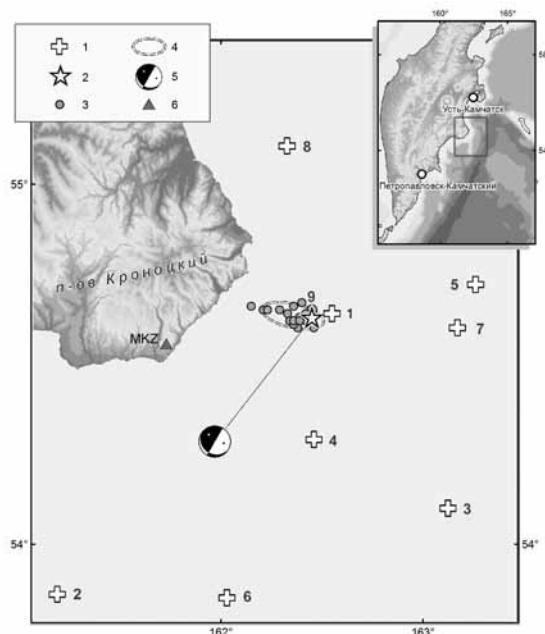


Рис. 5.1. Схема расположения эпицентра землетрясения 12.11.2013 г., его афтершоков с энергетическими классами $K_s \geq 7.4$ и сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 12.11.2013 г. по данным каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов ($K_s \geq 7.4$ соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети этого района): 1 – эпицентры сильных землетрясений рассматриваемого района за период с 1962 г. по 12.11.2013 г.; 2 – эпицентр землетрясения 12.11.2013 г.; 3 – эпицентры афтершоков; 4–2σ–эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 5 – стереограмма механизма очага землетрясения 12.11.2013 г. по Global CMT; 6 – сейсмические станции. Нумерация землетрясений соответствует табл. 5.1.

Таблица 5.1. Параметры землетрясения 12.11.2013 г., его сильнейших афтершоков с $K_s \geq 13.5$, а также сильных землетрясений ($K_s \geq 13.5$) рассматриваемого района за период с 1962 г. по 12.11.2013 г.

№	Гипоцентр					Энергетический класс / Магнитуда								
	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	ϕ° , N	λ° , E	h , км	КФ ГС РАН			Global CMT	NEIC(USGS)			ГС РАН	
						K_s	ML	Mc		Mw	m_b	M_s	Mw	m_b
Сильные землетрясения рассматриваемого района за период 1962 г. по 12.11.2013 г.														
1	1997.12.05	11:26:51	54.64	162.55	10	15.5	7.0	7.7	7.8	6.3	7.6	7.7	7.0	7.9
2	1997.12.05	11:35:24	53.86	161.19	32	13.9	6.2	—	—	5.7	—	—	6.1	—
3	1997.12.05	11:37:05	54.10	163.12	24	13.7	6.1	—	—	5.6	—	—	6.0	—
4	1997.12.05	11:48:38	54.29	162.46	10	13.5	6.0	—	—	5.4	—	—	5.9	—
5	1997.12.06	06:37:02	54.72	163.26	17	13.7	6.1	—	5.5	5.2	—	—	5.6	—
6	1997.12.06	10:59:07	53.85	162.03	7.0	13.6	6.0	6.4	6.1	5.7	5.8	5.9	6.0	—
7	1997.12.07	17:56:17	54.60	163.17	22	13.8	6.2	6.7	6.2	5.6	6.0	6.2	6.2	6.6
8	2007.03.10	21:12:58	55.10	162.33	40	14.3	6.4	5.7	5.8	5.9	5.5	5.8	6.2	5.5
Землетрясение 12.11.2013 г.														
9	2013.11.12	07:03:48	54.63	162.45	72	15.0	6.8	6.4	6.5	—	—	6.4	6.7	—

Примечание. K_s – энергетический класс по S-волне; ML – локальная магнитуда; Mc – магнитуда по коде; Mw – моментная магнитуда; m_b – магнитуда по объемным волнам; M_s – магнитуда по поверхностным волнам Релея.

По регламентам ССД и СПЦ дежурная смена РИОЦ «Петропавловск» приступила к обработке землетрясения при срабатывании сигнала тревоги (при превышении регистрируемым сейсмическим сигналом заданного уровня) по данным станции «Тумрок» (TUMD). Через полминуты после срабатывания сигнализации зафиксировано вступление P-волн на станции «Петропавловск». Менее чем через минуту дежурная смена произвела визуальную оценку района очага землетрясения: обширный район между о. Беринга и Кроноцким п-вом (на точности оценки сказалось отсутствие данных со станции «Крутоберегово» (KBG).

Менее чем через 2 минуты на Центр цунами КамУГМС было передано сообщение «Происходит сильное землетрясение!».

Через 4 минуты получена первая оценка параметров землетрясения (время в очаге 07^h03^m49^s, координаты 54.69° N, 162.38° E, глубина $h=90$ км, $K_s=14.9$, $ML=6.7$, $M_s=5.9$, $\Delta_{PET}=2.8^\circ$)

Через 7 минут 48 секунд получена уточненная оценка параметров землетрясения (время в очаге 07^h03^m49^s, координаты 54.69° N, 162.38° E, глубина $h=66$ км, $K_s=14.9$, $ML=6.7$, $M_s=5.9$, $M_s(20R)=6.0$, $\Delta_{PET}=308$ км) и произведена рассылка по установленному списку адресов ССД.

Тревога цунами не объявлялась.

МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В табл. 5.2 представлены параметры и стереограммы механизмов очага землетрясения 12.11.2013 г. по данным каталогов Global CMT и КФ ГС РАН (последнее по знакам первых вступлений P -волн на региональных станциях). Для данных механизмов выбор активной нодальной плоскости не определен. Подвижка по субгоризонтальной плоскости соответствует направлению субдукции Тихоокеанской плиты. При выборе вертикальной плоскости механизм соответствует опусканию крыла разлома, обращенного к берегу.

Таблица 5.2. Параметры механизмов очага землетрясения 12.11.2013 г. из табл. 5.1 по данным Global CMT и КФ ГС РАН.

№	Дата г. м. д.	Время ч : м : с	h, км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство			
				T		N		P		NP1			NP2						
				pl	azm	pl	azm	pl	azm	stk	dip	slip	stk	dip	slip				
9	2013.11.12	07:03:54	30	46	303	3	210	44	117	30	89	93	138	3	18	Global CMT			
		07:03:49	42	42	319	21	210	42	101	30	90	111	120	21	0	KФ ГС РАН*			

Примечание. * – Параметры гипоценитров посчитаны по программе GIP (автор А. А. Гусев).

ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Афтершоковая последовательность землетрясения 12.11.2013 $Mw=6.4$ включила 52 землетрясения с энергетическим классом в диапазоне $K_s=5.0-15.0$ ($ML=1.8-5.2$). Построенный для нее кумулятивный график повторяемости (рис. 5.2) определил уровень представительности каталога как $K_{min}=7.4$ ($ML=3.0$), что соответствует левой границе линейного участка графика повторяемости. Используемая для дальнейшего анализа выборка была получена из оперативного каталога с учетом этого порогового значения и включила 32 землетрясения, произошедшие до июня 2014 г.

На рис. 5.1 облако эпицентров афтершоков оконтурено эллипсом рассеяния, содержащим 90 % афтершоков первых 15 суток после главного землетрясения, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 12.11.2013 $Mw=6.4$: длина 19 км, ширина 7 км.

На графике повторяемости наблюдается разрыв между основным событием и сильнейшими афтершоками шириной $\Delta K_s=3.2$ ($\Delta M=1.6$) в распределении землетрясений по энергии (рис. 5.2), что является типичным случаем. Но здесь следует отметить отсутствие афтершоков в диапазоне энергетического класса $K_s=9.6-11.5$.

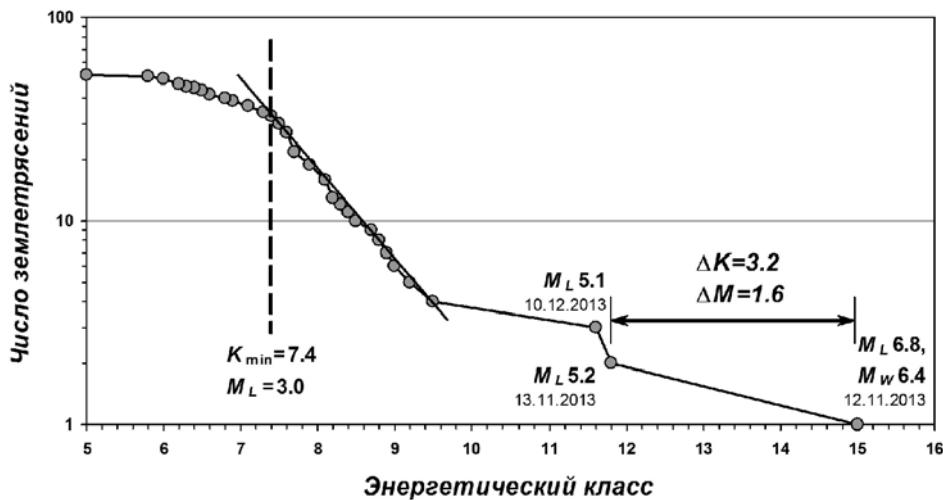


Рис. 5.2. Кумулятивный график повторяемости для афтершоковой последовательности землетрясения 12.11.2013 $M_w=6.4$.

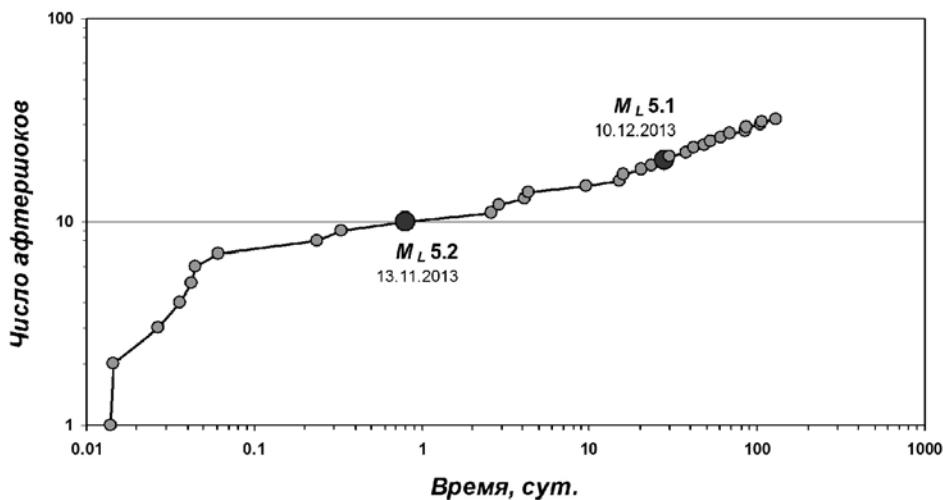


Рис. 5.3. Развитие афтершокового процесса землетрясения 12.11.2013 $M_w=6.4$ во времени. За начало отсчета взято время основного события – 12.11.2013 $M_w=6.4$. Приведены кумулятивные кривые числа афтершоков. Отмечены наиболее сильные землетрясения.

Временной ход афтершокового процесса представлен в виде кумулятивного графика числа землетрясений в билогарифмическом масштабе (рис. 5.3). В целом наблюдалась обычная для афтершоков картина – сильное землетрясение сопровождается афтершоковой последователь-

ностью с убывающей во времени интенсивностью. Возникновение двух сильнейших афтершоков 13.11.2013 $ML=5.2$ и 10.12.2013 $ML=5.1$ не вызвало возмущений последовательности слабых афтершоков. Под возмущениями подразумевается резкая смена режима появления афтершоков или появление собственных афтершоков у сильного афтершока.

Более детальное рассмотрение временного хода афтершоков позволило выделить в нем две характерные фазы (рис. 5.4):

1. Затухающий афтершоковый процесс по гиперболическому закону убывания афтершоков $\frac{dN}{dt} \sim \frac{1}{t}$, продолжавшийся 2 недели.

2. Смена афтершокового режима ярко проявляется при представлении временного хода афтершоков в логарифмическом масштабе времени и линейном масштабе числа афтершоков. На рис. 5.4 вторая фаза аппроксимируется также прямой, что предполагает сохранение гиперболического закона убывания афтершоков. Однако следует иметь в виду, что для данного конкретного случая такую же точность аппроксимации будет иметь и убывание афтершоков по экспоненциальному закону $\frac{dN}{dt} = A^* \exp(-bt)$, где $b=0.02$, что дает оценку продолжительности афтершоковой последовательности ~ 150 суток.

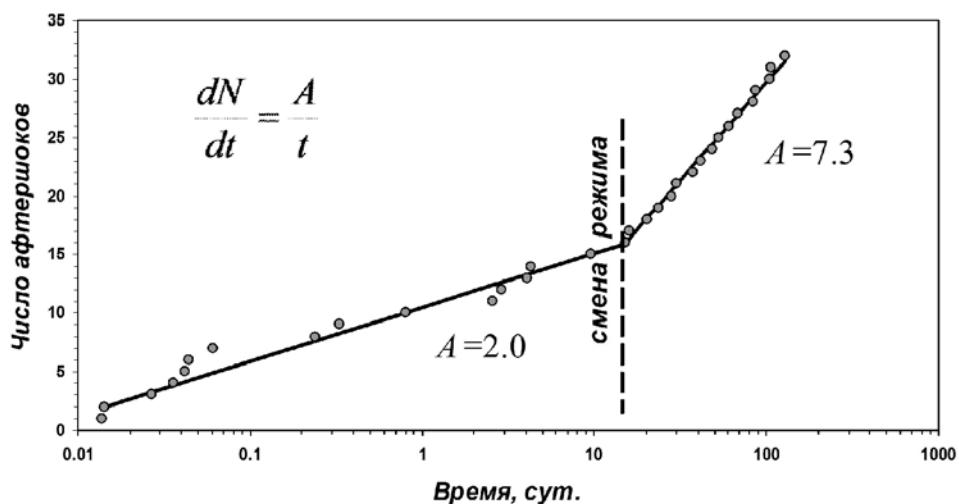


Рис. 5.4. Характерные фазы развития афтершокового процесса землетрясения 12.11.2013 $Mw=6.4$. За начало отсчета взято время основного события. Отмечены временные границы фаз.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Макросейсмическая информация собрана для 47 населенных пунктов Камчатского края. Из различных источников обработано 89 сообщений, из них через интернет-опросник (<http://www.emsd.ru/lsoopoll/poll.php>) получено 31 сообщение из 9 пунктов.

Землетрясение ощущалось в 40 населенных пунктах, расположенных на расстоянии от 85 до 396 км от эпицентра, с интенсивностью сотрясений от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64. Площадь макросейсмического воздействия составила около 75 тыс. км². Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от эпицентра (Δ) и макросейсмической интенсивности в них приведен в табл. 5.3. На рис. 5.3 представлена карта «пункты – баллы». Описание проявлений землетрясения в пунктах дано в Приложении 9.

Таблица 5.3. Макросейсмические сведения о землетрясении 12.11.2013 г.

№	Название пункта	Координаты		Δ, км
		φ°, N	λ°, E	
<u>6 баллов</u>				
1	ГМС Кроноки	54.60	161.13	85
<u>5-6 баллов</u>				
2	Кальдера вул. Узон	54.51	159.91	164
<u>5 баллов</u>				
3	устье реки Шумной	54.30	160.29	144
4	ГМС Семячинки	54.12	159.98	170
<u>4 балла</u>				
5	Усть-Камчатск	56.22	162.47	177
6	Лазо	55.54	159.75	199
7	Таежный	55.27	159.37	209
8	Ключи-20	56.30	160.85	211
9	Ключи	56.31	160.85	212
10	Мильково	54.70	158.63	246
11	Вилючинск	52.92	158.43	326
<u>3-4 балла</u>				
12	Крутоберегово	56.26	162.71	182
13	Атласово	55.64	159.53	217
14	Долиновка (Мильково)	55.13	159.05	224
15	Козыревск	56.06	159.87	228
16	мыс Шипунский	53.11	160.01	233
17	Никольское	55.20	165.98	234
18	Институт	53.07	158.61	306
19	Петропавловск	53.02	158.65	307
20	Пионерский	53.09	158.55	308
21	Елизово	53.19	158.38	311
22	Зеленый	53.28	158.18	317
23	Сосновка	53.08	158.30	322
24	Паратунка	52.97	158.25	332
25	Начики	53.12	157.74	351
<u>3 балла</u>				
26	ист. Тумрокские	55.22	160.36	149
27	Шаромы	54.42	158.25	272
<u>Ощущалось*</u>				
28	Пущино	54.16	158.01	292
29	Новый	53.11	158.55	307
30	Раздольный	53.27	158.32	310
31	Вулканый	53.09	158.34	319
32	Рыбачий	52.93	158.52	320
33	Николаевка	53.05	158.35	321
34	Сокоч	53.16	157.65	354
35	МГеоИС-1	52.55	158.02	373
<u>2-3 балла</u>				
36	маяк Круглый	52.07	158.30	396
<u>2 балла</u>				
37	мыс Африка	56.17	163.22	178
38	Термальный	52.95	158.20	336
39	р. Карымшина (стационар КФ ГС)	52.83	158.13	348
<u>Не ощущалось</u>				
40	Коряки	53.28	158.22	315
41	Анавгай	56.06	158.96	272
42	Эссо	55.93	158.70	278
43	ГМС мыс Озерной	57.65	163.23	339
44	Малка	53.35	157.46	356
45	Апача	52.93	157.13	397
46	ГМС Водопадная	51.81	158.08	428
47	Паужетка	51.47	156.81	515

Примечание. * – для оценки интенсивности сотрясений в пункте 40 мало данных.

Наиболее сильные проявления события зафиксированы в ближайших от эпицентра пунктах, расположенных на побережье Кроноцкого залива: $I=6$ баллов на ГМС Кроноки, в кальдере вулкана Узон $I=5-6$ баллов, в устье реки Шумной и на ГМС Семячики интенсивность сотрясения достигала 5 баллов (№№ 1–4 в табл. 5.3). По макросейсмическим данным хорошо видна закономерность убывания интенсивности с ростом эпицентрального расстояния, быстрее для населенных пунктов центральной Камчатки (табл. 5.3, рис. 5.5). Обращает внимание отсутствие макросейсмического эффекта в поселках Эссо и Анавгай – область аномально низкой интенсивности в районе Эссо давно замечена сейсмологами [Гусев и др., 1975а, 1975б].

Таблица 5.4. Макросейсмические сведения ощущимых афтершоков землетрясения 12.11.2013 г.

№	Дата г. м. д.	Время ч.:мин.	Координаты		h , км	K_S	M_C	Интенсивность в пунктах, баллы
			ϕ° , N	λ° , E				
1	2013.11.13	02:25	54.65	162.45	72	11.8	4.4	ГМС Кроноки (85 км) 2–3
2	2013.12.10	05:23	54.61	162.44	60	11.6	4.6	ГМС Кроноки (84 км) 4
3	2014.01.07	06:46	54.52	162.60	47	10.1		ГМС Кроноки (95 км) 2

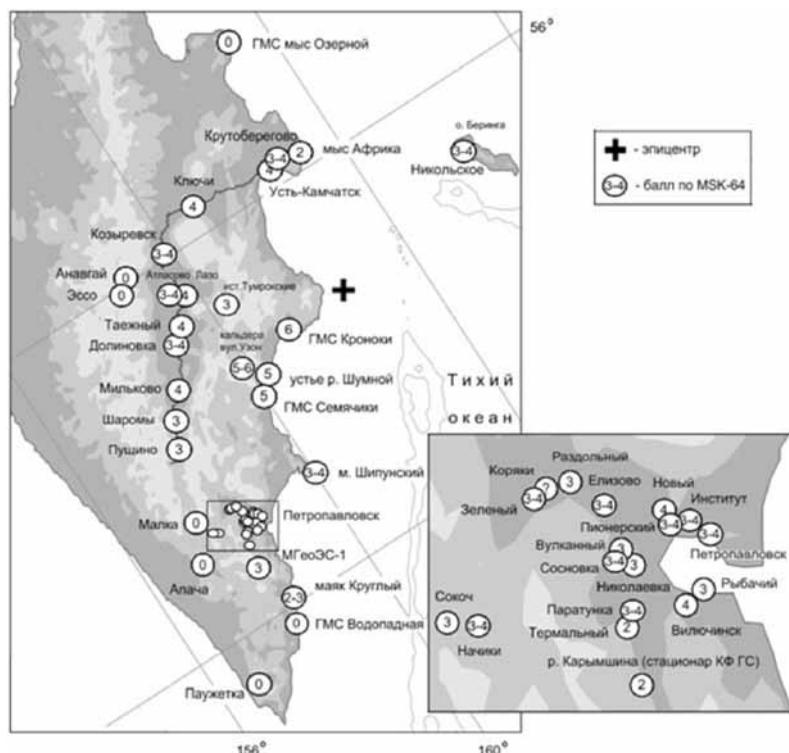


Рис. 5.5 Карта макросейсмического проявления землетрясения 12 ноября 2013 г.

АНАЛИЗ ПИКОВЫХ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

В табл. 5.5 даны материалы обработки записей землетрясения 12.11.2013 г. в 07^h03^m в случае, когда пиковая амплитуда ускорения превышает 0.5 см/с² хотя бы на одной компоненте. Приведены значения пиковых ускорений и скоростей для трехкомпонентных акселерографов и велосиграфов сейсмических станций Дальнего Востока.

Таблица 5.5. Пиковые амплитуды сильных движений грунта от землетрясения 12.11.2013 г.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r км	комп.	$a_{\text{пик}}$ HN, см/с ²	$v_{\text{пик}}$ HN, см/с	$a_{\text{пик}}$ ВН, см/с ²	$v_{\text{пик}}$ ВН, см/с
			φ° , N	λ° , E						
1	Беринг	BKI	55.194	165.984	234/245	E N Z	4.62 6.39 3.87	0.613 0.286 -0.279	4.83 5.69 -3.61	0.612 0.273 -0.277
2	Вилучинск	VIL	52.931	158.405	326/334	E N Z	-8.36 -5.18 3.57	0.612 0.518 0.255		
3	Дальний	DAL	53.031	158.754	301/309	E N Z	-4.66 -3.92 -1.39	0.427 -0.216 0.119	-4.85 -4.08 -1.48	0.199 -0.199 0.120
4	Жупаново	GPN	54.0816	159.987	171/185	E N Z	-33.1 45.3 -16.3	3.18 2.75 1.16		
5	Звездный	SPZ	53.055	158.66	304/312	E N Z	3.57 3.27 2.04	0.350 -0.375 0.197		
6	Институт вулканологии сейсмологии	IVS	53.066	158.608	306/314	E N Z	-7.22 6.51 -2.94	-0.468 -0.494 0.245	4.42 3.40 -3.01	0.342 -0.416 0.244
7	Карымшина	KRM	52.828	158.131	348/355	E N Z	-4.12 -4.46 -3.48	0.329 -0.348 0.219		
8	Ключи	KLY	56.317	160.857	212/224	E N Z	-5.403 -6.86 2.77	-1.33 2.24 0.918	-4.06 4.02 -2.42	-0.596 -0.519 -0.324
9	Петропавл.маяк	MPPA	52.886	158.704	313/321	E N Z	57.7 33.4 6.39	-2.31 1.34 0.240		
10	Научичево	NLC	53.171	159.348	260/270	E N Z	14.6 -24.8 5.67	0.654 -1.13 0.304		
11	НИИГТЦ	NII	53.080	158.641	303/312	E N Z	4.27 4.82 -3.48	-0.554 -0.485 -0.238		
12	Петропавловск	PET	53.024	158.653	307/315	E N Z	-2.24 -1.72 1.59	0.318 -0.259 0.213	-2.07 -1.66 -1.59	0.293 -0.254 0.216
13	Плато	SK2	50.621	156.137	616/620	E N Z	-0.662 0.686 0.340	0.0496 -0.0373 -0.0224	-0.730 0.835 0.416	0.0517 -0.041 -0.023
14	Русская	RUS	52.431	158.513	357/364	E N Z	1.31 1.35 1.21	0.0908 -0.087 0.087		

Таблица 5.5. Продолжение.

№	Название станции	Код станции*	Координаты		Δ/r км	комп.	$a_{\text{пик}}$ HN, $\text{см}/\text{с}^2$	$v_{\text{пик}}$ HN, $\text{см}/\text{с}$	$a_{\text{пик}}$ ВН, $\text{см}/\text{с}^2$	$v_{\text{пик}}$ ВН, $\text{см}/\text{с}$
			φ° , N	λ° , E						
15	Рыбачий	RIB	52.918	158.533	320/328	E N Z	5.81 6.04 -2.42	-0.580 -0.658 0.161		
16	Сев. Курильск	SKR	50.670	156.116	613/617	E N Z	1.02 0.991 0.795	0.0337 0.0283 -0.015	0.954 -1.04 0.8503	0.0344 0.0303 -0.0146
17	Тигиль	TIGL	57.765	158.671	419/425	E N Z			-1.33 1.28 -0.362	-0.299 -0.295 -0.0972
18	Тумрок_ист.	TUMD	55.203	160.399	146/ 162	E N Z	-20.7 -13.03 10.5	3.51 -2.14 2.38	** ** **	** ** **
19	Ходутка	KDT	51.809	158.077	428/434	E N Z	-1.26 -1.21 -0.717	0.119 -0.098 -0.0903	-1.46 -1.29 -0.87	0.124 -0.099 -0.092
20	Шипунский	SPN	53.107	160.011	233/244	E N Z	-14.4 -11.3 -6.407	-0.857 0.648 0.384		
21	Школа	SCH	52.9583	158.674	310/318	E N Z	2.61 3.82 1.38	-0.195 -0.311 0.162		
22	Шумшу	SK3	50.689	156.190	608/611	E N Z	0.844 0.607 -0.418	0.0392 0.0306 0.0196	0.901 0.638 -0.532	0.0408 -0.0318 0.0192

Примечание. r – эпицентральное расстояние, r – гипоцентральное расстояние; $a_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пикового ускорения; $v_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пиковой скорости. * – региональный код станции; ** – амплитуда сигнала вышла за динамический диапазон прибора.

ЧАСТЬ II

ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ И ПРОЦЕССОВ, ПРЕДВАРЯВШИХ И СОПРОВОЖДАВШИХ СИЛЬНЫЕ КАМЧАТСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 г.

ГЛАВА 6

Характеристики очага глубокого Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. по статическим смещениям и широкополосным сейсмограммам

Глубокое (~ 600 км, табл. 6.1) Охотоморское землетрясение ($Mw=8.3$) произошло 24 мая 2013 г. в акватории Охотского моря вблизи западного побережья полуострова Камчатка (рис. 6.1). Это самое сильное в мире глубокое землетрясение за инструментальный период наблюдений. Землетрясение сопровождалось серией афтершоков, что нетипично для глубоких событий, и вызвало глобальный макросейсмический эффект [Чебров и др., 2013б].

Таблица 6.1. Базовые параметры очага Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. по данным различных определений.

Каталог	Дата/Время дд.мм.гггг/чч:мм:сс	Положение гипоцентра			Класс K_S	Магнитуда Mw
		Широта φ° , N	Долгота λ° , E	Глубина h , км		
PDE NEIC ¹⁾	24.05.2013/05:44:48.0	54.89	153.22	598.1	—	8.3
GCMT ²⁾	24.05.2013/05:45:08.0	54.61	153.77	611.0	—	8.3
КФ ГС РАН ³⁾	24.05.2013/05:44:47.0	54.76	153.79	629.8	17.0	—

¹⁾ Каталог Национального информационного сейсмического центра (NEIC) Геологической службы США (USGS). ²⁾ Глобальный каталог определений тензора момента и центроида; даны координаты центроида. ³⁾ Региональный каталог Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Землетрясение проявилось на дальневосточных пунктах наблюдений Глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) в виде косейсмических скачков смещений, что позволило поставить задачу об оценке механизма очага по этим данным [Шестаков и др., 2014]. В работе [Шестаков и др., 2014] задача решается для дислокационной модели очага. Другие параметры, относящиеся к протяженному очагу, – скорость вспарывания, длительность процесса вспарывания, размер очага были определены по сейсмологическим данным в работе [Ye, et al., 2013].

В данной работе рассматривается задача определения механизма очага в общей постановке, а именно: рассчитывается симметричный тензор сейсмического момента (в наиболее общем варианте вычисляются все шесть компонент тензора), а затем оценивается ближайший двойной диполь без момента (собственно механизм) и значение скалярного сейсмического момента. Расчеты проводятся с использованием либо статических смещений (косейсмических скачков на временных рядах пунктов GNSS) либо широкополосных сейсмограмм на региональных широкополосных станциях с эпицентральными расстояниями до 25° . Компоненты тензора сейсмического момента (TCM) рассчитываются методом наименьших квадратов (МНК), обеспечивающим минимизацию функционала невязки между реальными и модельными сейсмограммами смещений. Для реализации этого метода необходимы модельные функции влияния компонент ТСМ – синтетические смещения (статические смещения, сейсмограммы), возбуждаемые единичными компонентами ТСМ. В динамическом случае функции влияния рассчитываются в слоистом полупространстве с использованием методики, описанной в работе [Павлов, 2013]. В статическом случае функции влияния рассчитываются в слоистом шаре с помощью компьютерной программы, созданной на основе оригинального алгоритма, разработанного одним из авторов (В.М. Павловым).

Значения, как основных параметров очага, к которым относятся компоненты ТСМ, так и производных от них величин – скалярного сейсмического момента, углов и осей механизма и др., снабжены оценками точности. Для компонент ТСМ – это МНК-оценки среднеквадратических уклонений, а для производных величин – среднеквадратические уклонения, полученные методом Монте-Карло.

Методика для динамического случая ранее использовалась в работе [Павлов, Абубакиров, 2012].

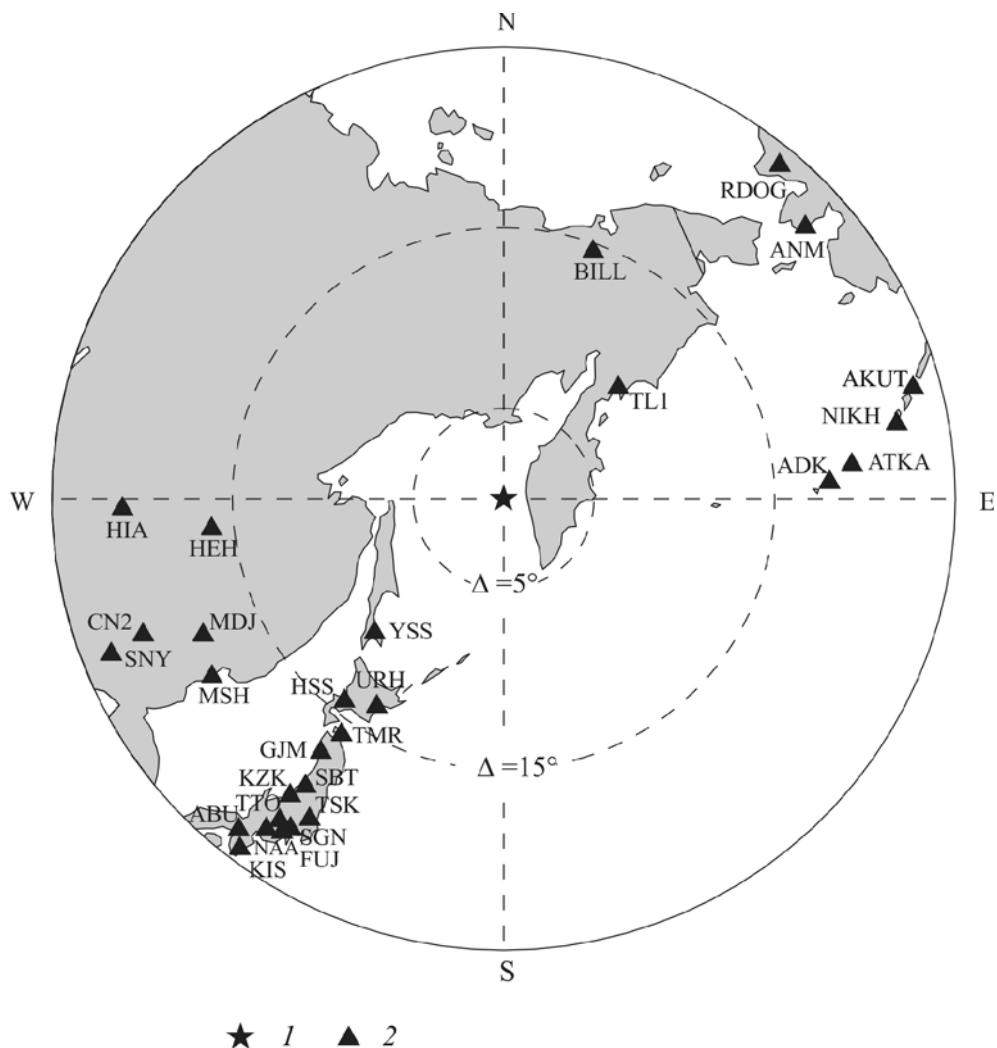


Рис. 6.1. Положение инструментального эпицентра USGS (табл. 6.1) Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. (1) и использованных сейсмических станций (2).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Данные сети GNSS наблюдений. Интерпретация перемещений выполнена по данным Камчатской региональной сети постоянных GNSS наблюдений КФ ГС РАН и сетей институтов ДВО РАН [Шестаков и др., 2014]. Камчатская региональная сеть охватывает всю территорию Камчатского края. В настоящий момент в составе сети работают 27 стан-

ций КФ ГС РАН и две станции сторонних организаций. Регистрация, передача данных в центр сбора данных и их подготовка для постобработки выполняются в автоматическом режиме. Постобработка наблюдений осуществляется пакетом GAMIT/GLOBK [Herring, et al., 2010a, 2010b]. Штатный режим обработки – статика в режиме «BASELINE». Косейсмические смещения определялись по результатам итеративной обработки 40-суточной серии наблюдений. Пакету GAMIT для надежного разрешения неоднозначности целого числа циклов сигнала необходим хотя бы один пункт с текущими координатами, отличающимися не более чем на 5–10 см от начальных координат. Отсчетная основа (ОО), используемая для обработки многолетних наблюдений, не всегда отвечает этому требованию. На небольшом промежутке времени в 20–30 дней можно существенно приблизить координаты ОО к наблюдаемым. Это позволяет снизить на два порядка допуски на возможные смещения и, как следствие, уменьшить формальные ошибки алгоритмов обработки и дисперсию ряда. Землетрясение вызвало косейсмические подвижки на большинстве дальневосточных пунктов. Следовательно, использование данных только с дальневосточных сетей дало бы смещенную оценку координат после землетрясения. Поэтому для стабилизации положения региональных пунктов в пространстве выполнена их привязка к опорным пунктам глобальной сети IGS (International GNSS Service).

Полученные решения в виде ковариационных матриц и координат пунктов объединялись по общим пунктам с решениями для глобальной сети IGS и совместно уравнивались. По результатам совместной обработки формировалась уточненная отсчетная основа, определялся постоянный для всего обрабатываемого промежутка времени набор опорных пунктов и исключались наблюдения с грубыми ошибками. Выполнялась повторная обработка с уточненной отсчетной основой и с пониженными допусками. Невязки контрольного уравнивания сетей после повторной обработки составили порядка миллиметра, а число опорных пунктов – 207.

Стабильность внешней опорной сети и малые невязки уравнивания позволили с приемлемой точностью определить косейсмические смещения, как разность между одним отсчетом после и до события. Найденные таким способом скачки смещений вместе с их оценками точности приведены в табл. 6.2. Как видно из табл. 6.2, точность определения вертикальных компонент в 3–4 раза ниже точности определения горизонтальных.

Таблица 6.2. Исходные данные: координаты станций сети GNSS, скачки смещений, ошибки.

Код	Широта, ($^{\circ}$)	Долгота, ($^{\circ}$)	H , м	U_N , мм	U_E , мм	U_Z , мм	σ_N , мм	σ_E , мм	σ_Z , мм
APCH	52.93	157.13	141.7	7.7	-10.6	-18.5	4.3	3.6	14.6
BRNG	55.19	165.98	28.5	1.8	-8.3	-1.8	2.8	2.5	8.6
BZ07	55.95	160.34	1497.3	-1.3	-11.6	-11.6	3.2	2.8	8.6
CHMN	51.14	133.04	499.5	0.1	-5.5	0.2	6.1	5.8	19.2
GEO0	48.47	135.05	98.9	-1.9	-0.9	1.0	5.3	5.0	15.6
KLUC	56.32	160.86	66.8	-2.2	-10.5	-8.8	3.4	2.9	9.2
KMS1	62.47	166.21	55.0	-1.4	-0.4	3.1	3.8	4.3	10.8
KMSH	52.83	158.13	128.4	9.1	-10.6	-18.0	3.5	3.1	12.2
KOZS	56.06	159.87	67.6	-1.9	-13.2	-19.3	4.5	3.8	15.5
MAG0	59.58	150.77	361.8	1.6	-4.3	-0.1	4.0	3.4	9.5
MAL1	53.33	157.54	295.4	9.0	-9.6	-21.2	4.3	3.4	16.3
MIL1	54.68	158.58	191.1	2.0	-12.1	-22.2	4.6	3.9	15.9
MYAK	52.89	158.71	145.9	6.0	-9.8	-18.7	3.8	3.3	12.0
OKHB	53.60	142.95	47.4	0.9	-8.7	6.9	4.6	6.0	13.2
OKHT	59.41	143.07	29.9	5.2	-8.3	-3.3	4.6	5.9	12.8
PAUJ	51.47	156.82	131.3	9.4	-6.3	-19.5	3.7	3.2	10.4
PETR	53.07	158.61	210.8	7.2	-12.1	-17.9	4.7	4.1	13.0
PETS	53.02	158.65	102.0	7.6	-12.4	-15.9	2.9	2.5	9.5
RADZ	53.07	158.99	41.4	6.2	-12.7	-17.9	3.6	3.4	9.6
TIGS	57.76	158.67	145.7	-3.2	-6.2	-10.3	3.8	3.1	21.5
TILI	60.45	166.15	34.7	-2.3	-0.3	3.6	3.7	4.3	9.5
UGLG	49.08	142.06	49.8	-1.3	-3.9	0.7	3.6	3.5	10.5
UKAM	56.26	162.59	32.4	-1.6	-9.2	-9.0	4.3	3.7	12.1
VANB	49.09	140.25	113.5	-0.3	-2.6	5.7	4.2	4.0	11.3
VODO	51.81	158.08	49.7	9.4	-7.2	-14.4	3.4	2.9	12.6
YSSK	47.03	142.72	91.3	-1.1	-0.5	2.0	2.8	2.8	8.3
ZUPN	54.08	159.99	48.8	4.3	-12.8	-15.6	3.1	2.7	8.4
_ES1	55.93	158.70	518.5	-1.7	-10.5	-14.4	4.1	3.3	14.3
_KBG	56.26	162.71	32.4	-1.2	-9.1	-5.0	3.4	3.0	9.1

Примечание. H – превышение над референц-эллипсоидом WGS84. U_N , U_E , U_Z – скачки смещений компонент SN, EW, Z, соответственно; σ_N , σ_E , σ_Z – ошибки измерения (среднеквадратические отклонения).

Данные сейсмических наблюдений. Для инверсии в ТСМ использованы широкополосные сейсмограммы в региональном диапазоне эпицентральных расстояний 8° – 25° . Верхняя граница этого диапазона выбрана так, чтобы обеспечить применимость плоскослоистой модели среды, в рамках которой производится инверсия, а нижняя – чтобы обеспечить условие дальней зоны, поскольку расчеты базируются на модели точечного источника.

К обработке привлекались материалы регистрации четырех сейсмических сетей – глобальной сейсмической сети GSN; японской сети F-net; региональной сети Аляски (Alaska Regional Network) и Китайской национальной сейсмической сети (China National Seismic Network). Кроме

того, использовались записи опорных станций Службы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России и Центра предупреждения о цунами на Западном побережье США и у берегов Аляски (West Coast & Alaska Tsunami Warning Center).

Сейсмограммы в формате SEED получены из трех основных источников: мирового центра данных IRIS DMC, Национального исследовательского института наук о Земле и предотвращения стихийных бедствий (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Цукуба, Япония) и цифрового архива Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Для инверсии в ТСМ привлекались записи станций с низкочастотным изломом передаточной функции по скорости на частотах не более 8.33 мГц (период не менее 120 s). Это позволяет восстановить длинно-периодные истинные смещения грунта с высоким отношением сигнал/шум.

Подготовка исходных сейсмограмм к инверсии включает перекодировку из формата SEED в формат ASCII с помощью программы DIMAS [Дроздин, Дроздина, 2010]; снятие времен вступления P -волны, деконволюцию (восстановление истинных смещений грунта); определение эпицентрального расстояния, прямого и обратного азимутов; расчет радиальной и поперечной компонент; полосовую фильтрацию. Кроме того, определяется временной интервал, который используется для решения задачи. Деконволюция производится во временной области [Kanamori, Rivera, 2008]. Для полосовой фильтрации применяется фильтр Баттерворта 4 порядка; полоса пропускания фильтра 125–250 секунд. При необходимости проводится децимация с тем, чтобы привести в соответствие частоты дискретизации f_s реальных и синтетических сейсмограмм. В данной работе принято $f_s = 1 \text{ c}^{-1}$. Для инверсии в ТСМ использовано временное окно $[t_p, t_p + 900 \text{ s}]$, где t_p – время вступления P -волны. Это окно включает как группы объемных, так и поверхностных волн.

ИНВЕРСИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ТСМ: ТЕОРИЯ

Для инверсии наблюдательных данных в тензор сейсмического момента нужны модели очага и среды и представление модельных данных через параметры модельного очага. Инверсия заключается в определении значений параметров очага из условия наилучшего согласия между наблюдательными и модельными данными. В данной работе используется декартова система координат, центр которой располагается в эпицентре землетрясения, а оси x , y , z направлены на восток, север и вверх соответственно.

Модель очага. В качестве модели очага принят точечный диполь

общего вида с симметричным тензором сейсмического момента $\mathbf{M}=(M_{ij})$; $i, j=1, 2, 3$; $M_{ij}=M_{ji}$ (нумерация: 1 – x , 2 – y , 3 – z). В нем содержится информация о скалярном сейсмическом моменте M_0 и о механизме очага. В главных осях тензор \mathbf{M} имеет вид

$$\mathbf{M} = E_1 \mathbf{e}_P \mathbf{e}_P^T + E_2 \mathbf{e}_N \mathbf{e}_N^T + E_3 \mathbf{e}_T \mathbf{e}_T^T, \quad (1)$$

где $\mathbf{e}_P, \mathbf{e}_N, \mathbf{e}_T$ главные оси – единичные векторы-столбцы; верхний знак « T » обозначает операцию транспонирования; E_1, E_2, E_3 – главные значения, упорядоченные по возрастанию: $E_1 \leq E_2 \leq E_3$.

Скалярный сейсмический момент вычисляется по формуле

$$M_0 = (E_3 - E_1) / 2 \quad (2)$$

и определяет моментную магнитуду Mw [Kanamori, 1977]

$$Mw = (2/3) * (\log M_0 [H^* m] - 9.1) \quad (3)$$

Ближайший двойной диполь без момента с тензором

$$\mathbf{M}_{DC} = M_0 (\mathbf{e}_T \mathbf{e}_T^T - \mathbf{e}_P \mathbf{e}_P^T) \quad (4)$$

определяет механизм очага.

Симметричный тензор \mathbf{M} определяет двойной диполь без момента при выполнении двух условий: а) $M_{11} + M_{22} + M_{33} = 0$ (след тензора \mathbf{M} равен нулю); б) определитель матрицы (M_{ij}) равен нулю [Aki, Richards, 1983]. Эти условия эквивалентны условию равенства нулю двух используемых нами параметров:

$$\xi = (M_{11} + M_{22} + M_{33}) / 3, \quad (5)$$

$$\eta = (2E_2 - E_1 - E_3) / (E_3 - E_1). \quad (6)$$

Параметр ξ определяет шаровую часть тензора \mathbf{M} , а параметр η – отклонение девиаторной части тензора \mathbf{M} от двойного диполя без момента.

В динамическом случае наряду с ТСМ для характеристики источника также используется временная функция источника (ВФИ), которая имеет смысл скорости подвижки и имеет конечную длительность. Форма этой функции предполагается неизменной, а ее длительность определяется в процессе инверсии подбором. В данной работе форма ВФИ принята в виде симметричного треугольника, имеющего единичную площадь.

Модель среды. В качестве модели среды выбрана модель ak135 [Kennett, et al., 1995], ограниченная глубиной 710 км, ниже которой среда принята однородной (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Значения параметров слоисто-однородной среды¹⁾.

Глубина кровли, км	Плотность $\rho/\text{см}^3$	Скорость P -волн, $\text{км}/\text{с}$	Скорость S -волн, $\text{км}/\text{с}$	Добротность Q_p	Добротность Q_s
0.0	2.720	5.800	3.460	310.0	150.0
20.0	2.920	6.500	3.850	814.0	400.0
35.0	3.333	8.043	4.485	783.0	343.0
77.5	3.358	8.048	4.495	555.0	240.0
120.0	3.399	8.112	4.505	117.0	76.3
165.0	3.348	8.237	4.514	122.0	77.9
210.0	3.345	8.391	4.563	213.0	135.0
260.0	3.389	8.573	4.653	218.0	138.0
310.0	3.434	8.755	4.739	224.0	141.0
360.0	3.482	8.938	4.826	231.0	145.0
410.0	3.930	9.443	5.133	259.0	164.0
460.0	3.925	9.611	5.239	261.0	166.0
510.0	3.923	9.779	5.345	263.0	168.0
560.0	3.921	9.947	5.451	265.0	170.0
610.0	3.920	10.115	5.557	267.0	172.0
660.0	4.269	10.856	6.025	837.0	546.0
710.0	4.328	10.988	6.149	818.0	541.0

¹⁾ Плотность и скорости – средние значения усеченного разреза ak135 [Kennett, et al., 1995]; значения добротности приняты по: http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_cps/TUTORIAL/GEOMSPREAD/tak135sph.mod

В динамическом случае использована модель слоисто-однородного полупространства, а при расчетах статических смещений – модель слоисто-однородного шара.

Представление модельных данных через параметры точечного источника. Динамическая компонента смещения в точке в момент времени t от источника с тензором $\mathbf{M}=(M_{ij})$ может быть представлена в виде:

$$u_n(\mathbf{y}, t) = M_{ij} f(t)^* U_n^{ij}(\mathbf{y}, t) \quad (7)$$

где f – ВФИ, $U_n^{ij}(\mathbf{y}, t)$ – n -тая компонента смещения, вызванная источником с $M_{ij}=1 \text{ Нм}$ и ВФИ в виде дельта-функции (подвижка – единичная ступенька). Эти функции будем называть функциями влияния компонент ТСМ на сейсмограмму.

В статическом случае справедливо представление аналогичное (7), которое получается при $t \rightarrow \infty$ (при этом f выпадает, так как площадь ВФИ равна единице).

Система уравнений для неизвестных компонент ТСМ. Уравнения, образующие систему для компонент ТСМ, составляются на

основе формулы (7) и ее статического аналога. Полученную систему можно записать в матричном виде:

$$\mathbf{W}^{1/2}\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{W}^{1/2}\mathbf{B}, \quad (8)$$

где \mathbf{B} – вектор исходных данных; \mathbf{W} – диагональная весовая матрица; \mathbf{x} – вектор неизвестных компонент ТСМ; \mathbf{A} – матрица системы, составленная из линейных комбинаций функций влияния. В динамическом случае функции влияния фильтруются и сворачиваются с ВФИ и синхронизируются с реальными сейсмограммами по времени вступления P -волн. При фильтрации применяется тот же цифровой фильтр, что использовался при подготовке реальных сейсмограмм.

В статическом случае \mathbf{B} – это вектор-столбец, составленный из ко-сейсмических скачков смещений на компонентах пунктов GNSS наблюдений. Элементы весовой матрицы \mathbf{W} обратно пропорциональны квадрату ошибок скачков. При расчете функций влияния, из которых формируется матрица \mathbf{A} , использовались координаты и глубина центроида (см. табл. 6.1), выбранные из глобального каталога определений тензора момента и центроида (GCMT). Расчет функций влияния производился для сферически слойной земли по программе, написанной одним из авторов (В. М. Павлов) и реализующей оригинальный алгоритм. В алгоритме использован подход Поллитца [Pollitz, 1996], но радиальные функции рассчитываются полуаналитически с использованием матричного импеданса. Алгоритм расчета радиальных функций аналогичен алгоритму расчета функций глубины в слоистом полупространстве [Павлов, 2006; 2009] с заменой экспоненциальных функций глубины на степенные функции радиальной сферической переменной.

В динамическом случае вектор исходных данных \mathbf{B} составляется из векторов-столбцов временных отсчетов отдельных компонент записи истинных смещений грунта в заданном временном интервале. Предварительно записи фильтруются. Элементы весовой матрицы \mathbf{W} , соответствующие отдельной компоненте, принятые обратно пропорциональными стандартному уклонению амплитуд этой компоненты. Матрица \mathbf{A} нелинейно зависит от трех дополнительных параметров – глубины источника, длительности ВФИ и временных сдвигов функций влияния относительно данных наблюдений. Такие сдвиги допускаются в алгоритме инверсии для компенсации возможной неадекватности скоростной модели среды с тем, чтобы достичь лучшего согласия между реальными и модельными сейсмограммами. Глубина и длительность оцениваются в ходе инверсии одновременно с ТСМ путем перебора, а сдвиги определяются с помощью функции взаимной корреляции [Павлов, Абубакиров, 2012]. При расчете функций влияния использованы координаты эпицентра из каталога PDE Национального информационного сейсмического центра (NEIC) Геологической службы США (USGS). Эти функции синтезиро-

вались с помощью библиотеки элементарных сейсмограмм – модельных смещений от единичных компонент ТСМ импульсного источника, рассчитанных при нулевом азимуте. Библиотека создана с помощью компьютерной программы на основе алгоритма для слоистого полупространства. Этот алгоритм опубликован в статьях [Павлов, 2009; 2013].

Решение системы (8) находится путем минимизации функционала невязки

$$F(\mathbf{x}) = (\mathbf{B} \cdot \mathbf{A}\mathbf{x})^T \mathbf{W} (\mathbf{B} \cdot \mathbf{A}\mathbf{x}) / (\mathbf{B}^T \mathbf{W} \mathbf{B}) * 100 \%, \quad (9)$$

что приводит к решению метода наименьших квадратов (см., например, [Худсон, 1970]). Этот метод позволяет получить оценки точности компонент решения в виде среднеквадратических уклонений. Для получения оценок точности нужны оценки числа N_f степеней свободы в данных. В статическом случае расчет N_f не вызывает затруднений. В динамическом случае число степеней свободы вычисляется по формуле [Kawakatsu, 1996]:

$$N_f = \sum_{i=1}^K N_i - m, \quad (10)$$

где K – число использованных компонент сейсмограмм, N_i – удвоенное число отсчетов спектра сигнала i -ой компоненты, попадающих в полосу пропускания фильтра, использованного при фильтрации сейсмограмм, m – число неизвестных компонент ТСМ.

Для оценки точности главных значений, направлений главных осей и других производных от основного решения величин использован подход на основе метода Монте-Карло. При таком подходе компоненты ТСМ возмущаются случайными нормально распределенными ошибками с дисперсиями, полученными в процедуре МНК. Генерируется массив, содержащий большое (10 тыс.) количество возмущенных тензоров. Для каждого такого тензора определяются искомые производные величины. Наборы этих величин обрабатываются для получения оценок точности, имеющих смысл стандартных уклонений. Для скалярной величины в качестве оценки точности берется значение полуширины интервала (с центром в невозмущенном значении), накрывающего 68 % точек. А для вектора определяется половина угла при вершине кругового конуса, захватывающего 68 % векторов, рассчитанных по возмущенным тензорам. Ось конуса определяется невозмущенным вектором.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Было проведено два статических варианта инверсии – ES36 и ES25, и один динамический – ED35. В варианте ES36 определяются шесть компонент ТСМ с использованием как горизонтальных, так и верти-

кальной компонент косейсмического скачка, тогда как в варианте ES25 рассчитываются пять компонент ТСМ (принято условие нулевого следа) и используются только горизонтальные компоненты. В динамическом варианте ED35 определяются пять компонент ТСМ с условием нулевого следа и используются трехкомпонентные широкополосные сейсмограммы.

Результаты расчетов приведены в табл. 6.4, 6.5 и на рис. 6.2–6.8. В табл. 6.4 приведены значения основных величин – компонент ТСМ, полученных непосредственно в результате инверсии и оценки точности по методу наименьших квадратов. Для варианта ES36 в этой таблице указано значение шаровой части ξ .

Таблица 6.4. Значения компонент M_{ij} тензора сейсмического момента, шаровой части ξ и невязки $\varepsilon^1)$.

Вариант счета	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{22}	M_{23}	M_{33}	ξ	$\varepsilon, \%$
	10^{21}Нм							
GCMT ²⁾	1.28 ± 0.01	-0.16 ± 0.01	-3.57 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.78 ± 0.01	-1.67 ± 0.01	—	—
ES36	1.11 ± 0.91	-0.52 ± 0.36	-3.37 ± 0.24	0.27 ± 1.19	1.29 ± 0.19	-2.48 ± 0.46	-0.37 ± 0.52	2.6
ES25	1.41 ± 0.46	-0.67 ± 0.36	-3.45 ± 0.27	0.77 ± 0.52	1.34 ± 0.21	-2.18	—	2.2
ED35	0.87 ± 0.07	-0.06 ± 0.07	-3.77 ± 0.09	0.41 ± 0.07	1.13 ± 0.07	-1.29	—	20.8

¹⁾ $\varepsilon = \min F(\mathbf{x})$, см. формулу (9). ²⁾ Из каталога GCMT в полном формате (округлены).

В табл. 6.5 даны значения производных величин: главных значений ТСМ, углов механизма и скалярного сейсмического момента M_0 для наилучшего двойного диполя без момента (ДДБМ), отклонение тензора сейсмического момента от ДДБМ, которое выражается значением параметра η , а также значение моментной магнитуды Mw . Для этих величин приведены оценки точности, полученные методом Монте-Карло.

Таблица 6.5. Главные значения E_1 , E_2 , E_3 ТСМ, механизм, отклонение от двойного диполя без момента η , скалярный сейсмический момент M_0 и моментная магнитуда Mw Охотоморского землетрясения.

Вариант счета	Главные значения, 10^{21}Нм			Механизм			$\eta, \%$	M_0 10^{21}Нм	Mw
				Плоскости ¹⁾		Угол ²⁾			
	E_1	E_2	E_3	$\varphi, {}^\circ$	$\delta, {}^\circ$	$\lambda_s, {}^\circ$			
GCMT	-4.13 ± 0.01	0.36 ± 0.01	3.76 ± 0.01	$12/189$	$79/11$	$-89/-93 \pm 0.2/1$	14 ± 0.3	3.96 ± 0.01	8.331 ± 0.001
ES36	-4.65 ± 0.45	0.02 ± 1.0	3.52 ± 0.66	$22/207$	$76/14$	$-91/-84 \pm 8/29$	14 ± 24	4.09 ± 0.31	8.34 ± 0.02
ES25	-4.40 ± 0.48	0.39 ± 0.50	4.01 ± 0.35	$23/217$	$76/15$	$-93/-76 \pm 5/18$	14 ± 17	4.20 ± 0.34	8.35 ± 0.02
ED35	-4.29 ± 0.09	0.42 ± 0.07	3.87 ± 0.09	$16/188$	$82/8$	$-89/-98 \pm 1/7$	15 ± 3	4.08 ± 0.08	8.34 ± 0.01

¹⁾ Ориентация плоскости задается двумя углами – азимутом простирания φ_s и углом падения δ (угол для второй плоскости дан после косой черты). ²⁾ Угол подвижки λ_s – угол в плоскости очага между направлением простирания и вектором подвижки (отсчитывается от направления простирания против часовой стрелки).

На рис. 6.2 показаны горизонтальные векторы зарегистрированных и рассчитанных статических смещений (по варианту ES36), а на рис. 6.3 – графики для каждой компоненты (E, N, Z), на которых абсциссой является рассчитанное, а ординатой – зарегистрированное значение. Наблюдается хорошее согласие между представленными на графиках величинами.

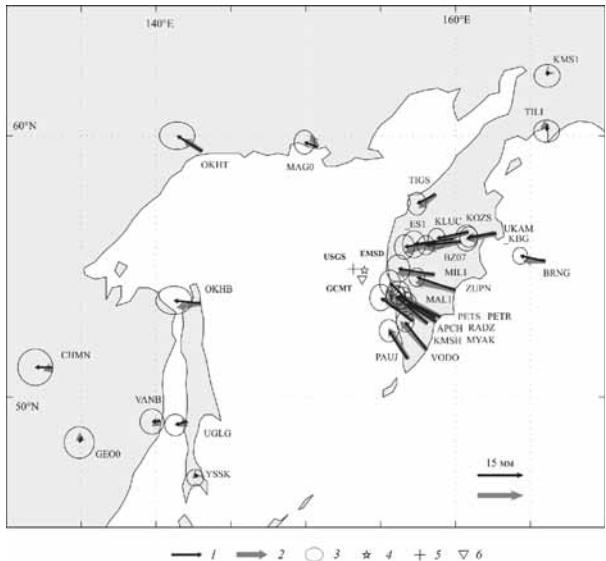


Рис. 6.2. Горизонтальные компоненты наблюдаемых и модельных скачков смещений для варианта ES36: 1 – наблюдаемые скачки смещений (векторы, касательные к земному шару, в соответствии с табл. 6.2), 2 – расчетные скачки, 3 – эллипсы ошибок, 4 – эпицентр КФ ГС РАН, 5 – эпицентр USGS, 6 – эпицентр GCMT.

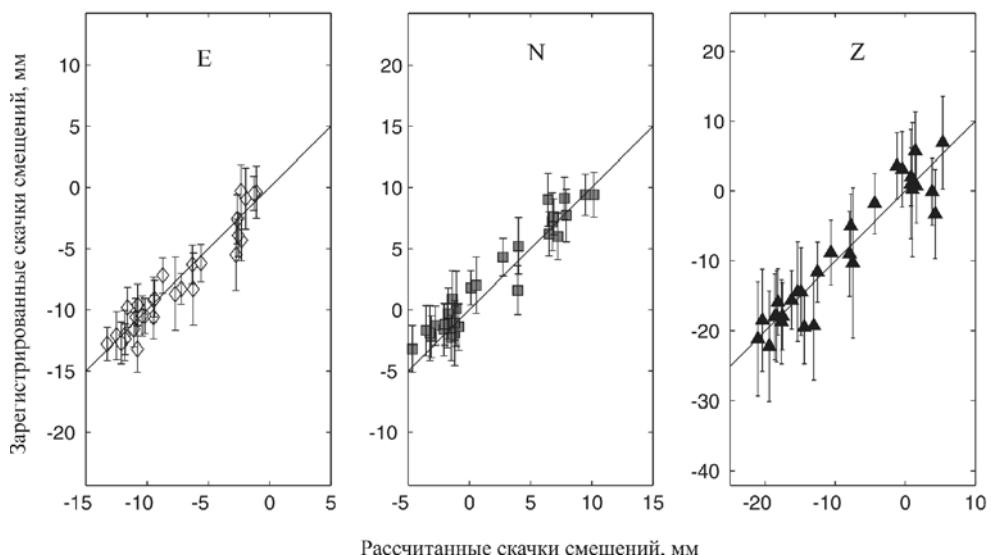


Рис. 6.3. Сравнение компонент E, N, Z зарегистрированных скачков (табл. 6.2) со скачками, рассчитанными по варианту ES36. Вертикальные отрезки отмечают диапазон значений с учетом ошибок. Косые линии соответствуют идеальному совпадению.

Рис. 6.4–6.6 иллюстрируют вариант динамического расчета ED35. На рис. 6.4 показана кривая остаточной невязки в зависимости от глубины. Для каждой пробной глубины производится перебор по значениям пробной длительности временной функции источника.

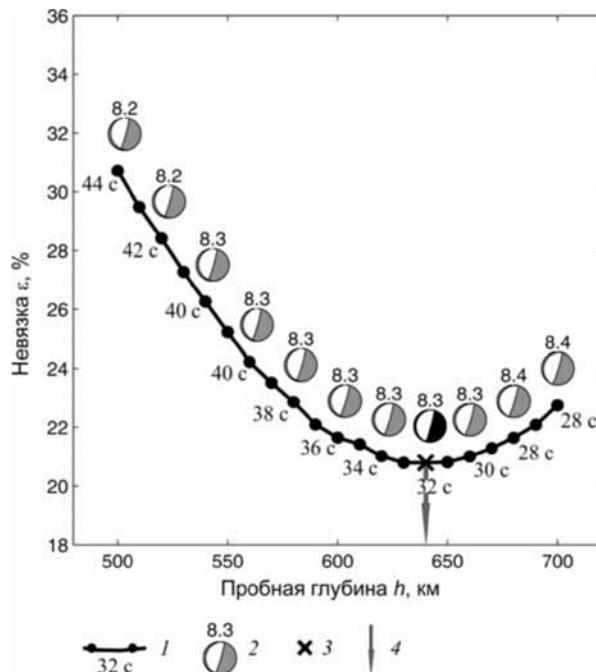


Рис. 6.4. Оценки оптимальных значений глубины, длительности, моментной магнитуды и механизма очага для Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г.: 1 – зависимость остаточной среднеквадратической невязки ε от пробной глубины источника h (снизу приведена оценка длительности); 2 – механизм очага и оценка моментной магнитуды Mw ; 3 – минимум невязки; 4 – оптимальное значение глубины $h^*=640$ км. Диаграммы механизмов даны в стереографической проекции нижней полусфера.

На рис. 6.5 показаны результаты такого перебора для оптимальной глубины $h^*=640$ км, которая отмечена на рис. 6.4. Для каждой пробной длительности (при фиксированной глубине) итеративно рассчитывается тензор \mathbf{M} (ТСМ). На первой итерации инверсия производится с предварительно подготовленными реальными сейсмограммами и функциями влияния (ФВ), синхронизированными с ними по вступлению P -волны. По найденному тензору \mathbf{M} и ФВ рассчитываются модельные сейсмограммы, которые сопоставляются с реальными сейсмограммами. При этом допускается сдвиг модельных сейсмограмм относительно реальных для того чтобы получить наилучшее согласие между ними. Значение сдвига для разных станций определяется независимо. В данной работе величина максимального сдвига ограничена тремя секундами. Для проведения следующей итерации функции влияния подправляются за счет полученного на предыдущей итерации значения сдвига.

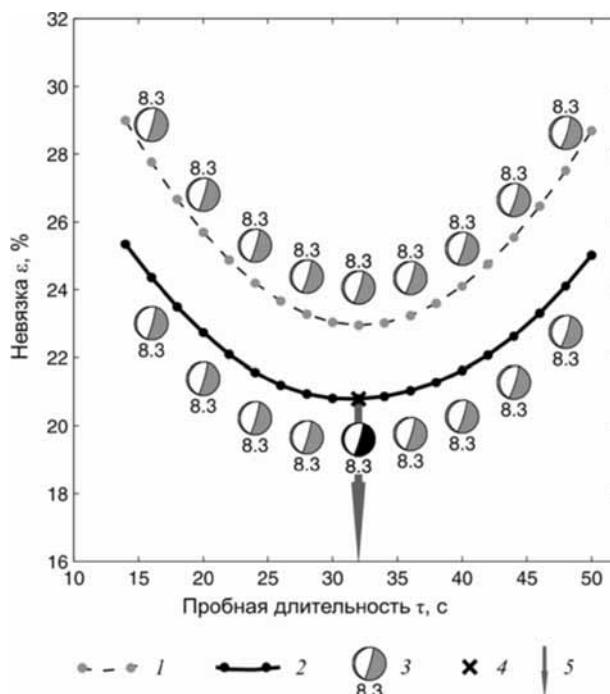


Рис. 6.5. Оптимальные оценки механизма очага, длительности и моментной магнитуды для Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. при оптимальном значении глубины $h^* = 640$ км:
 1 – зависимость остаточной среднеквадратической невязки ε от пробной длительности τ на первой итерации;
 2 – то же на последней, пятой, итерации;
 3 – механизм очага и оценка моментной магнитуды M_w ;
 4 – минимум невязки;
 5 – оптимальное значение длительности $\tau^*=32$ с. Диаграммы механизмов приведены в стереографической проекции нижней полусфера.

На рис. 6.5 показаны кривые невязки для первой и пятой итераций. Модельные сейсмограммы, рассчитанные для оптимальных значений ТСМ, глубины и длительности временной функции источника, приведены вместе с реальными сейсмограммами на рис. 6.6. Наблюдается хорошее согласие между этими сейсмограммами, учитывая геометрическую неадекватность использованной в расчетах плоскослоистой модели среды.

Оптимальное значение длительности ВФИ равно 32 с. Это значение согласуется с оценкой (около 30 с), полученной в работе [Ye, et al., 2013] с использованием другого метода.

Наш расчет дает также оценку глубины $640 \text{ км} \pm 50 \text{ км}$, которая согласуется с независимыми определениями, приведенными в табл. 6.1. Точность определения глубины получена с помощью графика рис. 6.5 путем снятия значений глубин, соответствующих точкам пересечения кривой невязки с линией на уровне 110 % от минимума.

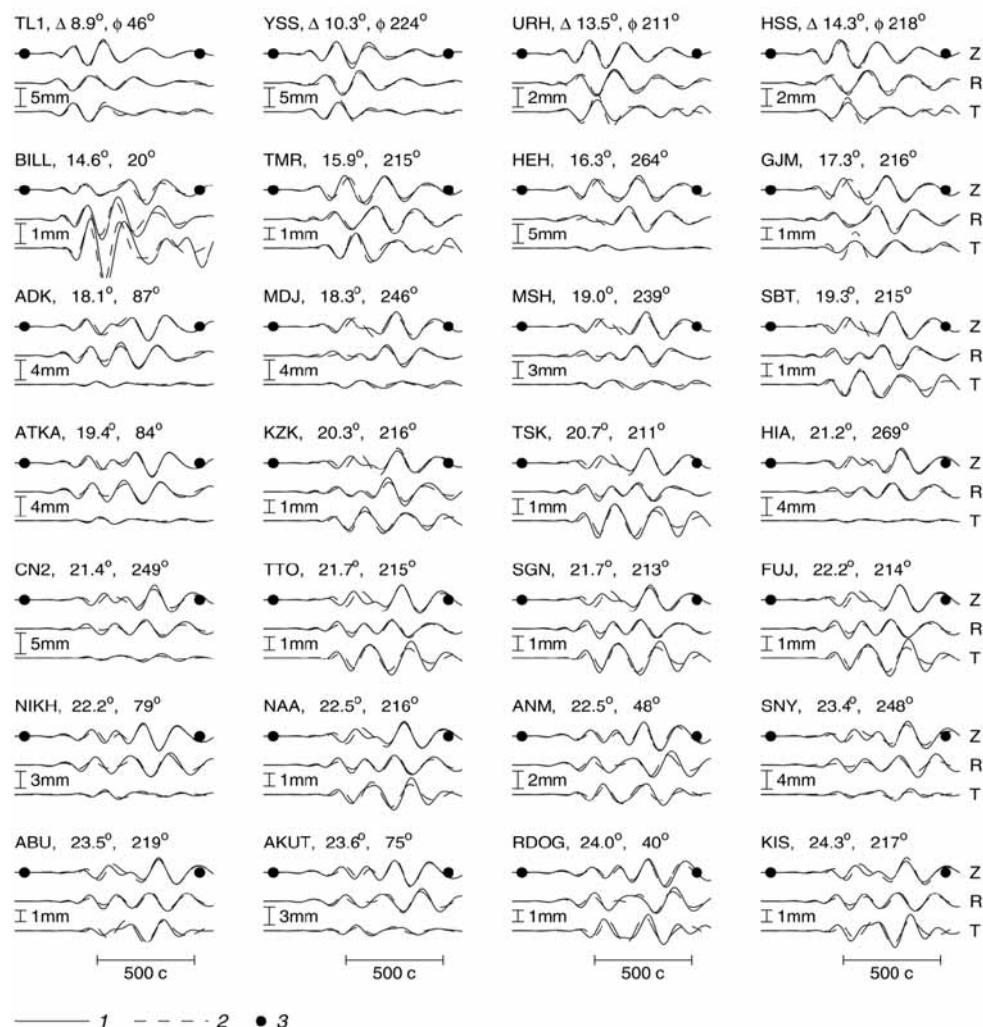


Рис. 6.6. Реальные сейсмограммы (1) и синтетические волновые формы (2), рассчитанные по оптимальным значениям ТСМ, глубины 640 км и длительности 32 с. Отмечены интервалы подгонки (3), общие для всех 3 компонент: вертикальной Z, радиальной R и трансверсальной T. Приведены коды станций, эпицентрические расстояния Δ и азимуты ϕ .

На рис. 6.7 приведен механизм вместе с конусами, характеризующими точность его определения для варианта ES36, а также положение нормалей к плоскостям и нейтральной оси для других вариантов инверсии из табл. 6.5. С учетом неопределенности, которую показывают конусы точности, наблюдается согласие между приведенными оценками.

На рис. 6.8 приведены стереограммы механизма очага для набора вариантов инверсии из табл. 6.5.

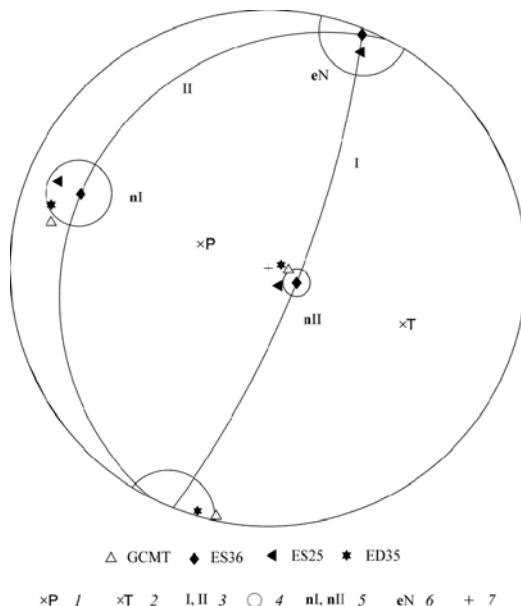


Рис. 6.7. Механизм очага для варианта ES35 на стереограмме нижней полусферы: 1, 2 – оси сжатия и растяжения, соответственно, 3 – плоскости, 4 – конусы, отражающие точность расчета, 5, 6 – положения векторов механизма и нейтральной оси, соответственно, для всех вариантов инверсии из табл. 6.5, 7 – центр проекции. Значение половины угла осевого сечения конуса равно 6° для конуса при nI , 9° – при nII и 10° – при eN .

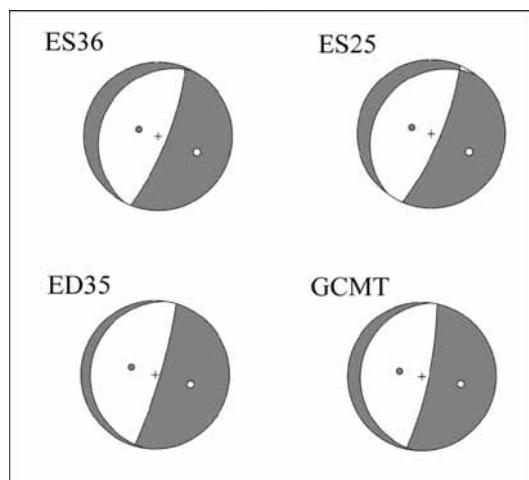


Рис. 6.8. Механизмы очага глубокого Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. для вариантов инверсии, представленных в табл. 6.5. Использована стереографическая проекция нижней полусферы.

Рисунки 6.7, 6.8 показывают, что в пределах погрешностей имеется согласие различных определений механизма. Наблюдается заметное изменение азимута близгоризонтальной плоскости (плоскость II на рис. 6.8). Это связано с тем, что нормаль к этой плоскости (nII на рис. 6.7) близвертикальна и конус погрешностей определяет весьма внушительный сектор для вариации азимута этой нормали. Такая же вариация азимута по отношению к среднему будет и для плоскости, хотя ее собственный азимут отличается от азимута нормали на 90° . Указанная вариация отражена при значениях азимута плоскости в табл. 6.5.

Большая вариация при угле подвижки в плоскости II (табл. 6.5)

связана с тем, что угол подвижки определяется по отношению к направлению простирания плоскости. Положение вектора подвижки в плоскости II (вектора \mathbf{nI}) может быть неизменным в пространстве, но при этом может весьма существенно изменяться по отношению к направлению простирания плоскости за счет изменения последнего (за счет поворота вокруг вектора \mathbf{nI}).

Шаровая часть тензора (параметр ξ) значимо не определяется (табл. 6.4). Расчет по объединенным статическим и динамическим данным сочли нецелесообразным из-за недостаточной степени адекватности «плоской» модели среды.

Отклонение ТСМ от двойного диполя для варианта ED35 оказалось значимым, причем с весьма высокой точностью. Величина отклонения (значение параметра η) близка к значению, которое получается на основе каталога GCMT и составляет $15\pm3\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для глубокого Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. проведена независимая инверсия двух видов наблюдательных данных: 1) статических смещений – скачков смещений на временных рядах пунктов GNSS, вызванных землетрясением и 2) волновых форм – широкополосных записей на сейсмических станциях мировой сети, расположенных на удалении, не превышающем 25° от эпицентра. В качестве модельного очага используется точечный источник с произвольным симметричным тензором сейсмического момента (ТСМ). В динамическом случае предполагается, что источник имеет (треугольную) временную функцию (ВФИ), длительность которой определяется в процессе инверсии волновых форм (как и глубина). В качестве модели среды в статическом случае используется слоистый шар, а в динамическом случае – слоистое полупространство с однородными упругими изотропными слоями. Расчет статики в шаре производился с помощью оригинальной программы, написанной по оригинальному алгоритму одним из авторов (В. М. Павловым).

По статике и динамике произведен расчет ТСМ, механизма очага, скалярного сейсмического момента и величины отклонения ТСМ от двойного диполя без момента. Дополнительно по статике рассчитана шаровая часть ТСМ, а по динамике получены оценки глубины эквивалентного точечного источника и длительности процесса в очаге. При динамическом расчете получен тензор с нулевым следом, значимо отличающийся от двойного диполя без момента. Оценки в целом согласуются с определениями из независимых источников.

Механизмы и значения скалярного сейсмического момента, рассчи-

танные по статическим смещениям (косейсмическим скачкам во временных рядах GNSS наблюдений) и по широкополосным волновым формам, оказались близки по различным вариантам расчетов, что указывает на отсутствие постсейсмического движения, по крайней мере, в пределах суток после землетрясения.

Примененная процедура оценки точности значений параметров очага в целом дает согласованные оценки. В динамическом случае точность, по-видимому, завышена и не отражает реальной погрешности, связанной с неполной адекватностью используемых моделей среды и источника.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Национальному исследовательскому институту наук о Земле и предотвращения стихийных бедствий (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention), Цукуба, Япония за предоставление доступа к сейсмическим данным станций сети F-net.

В работе также использовались материалы регистрации глобальной сейсмической сети GSN; региональной сети Аляски (Alaska Regional Network) и Китайской национальной сейсмической сети (China National Seismic Network). Кроме того, использовались записи опорных станций Службы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России и Центра предупреждения о цунами на Западном побережье США и у берегов Аляски (West Coast & Alaska Tsunami Warning Center). Для доступа к волновым формам и метаданным использованы средства Системы обработки данных IRIS DMS, а именно, Центр обработки данных IRIS DMC. Авторы благодарны этим организациям за доступ к данным.

Авторы также выражают благодарность А. А. Гусеву за консультации по получению оценок точности и А. В. Ландеру за обсуждение вопросов, связанных с тензором сейсмического момента.

В части проведения расчетов и интерпретации наблюдений исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00621).

ГЛАВА 7

Наблюдения в пьезометрических скважинах

КФ ГС РАН проводит регистрацию уровня, температуры и электропроводности воды в двух глубоких скважинах Е-1 (глубина 665 м, уровень на глубине 27 м ниже оголовка) и ЮЗ-5 (глубина 800 м, уровень на глубине 1 м). Данные о строении скважин и локальных гидрогеологических условиях приводятся в [Копылова, 2001, 2006], а также на сайте КФ ГС РАН по адресам <http://emsd.ru/lgi/places/e1> и <http://emsd.ru/lgi/places/uz5>.

В скважине Е-1 в интервале 625–647 м выполнена перфорация обсадной колонны. В скважине ЮЗ-5 в диапазоне глубин 310–800 м обсадка отсутствует и ствол скважины связан напрямую с водовмещающими породами. Скважины расположены на расстоянии около 290 км от эпицентра землетрясения 28 февраля 2013 г. (рис. 7.1).

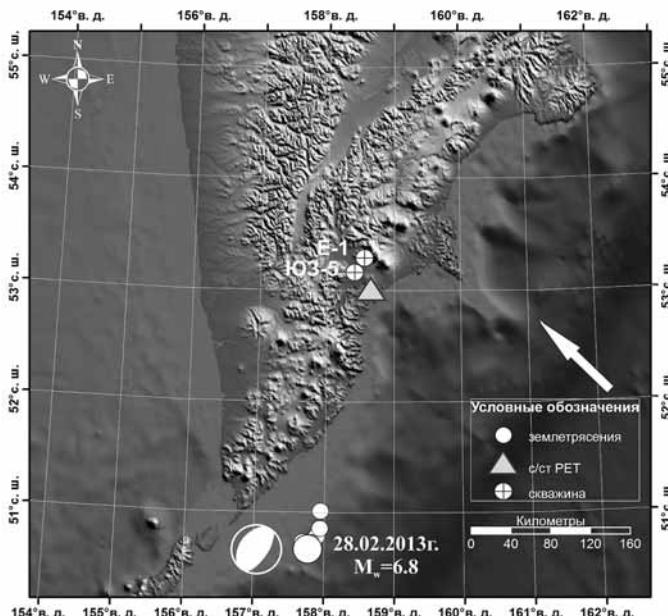


Рис. 7.1. Схема расположения скважин Е-1 и ЮЗ-5, эпицентров землетрясения 28 февраля 2013 г. и его сильнейших афтершоков. Стрелкой показано направление движения Тихоокеанской океанической плиты.

В обеих скважинах наблюдения проводятся с использованием аппаратурного комплекса Кедр-ДМ-У (ООО Полином, г. Хабаровск) с телеметрической передачей данных в КФ ГС РАН по каналам сотовой связи общего пользования [Кедр ДМ..., 2009; Калинов и др., 2012].

В состав Кедр-ДМ-У входят высокочувствительный ультразвуковой датчик уровня воды, позволяющий регистрировать изменения уровня воды с точностью $\pm 0.1 \text{ мм}$, и глубинный зонд для измерений электропроводности и температуры подземной воды. В скважине ЮЗ-5 зонд находится на глубине 97 м ниже оголовка, в скважине Е-1 – на глубине 20 м. Датчики атмосферного давления и температуры воздуха входят в состав блока регистрации БСИ 300, который устанавливается над оголовком скважины. Схема установки измерительного комплекса на скважинах приводится на рис. 7.2.

Измерения гидрогеологических и метеорологических параметров проводятся с интервалом 5 минут. Передача данных в КФ ГС РАН осуществляется один раз в час, обработка

данных проводится в лаборатории геофизических исследований ежедневно по будним дням. Результаты обработки в виде графиков временных рядов изменений уровня воды (исходных и очищенных от влияния факторов-помех) представляются на сайте КФ ГС РАН по адресу <http://emsd.ru/lgi/observations>. Обновление графиков проводится ежедневно.

Описание методики обработки данных уровнемерных наблюдений для выделения вариаций уровня воды, связанных с влиянием сейсмичности (гидрогоесейсмических вариаций), приводится в [Копылова и др., 2007], а также в других публикациях авторов настоящего раздела (см. <http://emsd.ru/lgi/result/hydro>).

Используемая система наблюдений позволяет выделять гидрогоесейсмические вариации в изменениях уровня, температуры и электропроводности подземной

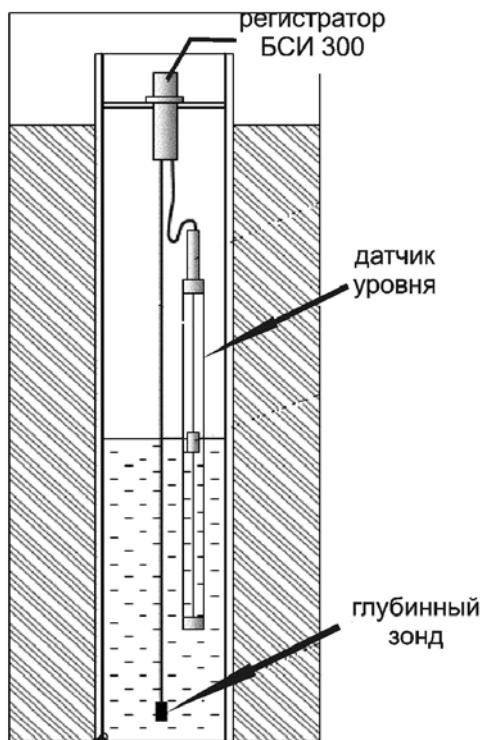


Рис. 7.2. Схема установки измерительного комплекса Кедр-ДМ-У и его компонентов в скважине. БСИ 300 – блок сбора информации, включающий датчики атмосферного давления и температуры воздуха.

воды в режиме, близком к реальному времени, с задержкой между измерением параметров и отображением временных рядов обработанных уровнемерных данных на мониторе оператора не более одних суток. Максимальная задержка между получением данных и их обработкой и визуализацией происходит по понедельникам и может составлять до 2.5–3 суток.

**ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ УРОВНЯ,
ТЕМПЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ В СВЯЗИ
С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 28 ФЕВРАЛЯ 2013 г.**

В скважине ЮЗ-5 после вступления сейсмических волн (14:07) в течение 45-ти минут происходило повышение уровня с амплитудой 2.2 см (рис. 7.3). Мы полагаем, что такой эффект мог быть вызван наложением косейсмического скачка повышения уровня вследствие изменения напряженного состояния водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге землетрясения (их объемного сжатия) и кратковременного повышения порового давления в системе «скважина – водовмещающая порода» при прохождении сейсмических волн. Более обоснованные выводы относительно механизма формирования наблюденного эффекта в изменениях уровня воды будут сделаны по результатам моделирования.

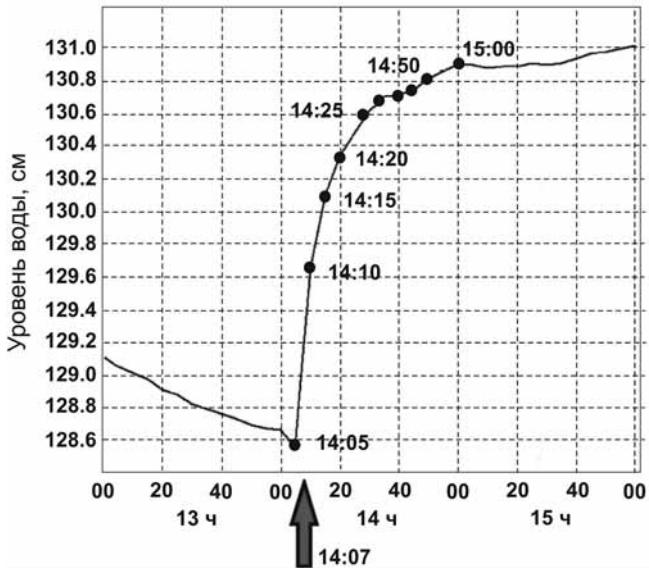


Рис. 7.3. Кратковременное повышение уровня воды в скважине ЮЗ-5 после вступления сейсмических волн от землетрясения 28 февраля 2013 г. (показано стрелкой).

В среднечасовых изменениях уровня воды проявилось интенсивное понижение после землетрясения (рис. 7.4), которое развивалось до середины апреля. Амплитуда понижения уровня в течение 1.5 месяцев составила 35 см. Следует отметить, что эффект интенсивного постсейсмического понижения уровня воды наблюдался ранее в скважине ЮЗ-5 лишь однажды, после Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $Mw=7.8$, произошедшего на эпицентральном расстоянии 310 км. В случае Кроноцкого землетрясения понижение уровня с амплитудой около 1 м продолжалось три месяца [Копылова, 2006].

В среднечасовых изменениях уровня воды, максимально очищенных от влияния основных факторов-помех, к которым относятся барометрические, приливные вариации и сезонный тренд (график 4 на рис. 7.4), аномалии в диапазоне периодов сутки – десятки суток с амплитудами не менее 5 см перед землетрясением 28 февраля не фиксировались.

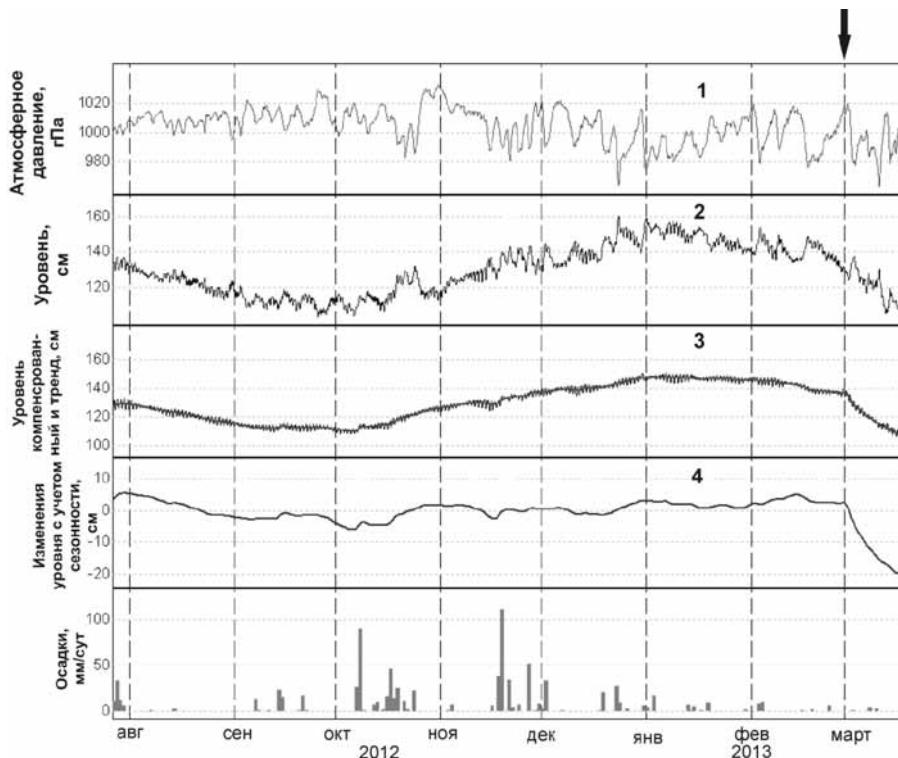


Рис. 7.4. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5 с 27 июля 2012 г. по 17 марта 2013 г., включающие длительное постсейсмическое понижение после землетрясения 28 февраля 2013 г. (момент землетрясения показан стрелкой): 1 и 2 – данные 5-минутной регистрации атмосферного давления и уровня воды, 3 – среднечасовые изменения уровня воды с компенсированными баровариациями и выделенным трендом, 4 – среднечасовые изменения уровня воды, очищенные от барометрических, приливных вариаций и сезонного тренда.

Это указывает на отсутствие значимого проявления процессов подготовки этого сейсмического события в изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5 в течение суток – первых месяцев перед землетрясением.

На рис. 7.5 представлены изменения температуры и электропроводности воды в скважине ЮЗ-5. После землетрясения 28 февраля 2013 г. произошло заметное понижение температуры воды (график 1) и повышение электропроводности воды (график 2). Эти изменения можно отнести к постсейсмическим вариациям в режиме подземных вод. 7 января, т. е. примерно за 8 недель до землетрясения 28 февраля, было зарегистрировано резкое повышение электропроводности воды с амплитудой $6 \text{ мСм}/\text{м}$.

В скважине Е-1 в связи с землетрясением 28 февраля было зарегистрировано последовательное проявление гидрогеодинамического предвестника в изменениях уровня воды и его постсейсмическое повышение (рис. 7.6). Гидрогеодинамический предвестник в форме понижения уровня воды с повышенной скоростью ранее был описан в [Копылова, 2001, 2008; Копылова, Болдина, 2012]. Важными особенностями этого вида предвестника являются: 1 – его относительно регулярная повторяемость перед землетрясениями с величинами магнитуд $M \geq 5.0$ на расстояниях до 350 км, что позволяет использовать его для прогнозирования местных землетрясений; 2 – увеличение связи предвестника и землетрясений с ростом величины их магнитуды [Копылова, Сизова, 2012].

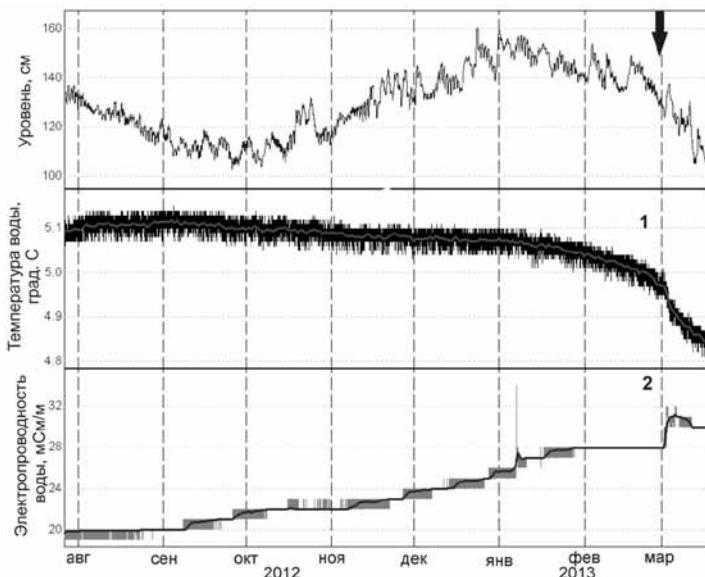


Рис. 7.5. Изменения температуры (1) и электропроводности (2) воды в скважине ЮЗ-5 на глубине 97 м с 27 июля 2012 г. по 17 марта 2013 г., включающие постсейсмические вариации после землетрясения 28 февраля 2013 г. (момент землетрясения показан стрелкой).

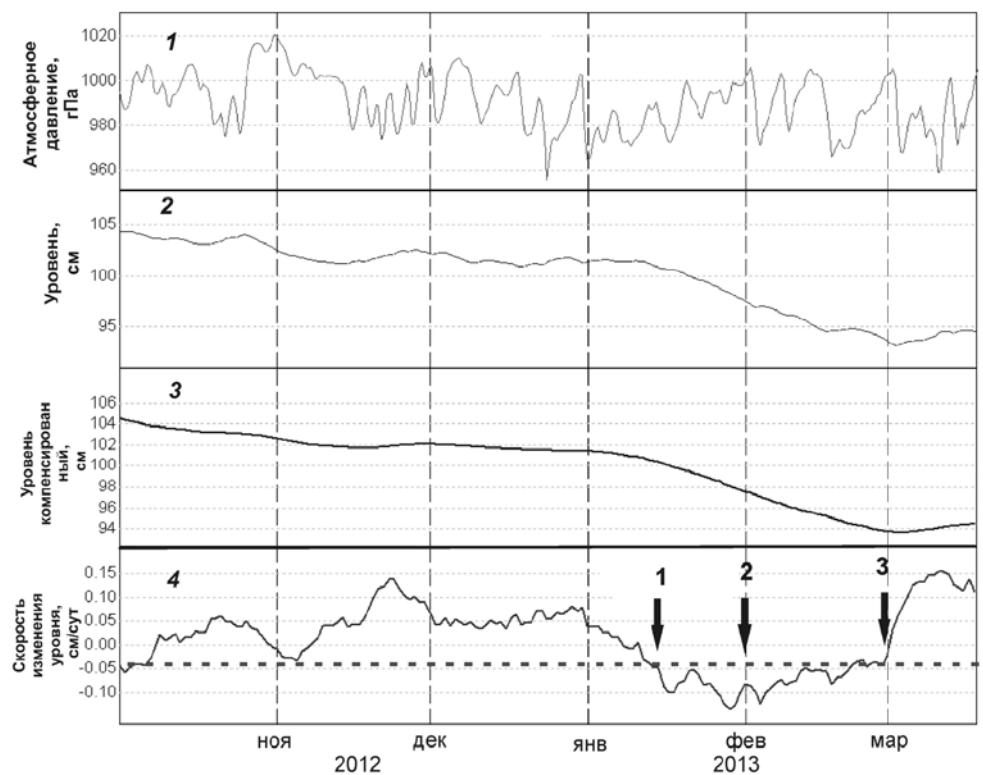


Рис. 7.6. Изменения уровня воды в скважине Е-1 с 1 октября 2012 г. по 18 марта 2013 г., включающие проявление гидрографического предвестника и постсейсмическое повышение в связи с землетрясением 28 февраля 2013 г.: **1** и **2** – данные 5-минутной регистрации атмосферного давления и уровня воды, **3** – среднесуточные изменения уровня воды с компенсированными баровариациями, **4** – суточная скорость изменения уровня воды с учетом скорости нисходящего тренда. На графике **4** стрелками показаны: **1** – 16 января 2013 г., начало проявления гидрографического предвестника; **2** – 1 февраля 2013 г., дата подачи прогнозного заключения в КФ РЭС; **3** – 28 февраля 2013 г., дата землетрясения. Горизонтальная пунктирная линия – пороговое значение суточной скорости изменений уровня воды.

По текущим данным уровнемерных наблюдений на скважине Е-1 с использованием этого вида предвестника осуществляется оценка сейсмической опасности в районе г. Петропавловска-Камчатского с предоставлением прогнозных заключений в Камчатский филиал Российского экспертизного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС).

В прогнозном заключении от 1 февраля 2013 г., поданном в КФ РЭС, указывалось, что «*в течение времени 1–2 месяца повышенна вероятность возникновения землетрясения с $M \geq 5.0$ на расстоянии до 350 км от скважины*». В заключении также были приведены оценки надежности сейсмического прогноза для землетрясений с различными величинами магнитуды

ды, основывающиеся на результатах ретроспективного анализа проявлений гидрографического предвестника за период многолетних наблюдений [Копылова, Сизова, 2012]: «вероятность события с $M \geq 5.0$ $p=0.45$... вероятность события с $M \geq 5.9$ $p=0.73$ ». Произошедшее 28 февраля землетрясение с $M=6.8$ на расстоянии 290 км от скважины Е-1 соответствует прогнозу от 1 февраля по величине магнитуды, по времени и по местоположению.

Изменение уровня воды в скважине Е-1 в период землетрясения 28 февраля (понижение с повышенной скоростью в течение 44 суток перед землетрясением и его повышение с амплитудой около 2 см после землетрясения (см. рис. 7.6)) является типичным для периодов возникновения сильных ($M \geq 6.6$) местных землетрясений на расстояниях до 300 км [Копылова, 2001].

По данным регистрации физико-химических параметров подземных вод на глубине 20 м с использованием глубинного зонда было обнаружено слабое повышение электропроводности воды с амплитудой 1–2 мСм/м в течение двух суток после землетрясения. В изменениях температуры воды гидрографические вариации не проявлялись.

Пример землетрясения 28 февраля 2013 г. показал:

– используемая в КФ ГС РАН система специализированных наблюдений за режимом подземных вод в пьезометрических скважинах позволяет диагностировать различные типы гидрографических вариаций уровня, температуры и электропроводности воды, в т. ч. гидрографические предвестники сильных землетрясений, в режиме близком к реальному времени;

– предложенный ранее в [Копылова, 2001, 2008; Копылова, Сизова, 2012] метод вероятностного среднесрочного сейсмического прогноза времени сильных землетрясений Камчатки с заблаговременностью месяцы – недели, основывающийся на данных уровнемерных наблюдений на скважине Е-1, продемонстрировал свою практическую полезность в системе прогнозирования сейсмической опасности в Камчатском крае.

ГЛАВА 8

Особенности изменений химического состава подземных вод в период 2012–2013 гг. в связи с землетрясением 28.02.2013 г. Mw=6.8, ($K_s=15.2$)

Эффекты изменения химического состава подземных вод, связанные с сильными землетрясениями, крайне разнообразны. Природа и механизмы этих эффектов, в общем смысле, должны определяться деформациями земной коры, развивающимися на протяжении сейсмического цикла. Согласно работе [Киссин, 1997] фазу сейсмического покоя сменяет фаза подготовки землетрясения, в течение которой могут наблюдаться эффекты – предвестники. Далее следует косейсмическая фаза, продолжительность которой соизмерима с длительностью излучения сейсмических волн. Цикл завершается постсейсмической фазой. Изменения гидродинамического и гидрогеохимического режимов подземных вод в этот период могут быть связаны с разрывами и деформациями в очаге и в примыкающих к нему участках; могут обуславливаться релаксацией и/или перестройкой напряженно-деформированного состояния вне очаговой области; являться результатом воздействия сейсмических волн на водонасыщенные горные породы за пределами зоны перестройки напряженно-деформированного состояния и на телесейсмических расстояниях [Киссин, 1997]. В представленной работе по результатам гидрогеологических наблюдений на самоизливающихся скважинах и источниках, расположенных в окрестностях г. Петропавловска-Камчатского, рассматриваются особенности изменения химического состава подземных вод до и после сильного землетрясения 28.02.2013 г. ($K_s=15.2$).

Наблюдения за режимом подземных вод на Камчатке, в связи с поиском предвестников землетрясений, проводятся с 1977 г. Сеть наблюдений состоит из четырех гидрогеологических станций, включающих в себя 11 водопунктов (самоизливающиеся скважины различной глубины и слабонапорные источники). Комплекс режимных наблюдений включает в себя замеры атмосферного давления и температуры воздуха, измерения

температуры и дебита самоизливающихся скважин и источников, отбор проб воды и газа для дальнейшего их анализа в лабораторных условиях. Интервал между режимными наблюдениями для близко расположенных пунктов составляет 3 дня, для удаленных пунктов – 6 суток. В пробах воды и газа химико-аналитическими методами измеряются содержания порядка 20 показателей. Более подробную информацию о структуре сети наблюдений, используемых методах и методиках можно найти в работе [Рябинин, Хаткевич, 2009].

Существующая методика режимных наблюдений с интервалом опробования 3 суток (6 суток) исключает возможность обнаружения косейсмических эффектов. Что касается эффектов, предваряющих сильные сейсмические события, или эффектов, являющихся следствием сильных землетрясений, то они вполне надежно идентифицируются при интервале опробования в несколько суток [Хаткевич, Рябинин, 2006]. По результатам гидрогеологических наблюдений на Камчатке установлено, что изменения, главным образом, химического состава подземных вод перед сильными сейсмическими событиями представляют собой бухтообразные уменьшения концентраций растворенных в воде веществ [Рябинин, Хаткевич, 2009]. При этом, как правило, экстремум бухтообразной кривой фиксируется до момента землетрясения, что предоставляет принципиальную возможность прогноза времени сильного сейсмического события. Практически также часто идентифицируются и иного рода вариации, являющие собой импульсные (в форме всплесков) увеличения концентраций растворенного в воде вещества и газа. Однако такие изменения, если рассматривать их в качестве прогнозных признаков, имеют меньшую достоверность в сравнении с бухтообразными вариациями. Таким образом, наиболее устойчивым (воспроизводимым) прогнозным признаком подготовки сильного тектонического землетрясения является бухтообразное уменьшение концентрации того или иного гидрохимического показателя, амплитуда которого значительно отличается от фоновых вариаций.

Эпицентр землетрясения 28.02.2013 находился на расстоянии порядка 270 км от пунктов гидрогеологических наблюдений. Наиболее удаленным сейсмическим событием, которому предшествовали значимые изменения химического состава подземных вод, было Кроноцкое землетрясение [Хаткевич, Рябинин, 1998], произошедшее 5 декабря 1997 г. ($K_s=15.5$). Его эпицентр располагался на расстоянии порядка 300 км от пунктов наблюдений. Принимая во внимание этот факт, существовала вероятность проявления прогнозных признаков и перед землетрясением 28.02.2013 г. Однако значимых бухтообразных вариаций химического

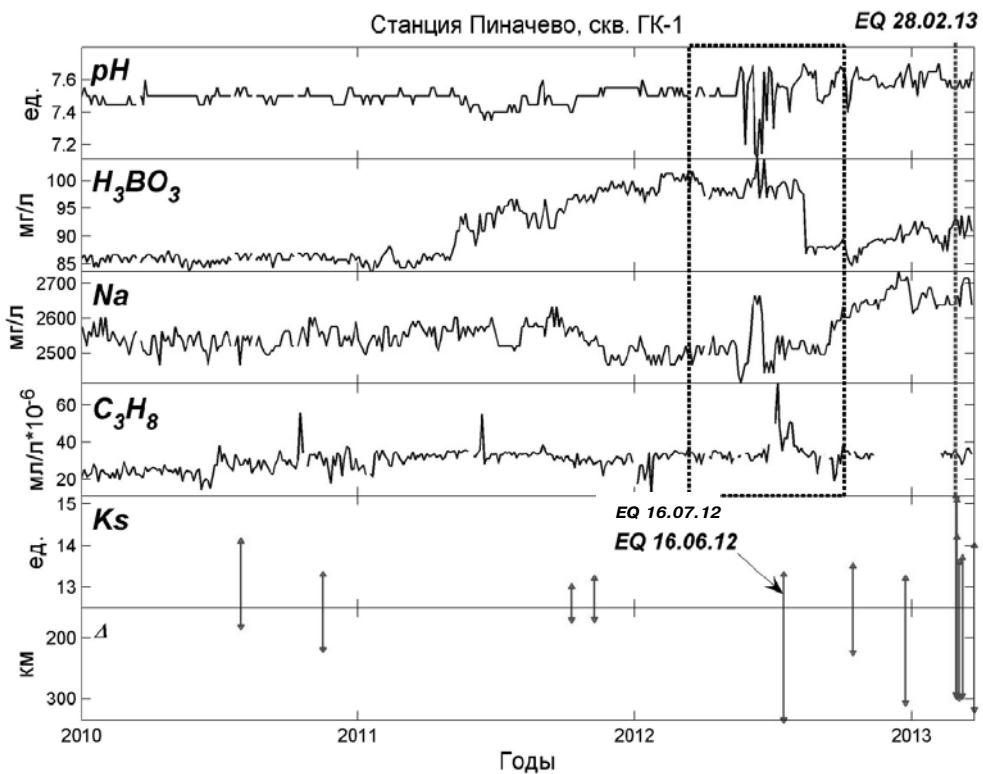


Рис. 8.1 Изменения водородного показателя (рН), концентраций борной кислоты (H_3BO_3), натрий-иона (Na) и пропана (C_3H_8) в воде скважины ГК-1 (станция Пиначево). Пунктирным прямоугольником выделен временной интервал, в пределах которого наблюдались особенности в вариациях представленных показателей. K_s – энергетический класс землетрясений. Δ – эпицентральное расстояние. На последних двух диаграммах показаны сейсмические события с $K_s \geq 13.0$, произошедшие в радиусе 350 км от г. Петропавловска-Камчатского. Вертикальной пунктирной линией обозначен момент землетрясения 28.02.2013 г.

состава подземных вод перед этим сейсмическим событием не отмечалось, что не давало достаточных оснований для выдачи заключения о повышенной вероятности сильного землетрясения. Тем не менее, в 2012 г. имели место некоторые особенности в изменениях отдельных гидрогеохимических показателей на разных пунктах наблюдений, на которые хотелось бы обратить внимание.

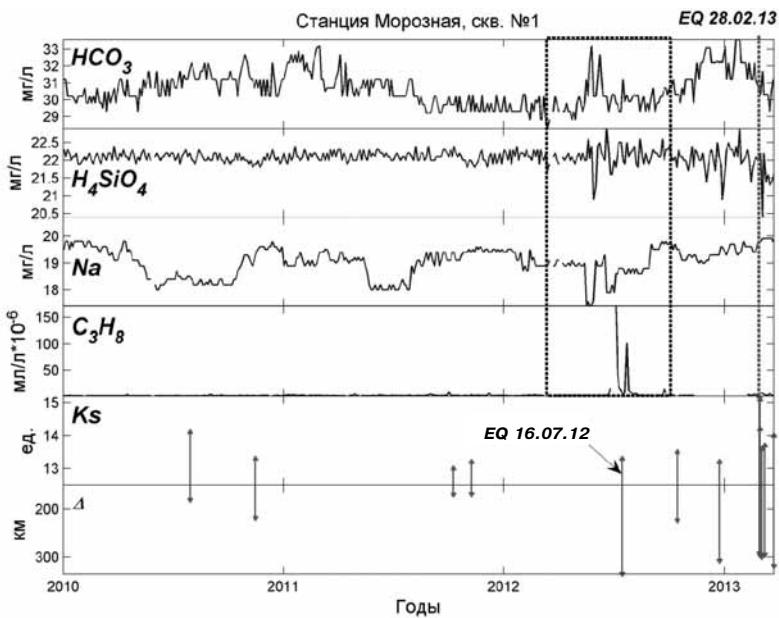


Рис. 8.2 Изменения концентраций гидрокарбонат-иона (HCO_3^-), кремниевой кислоты (H_4SiO_4), иона натрия (Na) и пропана (C_3H_8) в воде скважины № 1 (ст. Морозная).

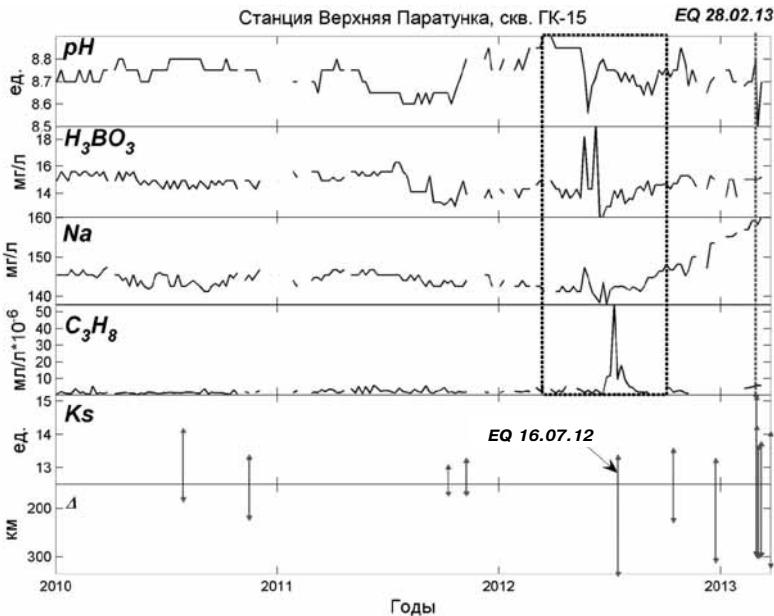


Рис. 8.3 Изменения водородного показателя (рН), концентраций борной кислоты (H_3BO_3), натрий-иона (Na) и пропана (C_3H_8) в воде скважины ГК-15 (ст. Верхняя Паратурнка).

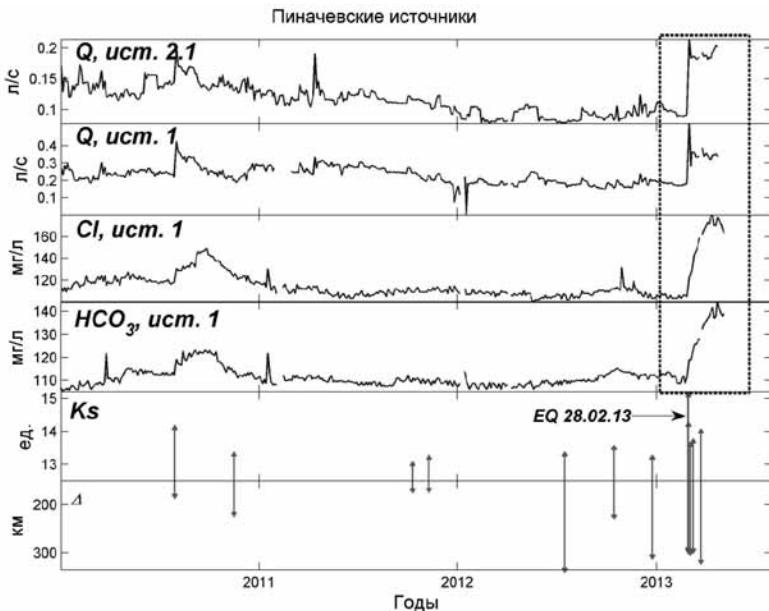


Рис. 8.4 Примеры постсейсмических изменений расхода воды (Q) источников № 1 и № 2.1 и вызванных землетрясением вариаций концентраций хлор (Cl) и гидрокарбонат (HCO_3) – ионов в воде источника № 1. Постсейсмические вариации выделены на рисунке пунктиром прямоугольником.

Эти особенности проявлялись в виде импульсных (всплесковых) и скачкообразных вариаций в изменениях показателя pH , содержаний борной и кремниевой кислот, концентраций ионов натрия, калия, гидрокарбоната, содержаний растворенных в воде углеводородных газов за 7–8 месяцев до землетрясения 28.02.2013 (рисунки 8.1–8.3). Амплитуда этих вариаций в отдельных случаях имела аномальный характер (например, импульсное увеличение концентрации пропана), в других случаях лишь незначительно отличалась от фона. Особого внимания заслуживает тот факт, что описываемые изменения наблюдались практически одновременно по разным показателям и в разных пунктах наблюдений. Поскольку перечисленные выше компоненты химического состава подземных вод определяются независимыми химико-аналитическими методами, то вероятность одновременного формирования подобного рода изменений в результате, к примеру, грубых ошибок на стадии химического анализа проб крайне мала. Мала вероятность связи обсуждаемых вариаций и с землетрясением, произошедшим 16 июля 2012 г. ($K_s=13.3$) на расстоянии 340 км от пунктов наблюдений. Во всяком случае за время гидрогеологических наблюдений на Камчатке значимых гидрогеохимических эффектов, предварявших события с подобными пространственно-энергетическими характеристиками, не отмечалось. По времени

своего проявления обсуждаемые вариации приурочены к периоду сезонного весенне-летнего максимума питания подземных вод. Возможности того, что описанные изменения гидрогоеохимических показателей обусловлены изменениями условий питания подземных вод и напорных уровней, вряд ли следует придавать большое значение. В противном случае, подобные вариации должны были бы проявляться и в предыдущие годы, но такой тенденции, как следует из представленных рисунков, не наблюдается. Принимая во внимание приведенные выше доводы, можно сделать вывод о том, что относительно кратковременные импульсные и скачкообразные изменения химического и газового состава подземных вод, наблюдавшиеся в июне-июле 2012 г., генетически могли быть связаны с процессами подготовки сильного землетрясения 28.02.2013 г.

В отличие от эффектов, предшествующих землетрясениям, связь которых с сейсмическими событиями трудно установить с полной определенностью, постсейсмические эффекты вполне однозначно ассоциируются с конкретными землетрясениями. Этому способствуют и всегда однообразный характер постсейсмических вариаций (по крайней мере, в конкретном наблюдательном пункте), и время их проявления (начало постсейсмических изменений приходится на первые часы – сутки после сейсмического события) и амплитуда, которая часто значительно превышает уровень фоновых вариаций. На рис. 8.4 показаны примеры постсейсмических изменений расхода воды и концентраций отдельных компонентов ее химического состава, зарегистрированные в режиме Пиначевских источников после землетрясения 28.02.2013 г.

ВЫВОДЫ

За 7–8 месяцев до землетрясения 28.02.2013 г. в химическом и газовом составе подземных вод в разных пунктах наблюдений отмечались относительно кратковременные импульсные и скачкообразные изменения, часть из которых значительно отличалась от фоновых вариаций. Предварительный анализ природы этих изменений не исключает возможности того, что они могли быть связаны с процессами подготовки рассматриваемого сейсмического события.

Эффекты последействия землетрясения 28.02.2013 г. наиболее ярко проявились в режиме Пиначевских источников в форме увеличений их дебитов и концентраций компонентов ионно-солевого состава.

ГЛАВА 9

Отражение подготовки сильных землетрясений 2013 г. в параметрах высокочастотного сейсмического шума

Один из видов наблюдений, входящих в комплексный мониторинг геодинамических процессов на Петропавловском геодинамическом полигоне – непрерывная регистрация высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ). Под ВСШ понимается сейсмическое излучение с амплиту-

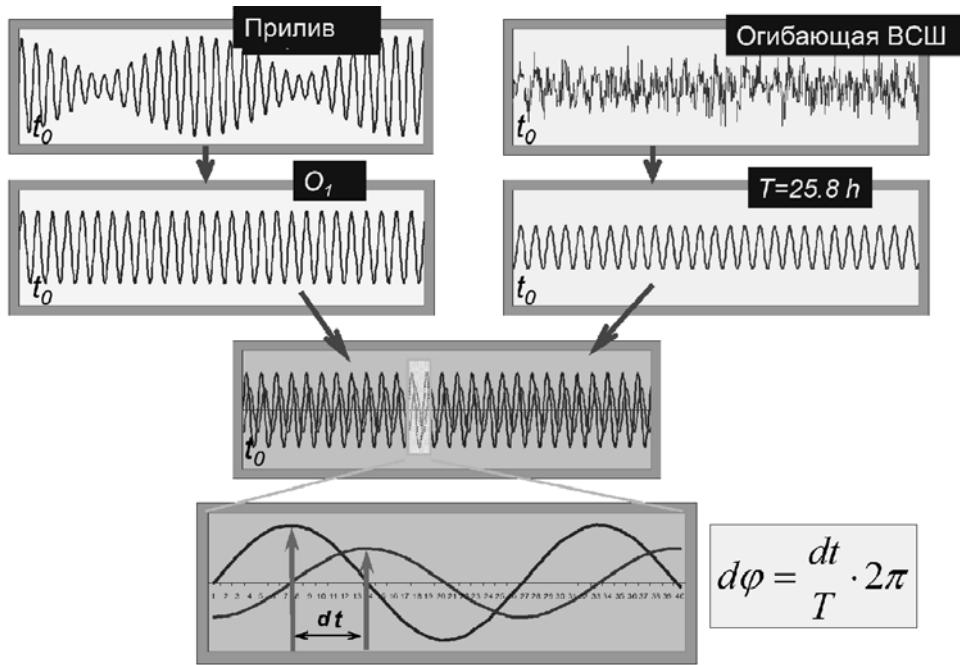


Рис. 9.1. Блок-схема расчета фазового сдвига между приливной компонентой огибающей ВСШ и земным приливом.

дой $10^{-9} - 10^{-12} \text{ м}$ в частотном диапазоне первых десятков Гц. Эти микросейсмические записи представляют собой сложную суперпозицию сигналов экзогенного и эндогенного происхождения (сейсмической эмиссии).

В 90-х годах на основе изучения особенностей ВСШ на Камчатке был предложен способ контроля напряженного состояния среды по изменению параметров отклика шумов на приливы [Салтыков и др., 1997, 2008, 2012]. Прогностическим признаком является стабилизация фазового сдвига между приливной компонентой огибающей ВСШ и приливным потенциалом. На рис. 9.1 представлена блок-схема расчета этого фазового сдвига. Основная идея методики состоит в выделении из огибающей ВСШ периодической компоненты с периодом одной из волн приливного потенциала (в данном случае речь идет о волне O_1 с периодом 25.82 час.) в заданном временном окне и последующем сопоставлении с этой волной. Прогнозные оценки, составленные по результатам анализа ВСШ в оперативном режиме обработки, в настоящее время используются при комплексной оценке сейсмической опасности региона [Чебров, Салтыков, Серафимова, 2011].

Разработанная методика имеет ограничения по эпицентральному расстоянию Δ и магнитуде ожидаемого землетрясения M . До ноября 2013 г. использовалось условие, связывающее пороговые значения магнитуды и эпицентрального расстояния: $M \geq 5.0$ при $\Delta \geq 120 \text{ км}$ и $M \geq 4.0 + 0.0083\Delta$ при $120 \text{ км} \leq \Delta \leq 400 \text{ км}$. В настоящее время используется соотношение $M \geq -3.64 + 4.06 \cdot \lg \Delta$ при условии $M \geq 5.0$. Согласно тематике монографии интерес представляет поведение ВСШ в окрестности землетрясений 28.02.2013 $Mw=6.8$, 12.11.2013 $Mw=6.4$ и ряда землетрясений 19–21.05.2013 $Mw=6.1$.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 28 ФЕВРАЛЯ 2013 г. $Mw=6.8$

На рис. 9.2 представлены графики временного хода фазового сдвига $\Delta\phi$ между приливной компонентой ВСШ и приливной волной O_1 в начале 2013 г. по данным двух станций регистрации ВСШ – «Начики» и «Карымшина». Причем для данных станции «Начики» приведены два варианта расчета, дающие хорошую сходимость. На обеих станциях наблюдалась стабилизация фазы в течение 3 недель и более, что является прогностическим признаком согласно методике. Интересен скачок фазы на ≈ 2 рад. в течение двух недель после землетрясения. Подобные эффекты наблюдались и ранее и рассматривались как свидетельство того, что стабилизация связывалась именно с произошедшим землетрясением.

Следует рассмотреть само значение фазового сдвига. Ранее в сейсмофокальной области Камчатки были выявлены зоны, в которых фазовый сдвиг принимал близкие значения перед сильными землетрясениями (рис. 9.3). Причем в соседних зонах величина фазового сдвига различается на $\approx \pi$. В рассматриваемом случае эпицентр землетрясения находится за пределами самой южной зоны, а величина фазового сдвига

отличается также на $\approx \pi$. Можно предположить, что землетрясение 28.02.2013 г. произошло в следующем, более южном блоке, который ранее никак себя не проявлял.

Поскольку по техническим причинам данные регистрации ВСШ в 2013 г. были обработаны только в марте, этот случай обнаружения предвестника следует квалифицировать как ретроспективный. Для эпицентрального расстояния до пункта «Начики» ($\Delta=270$ км) ожидаемая магнитуда должна превышать $M=6.2$. Произошедшее землетрясение соответствует этому условию.

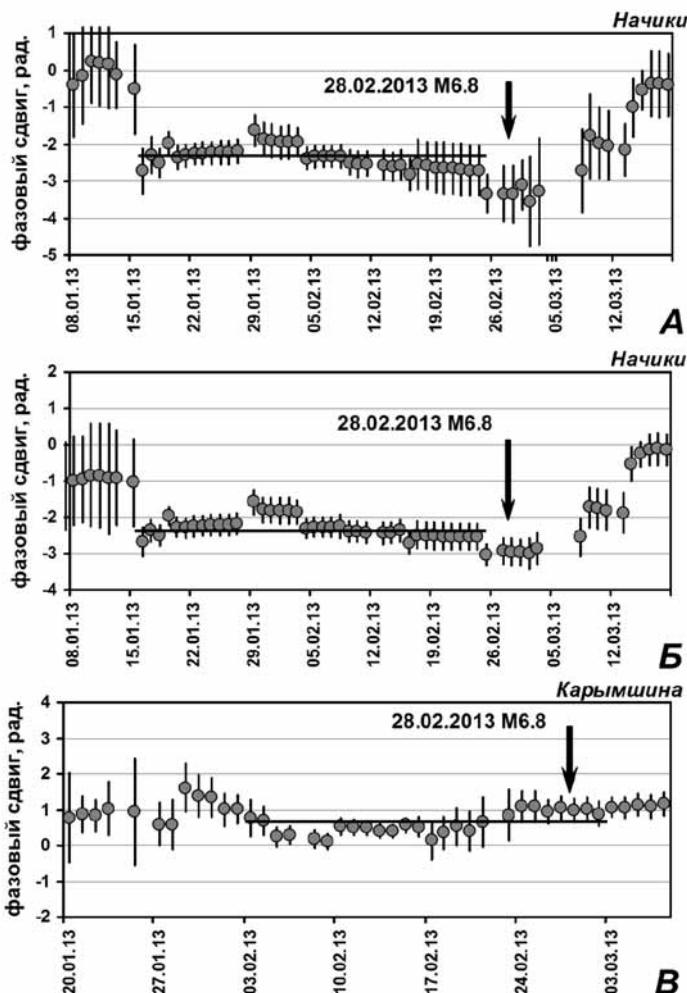


Рис. 9.2. Фазовый сдвиг приливной компоненты огибающей ВСШ по данным станций «Начики» (А, Б) и «Карымшина» (В). Для станции «Начики» представлены два варианта расчета: по оригинальным данным (А) и после удаления выбросов (Б).

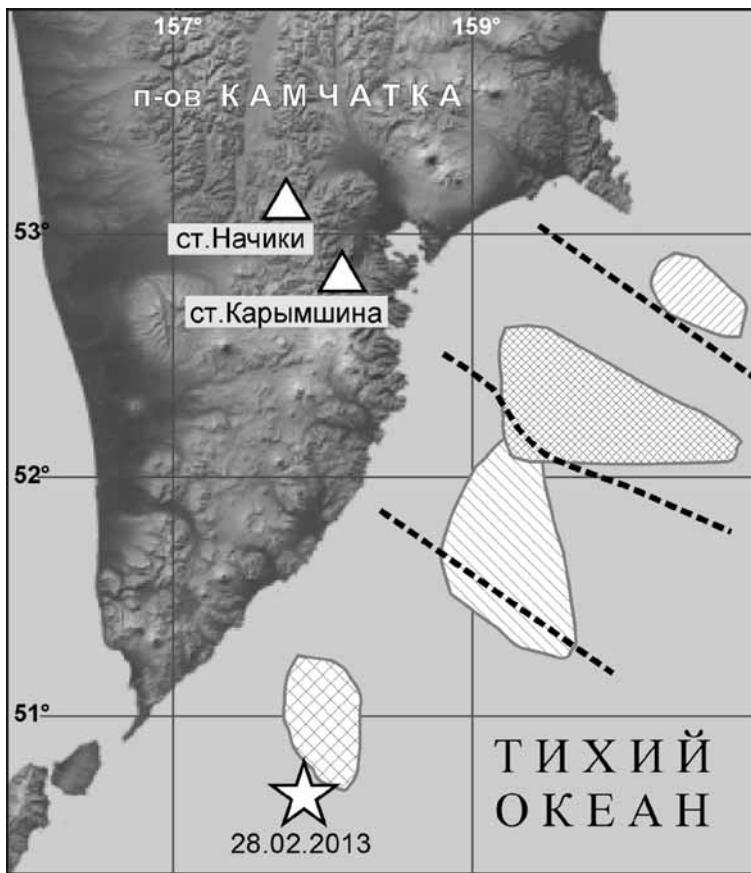


Рис. 9.3. Положение эпицентра землетрясения 28.02.2013 г. относительно ранее обнаруженных зон со сходным проявлением предвестника (близкие значения фазового сдвига). Пунктиром обозначены наиболее крупные разломы. Треугольниками отмечено положение пунктов регистрации ВСШ.

РОЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В МАЕ 2013 г. В АВАЧИНСКОМ ЗАЛИВЕ

В марте-апреле 2013 г. по данным станции «Начики» наблюдалась продолжительная стабилизация фазового сдвига между приливной компонентой ВСШ и приливным потенциалом (волна O_1) (рис. 9.4), что является предвестником сильного землетрясения в соответствии с описанной выше прогностической методикой. Необычность данного случая состоит в том, что предвестник реализовался не одним землетрясением, а тремя независимыми событиями (в контексте этого раздела рой землетрясений рассматриваются как одно событие) (рис. 9.5).

Таблица 9.1. Расчетные пороговые значения магнитуды для эпицентральных расстояний землетрясений апреля-мая 2013 г. ($M_i = 3.64 + 4.06 \cdot \lg r$)

Дата землетрясения	Магнитуда ML	Эпицентральное расстояние Δ , км	Нижняя предельная магнитуда для эпицентрального расстояния Δ
Рой 20.04.2013	$6.3 + 6.6$	360	6.7
3.05.2013	5.8	75	5.0
Рой 19–21.05.2013	$6.1+6.0+6.1+6.2+6.5$	220	5.9

Как следует из таблицы 9.1, каждое из этих трех событий могло предваряться наблюдаемым предвестником. Так как наблюдавшая ранее, перед другими сильными событиями, стабилизация могла как прекратиться за 1–2 недели до землетрясения, так и продолжаться 1–2 недели после него, то нет оснований отдавать предпочтение какому-то одному из них на основе графика (рис. 9.4). Возможно, рассматриваемая стабилизация ВСШ является кумулятивным эффектом подготовки всех этих землетрясений. Однако, приняв во внимание поведение другого параметра ВСШ – амплитуда второй гармоники модуляции приливом (см. ниже), можно связать предвестник именно с роем 19–21.05.2013. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 не связывается с этой стабилизацией ВСШ, так до настоящего времени соответствие стабилизаций фазы ВСШ времени сильных глубоких землетрясений не наблюдалось.

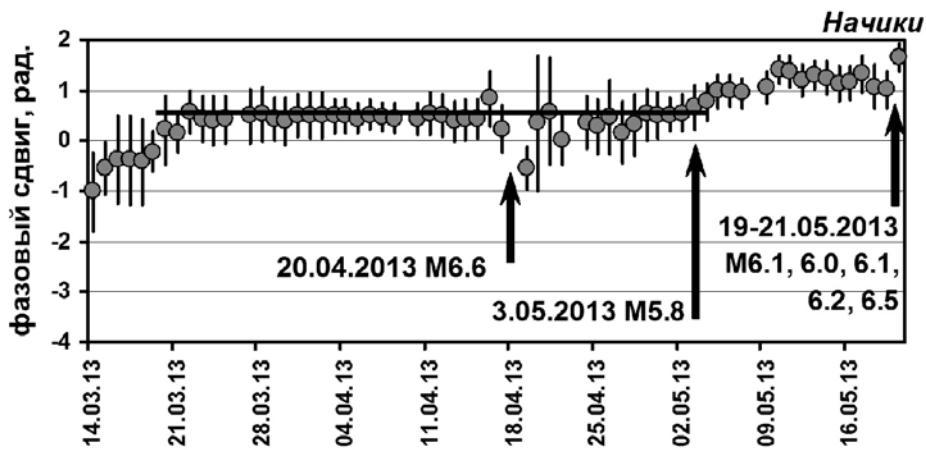


Рис. 9.4. Фазовый сдвиг приливной компоненты огибающей ВСШ по данным станции «Начики» в марте-мае 2013 г.

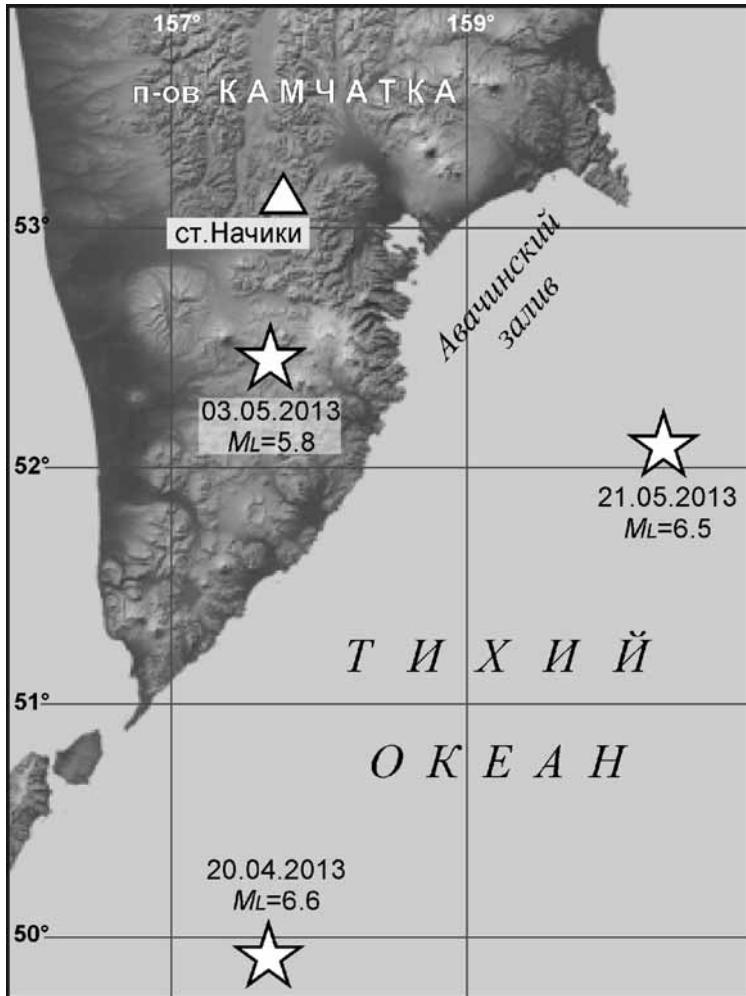


Рис. 9.5. Положение рассматриваемых сильных землетрясений апреля-мая 2013 г. относительно пункта регистрации ВСШ «Начики».

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 12 НОЯБРЯ 2013 г., $M_w=6.4$, $ML=6.8$.

Наблюдающаяся в октябре-ноябре стабилизация фазового сдвига ВСШ (рис. 9.6) стала основанием для подачи прогностического заключения о подготовке сильного землетрясения в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений (КФ РЭС) 22 октября 2013 г. с последующим уточнением формулировки 7 ноября 2013 г.:

«Возможно землетрясение до 18 ноября (включительно) на глуби-

не до 300 км с магнитудой M , зависимой от эпицентрального расстояния Δ [км]:

$$M \geq 5.0.$$

$$M \geq -3.64 + 4.06 \cdot \lg \Delta.$$

Вероятность P реализации предвестника в течение 12 дней (7–18 ноября): для магнитуды $M \geq 5.0$ $P=0.31$, $M \geq 5.5$ $P=0.19$, $M \geq 6.0$ $P=0.10$, $M \geq 6.5$ $P=0.05$.

Уточнение связано с внедрением модифицированной методики прогноза. Изменения методики коснулись коррекции соотношения магнитуда–расстояние и добавления оценки вероятности реализации прогноза.

Произошедшее землетрясение соответствует поданному прогнозу по всем параметрам (время, энергия, пространство). Эпицентральное расстояние до пункта «Начики» составило 350 км, что оказалось меньше предельного эпицентрального расстояния для $ML=6.8$ – 370 км. Время тревоги составило 21 сутки.

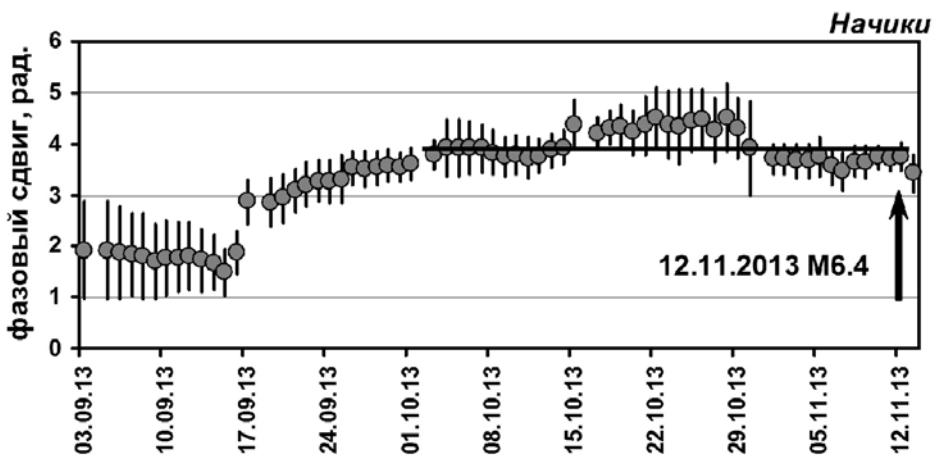


Рис. 9.6. Фазовый сдвиг приливной компоненты огибающей ВСШ по данным станции «Начики» в сентябре-ноябре 2013 г.

МОНИТОРИНГ МОДУЛЯЦИИ ВСШ НА ВТОРОЙ ГАРМОНИКЕ ПРИЛИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Одним из следствий предложенной в [Зайцев и др., 2011] модели приливной модуляции эндогенных сейсмических шумов за счет модуляции размера области их сбора, обусловленной негистерезисным амплитудно-зависимым поглощением в земных породах, является временное возрастание второй гармоники модуляции ВСШ приливным воздействием в окрестности сильного землетрясения. На рис. 9.7 представлен врем-

менной ход второй гармоники отклика ВСШ на воздействие приливной волны O_1 . Во всех трех рассмотренных случаях аномально высокие значения амплитуды второй гармоники модуляции связываются с сильными землетрясениями.

Следует обратить внимание на соответствие аномалии второй гармоники майскому рою в Авачинском заливе. Это позволяет отдать предпочтение связи стабилизации фазы ВСШ в марте-мае 2013 г. (рис. 9.4) именно с этими землетрясениями.

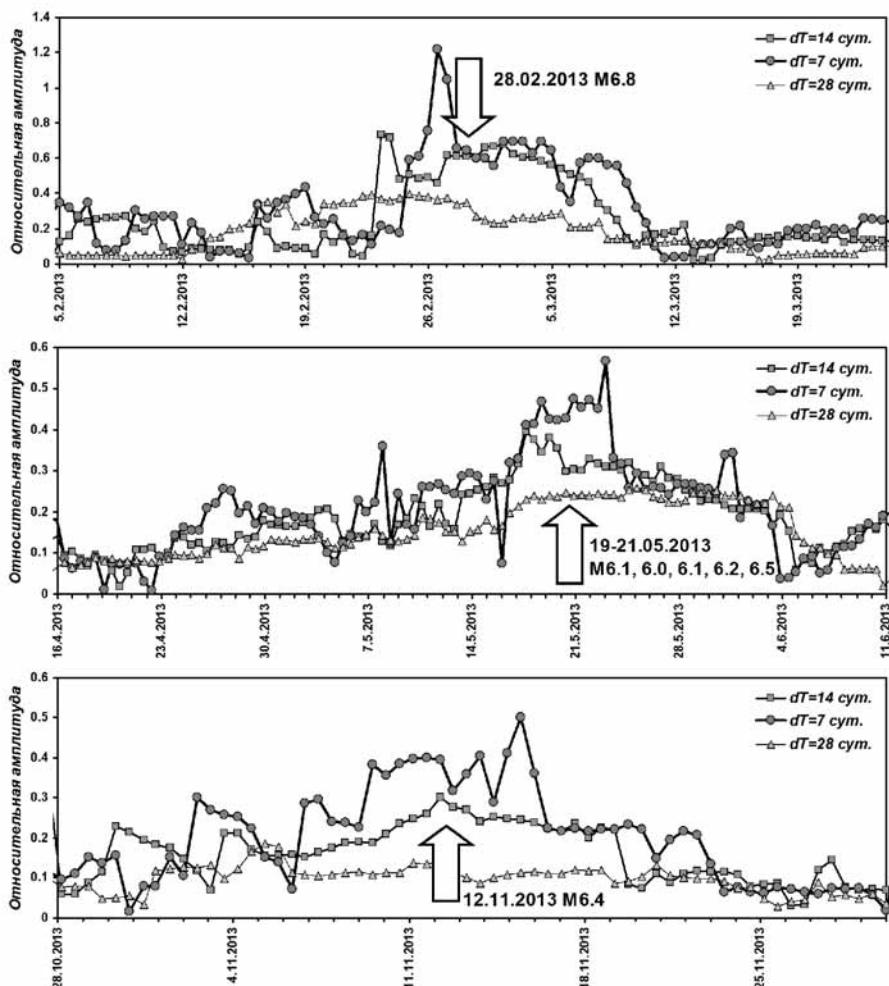


Рис. 9.7. Временной ход относительной амплитуды компоненты огибающей ВСШ с периодом $T=T(O_1)/2=12.91$ час. (нормировка на среднее значение огибающей ВСШ). Приведены амплитуды, рассчитанные в скользящих временных окнах dT различной ширины. Каждая точка привязана к середине окна. Стрелкой показано время сильного землетрясения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как результат проводящегося на Камчатке мониторинга параметров высокочастотного сейсмического шума, в частности, амплитуды и фазы компонент огибающей ВСШ, связываемых с откликом на приливное воздействие, были обнаружены аномалии, предварявшие локальные сильные землетрясения 2013 г.: 28 февраля 2013 г. $Mw=6.8$, рой землетрясений в мае в Авачинском заливе, землетрясение 12 ноября $Mw=6.4$.

Параметры предвестников (в первую очередь – длительность стабилизации фазового сдвига) и землетрясений (магнитуда, эпицентральное расстояние, время) соответствуют прогностической методике, разработанной и используемой в КФ ГС РАН.

Поведение параметров ВСШ при подготовке и реализации землетрясения соответствует предложенной ранее модели приливной модуляции [Зайцев и др., 2011], что стало очередным подтверждением ее адекватности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00521).

ГЛАВА 10

Аномальное поведение ионосферных параметров накануне и после серии землетрясений 28.02–01.03.2013 г.

Исследование солнечно-земных связей выявило прямую зависимость между солнечной активностью и процессами в магнитосфере, ионосфере и литосфере. Однако существует и обратная связь, определяющая влияние литосферных процессов сейсмоактивных регионов на ионосферу и магнитосферу. Можно сказать, что на ионосферных высотах и в магнитосфере происходит как бы отображение и осреднение процессов, происходящих в земной коре на территориях размером в сотни километров. В свою очередь, ионосфера, в общей последовательности геосферных оболочек, представляет собой чувствительный датчик, который может легко запасать и преобразовывать солнечную энергию. Любые малые воздействия на ионосферу могут привести к триггерным эффектам с энерговыделением, значительно превышающим энергию первичных возмущающих факторов солнечного или литосферного происхождения. Современными исследованиями установлено, что земная кора, образующая динамическую структуру и реагирующая на проявления солнечной активности, оказывает влияние на физические процессы, протекающие в верхних геосферных оболочках. В свою очередь, каждый сейсмоактивный регион характеризуется своими, наиболее информативными особенностями (аномалиями) в поведении параметров ионосферы, которые могут быть отождествлены с предвестниками землетрясений [Сорокин, Чмырев и др., 1998; Страхов, Мигулин, 1998]. В Камчатском регионе к таким особенностям, как показывают многолетние исследования динамики ионосферных параметров накануне землетрясения, можно отнести следующие:

- 1) высыпание за несколько часов до землетрясения заряженных частиц из радиационных поясов в ионосферу;
- 2) формирование за 1–3 суток до землетрясения диффузационного спорадического слоя E_s (E_s -spread);

3) за 1–5 суток аномальное повышение критической частоты $f_o F2$ (рост концентрации электронов), превышающее медианные значения на фоне развития магнитной бури*;

4) формирование за 1–3 суток на фоне спокойной магнитосферы диффузационного слоя F2 (F2-spread) длительностью в несколько часов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Автоматическая ионосферная станция (АИС) вертикального радиозондирования установлена в с. Паратунка Елизовского района Камчатского края (ИКИР ДВО РАН). Наблюдения ведутся в импульсном режиме на частотах от 1 до 15 MHz. Режим зондирования: один раз в 15 минут. Приемные станции томографического зондирования (разработка ОАО «Российские космические системы») установлены в селах Паратунка, Мильково и Эссо (см. рис. 10.1) и обслуживаются ИКИР ДВО РАН. Время работы станций определяется временем пролета низколетящих навигационных космических аппаратов, оснащенных соответствующей передающей аппаратурой. Приемники GPS-радиоинтерферометрии (см. рис. 10.1) принадлежат КФ ГС РАН и информация с них передается ИКИР ДВО РАН согласно Договору о научно-техническом сотрудничестве.

27 февраля на фоне спокойной магнитосферы ($K_{\Sigma}=6$), с 10^h00^m UT (здесь и далее время берется по UT) начинается турбулизация слоя F2 (диффузия слоя, так называемый F2-spread). Однако еще до 14^h00^m аппаратным способом возможна регистрация значений критической частоты $f_o F2$ (см. рис. 10.2а). С 14^h00^m до 21^h00^m регистрируется полная диффузность слоя F2 (режим F). С 00^h00^m до 01^h00^m наблюдается E_s -spread. Динамика турбулизации слоя F2 хорошо просматривается на томограммах (см. рис. 10.3). На рис. 10.3 а видно, что 27.02 в 08^h00^m (на рис. 10.3 в скобках указано местное камчатское время) максимум распределения электронов слоя F2 приходится на 300 км с небольшими локальными образованиями, наблюдаемыми чуть южнее и севернее с. Паратунки. Но уже при следующем пролете спутника в 11^h24^m (UT) фиксируется турбулизация слоя F2 (см. рис. 10.3.б) с увеличением высоты его максимума до ~350 км. По данным АИС турбулентность в слое F2 прекращается в 21^h00^m (UT), что хорошо видно на томограмме рис. 10.3 в при пролете спутника в 22^h07^m.

* При обычном развитии магнитосферной бури в ионосфере за счет вихревого электрического поля возникает дрейф, который приводит к смещению электронов на большие высоты и к уменьшению их концентрации.

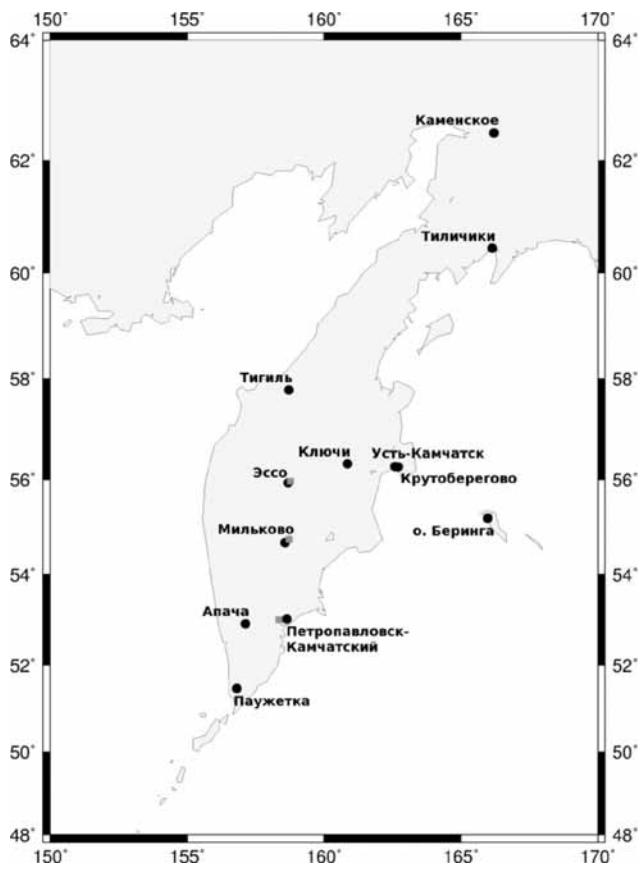


Рис. 10.1. Схема расположения приемных станций спутниковой информации на п-ове Камчатка. Томографические станции обозначены серыми квадратами, станции GPS-радиоинтерферометрии – черными квадратами.

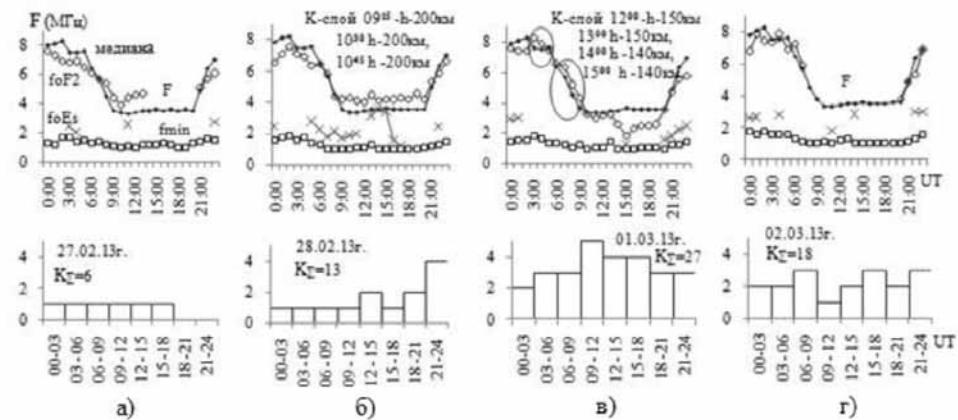


Рис. 10.2. Динамика суточных значений критических частот f_oF2 (обозначение: ромбик без заливки), спорадического слоя f_oE_S (крестик), минимальных частот f_{min} (квадрат без заливки).

Причем геомагнитная активность 27 февраля характеризовалась низким уровнем ($K_{\Sigma}=6$) и не могла явиться причиной формирования F2-spread

28.02.2013 г. с 06^h00^m по данным АИС начинает формироваться спорадический слой E_s , а с 06^h 00^m и до 11^h00^m на высоте 200 км регистрируется корпускулярный слой K, обусловленный высыпанием частиц (см. рис. 10.2б). При этом в спокойных геомагнитных условиях (3-х часовой индекс K в это время равен 1), наблюдается турбулизация слоя F2, но аппаратным способом критические частоты фиксируются. На томограммах во время пролета в 05^h03^m диффузия отсутствует, но была зарегистрирована при пролетах в 08^h26^m и 11^h28^m. Томограммы подобны томограммам за 27.02 (рис. 10.3) и поэтому не приведены.

28.02.2013 г. в 14^h05^m произошло землетрясение с магнитудой $M_c=6.9$.

Как видно из рис. 10.2в, 01.03.2013 г. была зарегистрирована сильная магнитная буря с суточным значением индекса геомагнитной активности $K_{\Sigma}=27$. Кроме того, с 12^h00^m до 15^h00^m было зафиксировано образование корпускулярного слоя, который обусловлен высыпанием заряженных частиц из радиационных поясов. С 04^h00^m до 06^h00^m и с 07^h00^m до 10^h00^m было зарегистрировано аномальное превышение значений критической частоты по сравнению с медианными значениями, рассчитанными за последние 30 дней (на рис. 10.2в выделены двумя овалами).

Поскольку в ИКИР ДВО РАН отсутствует обработка ионосферных данных в реальном времени, в лучшем случае, через сутки, то аномалии были обнаружены только 02.03.2013 г. В противном случае сигнал был бы сформирован 01.03.2013 г. не позднее 12^h00^m при регистрации трехчасового индекса геомагнитной активности $K=4$ в реальном времени (интервал времени с 09^h00^m до 12^h00^m).

01.03.2013 г. произошло два землетрясения в 12^h 53^m с магнитудой $M_c=5.9$ и в 13^h 20^m с $M_c=6.5$.

02.03.2013 г. состояние магнитного поля определялось умеренной возмущенностью с $k_r=18$ (см. рис. 10.2в), период времени с 08^h00^m до 21^h00^m характеризовался режимом «F» (F2-spread) – все это соответствовало обычному ходу развития магнитной бури без аномального поведения параметров ионосферы.

Известно, что максимальные линейные размеры области формирования предвестников землетрясений от эпицентра связаны с магнитудой события формулой Добровольского $R \sim \exp M$ [Добровольский, 1991]. Поэтому при ретроспективном анализе сейсмического события, т. е. при его уже известных координатах и магнитуде, мы можем оценить область, в которой возможна регистрация предвестника. Однако регистрация предвестника в реальном времени в одной точке (например, с помощью АИС) и определение его интенсивности («степень аномальности»)

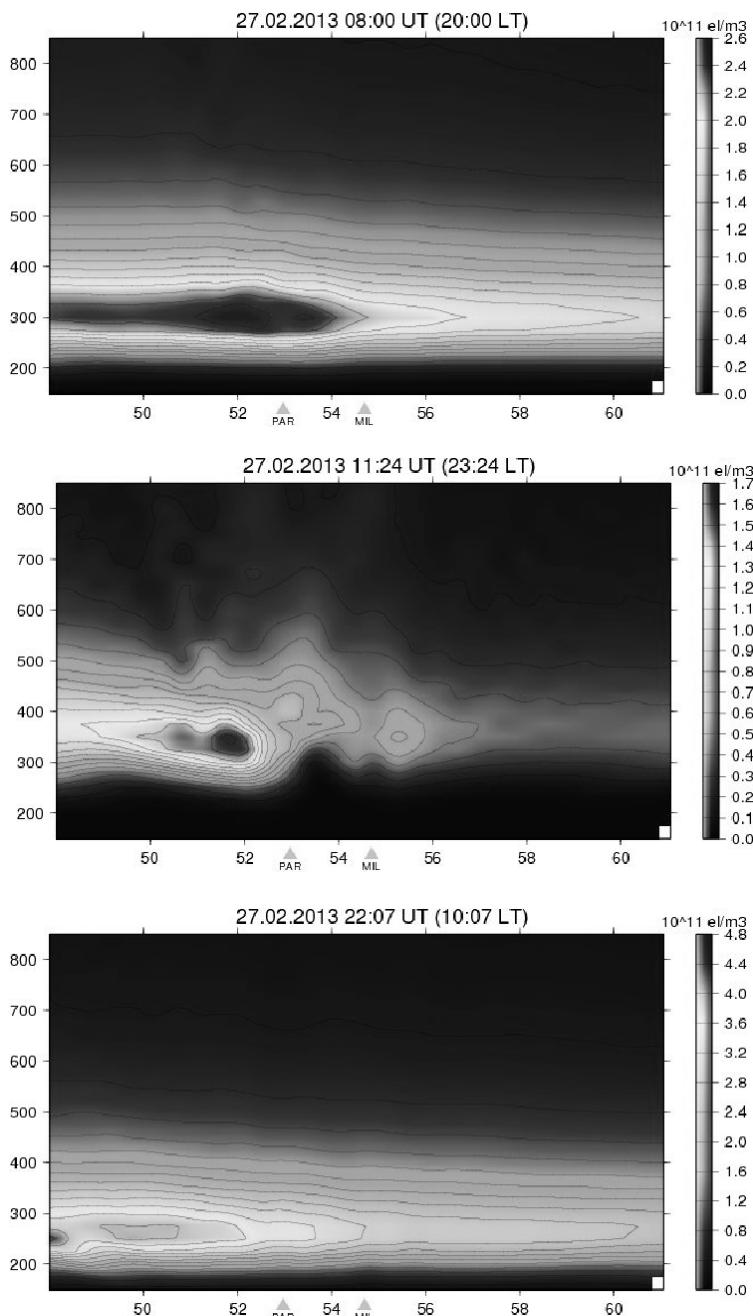


Рис. 10.3. Томограммы распределения электронов по высоте (вертикальная ось в км) и широте (горизонтальная ось в градусах) за 27.02.2013 г. Треугольниками отмечены широты приемных станций в с. Паратунка (Par) и с. Мильково (Mil). Справа от рисунков представлена цветовая шкала распределения электронов с численным множителем 10^{11} ($\text{эB}/\text{m}^3$).

не позволяет однозначно ответить на вопрос «где» и «какой» силы ожидается землетрясение. Для ответа на вопрос «где» можно воспользоваться теоретико-вероятностным подходом, подробно описанном в [Богданов, 2006; Богданов и др., 2010].

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Для трех сейсмоактивных областей (рис. 10.4) были вычислены временные ряды вероятностей случайного события попадание эпицентров сейсмических событий, произошедших в выбранном объеме V , в заданные интервалы широты $\Delta\phi_i$ и долготы $\Delta\lambda_i$, проходя выбранный временной интервал ΔT с 1990.01.01 по 2013.05.01 гг. с окном $\Delta T = 1$ год и скользящим шагом $\Delta t = 10$ суток. На рис. 10.5–10.7 представлены временные ряды вероятностей для каждой из рассматриваемых областей S_1 , S_2 , S_3 , выбранных согласно делению Камчатского региона на зоны сейсмичности [Чебров и др., 2012]. На временной шкале каждого графика отмечено время сейсмических событий с энергетическим классом $K_s \geq 13$, произошедших в соответствующей области. Анализ рассчитанных рядов вероятностей показал, что наибольшая сейсмическая ак-

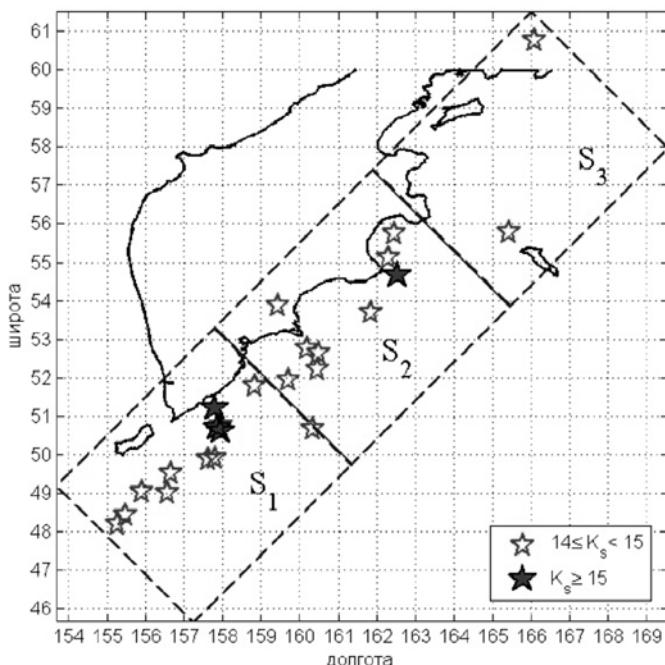


Рис. 10.4. Расположение исследуемых сейсмоактивных областей S_i . Расположение эпицентров сейсмических событий.

тивность за рассматриваемый период T наблюдалась в области S_2 , для которой средняя вероятность составила 0.57. Наименьшая – в области S_3 со средней вероятностью 0.13.

Для области S_1 средняя вероятность составила 0.3. В области S_3 заметное повышение вероятности происходило только в 1999 и 2006 гг. Для области S_2 в период 1990–2000 гг. характерна высокая сейсмическая активность, особенно в 1990–1993 гг., а также после Кроноцкого события в 1997–1999 гг., когда вероятность попадания сейсмических событий в эту область была ≈ 0.9 . В последующие годы сейсмическая активность в области S_2 стала снижаться и, начиная с 2006 г. вероятность стала меньше среднего многолетнего уровня. В области S_1 повышение сейсмоактивности было в 1993–1994 гг., когда вероятность попадания сейсмических событий в эту область достигла 0.5. Начиная с 2007 г. в S_1 происходил рост вероятностей, превысивший в 2 раза средний многолетний уровень в 2010–2013 гг. В период с 2011 г. по апрель 2013 г. в этой области произошло 11 сейсмических событий с энергетическим классом $K_s \geq 14$. Таким образом, с помощью представленного метода, основанного на применении теоретико-вероятностного подхода к каталогу Камчатских землетрясений, позволившего вычислить вероятности попадания сейсмических событий в заданные сейсмоактивные области, удалось обнаружить рост сейсмической активности, происходивший на протяжении 2007–2010 гг. в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки (область S_1) и предшествовавший серии крупных землетрясений с $K_s \geq 14$, произошедших в этой зоне в 2011–2013 гг.

Анализ данных, полученных с помощью GPS-радиоинтерферометрии, не выделило аномальных особенностей, которые могли бы быть отождествлены с предвестниками сейсмических событий.

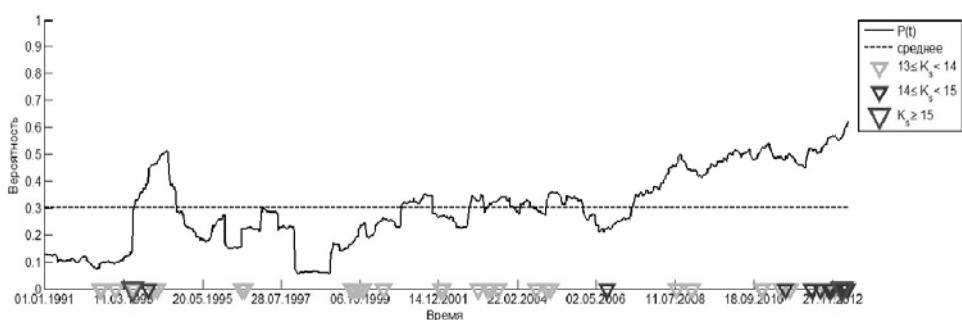


Рис. 10.5. Временной ряд вероятностей попадания сейсмических событий в область S_1 .

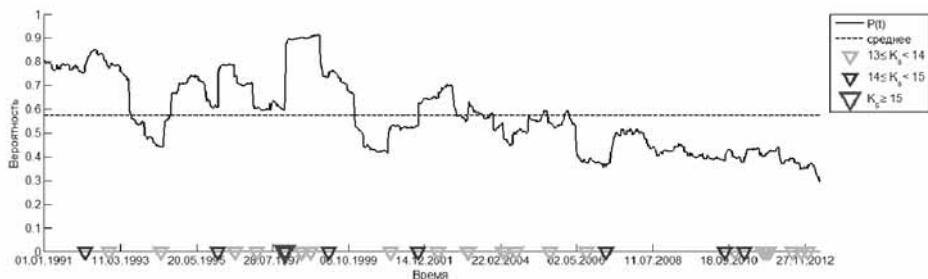


Рис. 10.6. Временной ряд вероятностей попадания сейсмических событий в область S_2 .

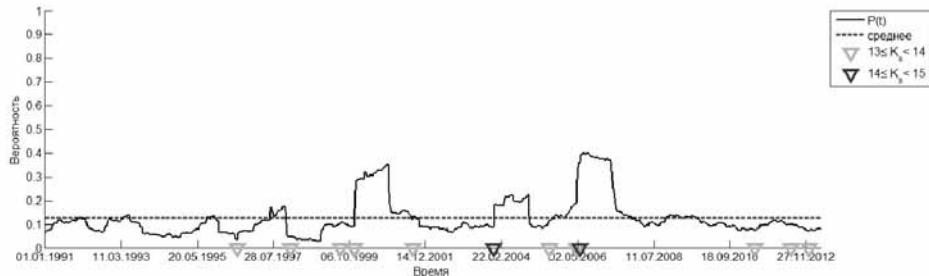


Рис. 10.7. Временной ряд вероятностей попадания сейсмических событий в область S_3 .

ВЫВОДЫ

Ретроспективный анализ формирования информативных в Камчатском регионе ионосферных предвестников землетрясений, регистрируемых радиофизическими методами, за период 27.02–02.03.2013 г. показал: **накануне сейсмических событий, произошедших 28.02.2013 г. в 14^h05^m UT с магнитудой $M_c=6.9$ и 01.03.2013 г. в 12^h 53^m с магнитудой $M_c=5.9$ и в 13^h 20^m с магнитудой $M_c=6.5$, сформировались все четыре, отмеченные выше, признака.**

Всем землетрясениям за несколько часов предшествовало высыпание частиц (п.1); за сутки произошло формирование диффузационного спорадического слоя E_s (E_s -spread) (п. 2); за сутки до события 28 февраля предшествовало формирование на фоне спокойной магнитосферы диффузационного слоя $F2$ ($F2$ -spread) (п. 4); землетрясениям 1 марта за несколько часов предшествовало аномальное повышение значений критической частоты $f_o F2$, превышающее медианные значения на фоне развития магнитной бури (п. 3).

Применение теоретико-вероятностного подхода к каталогу Камчатских землетрясений позволило вычислить вероятности попадания сейсмических событий в сейсмоактивную область S_1 и установить для нее рост сейсмической активности, происходивший на протяжении 2007–2010 гг. в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки (область S_1) и предшествовавший серии крупных землетрясений с $K_s \geq 14$, произошедших в этой зоне в 2011–2013 гг., включая события за 28 февраля и 1 марта 2013 г.

Использование средств GPS-радиоинтерферометрии не позволило выделить никаких аномальных особенностей, которые можно было бы отождествить с предвестниками сейсмических событий.

ГЛАВА 11

О прогнозе Южно-Камчатского землетрясения (28.02.2013 г., $Mw=6.8$) по данным комплексных скважинных геофизических измерений

С 2000 г. в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН активно ведутся работы, целью которых является разработка новых перспективных методов мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды. Акцент в работах делается на комплексные геофизические измерения в достаточно глубоких скважинах, что во многих случаях позволяет получать результаты, недостижимые при измерениях на поверхности. В настоящее время сеть измерений состоит из четырех радиотелеметрических пунктов, расположенных на территории Петропавловско-Камчатского геодинамического полигона и Центра сбора и обработки информации в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Базовыми являются скважинные геоакустические измерения с установкой геофонов и гидрофонов на глубинах от 210 м до 1 024 м, а также электромагнитные измерения в СНЧ-диапазоне частот с использованием подземных электрических антенн, проводимые непрерывно на всех измерительных пунктах. На основе результатов указанных измерений делаются предварительные оценки напряженно-деформированного состояния геосреды. При этом анализируются данные о параметрах откликов геоакустической эмиссии (ГАЭ) на внешнее электромагнитное воздействие и результаты измерений уровня фонового электромагнитного излучения (ЭМИ) в СНЧ-диапазоне частот. Для уточнения оценок напряженно-деформированного состояния геосреды данные скважинных геоакустических и электромагнитных измерений анализируются совместно с данными гидрогеохимических и гидрогоеодинамических измерений, проводимых Камчатским филиалом ГС РАН. При выборе видов измерений для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды основной акцент делается на необходимость понимания физической сути процессов, обусловливающих появление аномалий во временных окрестностях сильных землетрясений. Достаточно детально указанные вопросы рассмотрены в [Gavrilov, et al., 2013].

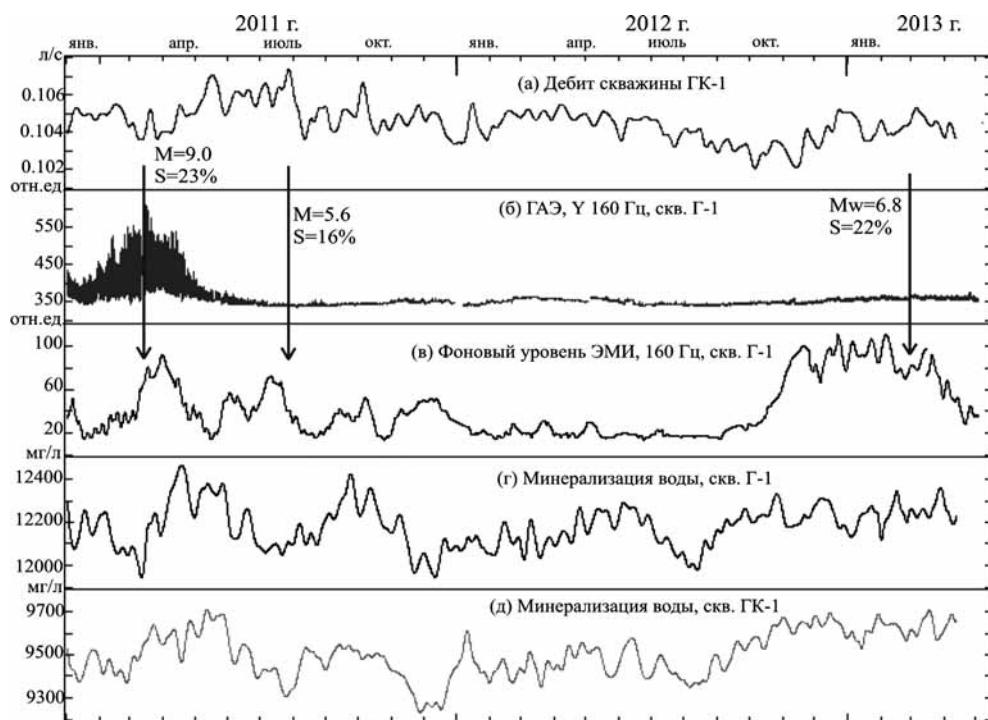


Рис. 11.1. Результаты комплексных скважинных измерений во временной окрестности сильных землетрясений в 2011–2013 гг.: (а) – дебит воды скважины ГК-1, интервал осреднения – 14 суток; (б) – среднеквадратические значения ГАЭ на глубине 1 012 м; (в) – уровень фонового ЭМИ, интервал осреднения – 14 суток, (г) – минерализация воды скважины Г-1, интервал осреднения – 14 суток; (д) – минерализация воды скважины ГК-1, интервал осреднения – 14 суток.

При рассмотрении результатов комплексных скважинных измерений за период с января 2011 г. по апрель 2013 г. (рис. 11.1), прежде всего, обращает на себя внимание бухтообразная аномалия уровня фонового ЭМИ, рост которой начался в сентябре 2012 г. (рис. 11.1в). К январю 2013 г. уровень фонового уровня ЭМИ в диапазоне частот 147–186 Гц вырос примерно в 6.5 раз в сравнении со значениями в сентябре 2012 г. Согласно [Gavrilov, et al., 2013] такой характер изменений указанного параметра свидетельствует о значительном росте сжимающих напряжений в районе скважины Г-1, что согласуется с результатами измерений дебита воды скважины ГК-1 и синхронном увеличении минерализации воды скважин Г-1 и ГК-1. Как видно из представленных на рис. 11.1 данных, землетрясение 28 февраля 2013 г. произошло в начале стадии спада напряжений.

Следует отметить, что по результатам многолетних измерений все относительно сильные события глубиной до 150 км, выбранные по критерию $S \geq 16\%$ ($S = L_p / R_h \geq 16\%$, где $L_p = 10^{0.44M-1.29}$ – длина очага земле-

трясения [Ризниченко, 1976], R_h – гипоцентральное расстояние), сопровождались значительными аномалиями уровня фонового ЭМИ. Так, например, с мегаземлетрясением ($M=9.0$) в районе Тохоку, Япония, произошедшим 11 марта 2011 г. на эпицентральном расстоянии $R=2049 \text{ км}$, связана аномалия фонового ЭМИ порядка 350 % (см. рис. 11.1в). Во временной окрестности Симуширских землетрясений 2006–2007 гг. ($M=8.3$ и 8.1) величина аномалии ЭМИ составила около 550 % [Гаврилов, 2009]. Аномалия фонового ЭМИ во временной окрестности землетрясения с магнитудой $M=6.9$, произошедшего 28 февраля 2013 г., явилась наиболее значительной за все время измерений (650 %).

Значительное увеличение уровня фонового ЭМИ в декабре 2012 г. и согласованность этой аномалии с результатами измерений дебита воды скважины ГК-1 и минерализации воды скважин Г-1 и ГК-1 послужили основанием для Заключения о сейсмической опасности для Камчатского края, поданном вед. научным сотрудником к.т.н. В. А. Гавриловым 27.12.2012 г. в Камчатский филиал РЭС. В указанном заключении указывалось на **повышенную вероятность** землетрясений магнитуды $M_{\text{LH}} \geq 6.5$ в зоне радиусом $R \leq 300 \text{ км}$ от центра г. Петропавловска-Камчатского и $M_{\text{LH}} \geq 7.0$ в зоне $R \leq 550 \text{ км}$ с глубиной очагов менее 150 км. Подобные заключения были поданы также 11 и 25 января 2013 г.

В Заключении о сейсмической опасности для Камчатского края, поданном 4 февраля 2013 г., сообщалось уже о **значительно повышенной вероятности** землетрясений магнитуды $M_{\text{LH}} \geq 6.5$ в зоне радиусом $R \leq 300 \text{ км}$ от центра г. Петропавловска-Камчатского и $M_{\text{LH}} \geq 7.0$ в зоне $R \leq 550 \text{ км}$ с глубиной очагов менее 150 км на период с 04 февраля 2013 г. по 15 февраля 2013 г. включительно. Фактически указанный в заключениях прогноз оправдался в отношении эпицентральных расстояний возможных землетрясений и их магнитуд. Полученные результаты подтверждают перспективность новых методов мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды на основе комплексных скважинных измерений.

ГЛАВА 12

О ключевой роли резонансных ритмов в подготовке глубокого Охотоморского землетрясения **24 мая 2013 г., Mw=8.3**

Известно, что разрушительные резонансные явления становятся наиболее опасными, когда собственные колебания осциллятора с периодом T_x и периодом вынуждающей силы T_y , отвечают примерному равенству $nT_x \approx mT_y$, где n и m – целые числа. В данной работе используются резонансные ритмы, для которых $nT_x = mT_y$. Выявлен значимый резонансный ритм для десяти сильнейших глубоких ($h \geq 340$ км) Курило-Камчатских землетрясений 1900–2013 гг. Показано, что подготовка Охотоморского землетрясения с $Mw = 8.3$ и глубиной 609 км связана со статистически значимым резонансным откликом мировых землетрясений с $M \geq 6.5$ в интервале август 2012 г.– май 2013 г.* Это указывает на общепланетарную резонансную природу процессов подготовки события с $Mw = 8.3$.

ВВЕДЕНИЕ

В физике известно [Бялко, 1989; Вайнберг, Писаренко, 1965; Фейнман и др., 1976], что разрушительные резонансные явления становятся наиболее опасными, когда собственные колебания осциллятора с периодом T_x примерно становятся кратными периоду колебаний вынуждающей силы T_y , т. е. когда

$$nT_x \approx mT_y \quad (1),$$

где n и m – целые числа. В данной работе впервые для целей прогноза землетрясений рассматривается частный случай уравнения (1):

$$nT_x = mT_y \quad (2).$$

Новизна методики заключается также в том, что используются не только известные астрономические ритмы, например, лунный 18.613 г., но и функционально зависящие от него так называемые убрать комбинационные устойчивые ритмы, отсутствующие в астрономических

* На ритм $(^1/_{12})$ года, связанный с годовым обращением центра масс системы Земля-Луна по эклиптике.

справочниках. Изучение отклика землетрясений на эти новые ритмы дает возможность решения различных геодинамических задач.

Интерес к изучению явлений, связанных в окружающей нас жизни с различными видами резонанса, понятен, так как резонансы часто приводят к разрушению различных технических сооружений и устройств: «При действии на сооружение периодической нагрузки с определенной частотой, особенно значительные колебания будут возникать в той части сооружения, которая имеет собственную частоту, близкую к этой частоте или кратную ей. Таким образом, в этой части конструкции ... может возникнуть явление резонанса» [Вайнберг, Писаренко, 1965, стр. 106]. В работе этих авторов приводятся различные примеры катастрофических явлений, связанных с резонансной вибрацией крыльев самолетов, металлорежущих станков, подвесных мостов и т.д. Более полно явления резонанса и их роль в физике рассматриваются в главе «Резонанс» [Фейнман и др. 1976, стр. 387–403]. Можно предположить, что резонансные явления могут являться причиной возникновения различных опасных природных явлений, в частности, сильных землетрясений [Широков, 2013а, Широков, 2013б].

Цель данной работы заключается в том, чтобы показать ключевую роль резонансных ритмов и выявить значимый отклик на них мировых землетрясений при подготовке глубокого Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. с $Mw=8.3$.

РАСЧЕТ НОВЫХ РЕЗОНАНСНЫХ РИТМОВ, СВЯЗАННЫХ С ЛУННЫМ РИТМОМ 18.613 г.

Рассчитаем один комбинационный ритм, который является комбинацией лунного ритма 18.613 г. и его долей. В [Широков, 2013а] показано, что период соединения Юпитера и Сатурна (T_{ioc}), рассчитываемый как произведение сидерических периодов их обращения вокруг Солнца ($T_{\text{ю}}=11.86223$ г., $T_c=29.45772$ г.), поделенное на модуль разности $T_{\text{ю}}$ и T_c , находится в резонансе с лунным ритмом 18.613 г., т.к.

$$T_{\text{ioc}}/16 = 19.8593076927 \text{ г.} / 16 = 1.24120673079 \approx 18.613 \text{ г.} / 15 = 1.24086(6) \text{ г.};$$

последний ритм будет использоваться далее для расчета комбинационного ритма. В [Широков, 1977] для камчатских землетрясений и извержений впервые выявлен значимый отклик на ритм

$$18.613 \text{ г.} / 3 = 6.2043(3) \text{ г.}$$

Воспользуемся комбинацией основного лунного ритма 18.613 г. и его указанных выше долей. Термины *доли* и *кратные* основного периода ритма заимствованы из [Гусев, Петухин, 1997]. В результате получим комбинационный ритм по формуле

$$18.613 \text{ г.} + 18.613 \text{ г.} / 3 + 18.613 \text{ г.} / 15 = 26.0582 \text{ г.}$$

Существенно, что этот комбинационный период ритма связан с лунным периодом 18.613 г. точной формулой резонанса

$$7(18.613 \text{ г.}) = 5(26.0582 \text{ г.}) = 130.291 \text{ г.}$$

Значение 130.291 г. может быть названо полным циклом резонанса, т.к. каждые 130.291 г. резонанс повторяется заново, т. е. фазы двух рассматриваемых ритмов вновь одновременно становятся равны нулю. При этом ритмы 26.0582 г. и 18.613 г. являются пятой и седьмой долями полного цикла 130.291 г.

Возьмем теперь кратное (утроенное) значение полного цикла резонанса 130.291 г. При этом можно записать точные равенства:

$$3(130.291 \text{ г.}) = 390.873 \text{ г.} = 15(26.0582 \text{ г.}) = 21(18.613 \text{ г.}) = 40(9.771825 \text{ г.}) = 5(78.1746 \text{ г.}).$$

При делении левой и правой частей равенства $15(26.0582 \text{ г.}) = 40(9.771825 \text{ г.})$ на 5, получим уравнение резонанса

$$3(26.0582 \text{ г.}) = 8(9.771825 \text{ г.}) = 78.1746 \text{ г.}$$

В данной работе далее используется четвертая доля резонансного ритма **9.771825 г.**, т.е. резонансный ритм

$$9.771825 \text{ г.} / 4 = \mathbf{2.44295625 \text{ г.}}$$

Как видно из уравнений резонансов

$$21(18.613 \text{ г.}) = 40(9.771825 \text{ г.}) = 160(\mathbf{2.44295625 \text{ г.}}) = 390.873 \text{ г.}$$

Эти равенства являются точными, т. е. мы имеем дело с точными целочисленными резонансами [Бялко, 1989]. Т. к. все новые рассчитанные резонансные ритмы связаны формулой точного резонанса с лунным ритмом 18.613 г., поэтому их можно считать связанными с обращением центра масс системы Земля–Луна вокруг Солнца, причем ритм 18.613 г. является одной из возбуждающих сил.

Для любого устойчивого ритма с периодом T_1 фаза события $\Phi(T_1)$, произошедшего в момент времени t , рассчитывается по формуле

$$\Phi(t) = (t - t_{01}) / T_1 - \text{Entier}((t - t_{01}) / T_1) \quad (3),$$

где Entier – целая часть, а t_{01} – условно выбранная начальная нулевая дата, которая по времени меньше даты любого события каталога [Гусев, Петухин, 1997]. В данной работе принято, что начальная нулевая дата t_{01} , для которой фазы всех ритмов равны 0, соответствует времени 1700.0 г. Фаза Φ меняется от 0.0 до 1.0 по кольцу, поэтому $\Phi=0.0$ и $\Phi=1.0$ тождественно равны.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ О МИРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

В работе используются данные о глубоких ($He \geq 340 \text{ км}$) Курило-Камчатских землетрясениях с $M \geq 7.4$ (широты событий соответствуют диапазону $42.5\text{--}55^\circ \text{N}$) по данным работы [Ким, Андреева, 2009] для периода 1900–2005 гг. и далее данные NEIC USGS (каталог 1). Общее число таких землетрясений равно 10. Среди них Охотоморское землетрясение

2013 г. по величине магнитуды является наиболее сильным. Используются также данные о мировых землетрясениях с $Mw \geq 6.5$ по данным каталога NEIC USGS за период август 2012 – май 2014 г. (каталог 2).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 12.1 (верхняя часть рисунка) приведено распределение глубоких Курило-Камчатских землетрясений с $M \geq 7.4$ по фазе резонансного ритма **2.44295625 г.** в зависимости от магнитуды событий. При этом активная фаза ритма (вне паузы) занимает 55.57 % от длительности ритма. Такое распределение является значимым, т. к. вероятность P случайного распределения событий по фазе ритма по формуле Бернулли [Большев, Смирнов, 1965] составляет $(0, 5559)^{10} = 0.003$. К выделенной активной фазе приурочены также 3 события с $M=7.3$, поэтому $P=(0,5557)^{13}=0,00005$.

Гипотеза о случайном распределении событий по фазе ритма отвергается на значимом уровне, т.к. $P < 0.01$. Таким образом, показано, что глубокие землетрясения Курило-Камчатского региона 1900–2013 гг. значимо связаны с резонансным ритмом **2.44295625 г.**

14 августа 2012 г. в центральной части Курило-Камчатской зоны (50° N) на глубине 500 км произошло землетрясение с $M=7.7$. На рис. 12.1 (нижняя часть рисунка) приведено распределение во времени мировых землетрясений по фазе ритма (1/12) г. между землетрясением 14 августа 2012 г. и Охотоморским землетрясением 2013 г. с $Mw=8.3$. Формула точного резонанса: $12 \cdot (1/12)$ г. = 1(1.0 г.). В каждом четырехлетии средняя длительность года равна 365.25 суток. Т.к. 365.25 суток / 12 = 30.4375 суток, поэтому в среднем $30.4375 / 365.25 = 0.083(3)$ г. = (1/12) г. Для периода 27 августа 2012 г. – 6 апреля 2013 г. используются землетрясения с $Mw \geq 6.8$. В этот период все 18 землетрясений распределены по фазе ритма (1/12) г. в диапазоне фаз 0.848–1.0 и 0–0.332. Фазы событий занимают 48.5 % от длительности ритма. Вероятность случайного распределения 18 событий в коридоре фаз, составляющем 48.5 % от ритма, $P=(0.485)^{18}=2.2 \cdot 10^{-6}$. Эффект является высокозначимым. Последующие 8 мировых землетрясений с $M \geq 6.5$ (14 апреля – 23 мая 2013 г.) приурочены по фазе (на рисунке активный фазовый коридор обозначен прямоугольником) к неактивной части ритма предыдущих 18 событий. Это означает, что произошел реверс фазы мировых землетрясений. Фазы 8 мировых событий меняются от 0.368 до 0.72, т. е. занимают коридор, равный 35.2 % от длительности ритма. $P=(0.352)^8=0.0002$. Эффект высокозначимый. Реверс фазы резонансного ритма может рассматриваться как краткосрочный предвестник глубокого Охотоморского землетрясения [Широков, 2001].

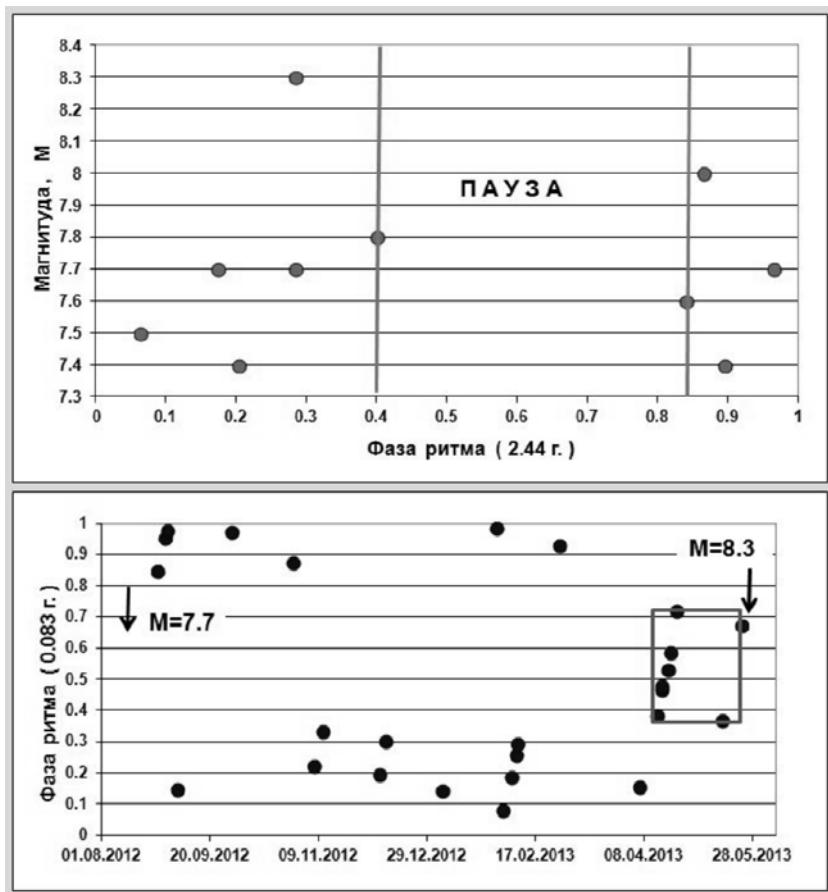


Рис. 12.1. Распределение по фазе резонансного ритма 2.44 г. глубоких Курило-Камчатских землетрясений ($M \geq 7.4$, $h=340\text{--}700$ км) в зависимости от магнитуды событий (верхняя часть рис.) и распределение мировых землетрясений с $M_w \geq 6.5$ перед глубоким Охотоморским землетрясением с $M_w=8.3$ на интервале 27 августа 2012 г.–23 мая 2014 г. по фазе ритма (1/12) г.=0.083(3) г. (нижняя часть рис.). Землетрясения обозначены в виде кружков. Пояснения в тексте.

Любопытно следующее неслучайное совпадение. Если к времени глубокого Камчатского землетрясения 5 июля 2008 г. (2008.508 г.) с $M_w=7.7$ и $h=632$ км прибавить период ритма 9.771825 г./2=**4.8859125** г., то получим 2013.394 г. Это соответствует дате 25 мая 2013 г. Расхождение со временем возникновения Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. составляет всего одни сутки. Это является следствием высокоточного резонанса для этих двух глубоких землетрясений, которые произошли в непосредственной близости друг от друга и на близкой глубине.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что перед Охотоморским землетрясением для мировых землетрясений с $M \geq 6.5$ с 27 августа 2012 г. по 23 мая 2013 г. наблюдалось неслучайное распределение событий по фазе ритма (1/12) г. Выявленный реверс фазы восьми мировых событий, начавшийся 14 апреля 2013 г., может рассматриваться как краткосрочный предвестник Охотоморского землетрясения. Полученные результаты согласуются с резонансной планетарно-региональной моделью подготовки тектонических землетрясений [Широков, 2001].

Перед Охотоморским землетрясением 21 и 23 мая 2013 г. автором в КФ РЭС были представлены оценки сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского. Был сделан вывод, что на глубинах до 100 км сильные события с магнитудой более 6.9 маловероятны*, поэтому сотрясения в краевом центре силой более 4–5 баллов на средних грунтах не ожидаются.

В заключение автор выражает особую благодарность А. А. Гусеву за конструктивные предложения и полезные дискуссии по теме работы, а также И. К. Дубровской и П. П. Фирстову за различные замечания при обсуждении проводимых исследований.

* Согласно прогнозу [Широков, 1977]

ГЛАВА 13

Комплексная оценка сейсмической опасности по данным экспертного совета КФ РЭС в 2013 г.

Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС) является структурным подразделением Геофизической службы РАН и функционирует с 1998 г. Основные задачи КФ РЭС: оперативная оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений и извержений вулканов, возможных последствий их воздействий [Гордеев и др., 2006; Чебров и др., 2011; 2013]. Современная система комплексного мониторинга геодинамических процессов в сочетании с высокой повторяемостью природных катастроф на Камчатке дают уникальные возможности для проведения здесь исследований в области прогноза сильных землетрясений.

Заседания КФ РЭС проводятся еженедельно. На этом этапе мониторинга производится комплексирование более 20 методик прогнозирования. В 2013 г. КФ РЭС проведено 54 еженедельных заседания, одно из которых (24.05.2013 г.) было внеочередным в связи с произошедшим 24.05.2013 г. в 05:44 глубоким землетрясением в Охотском море с магнитудой $Mw=8.3$.

В 2013 г. в работе КФ РЭС принимали участие шесть научно-исследовательских организаций:

- Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН).
- Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН).
- Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР ДВО РАН).
- Институт Физики Земли РАН (ИФЗ РАН, Москва).
- Физико-технический институт РАН (ФТИ РАН, Санкт-Петербург).
- ОАО «Камчатгеология».

По Положению о КФ РЭС возможность подать прогноз предоставляется всем желающим, поэтому рассматриваются также прогнозы и оценки, подаваемые другими организациями и частными лицами. Регулярно поступали прогнозные заключения В. А. Широкова (КФ ГС РАН) по методике ГЛОБАС, ориентированной на оценку развития мировой сейсмичности, а также от Л. Н. Доды, специалиста из Научного Центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ).

При оценке сейсмической опасности в 2013 г. на регулярной основе использовались следующие методы наблюдений за предвестниками сильных землетрясений:

сейсмологические:

- вариации крутизны спада огибающей коды слабых местных землетрясений;
- алгоритм $M6$ (комплексное использование большой совокупности различных сейсмологических и космофизических параметров);
- обнаружение сейсмических затишь по методикам RTL и Z -тест;
- обнаружение зон сейсмической активизации по методике ΔS и кластеризации землетрясений;
- параметр τ (вариации отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s);
- изменения средних значений временных интервалов между сейсмическими событиями и их коэффициент вариации;
- вариации параметров высокочастотного сейсмического шума (ВСШ), связанные с изменением приливного отклика чувствительности среды перед сильными землетрясениями;

геофизические:

- скважинные гидрогеодинамические (вариации уровня воды, атмосферного давления);
- гидрогеодеформационный (ГГД) мониторинг (вариации уровня воды в скважинах, атмосферного давления);
- параметры атмосферно-ионосферных полей;
- скважинные геоакустические измерения;
- измерения электрической составляющей электромагнитного поля Земли в СНЧ-диапазоне частот с помощью подземной антенны.

геохимические:

- вариации химического состава воды в скважинах и источниках;
- измерение объемной активности радона ^{222}Rn и водорода в подпочвенном газе;

геодезические:

- изменения положения GPS пунктов.

Описания прогнозных методик приведены в монографии [Чебров и др., 2011].

Текущий уровень сейсмичности в Камчатском крае оценивается по шкале “СОУС’09” [Салтыков, 2011]. При оценке вулканической обстановки используются заключения KVERT – (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team, подразделение Института вулканологии и сейсмологии ДРО РАН), а также материалы о сейсмической активности вулканов, полученные в КФ ГС РАН.

В 2013 г. в Камчатском регионе (район с координатами $\phi=49\text{--}62^\circ \text{ N}$, $\lambda=152\text{--}169^\circ \text{ E}$) произошло 56 землетрясений с классом $K_s \geq 12.5$, характеристики которых представлены в таблице 13.1, а положение эпицентров – на рис. 13.1. Из них 33 землетрясения являются афтершоками

или роевыми событиями. Координаты эпицентров, время, магнитуды M_c и ML соответствуют каталогу КФ ГС РАН; значения магнитуд Mw и m_b взяты из каталога NEIC.

Для 18 из 23 независимых событий таблицы 13.1 были даны прогнозы, либо были выявлены предвестники, как в реальном времени, так и ретроспективно (см. рис. 13.1).

Для одиннадцати событий, произошедших в районе с координатами $\phi=50.5-56.5^{\circ}$ N, $\lambda=156-167^{\circ}$ E в таблицах 13.2–13.11 представлены методы, по которым были выявлены предвестники, как в реальном времени, так и ретроспективно.

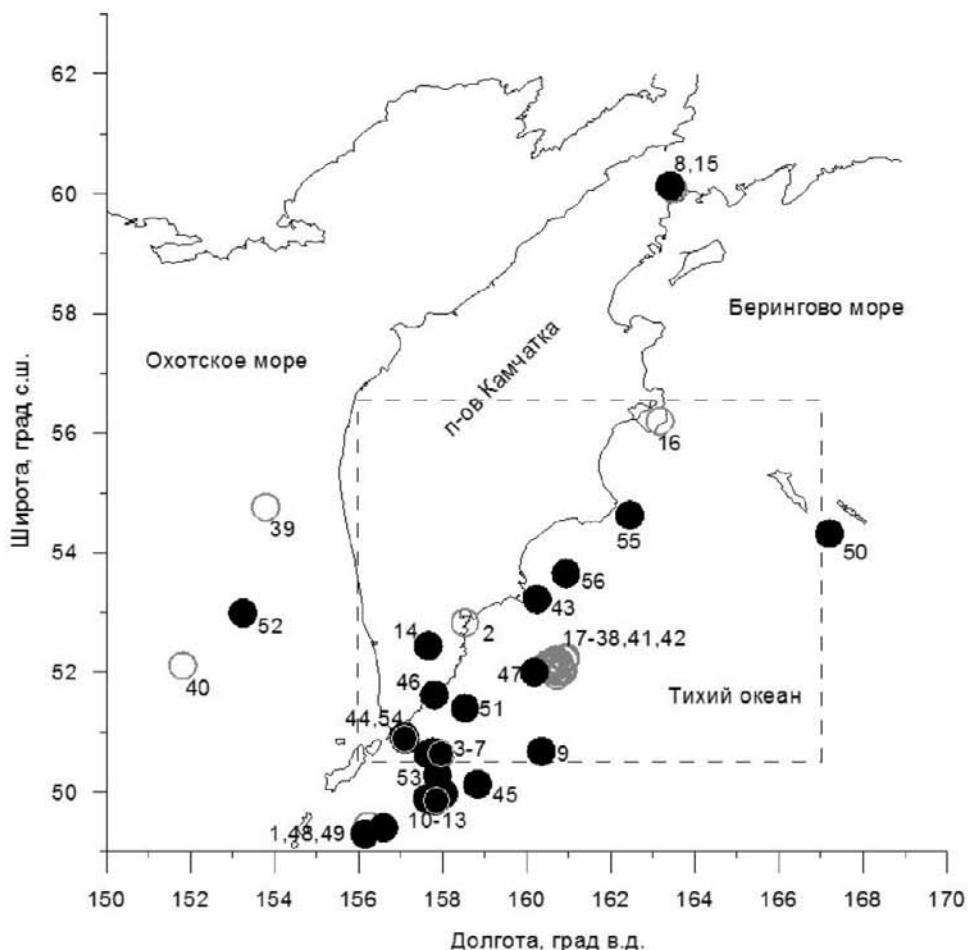


Рис. 13.1. Карта эпицентров землетрясений с $K_s \geq 12.5$ в 2013 г. (нумерация согласно табл. 13.1). Пунктиром показан район с координатами ($\phi=50.5-56.5^{\circ}$ N, $\lambda=156-167^{\circ}$ E). Чёрными кружками показаны землетрясения, перед которыми были даны прогнозы, либо были выявлены предвестники, как в реальном времени, так и ретроспективно.

Таблица 13.1. Параметры землетрясений $K_S \geq 12.5$, произошедших в Камчатском регионе ($\varphi=49^{\circ}-62^{\circ}$ N, $\lambda=152^{\circ}-169^{\circ}$ E) в 2013 г.

№	ГГГММДД	ч:мин:сек	Ф	λ	H , км	K_S	Mc	MJ	NEIC	R, км	Название пункта, интенсивность в баллах MSK-64
1	20130125	19:42:59	49.43	156.22	54	12.5	4.3	5.5	4.9 mb	43.0	Маяк Круглый 5 баллов; Вилючинск, Петропавловск, Пионерский 3 балла
2	20130226	21:43:47	52.83	158.53	132	12.6	5.0	5.6	5.3 Mt	20	Маяк Лопатка, маяк Курбатова, Северо-Курильск, маяк Круглый 5-6 баллов; Паужетка, маяк Чубойный, Запорожье, Озерновский, ГМС Водопадная, Вилючинск, Рыбачий, Николаевка, Петропавловск 4-5 баллов; МГeoЭС-1, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Термальный, Паратунка, маяк Петропавловский, Сосновка, Вулканский, Начики, Пионерский, Новый, Елизово, Лесной, Зеленый, Кораки, Раздольный, ГМС Семянинки, ГМС Кроноки 4 балла; Апата 3 балла; Пущино 2-3 балла; мыс Васильева 2 балла
3	20130228	14:05:48	50.67	157.77	61	15.2	6.6	6.9	6.9 Mw	26.5	Северо-Курильск, маяк Круглый 5 баллов; Запорожье 4 балла; Озерновский, мыс Васильева, Пионерский 3-4 балла; Вилючинск, Петропавловск, Сосновка 3 балла; Николаевка, Елизово 2-3 балла; мыс Лопатка, ГМС Водопадная, Термальный, Новый, ГМС Кроноки 2 балла
4	20130301	12:53:49	50.63	157.94	52	14.2	5.9	6.4	6.4 Mw	27.0	Северо-Курильск, маяк Круглый 5 баллов; Запорожье, Озерновский, Вилючинск, Рыбачий, Паратунка, Петропавловск, Сосновка, Вулканский, Инстылау, Пионерский, Раздольный, Коряки 3-4 баллов; Николаевка 3 балла; МГeoЭС-1, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Термальный, Елизово 2-3 балла; мыс Лопатка, Паужетка, ГМС Водопадная, Начики, Новый 2 балла
5	20130301	13:20:49	50.64	157.90	62	15.1	6.5	6.8	6.5 Mw	27.0	Северо-Курильск 4-5 баллов; Запорожье, Озерновский, маяк Круглый 3 балла; Вилючинск, Рыбачий, Паратунка, Петропавловск 2-3 балла; маяк Чубойный, Паужетка 2 балла
6	20130304	20:56:34	50.63	157.66	51	13.6	5.1	6.1	5.3 mb	27.0	Северо-Курильск 4-5 баллов; маяк Круглый 4 балла; Паужетка, Запорожье, Озерновский 3-4 балла; РНС-1 Погорная, Вилючинск, Рыбачий, Паратунка, Петропавловск 3 балла; мыс Лопатка, маяк Курбатова 2 балла
7	20130309	14:56:27	50.66	157.80	49	13.7	5.6	6.1	5.8 Mw	27.0	Р. Анапка 6-7 баллов; Оссора 5-6 баллов; Ильинский, Карага, Костромка 5 баллов; Тымлат 4-5 баллов; Вилюченка, Корф, Тиличики 4 балла; Лесная 3-4 балла; Ивашика, Халино, Галана, Таловка 3 балла; Ледяное 2-3 балла
8	20130313	03:12:53	60.08	163.47	24	13.9	6.3	6.2	5.8 Mw	84.0	Маяк Круглый 4 балла; МГeoЭС-1, Вилючинск, Петропавловск, Паратунка, Термальный, Николаевка, Северо-Курильск, Елизово 3 балла; р. Карымшина (стационар КФ ГС), Нагорный, ГМС Кроноки 2 балла
9	20130324	04:18:33	50.68	160.35	42	14.0	6.3	6.3	5.9 Mw	28.0	

Таблица 13.1. Продолжение.

№	ГППММД	Ч:мин:сек	Ф	λ	H, км	Ks	Mc	Mt	NEIC	R, км	Название пункта, интенсивность в балах МСК-64
10	20130419	19:58:41	49.92	157.82	84	14.1	6.6	6.3	6.1 Mw	350	Северо-Курильск 3 балла; Озерновский 2 балла
11	20130420	13:12:50	49.89	157.64	76	14.6	6.2	6.6	6.1 Mw	350	Северо-Курильск 5-6 баллов; Запорожье 4-5 баллов; Паужетка, Озерновский 4 балла; маяк Круглый 3-4 балла; Петропавловск 2-3 балла; мыс Лопатка 2 балла
12	20130420	13:18:08	49.85	157.83	42	13.0	5.8	5.8	5.3 Mb	350	Северо-Курильск 3-4 балла; Озерновский 2 балла
13	20130422	10:22:40	49.97	158.03	49	13.0	5.0	5.8	5.2 Mb	340	Маяк Чубуйный 5 баллов; Северо-Курильск 3-4 балла; Паужетка 2 балла
14	20130503	06:10:11	52.44	157.66	177	13.0	5.1	5.8	5.3 Mw	90	Маяк Круглый 4 балла; Петропавловск 2-3 балла; Рыбачий 2 балла
15	20130506	18:23:34	60.13	163.41	20	12.9	5.1	5.7	4.8 Mb	845	Ильпирский, Карага, Выненка 4 балла; Тымлат, Оссора 3-4 балла
16	20130514	10:19:06	56.20	163.17	20	12.8	5.3	5.7	5.0 Mb	460	Погодный, Усть-Камчатск 5 баллов; Крутоберегово 4-5 баллов; ГМС Кронони 2 балла
17	20130519	18:44:07	52.01	160.69	50	13.7	6.4	6.1	5.9 Mw	180	р. Карымшина (стационар КФ ГС) 4 балла; Петропавловск, Вилчинск, Пионерский, МГеоЭС-1, Елизово 3-4 балла; Рыбачий, Николаевка, Паратунка, Вулканский, Термальный, Термальный 3 балла; ГМС Кронони 2 балла
18	20130519	19:53:03	52.10	160.67	46	13.1	5.1	5.8	5.1 Mb	170	Петропавловск, Пионерский, Вулканский, Елизово 2-3 балла; Рыбачий 2 балла
19	20130519	20:20:06	52.07	160.61	52	12.6	5.1	5.6	5.1 Mb	170	Петропавловск, р. Карымшина (стационар КФ ГС) 3 балла;
20	20130519	22:38:45	52.08	160.66	42	13.4	5.8	6.0	5.0 Mb	170	Пионерский, Вулканский, Институт, Ионерский, Новай, Николаевка, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Термальная, Вулканский, Сосновка 4 балла; МГеоЭС-1, Паратунка, Елизово 3-4 балла; маяк Круглый 2 балла
21	20130519	22:40:22	52.18	160.67	40	13.5	6.0			170	Петропавловск 4 балла; Николаевка, Термальный, Сосновка, Елизово 3-4 балла; Сокоч 3 балла; маяк Круглый 2 балла
22	20130519	22:41:44	52.04	160.83	57	12.7	5.6			185	Институт 2-3 балла
23	20130519	23:50:12	52.13	160.47	21	12.5	5.5		5.1 Mb	160	Петропавловск, Сосновка, Елизово 3 балла; маяк Круглый 2 балла
24	20130519	23:51:28	52.10	160.60	59	12.5	5.2	5.5	5.2 Mb	170	Петропавловск, Сосновка, Елизово 3 балла
25	20130520	00:13:12	52.05	160.81	59	13.1	5.8	5.8	5.5 Mt	180	
26	20130520	00:15:30	52.13	160.51	16	12.5	5.5			160	Рыбачий, Вилчинск, Новый, Сосновка, Елизово 3 балла
27	20130520	01:07:34	52.14	160.58	55	13.1	5.5	5.8	5.1 Mt	160	Петропавловск, Рыбачий, Вилчинск, Новый, Паратунка, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Сосновка, Елизово 3 балла
28	20130520	22:51:42	52.14	160.60	59	12.8	5.2	5.7	4.8 Mb	165	Петропавловск, Вилчинск, Ионерский 3 балла

Таблица 13.1. Продолжение.

N _б	ППММЩ	Ч:мин:сек	Ф	λ	H _к км	K _s	M _c	M _т	NEIC	R, км	Название пункта, интенсивность в баллах MSK-64
29	20130520	23:01:23	52.14	160.66	43	13.3	5.7	5.9	5.4 Mt	170	Вилочинск, Николаевка, р. Карымшина (стационар КФ ГС) 4 балла; макр круглый, Паратунка, Термальный, Сосновка 3-4 балла; Пионерский, МГеоЭС-1, Елизово 3 балла
30	20130521	01:55:03	52.22	160.89	59	13.6	6.3	6.1	6.0 Mw	180	Петропавловск, Вилочинск, Ионерский, Николаевка, МГеоЭС-1, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Елизово 3 балла; Паратунка, Сосновка 2-3 балла
31	20130521	03:05:48	52.12	160.76	61	13.1	6.2	5.8	5.9 Mw	180	Рыбачий, Вилочинск, МГеоЭС-1, Николаевка, Паратунка, Вулканний, Термальный, Сосновка 4 балла; Петропавловск 3-4 балла; Институт, Пионерский, Елизово 3 балла
32	20130521	03:08:16	52.18	160.63	43	13.9	6.0	6.2	5.7 Mt	165	Петропавловск, Вилочинск, Паратунка, Сосновка, Зеленый 4 балла; Елизово 3-4 балла; Пионерский 3 балла; ГМС Водопадная, Северо-Курильск 2 балла
33	20130521	03:09:45	52.20	160.70	50	13.1	5.8			170	Петропавловск 2-3 балла
34	20130521	03:43:07	52.16	160.78	44	12.5	5.2	5.5		170	Петропавловск 2-3 балла
35	20130521	04:24:02	52.01	160.85	59	12.6	5.7	5.6	5.0 Mb	190	Петропавловск 2-3 балла
36	20130521	04:59:32	52.03	160.53	53	12.9	6.1	5.7	5.7 Mw	170	Макр круглый 5 баллов; Петропавловск, Рыбачий, Вилочинск, Пионерский, МГеоЭС-1, 26 км Елизово котошес, Паратунка, Термальный, Сосновка 4-5 баллов; Институт, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Елизово, Раздольный 4 балла; ГМС Водопадная, ГМС Семячинки, ГМС Кроноки 3 балла; Северо-Курильск 2 балла
37	20130521	05:43:17	52.05	160.49	48	14.4	6.3	6.5	6.1 Mw	170	
38	20130521	14:51:14	52.24	160.93	50	12.6	5.8	5.6	5.5 Mt	180	Петропавловск 3 балла
39	20130524	05:44:47	54.76	153.79	630	17.0	7.4	7.8	8.3 Mw	370	ГМС Семячинки, Долина Гейзеров (кордон) 6 баллов; макр круглый 5-6 баллов; Октябрьский, Сокоч, Петропавловск, ГМС Кроноки 5 баллов; Апача, Елизово, Термальный, Паратунка, Вилочинск, Рыбачий, Атласово, Радытина, Северо-Курильск, Погоцкий, Кругоберегово 4-5 баллов; Кругогорово, Усть-Хайрюзово, Раздольный, р. Карымшина (стационар КФ ГС), Новый, Институт, МГеоЭС-1, Запорожье, Озерновский, Паужетка, Тигиль, Никольское 4 балла; Усть-Большерек, Кавалерское, Эссо, Долиновка (Мильково), Вулканний, Козыревск, Седанка, Ключи, Галана 3-4 балла; Соболево, ГМС Наники, Ковран, Лазо, Иванка 3 балла; Карага 2-3 балла; Особра 2 балла
40	20130524	14:56:30	52.11	151.81	642	15.0	5.8	6.8	6.8 Mwр	470	сог "Кедрач" 3-4 балла
41	20130524	23:09:40:2	52.21	160.69	49	12.6	4.7	5.6	4.9 Mb	170	Петропавловск 3 балла

Таблица 13.1. Продолжение.

№	ППММД	ч:мин:сек	φ	λ	H, km	K_s	M_c	M	NEIC	R, km	Название пункта, интенсивность в баллах MSK-64
42	20130527	20:21:57	51.95	160.71	49	12.8	5.7	5.3	Mt	180	р. Камчаншина (стационар КФ ГС) 3-4 балла; МГeoЭС-1 3 балла; Петропавловск 2-3 балла; Институт 2 балла
43	20130528	16:25:31	53.22	160.24	68	12.7	5.1	5.6	5.4	110	ГМС Семячинки, р. Камчаншина (стационар КФ ГС) 4 балла; Петропавловск, Пионерский, Елизово, Вильчинск, МГeoЭС-1 3-4 балла; Рыбачий, Паратука 3 балла
44	20130621	02:21:15	50.88	157.11	143	12.5	4.2	5.5	4.6	260	Северо-Курильск, Петропавловск 2 балла
45	20130710	23:33:46	50.13	158.83	84	13.2	4.5	5.9	4.9	320	Северо-Курильск 2 балла
46	20130715	14:43:03	51.62	157.80	112	13.0	4.7	5.8	5.2	160	Маяк Круглый 4 балла; Паратука, Северо-Курильск, Петропавловск 2-3 балла
47	20130728	07:21:00	52.00	160.18	41	12.5	5.2	5.5	4.9	150	МГeoЭС-1, Термальный 2-3 балла; Рыбачий, Петропавловск 2 балла
48	20130801	16:39:56	49.40	156.59	68	12.8	4.4	5.7	5.1	420	РНС Полгорная 2-3 балла
49	20130826	04:58:48	49.30	156.15	41	12.7	4.9	5.6	5.3	445	Северо-Курильск 2 балла
50	20130915	00:23:57	54.32	167.20	65	12.9	5.5	5.7	5.2	mwb	585 о. Беринга 2 балла
51	20130921	06:58:08	51.40	158.53	46	12.7	4.5	5.6	4.9	mb	180 Маяк Круглый 6 баллов; ГМС Во лдальная 4 балла; Видочинск, Рыбачий, Северо-Курильск, Елизово, Кораки 3 балла; Термальный, Паратука, Петропавловск 2-3 балла; Николаевка, Пионерский, Сосновка 2 балла
52	20131001	03:38:20	52.99	153.25	605	15.2	6.1	6.9	6.7	mww	360 Петропавловск, ГМС Кронюки 3 балла; Магадан 2-3 балла
53	20131004	07:50:39	50.28	157.87	48	12.5	4.4	5.5	4.8	mb	310 Северо-Курильск 2-3 балла; Паужетка 2 балла
54	20131024	01:37:33	50.93	157.08	153	12.8	4.7	5.7	5.0	mb	250 Северо-Курильск 3-4 балла; маяк Круглый 3 балла; маяк Курбатова, Запорожье 2 балла
											ГМС Кронюки 6 баллов; Кальдера вул. Узон 5-6 баллов; устье реки Шумной, ГМС Семячинки 5 баллов; Усть-Камчатск, Лазо, Таежный, Клони, Клони-20, Мильково, Вильчинск 4 балла; Крутобергово, Агласово, Долиновка (Милково), Козыревск, мыс Шипунский, Никольское, Петропавловск, Пионерский, Елизово, Зеленый, Сосновка, Паратука, Начики 3-4 балла; ист. Гурюрокские, Шаромы, Пущино, Новый, Раздолбый, Вулканый, Рыбачий, Николаевка, Сокоч, МГeoЭС-1 3 балла; маяк Круглый 2-3 балла; мыс Африка, Термальный, р. Карымшина (стационар КФ ГС) 2 балла
56	20131215	03:07:07	53.65	160.93	53	12.6	4.8	5.6	5.0	mb	150 ГМС Кронюки 4 балла; ГМС Семячинки, Петропавловск 3 балла

Примечание: жирным шрифтом отмечены землетрясения с $K_s \geq 12.5$ в районе с координатами $\varphi=50^{\circ}5'-56.5^{\circ}N$, $\lambda=156^{\circ}-167^{\circ}E$ (пунктирная линия на рис. 13.1), т.е. землетрясения, относящиеся к сейсмоактивной области Камчатки. R – эпицентральное расстояние до г. Петропавловска-Камчатского.

Таблица 13.2. Прогнозные оценки по отдельным видам наблюдений перед землетрясениями **28.02.2013–09.03.2013** гг. (№№ 3–7 в табл. 13.1.) и землетрясением **24.03.2013** г. (№ 9 в табл. 13.1.)

№	Метод Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Мониторинг кинетических параметров сейсмичности Н.Г. Томилин ФТИ РАН	Прогноз от 12.03.2010 (уточнение от 02.09.2010) с открытой датой 3-я $K_S \geq 14.4$ – 15.7 в зоне выделенной трапеции, включающей южную Камчатку – средние Курилы. Возможно глубокофокусное событие. <i>Прогноз оправдался в отношении землетрясения 28.02.2013, $Mw=6.9$</i>		
2	Скважинные геоакустические наблюдения В.А. Гаврилов, ИВиС ДВО РАН		Прогноз от 27.12.2012 о возможности 3-я $M_{LH} \geq 6.5$ в радиусе $R \leq 300$ км от ПТР, или $M_{LH} \geq 7.0$ в радиусе $R \leq 550$ км от ПТР до 11.01.2013. Прогноз продлевался 11.01.2013, 25.01.2013, 04.02.2013. <i>Прогноз оправдался в отношении эпизентральных расстояний и магнитуд в связи с землетрясением 28.02.2013, $Mw=6.9$</i>	
3	Скважинные гидрогео- динамические наблюдения Г.Н. Копылова, КФ ГС РАН	Прогноз от 01.02.2013 о возможности 3-я $M \geq 5.0$ в радиусе 350 км от скв. Е-1 в течение одного-двух месяцев. <i>Прогноз оправдался в отношении землетрясения 28.02.2013, $Mw=6.9$</i>		
4	ОНЧ Г.И. Дружин, ИКИР ДВО РАН	Прогноз от 21.02.2013 о возможности 3-я $K_S > 13.0$ в районе с координатами $157\text{--}168^\circ E$ $50\text{--}57^\circ N$ в течение 21.02–27.02.2013. Прогноз продлевался 28.02.2013 на 28.02–06.03.2013. <i>Прогноз оправдался в отношении землетрясения 28.02.2013, $Mw=6.9$</i>		
5	Vp/Vs Л.Б. Славина ИФЗ РАН		Прогноз от 21.03.2013 о возможности повторного 3-я с $K_S > 13.0$ в р-не юга Камчатки – Северных Курил. <i>Ошибка по местоположению в отношении 3-я 24.03.2013, $Mw=5.9$</i>	По станции SKR наблюдалась значительная аномалия, предварявшая землетрясение 28.02.2013, $Mw=6.9$

Таблица 13.2. Продолжение.

6	Мониторинг концентрации подпочвенных газов П.П.Фирстов, КФ ГС РАН		Прогноз от 21.02.2013 о возможности з-я $M \geq 6.0$ в р-не от м. Шипунский до м. Лопатка, или з-я $M \geq 6.5$ за пределами этого района в полосе ограниченной широтами $49.5-56^{\circ}$ N и осью глубоководного желоба. <i>Ошибка по энергии в отношении з-я 24.03.2013, $Mw=5.9$</i>	
7	"Фазовый портрет" С.Э.Смирнов, ИКИР ДВО РАН		Прогноз от 21.02.2013 о возможности з-я $K_S > 12.6$ в районе с координатами $158-168^{\circ}$ E $51-55^{\circ}$ N в течение 21.03-27.03.2013. <i>Ошибка по местоположению в отношении з-я 24.03.2013, $Mw=5.9$</i>	
8	ВСШ В.А.Салтыков, КФ ГС РАН			По станции Начики наблюдалась стабилизация фазы, предварявшая землетрясение 28.02.2013, $Mw=6.9$

Таблица 13.3. Землетрясение **03.05.2013** г., $Mw=5.3$ (NEIC), $Mc=5.1$, $ML=5.8$, $K_S=13.0$ (№ 14 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Vp/Vs	Л.Б. Славина ИФЗ РАН	Прогнозы от 25.04.2013 и 29.04.2013 о повышенной вероятности возникновения в течение недели землетрясения с $K_S \geq 13$ в Авачинском заливе, на юге Камчатки и Северных Курилах и землетрясения с $K_S \geq 12.5$ на севере Камчатки (в р-не п. Ильырский)		
2	ОНЧ	Г.И.Дружин, ИКИР ДВО РАН	Прогноз от 30.04.2013 о возможности з-я $K_S > 13.0$ в районе с координатами $157-168^{\circ}$ E $50-57^{\circ}$ N в течение 29.04-07.05.2013.		

Таблица 13.4. Землетрясение **28.05.2013** г., $m_b=5.4$ (NEIC), $Mc =5.1$, $ML=5.6$, $K_S=12.7$ (№ 43 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени
1	Комплексное заключение ИКИР ДВО РАН	В.В.Богданов, ИКИР ДВО РАН		Прогноз от 23.05.2013 о возможности з-я $K_S > 13.0$ в районе с координатами $157-168^{\circ}$ E $50-57^{\circ}$ N в течение 23.05-27.05.2013. <i>Ошибка по времени</i>
2	Ионосферные наблюдения	В.В.Богданов, ИКИР ДВО РАН		Прогноз от 23.05.2013 о возможности повышения сейсмической активности в течение 23.05-27.05.2013. <i>Ошибка по времени</i>

Таблица 13.5. Землетрясение 21.06.2013 г., $m_b=4.6$ (NEIC), $Mc=4.2$, $ML=5.5$, $K_S=12.5$ (№ 44 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Vp/Vs	Л.Б. Славина ИФЗ РАН		Прогнозы от 06.06.2013 и 13.06.2013 о повышенной вероятности возникновения в течение недели землетрясения с $K_S > 13$ в Авачинском заливе, на юге Камчатки и Северных Курилах <i>Ошибка по времени</i>	
2	"Фазовый портрет"	С.Э.Смирнов, ИКИР ДВО РАН		Прогноз от 13.06.2013 о возможности з-я $K_S > 12.6$ в районе с координатами $158-168^\circ$ E $51-55^\circ$ N в течение 13.06-19.06.2013. <i>Ошибка по всем параметрам</i>	
3	Энтропийная модель сейсмического процесса	В.Г. Сибгатулин, НП "ЭЦРОПР"		Прогноз от 19.06.2013 о возможности з-я $M = 6.5 \pm 0.5$ в районе южная часть Кроноцкого залива – Авачинский залив – южная Камчатка в течение 20.06-30.06.2013 с вероятностью 0.1–0.2. <i>Ошибка по энергии</i>	

Таблица 13.6. Землетрясение 15.07.2013 г., $m_b=5.2$ (NEIC), $Mc=4.7$, $ML=5.8$, $K_S=13.0$ (№ 46 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	"Фазовый портрет"	С.Э.Смирнов, ИКИР ДВО РАН		Прогноз от 11.07.2013 о возможности з-я $K_S > 12.6$ в районе с координатами $158-168^\circ$ E $51-55^\circ$ N в течение 11.07-17.07.2013. <i>Ошибка по местоположению</i>	

Таблица 13.7. Землетрясение 28.07.2013 г., $m_b=4.9$ (NEIC), $Mc=5.2$, $ML=5.5$, $K_S=12.5$ (№ 47 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Алгоритм М6, ГЛОБАС	В.А.Широков, КФ ГС РАН	Прогноз от 19.07.2013 00:05 UT о возможности з-я $K_S = 12.0-13.0$ в районе южной Камчатки ($50.5-53.7^\circ$ N) до конца июля 2013 г., с вероятностью 0.4.		
2	ОНЧ	Г.И.Дружин, ИКИР ДВО РАН		Прогноз от 25.07.2013 о возможности з-я $K_S > 13.0$ в районе с координатами $157-168^\circ$ E $50-57^\circ$ N в течение 25.07-31.07.2013. <i>Ошибка по энергии</i>	

Таблица 13.8. Землетрясение 21.09.2013 г., $m_b=4.9$ (NEIC), $M_c=4.5$, $ML=5.6$, $K_s=12.7$ (№ 51 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	"Фазовый портрет"	С.Э.Смирнов, ИКИР ДВО РАН	Прогноз от 19.09.2013 о возможности з-я $K_s > 12.6$ в районе с координатами 158–168° E 51–55° N в течение 19.09–25.09.2013.		
2	Мониторинг концентрации подключенных газов	П.П. Фирстов, КФ ГС РАН	Прогноз от 19.09.2013 о возможности возникновения землетрясения с: 1. с $M \geq 5.0$ – мыс Шипунский – Авачинский залив – до бухты Вестник 2. с $M \geq 5.5$ – мыс Шипунский – Авачинский залив – бухта Вестник 3. с $M \geq 6.0$ – мыс Шипунский – Авачинский залив – мыс Лопатка 4. с $M \geq 6.5$ – за пределами этого района в полосе ограниченной широтами 49.5–56° N и осью глубоководного желоба в период 19.09.2013–25.09.2013 г.		

Таблица 13.9. Землетрясение 24.10.2013 г., $m_b=5.0$ (NEIC), $M_c=4.7$, $ML=5.7$, $K_s=12.8$ (№ 54 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Vp/Vs	Л.Б. Славина ИФЗ РАН		Прогноз от 17.10.2013 о повышенной вероятности возникновения в течение недели землетрясения с $K_s \geq 12.5$ в Авачинском заливе, <i>Ошибка по местоположению</i>	
2	ВСШ	В.А. Салтыков, КФ ГС РАН		Прогноз от 22.10.2013 о возможности землетрясения до 22 ноября с магнитудой M , зависимой от эпицентрального расстояния Δ : $M \geq 4.0 + 0.0083 \times \Delta$ $120 \text{ км} \leq \Delta \leq 400 \text{ км}$ <i>Ошибка по энергии</i>	
3	ВСШ Экспериментальный прогноз	В.А. Салтыков, КФ ГС РАН		Прогноз от 22.10.2013 В экспериментальном режиме дается уточнение по местоположению: восточная и северная часть Авачинского залива и юг Камчатки (район землетрясения 28.02.2013 $M 6.8$). Данное уточнение предлагается рассматривать как независимый прогноз. Оценки магнитуды и времени аналогичны основному прогнозу. Ожидаемая глубина – до 70 км. Возможны также более глубокие землетрясения под восточным берегом Камчатки южнее Авачинского залива. Оценки магнитуды и времени также аналогичны основному прогнозу. <i>Ошибка по энергии</i>	

Таблица 13.10. Землетрясение 12.11.2013 г., $M_{wp}=6.6$ (NEIC), $Mc=6.4$, $ML=6.8$, $K_s=15.0$ (№ 55 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	ВСШ	В.А. Салтыков, КФ ГС РАН	<p>Прогноз от 07.11.2013 (уточнение прогноза от 22.10.2013 г.) возможности землетрясения до 18 ноября (включительно) на глубине до 300 км с магнитудой M, зависимой от эпицентрального расстояния Δ [км]: $M \geq 5.0$ $M \geq -3.64 + 4.06 \cdot \lg \Delta$. Вероятность P реализации предвестника в течение 12 дней (7–18 ноября): для магнитуды $M \geq 5.0 P=0.31$, $M \geq 5.5$ $P=0.19$, $M \geq 6.0 P=0.10$, $M \geq 6.5 P=0.05$</p>		
2	Скважинные гидрого- динамические наблюдения	Г.Н. Копылова, КФ ГС РАН	<p>Сл.записки от 16.08.2013 г. В течение времени 1–2 месяца на расстоянии до 350 км от скважины Е-1 ожидается землетрясение с величиной магнитуды не менее 5. Для события с $M \geq 5$ вероятность P составляет 50%, прогнозная эффективность предвестника $I=1.4$; для $M \geq 5.9 P=70\%$, $I=2.2$.</p>		
3	Вариации интервалов между землетрясе- ниями	Томилин Н. (ФТИ РАН)	<p>Прогноз от 19.10.2011 г. о возможности землетрясения с $K=14.7$–15.8 в районе с координатами $\lambda=162.5^\circ$–$167^\circ E$, $\varphi=53$–$57.5^\circ N$ начиная с 18 октября 2011 г.</p>		

Таблица 13.11. Землетрясение 15.12.2013 г., $m_b=5.0$ (NEIC), $Mc=4.8$, $ML=5.6$, $K_s=12.6$ (№ 56 в табл. 13.1).

№	Метод	Автор, Организация	Прогноз	Предвестник, выявленный в режиме реального времени	Предвестник, выявленный ретроспективно
1	Vp/Vs	Л.Б. Славина ИФЗ РАН	<p>Прогноз от 12.12.2013 о повышенной вероятности возникновения в течение недели землетрясения с $K_s \geq 13$ в Кроноцком, Камчатском заливах.</p>		
2	Ионосферные наблюдения	В.В. Богданов, ИКИР ДВО РАН		<p>Прогноз от 12.12.2013 о возможности повышения сейсмической активности в течение 12.12– 16.12.2013.</p>	

Для одиннадцати из четырнадцати землетрясений Камчатского региона с магнитудами $M=4.8$ – 8.3 за пределами района с координатами $\varphi=50.5$ – $56.5^\circ N$, $\lambda=156$ – $167^\circ E$ выявлялись предвестники по данным вариаций

отношений скоростей сейсмических волн V_p/V_s (Славина Л. Б., ИФЗ РАН), данным мониторинга подпочвенных газов (Фирстов П. П., КФ ГС РАН), по «фазовому портрету» (Смирнов С. Э., ИКИР ДВО РАН), по данным ОНЧ-излучения (Дружин Г. И., ИКИР ДВО РАН), скважинным гидрогеодинамическим наблюдениям (Копылова Г. Н., КФ ГС РАН) и данным мониторинга кинетических параметров сейсмичности (Томилин Н. Г., ФТИ РАН).

Таким образом, в данной главе приведены систематизированные фактические материалы о выделении в 2013 г. предвестников землетрясений с $K_s \geq 12.5$ на Камчатке по методикам среднесрочного и краткосрочного прогноза на основе обработки, анализа и интерпретации данных комплексных сейсмологических, геофизических, геохимических, геодезических и других видов наблюдений. В 2013 г. по данным КФ РЭС для 18 из 23 независимых событий с $K_s \geq 12.5$, произошедших в зоне ответственности сети КФ ГС РАН, были даны прогнозы либо были выявлены предвестники как в реальном времени, так и ретроспективно.

Многолетний опыт КФ РЭС по изучению предвестников землетрясений показывает их приуроченность к заключительным стадиям подготовки сильных камчатских землетрясений, что позволяет уточнять место и время ожидаемого сейсмического события с точностью от первых лет до месяцев – недель [Чебров и др., 2011]. Результаты, полученные КФ РЭС в 2013 г., подтверждают этот вывод.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные сведения о сейсмических станциях Камчатки (состояния на 2013 г.)

№	Название рус. название англ. код рег./межд.	Координаты, высота (м)	Дата открытия станций	Оборудование станций/ дата установки	Сейсмометрические каналы (v – скорость, a – ускорение)/частотный диапазон, Гц
1	Авача Avacha AVH/AVH	53.264 158.740 960	16.01.1963	CM-3, PTCC CMG-6TD, WiFi/ 06.09.2011	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20 BH (E,N,Z) v / 0.033÷40
2	Автодор Avtodor UK4/-	56.234 162.520 5	25.10.2010	CMG-5TD, WiFi/ 26.04.2011	HN (E,N,Z) a / 0÷40
3	Администрация_ПК Administratsiya_PK ADM/-	53.023 158.647 5	01.07.2005	CMG-5T, GSR- 24, DSL/ 01.07.2005	HN (E,N,Z) a / 0÷40
4	Администрация_УК Administratsiya_UK UK1/-	56.263 162.586 6	17.12.2009	CMG-5TD, WiFi/ 25.12.2009	HN (E,N,Z) a / 0÷40
5	Алаид Alaid ALD/ALID	50.876 155.552 1400	08.08.2001	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
6	Апача Apacha APC/APC	52.926 157.129 120	24.02.1990	CM-3OC, СЦСС, VSAT/14.07.2004	BH (E,N,Z) v / 0.02÷7
7	Арик Arik KRX/KRX	53.359 158.649 1410	19.08.2009	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
8	Асача Asacha ASA/ASAK	52.385 157.901 920	01.12.2008	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
9	Аэрометеорологическая Aerologicheskaja AER/-	53.086 158.554 80	1986	CMG-5T, GSR- 24, WiFi /19.01.2011	HN (E,N,Z) a / 0÷40
10	Байдарная Baidarnaya BDR/BDR	56.568 161.208 720	08.10.2005	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20
11	Безымянный Bezymyannaya BZM/BZMR	55.935 160.490 1450	05.08.2006	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 SLZv/ 0.7÷20
12	Безымянный-Грива Bezymyannyi-Griva BZG/ BZGR	55.940 160.696 1150	19.08.2007	CM-3, PTCC CMG-6TD, VSAT/10.09.2013	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20 BH (E,N,Z) v / 0.033÷40
13	Безымянный-Запад Bezymyannyi-West BZW/BZWR	55.965 160.497 1620	13.08.2007	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
14	Беринг Bering BKI/BKI	55.194 165.984 15	20.11.1962	CMG-3T, CMG-5T, DM24, DSL VSAT/ 20.11.2009	BH(E,N,Z) v / 0.0083÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
15	Вилючинск Vilyuchinsk VIL/-	52.931 158.405 40	01.10.2007	CMG-5T, GSR-24, DSL/ 01.10.2007	HN (E,N,Z) a / 0÷40

№	Название рус. название англ. код рег./межд.	Координаты, высота (м)	Дата открытия станций	Оборудование станций/ дата установки	Сейсмометрические каналы (v – скорость, a – ускорение)/частотный диапазон, Гц
16	Водозабор Vodozabor UK2/-	56.232 162.646 2	12.12.2009	CMG-5TD, WiFi/ 12.12.2009	HN (E,N,Z) a / 0÷40
17	Ганалы Ganaly GNL/GNL	53.695 157.942 1200	15.01.1988	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
18	Горелый Gorelyy GRL/GRL	52.554 158.073 1400	14.08.1980	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
19	Дальний Dalny DAL/DALK	52.031 158.754 60	06.10.2009	CMG-6TD, WiFi/ CMG-5TD, WiFi/ 06.10.2009	BH (E,N,Z) v / 0,033÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
20	Дачная Dachnaya DCH/-	53.058 158.639 160	1971	CMG-5T, GSR- 24, DSL/ 01.07.2005	HN (E,N,Z) a / 0÷40
21	Жупаново Zhupanovo GPN/-	54.082 159.989 25	1982	CMG-5TD, VSAT/ 25.10.2011	HN (E,N,Z) a / 0÷40
22	Звездный Zvezdnyiy SPZ/-	53.056 158.666 168	15.06.2010	CMG-5T, GSR- 24, DSL/ 15.06.2008	HN (E,N,Z) a / 0÷40
23	Зеленая Zelenaya ZLN/ZLN	56.017 160.803 1050	30.10.1988	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
24	Институт Institut INS/INSR	53.067 158.609 170	20.11.1981	СКД, PTCC	LH (E,N,Z) v / 0.04÷0.5
25	Институт Institut IVS/-	53.067 158.609 170	10.01.2007	CMG-3TB, CMG-5T, GSR- 24, LAN/ 10.01.2007	BH (E,N,Z) v / 0,0083÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
26	Каменистая Kamenistaya KMN/KMNR	55.756 160.247 1145	27.09.1990	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
27	Каменская Kamenskaya KMI/ (KMSK)	62.467 166.206 45	21.06.2010	CMG-6TD, DSL/ 10.02.2011	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40
28	Карымский Karymskiy KRY/KII	54.036 159.449 900	02.09.1989	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
29	Карымшина Karyimshina KRM/KMR	52.828 158.131 90	17.01.2000	CMG-3TB, GSR- 24, 12.07.2013 CMG-5TD, VSAT/22.12.2010	BH (E,N,Z) v / 0.0083÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
30	Кивимен Kizimen KZV/KZV	55.113 160.294 1500	28.09.2009	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20

№	Название рус. название англ. код рег./межд.	Координаты, высота (м)	Дата открытия станций	Оборудование станций/ дата установки	Сейсмометрические каналы (v – скорость, a – ускорение)/частотный диапазон, Гц
31	Киришева Kirysheva KIR/KIRR	55.953 160.342 1470	05.08.2006	CM-3, PTCC CMG-6TD, WiFi 11.09.2012	SH (E,N,Z) v/0.7÷20 EH (Z) v/4÷20 BH (E,N,Z) v / 0.01÷40
32	Ключи Klyuchi KLY/KLY	56.313 160.852 70	31.12.1946	CM-3, PTCC KS-2000, DM24, CMG-5TD, DSL, VSAT/17.02.2011	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 BH (E,N,Z) v / 0.01÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
33	Козыревск Kozyrevsk KOZ/KOZ	56.058 159.872 60	17.10.1958	CM-3, PTCC CMG-6TD, DSL, CMG-5TD, DSL, VSAT/ 04.12.2013	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20, BH (E,N,Z) v / 0.033÷40, HN (E,N,Z) a / 0÷40
34	Копыто Koruto KPT/KPT	55.966 160.222 1000	24.10.1997	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
35	Коряка Koryaka KRK/KOK	53.296 158.643 1050	30.08.1977	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
36	Корякский ретранслятор Koryakskii KRE/KRER	53.304 158.749 1845	15.01.2009	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
37	Крестовский Krestovskiy KRS/KRSR	56.217 160.565 1180	08.04.1988	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
38	Кругоберегово Krutoberegovo KBT/KBTR	56.208 162.819 360	14.10.1997	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
39	Кругоберегово Krutoberegovo KBG/KBG	56.258 162.713 30	10.04.1968	CMG-3TB, CMG-5T, GSR-24, VSAT/ 16.08.2009	BH(E,N,Z) v / 0.0083÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
40	Логинов Loginov LGN/LGNR	56.083 160.690 2530	01.09.1999	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
41	Малая Ипелька Malaya Ipel'ka MIP/MIPR	52.276 156.758 370	11.11.1997	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
42	Маяк Mayak MPP/-	52.887 158.704 130	1980	CMG-5TD, WiFi/ 18.11.2010	HN (E,N,Z) a / 0÷40
43	Сопка Мишенная Mishennaya MSN/-	53.0438 158.6391 381	1982;	CMG-5TD, WiFi/ 17.02.2011	HN (E,N,Z) a / 0÷40
44	Морской порт Morskoy port UK3/-	56.222 162.523 2	22.12.2009	CMG-5TD, WiFi/ 25.12.2009	HN (E,N,Z) a / 0÷40

№	Название рус. название англ. код рег./межд.	Координаты, высота (м)	Дата открытия станций	Оборудование станций/ дата установки	Сейсмометрические каналы (v – скорость, a – ускорение)/частотный диапазон, Гц
45	Мутновский Mutnovskiy MTV/MTVR	52.484 158.193 1390	01.12.2008	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
46	Мыс Козлова Mys Kozlova MKZ/MKZ	54.556 161.730 520	25.09.1997	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
47	Налычево Nalytchevo NLC/NLC	53.171 159.345 20	30.03.1984	CM-3, PTCC CMG-5TD, WiFi/ 24.12.2010	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20 HN (E,N,Z) a / 0÷40
48	Начики NCHK/NCHK	53.120 157.760 465	04.12.2013	CMG-6TD, DSL/ 24.12.2013	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40
49	НИГПЦ NIGTTS NII/-	53.080 158.641 190	01.10.2007	CMG-5T, GSR- 24, WiFi/ 15.12.2007	HN (E,N,Z) a / 0÷40
50	Николаевка Nikolaevka NIC/-	53.046 158.341 25	01.10.2007	CMG-5T, GSR- 24, WiFi/ 15.12.2007	HN (E,N,Z) a / 0÷40
51	Occopa Ossora OSS/OSSR	59.2618 163.0718 35	25.01.1973 перенесена 24.07.2012	CMG 5T6TDE, DSL, VSAT/ 03.08.2013	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
52	Палана Palana PAL/PALN	59.094 159.968 70	13.11.2008	STS-2, GSR-24, DSL, VSAT/ 13.11.2008	BH(E,N,Z) v / 0.0083÷40
53	Паужетка Pauzhetka PAU/PAU	51.468 156.815 130	30.04.1961	CMG-6TD, 17.07.2013 CMG-5T, GSR- 24, VSAT/ 30.10.2007	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
54	Петропавловск Petropavlovsk PET/PET	53.023 158.650 100	18.03.1951	STS1, FBA23, GS13, Quanterra - 24,/1993 CM-3, PTCC CMG-5T, GSR- 24, LAN/ 18.03.2010	BB(E,N,Z) v; SH (E,N,Z) v; HN (E,N,Z) a / 0÷40 SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20 HN (E,N,Z) a / 0÷40
55	Русская Russkaya RUS/RUS	52.432 158.513 80	21.12.1987	CM-3, PTCC CMG-5TD, WiFi/ 21.12.2010	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20 HN (E,N,Z) a / 0÷40
56	Рыбачий Rybachiyy RIB/-	52.918 158.533 100	01.10.2007	CMG-5T, GSR- 24, DSL/ 15.12.2007	HN (E,N,Z) a / 0÷40
57	Седловина Sedlovina SDL/SDLR	53.278 158.887 1230	17.12.1991	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
58	Семкарок Semkarok SMK/SMKR	56.582 161.468 895	18.09.2005	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20

№	Название рус. название англ. код рег./межд.	Координаты, высота (м)	Дата открытия станций	Оборудование станций/ дата установки	Сейсмометрические каналы (v – скорость, a – ускорение)/частотный диапазон, Гц
59	Сомма Somma SMA/SMAR	53.266 158.812 2050	27.02.1991	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
60	Сорокина Sorokina SRK/SRKR	56.654 161.168 845	18.09.2005	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
61	Срединный Sredinnyy SRD/SRDR	56.319 159.693 830	04.01.1992	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
62	Тигиль Tigil TIGL/TIGL	57.7648 158.6707 140	12.08.2012	CMG-6TD/ 12.08.2012	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40
63	Тиличики Tilichiki TLI/TILR	60.446 166.145 25	02.05.2009	CMG-3TB, GSR- 24, 20.12.2009 CMG-5T, GSR- 24, VSAT/ 02.05.2009	BH(E,N,Z) v / 0.0083÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
64	Тумрок Tumrok TUM/TUMR	55.283 160.146 1210	25.07.2003	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
65	Тумрок источники Tumrok D TUMD/TUMD	55.203 160.399 486	18.03.2011	CMG-6TD, CMG-5TD, VSAT/18.03.2011	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
66	Угловая Uglovaya UGL/UGLR	53.210 158.829 1200	19.08.1992	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
67	Ходутка Khodutka KDT/ KDTR	51.809 158.077 40	1985	CMG-6TD, CMG-5TD, VSAT/25.08.2011	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
68	Цирк Tsirk CIR/CIRR	56.115 160.748 1450	16.10.1998	CM-3, PTCC	SH (E,N,Z) v / 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20
69	Шипунский Mys Shipunski SPN/SPN	53.105 160.011 70	25.08.1962	CM-3, PTCC CMG-6TD, CMG-5TD, VSAT/ 08.07.2011	SH (E,N,Z) v 0.7÷20 EH (Z) v / 4÷20 BH (E,N,Z) v / 0÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40
70	Школа Shkola SCH/-	52.958 158.674 70	01.10.2007	CMG-5T, GSR- 24, WiFi/ 15.12.2007	HN (E,N,Z) a / 0÷40
71	Эссо Esso ESO/ESO	55.932 158.695 490	24.11.1965	CMG 5T6TDE, DSL VSAT/ 21.11.2013	BH (E,N,Z) v / 0.033÷40 HN (E,N,Z) a / 0÷40

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Широкополосные сейсмические станции, данные которых доступны
на межрегиональном информационно-обрабатывающем центре
КФ ГС РАН «Петропавловск» в реальном времени
(включая станции сети IRIS)

№	Название	Код* межд./рег.	Дата открытия станции, дд.мм.гггг	Координаты, высота, $\lambda^{\circ}, N / \phi^{\circ}, E / h, m$	Сейсмо- метрические каналы	Дата ввода канала в работу, дд.мм.гггг
1	Билибино	BILL/—	16.08.1995	68.039/166.271/299	BH(E,N,Z)	03.07.2009
2	Ванино	—/A732	16.09.2008	49.091/142.717/0	BH(E,N,Z)	10.11.2011
3	Головино	—/YUK2	07.09.2011	43.739/145.519/10	HN(E,N,Z)	07.09.2011
4	Долинск	—/DOL	15.12.2008	47.321/142.787/20	HN(E,N,Z)	15.12.2008
5	Корсаков	—/KOR	21.12.2008	46.646/142.765/40	HN(E,N,Z)	21.12.2008
6	Курильск	KUR/KUR	1950	45.231/147.873/35	BH(E,N,Z)	07.09.2010
					HN(E,N,Z)	07.09.2010
7	Лагунное	—/YUK1	04.09.2011	44.056/145.786/15	HN(E,N,Z)	04.09.2011
8	Магадан	MA2/—	17.09.1993	59.575/150.768/339	BH(E,N,Z)	29.03.2011
9	Менделеево	—/YUK4	07.09.2011	43.972/145.693/220	HN(E,N,Z)	07.09.2011
10	Мыс Шульца	MSHR/MSH	27.09.2008	42.581/131.157/75	BH(E,N,Z)	27.09.2008
11	Невельск	NEVR/NEV	10.10.2008	46.676/141.858/24	HN(E,N,Z)	10.10.2008
12	Новоалександровск	—/NVA	20.10.2011	47.032/142.720/50	BH(E,N,Z)	20.10.2011
					HN(E,N,Z)	20.10.2011
13	Новоалександровск	—/A741	12.01.2011	47.030/142.717/45	BH(E,N,Z)	12.01.2011
14	Ноглики	—/NGL	11.11.2010	51.783/143.126/10	BH(E,N,Z)	11.11.2010
					HN(E,N,Z)	11.11.2010
15	Oxa	OKH/OKH	01.12.1958	53.602/142.946/20	BH(E,N,Z)	26.11.2009
					HN(E,N,Z)	26.11.2009
16	Плато	—/SK2	22.11.2010	50.621/156.137/240	BH(E,N,Z)	22.11.2010
					HN(E,N,Z)	22.11.2010
17	Северо-Курильск	SKR/SKR	01.03.1958	50.670/156.116/30	BH(E,N,Z)	27.03.2009
					HN(E,N,Z)	27.03.2009
18	Терней	TEY/TEY	01.02.1982	45.062/136.601/41	BH(E,N,Z)	20.10.2011
					HN(E,N,Z)	20.10.2011
19	Тикси	TIXI/—	15.08.1995	71.649/128.866/50	BH(E,N,Z)	17.03.2009
20	Тымовское	TYV/TYV	01.04.1969	50.865/142.675/152	BH(E,N,Z)	20.09.2010
					HN(E,N,Z)	20.09.2010
21	Углегорск	UGL/UGL1	01.12.1950	49.076/142.065/30	BH(E,N,Z)	12.09.2010
					HN(E,N,Z)	12.09.2010
22	Улункан	YLYR/YLYR	16.07.1989	54.876/111.162/560	HN(E,N,Z)	23.05.2012
23	Холмск	KHLM/KHL	10.10.2008	47.056/142.052/40	HN(E,N,Z)	10.10.2008
24	Чегдомын	—/A720	26.09.2009	51.137/133.041/482	BH(E,N,Z)	26.09.2009
25	Шикотан	SHO/SHO	01.11.1958	43.870/146.834/40	BH(E,N,Z)	27.11.2009
					HN(E,N,Z)	27.11.2009
26	Шумшу	—/SK3	24.11.2010	50.689/156.190/102	BH(E,N,Z)	24.11.2010
					HN(E,N,Z)	24.11.2010
27	Южно-Курильск	YUK/YUK	01.10.1960	44.056/145.786/15	BH(E,N,Z)	15.08.2010
					HN(E,N,Z)	15.08.2010
28	Южно-Сахалинск	YSS/SSH	01.03.1957	46.959/142.760/110	BH(E,N,Z)	01.02.2013
					HN(E,N,Z)	17.07.2013

№	Название	Код* межд./рег.	Дата открытия станции, дд.мм.ггг	Координаты, высота, λ° , N / ϕ° , E / h, м	Сейсмо- метрические каналы	Дата ввода канала в работу, дд.мм.ггг
29	Южно-Сахалинск	YSS/—	01.06.1992	46.954/142.755/98	BH(E,N,Z)	08.03.2009
30	Якутск	YAK/—	31.08.1993	62.031/129.681/91	BH(E,N,Z)	26.02.2009
31	Adak	ADK/—	01.01.1966	51.884/-176.684/116	BH(E,N,Z)	19.07.2009
32	Inchon	INCN/—	24.06.1995	37.480/126.630/420	BH(E,N,Z)	06.12.2011
33	Matsushiro	MAJO/—	15.06.1977	36.543/138.207/405	BH(E,N,Z)	03.08.2012
34	Midway Island	MIDW/—	01.10.1999	28.220/-177.370/18	BH(E,N,Z),	30.07.2009

Примечание. * – международный код отсутствует для станций, не зарегистрированных в системе «Международная регистрация сейсмографов»; региональный код отсутствует для станций сети IRIS.

Каналы BH(E,N,Z) – оснащены велосиметрами: Guralp (Англия) CMG-3 (0.0083÷40 Гц) и CMG-6 (0.033÷40 Гц); Streckeisen (Швейцария) STS-1 (0.0027 – 20 Гц), REFTEK (США, 0.0083÷40 Гц);

Каналы HN(E,N,Z) – оснащены акселерометрами: Guralp (Англия) CMG-5 (0 – 40 Гц)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пункты геофизических наблюдений КФ ГС РАН

Наблюдения Оборудование	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), погрешность измерений
	п. Каменское <u>KMS</u> , KMSI; 62.466°N, 166.205°E.	1996.10.13 / по настоящее время		30 секунд
	C/сrt. «Гипчики» <u>TIL</u> , TIL;	1998.10.20 / по настоящее время		1 секунда
	60.445°N, 166.146°E.	2001.08.27 / по настоящее время		1 секунда
	C/сrt. «Оссора» OSS1, OSSS; 59.261°N, 163.071°E.	2012.06.16 / по настоящее время		30 секунд
	п. Тигиль <u>TIG</u> , TIGL; 57.776°N, 158.714°E.	1997.09.15 / 2012.07.10 / по настоящее время		30 секунд
	C/сrt. «Тигиль» TIGS; 57.764°N, 158.670°E. п. Усть-Камчатск ЦКАМ;	2001.08.11 / по настоящее время	Регистрация кода (псевдодальностей) и изменения фазы сигналов L1, L2,	30 секунд
	56.264°N, 162.592°E.	1996.08.18 / по настоящее время	навигационной системы NAVSTAR (GPS).	1 секунда
	C/сrt. «Кругоберегово» KBG; 56.258°N, 162.711°E.	1997.08.03 / по настоящее время	Точность определения координат при постобработке, режим «статика», суточное среднее – ± (2–6) мм	1 секунда
	C/сrt. «Беррин» BKL, BRNG; 55.193°N, 165.983°E.	1996.08.17 / по настоящее время		1 секунда
	TRIMBLE 4000 SSI JAVAD Lexon-GGD TRIMBLE NETRS	1996.07.27 / по настоящее время		1 секунда
	C/сrt. «Ключ» KLU, KLUC; 56.318°N, 160.856°E.	2001.08.16 / по настоящее время		30 секунд
	п. Майское MAYS; 56.254°N, 160.061°E.			
	C/сrt. «Козыревско» KOZS; 56.057°N, 159.872°E.	2012.09.01 / по настоящее время		1 секунда 30 секунд.
	Компьексный пункт наблюдений «Киршиева» BZ07; 55.952°N, 160.342°E.	2007.12.02 / по настоящее время		1 секунда 30 секунд.

Наблюдения Оборудование	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), погрешность измерений
	Комплексный пункт наблюдений «Грива» BZGD; 55.939°N, 160.695°E	2013.08.31 / по настоящее время		1 секунда 30 секунд.
	п. Агасово, ATLS; 55.606°N, 159.648°E	2013.10.20 / по настоящее время		30 секунд
	п. Миньково МЛ1; 54.679°N, 158.584°E.	2001.09.27 / по настоящее время		1 секунда
	C/сrt. «Жуланов» ZUPN; 54.081°N, 159.987°E.	2012.10.22 / по настоящее время		30 секунд
	п. Малка МАЛ1; 53.325°N, 157.536°E.	2001.07.31 / по настоящее время		30 секунд
	в. Карымский KRMS; 54.035°N, 159.451°E.	2007.10.24 / по настоящее время		30 секунд
	C/сrt. «Алатча» APRCH; 52.925°N, 157.133°E.	2008.02.27 / по настоящее время		1 секунда
	Комплексная геофизическая обсерватория (КГО) «Карымшина» KMSH; 52.826°N, 158.131°E.	2000.09.02 / по настоящее время		1 секунда
	Радиоточка RADZ; 53.073°N, 158.986°E.	2004.12.03 / по настоящее время		1 секунда
	Маяк «Петропавловский» MYAK; 52.889°N, 158.707°E	1996.09.12 / по настоящее время		1 секунда
	C/сrt. «Волгодонская» VODO;	2004.10.23 / по настоящее время		30 секунд
	51.809°N, 158.077°E.			
	C/сrt. «Плауск» PAUN;	2002.08.06 /		30 секунд
	51.468°N, 156.814°E.	2012.09.06		30 секунд
	C/сrt. «Плаужет» PAUJ;	2012.06.23 / по настоящее время		
	51.468°N, 156.815°E.			
Наклономерные наблюдения	PETT* с/сrt. «Петропавловский»	2010.08.17 / по настоящее время		100 Гц
	53.023°N, 158.650°E, 79 м			

Наблюдения Оборудование	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), погрешность измерений
Наклономерные наблюдения Applied Geomechanics 701- 2A	KRMT* КГО «Карымшина» 52.828°N, 158.131°E, 114.М KZRT* с/сrt «Козыревско 56.057°N, 159.872°E, 72.М GRVT* ПН В «Грива» 55.817°N, 160.821°E, 1200.М KLYT* с/сrt «Ключи» 56.316°N, Е 160.857, 43.М CIRT с/сrt «Цирк» 56.115°N, Е 160.748, 1436.М LGNT с/сrt «Логинова» 56.083°N, Е 160.688, 2545.М APHT с/сrt «Алахончиц» 55.993°N, Е 160.842, 744.М	2010.09.15 / по настоящее время 2013.12.06 / по настоящее время 2013.09.13 / по настоящее время 31.08.2010 / по настоящее время 30.08.2010 / по настоящее время 05.09.2011 / по настоящее время 29.08.2010 / по настоящее время	Наклон по направлениям Восток, Север; температура сенсора; *датчик атмосферного давления. Точность: наклоны ~0.03 мкр; температура ~0.1°C; атмосферное давление ~0.5 kPa	100 Гц 100 Гц 100 Гц 100 Гц 100 Гц 100 Гц 100 Гц
Гидро- химические наблюдения Пламенный фотометр FLAPRHO 4, иономер универсальный ЭВ-74,	Станция «Пинажево» (53.29°N, 158.41°E), 5 наблюдательных водопунктов (четыре слаботермальных источника и скважина ГК-1 глубиной 261.М) Станция «Морозица» (53.18°N, 158.29°E), скважина №1 глубиной 600.М. Станция «Хлебозавод» (53.05°N, 158.66°E), самозмывающаяся скважина Г-1 глубиной 2500 м обсажена на всю глубину ствола.	1977 г. / по настоящее время 1983 г. / по настоящее время 1988 г. / по настоящее время	Q (расход воды), Т (температуры воды и воздуха), Рам (атмосферное давление), pH, концентрации ионов хлора (Cl ⁻), гидрокарбоната (HCO ₃ ⁻), сульфата (SO ₄ ²⁻), натрия (Na ⁺), калия (K ⁺), кальция (Ca ²⁺), магния (Mg ²⁺), концентрации борной (Н ₃ BO ₃) и гремиевой (Н ₄ SiO ₄) кислот, метана (CH ₄), азота (N ₂), кислорода (O ₂), углекислого газа (CO ₂), гелия (He), водорода (H ₂), этана (C ₂ H ₆), этилена (C ₂ H ₄), пропана (C ₃ H ₈),	3 дня 3 дня 3 дня 3 дня

Наблюдения	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), погрешность, измерений
фотоколориметр КФК-3, газовый хроматограф "Хроматек- Кристалл" 5000.2.	Станция «Верхняя Параллель» (52.83°N, 158.13°E) в пределах Верхнего Парагутского месторождения термальных вод. Станция состоит из четырех самонаполняющихся скважин (ГК-5, №44, ГК-15, ГК-17)	1986 г. / по настоящее время	пропилена (C_3H_6), бутана ($C_4H_{10}P$) и изобутана (C_4H_{10}).	6 дней
<i>Гидрогеохи- мические наблюдения</i> Комплекс «КЕДР- ДМ»	<i>Пьезометрическая скважина Е-1</i> (53.26°N, 158.48°E, глубина 665 м) <i>Скважина Морозная I</i> (53.178°N, 158.285°E) <i>Пьезометрическая скважина ЮЗ-5</i> (53.17°N, 158.41°E, глубина 800 м)	03.01.1987 г. / по настоящее время 02.07.2013 г – настоящее время 09.09.1997 г. / по настоящее время	Уровень, электропроводность, температура воды, атмосферное давление, температура воздуха	1 сут, 10 мин, 5 мин. Уровень: 1 см, 0,1 см; Атм. давл.: 1 гПа, 0,1 гПа; Электропроводность: 1 мСм/м; Температура воды: 0,01°C; Температура воздуха: 0,1 °C
<i>Газодинамические наблюдения</i>	<i>Пункт «Карымшина»</i> (52.82°N, 158.12°E), КГО «Карымшина». Объекты наблюдений: скважина глубиной 4 м, глубокие самонаполняющиеся скважины ГК-17, ГК-37, К-88.	2001 г. / по настоящее время	T (температура воды), P (давление в скважине), концентрации H_2 (водорода), Rn (радона), теллурические потенциалы, интенсивности потока тепловых нейтронов – 1 мин; радона и торона – 30 мин, термодинамические показатели – 10 мин.	Период измерений водорода, теллурических потенциалов,
	<i>Пункт «Параллель»</i> (52.58°N, 158.15°E) расположен на территории Парагутского стационара ИВиС ДВО РАН. Объект наблюдения - скважина глубиной 60 м.	2009 г. / по настоящее время		

Наблюдения Оборудование	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), погрешность измерений
Наблюдения высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ)	<i>Пункт «Начала» (53,1°N, 157,8°E) (сейсмопостамент на коренных породах в термостатированном обвалованном бункере на склоне крупного интрузивного массива диоритов множественного возраста)</i> <i>Пункт «Карымшина» (52,8°N, 158,15°E) (измерительная скважина глубиной 35 м в осадочных породах четвертичного возраста)</i>	1992 г. / по настоящее время	Сейсмический шум в узкой частотной полосе (центральная частота \approx 30 Гц, добротность 100).	Непрерывные наблюдения. Частота отсчетов 100 Гц.
Наблюдения электротеллурических потенциалов	<i>Пункт «Шипунский» (53°06'20"N, 160°00'43"E) Шесть измерительных линий.</i> <i>Пункт «Паргатника» (52°50'21"N, 158°08'47"E) Четыре измерительные линии.</i>	1990 г. / по настоящее время 1996 г. / по настоящее время	Разность электротеллурических потенциалов на двух разнесенных электродах, заглушенных в грунт	Частота измерений – 1 минута Точность – 0,05%
Геофизическая радиотелеметричес- кая система (КФ ГС РАН)	<i>Пункт «Гидроевой» (53°03'25"N, 158°47'10"E) Шесть измерительных линий.</i> <i>КГО «Карымшина» (52,82°N, 158,12°E). Шесть измерительных линий</i>	1997 г. / по настоящее время октябрь 1999 г./по настоящее время		
Газодинамиче- ские наблюдения Регистрация концентрации подложечных газов	<i>Однодный пункт "Паргатника" (52,9°N, 158,26°E) Датчики располагаются в шурфах глубиной от 1 до 3 м в золовидно-деловидальных отложениях.</i> <i>ИВиС ДВО РАН (скважина НИС-1) (53,07°N, 158,61°E), Бункер глубиной 3 м в техногенных рыхлых отложениях над оголенным скважины НИС-1 глубиной 350 м.</i>	01.11.1997 г. / по настоящее время	Концентрация радона, плотность потока радона с поверхности, концентрация молекулярного водорода, концентрация углекислого газа, регистрация β-излучения в атмосфере на разных высотах,	2 цикла/час б цикла/час
Радон. Радиометры «РЭВАР»		01.02.2001 г. / по настоящее время	напряженность атм. эл. поля, В/м, метеорологические параметры: атмосферное давление, температура	б цикла/час

Наблюдения Оборудование	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), потребность в измерении
<u>Углекислотный газ.</u> FYA600CO2H, фирма ALMEMO Диапазон измерений составляет от 0 до 10 000 ppm.	<i>ИВиС ДВО РАН</i> (подвал) (53,07° N, 158,61° E) Датчик расположен в рыхлых отложениях техногенного происхождения в подвале здания ИВиС. <i>Геотермальный стационар ИВиС ДВО РАН</i> (52,97° N, 158,25° E) Датчики располагаются в шурфах в эловично-делювиальных отложениях и в воздухе на высотах 2,5 и 5 м «Карымчина» (стационар ИВиС ДВО РАН) (52,80° N, 158,10° E). Датчики располагаются в шурфах эловично-делювиальных отложений.	01.02.2001 г. / по настоящее время	концентрация радона, плотность потока радона с поверхности, концентрация молекулярного водорода, концентрация углекислого газа, регистрация β-излучения в атмосфере на разных высотах, напряженность атм. поля, В/М, метеорологические параметры: атмосферное давление, температура воздуха.	2 цикла/час
<u>Молекулярный водород.</u> Водородный геофизический сигнализатор ВСГ- 02		01.07.2009 г. / по настоящее время		12 цикл/час
<u>Метеопараметры</u> Шестигранальный контроллер - РЕТИН-ЗАК_	<i>Нальчицкий</i> (53,13° N, 158,88° E) Два датчика на глубинах 1 и 2 м.	17.07.2007 г. / по настоящее время		2 цикл/час
	<i>Геотермальный стационар ИВиС ДВО РАН</i> (52,97° N, 158,25° E), микробарометр К-304	17.10.2004 г. / по настоящее время		6 цикл/час
Регистрация волновых воздушных в атмосфере	<i>Станция МСМ «Петропавловск- Камчатский»</i> (Начинка, 53,1° N, 157,8° E) <i>Сейсмическая станция Ключи</i> (56°19'10" N 160°51'32"E), микробарометр К-304	2008 г. / по настоящее время	Вариации атмосферного давления в диапазоне 0,003–10 Гц	100 Гц
	<i>Акустический канал на наклономерной ст.</i> <i>KLYT</i> (56°19'00" N 160°51'40"E)	январь 2013 г. / по настоящее время	Вариации атмосферного давления в диапазоне 0,003–10 Гц	100 Гц
	<i>Акустический канал на наклономерной ст. PETT</i> (53°1'389" N 158°38'99"E)	январь 2013 г. / по наст. время	Вариации атмосферного давления в диапазоне 0,5–10 Гц	100 Гц

Наблюдения Оборудование	Станции/Пункты наблюдений (координаты, краткая характеристика)	Начало/ окончание наблюдений	Измеряемые параметры	Период (частота), погрешность измерений
	<i>Акустический канал на с/с ВГС «Гриб».</i> Дифференциальный микробарометр ISGM03M	сентябрь 2013 г. / по настоящее время		100 Гц
Регистрация волновых воздушных воздушений в атмосфере	<i>Акустический канал в п. Козыревск, КОЗТ (56° 3.453'N 159° 52.336'E). Дифференциальный микробарометр ISGM03M</i>	декабрь 2013 г. / по настоящее время	Вариации атмосферного давления в диапазоне 0.003–10 Гц	100 Гц
	<i>Акустический канал на с/с ТУМД (55°12.186'N 160°23.940'E). Дифференциальный микробарометр ISGM03M</i>	октябрь 2013 г. / по настоящее время		100 Гц
Вариации ЭМИЗ	<i>КГО «Карбылтана» (52.80°N, 158.10°E)</i>	ноябрь 1999 г. / наст. вр.	Вариации напряженности магнитного поля Земли	150 Гц
Метео- наблюдения	<i>Начала</i> <i>КГО «Карбылтана» (52.80°N, 158.10°E)</i>	14.03.2010 г. / по наст. время	Температура, скорость и направление ветра, давление, влажность, количество осадков	1 мин
		15.01.2010 г. / по наст. время		

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Система сбора и обработки макросейсмической информации

Для сбора макросейсмических сведений о землетрясениях, происходящих в зоне ответственности КФ ГС РАН, используется:

- информация об ощущениях землетрясений от жителей Камчатки, поступающая через on-line анкету, размещенную на сайте КФ ГС РАН (<http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php>);
- протокол обработки землетрясений, размещенный на сайте КФ ГС РАН (<http://ts.emsd.ru/all.php>), за прошедшие сутки или более (после выходных и праздничных дней);
- информация о землетрясениях, полученная по линии Службы срочных донесений (ССД);
- информация об ощущениях землетрясений от жителей Камчатки, полученная путем опроса.

Для опроса выбираются землетрясения, для которых либо уже имеется информация об их ощутимости, либо они по энергетическому классу ($K_s \geq 7.5$) и расположению эпицентра могли бы иметь макросейсмические проявления в тех или иных населенных пунктах и местах постоянного пребывания людей (маяки, гидрометеостанции и т. п.). Сведения собираются сначала из ближайших к эпицентру пунктов, а затем из более удаленных до получения уверенной границы действия макросейсмического поля с $I=0$.

При возникновении ощутимого землетрясения в г. Петропавловске-Камчатском или поступлении сигнала о том, что землетрясение ощущалось в том или ином населенном пункте Камчатского края, в рабочее время сбор сведений о его проявлениях начинается немедленно. Если землетрясение вызвало сотрясения с $I \geq 5$ баллов, то сотрудники лаборатории сводной обработки (ЛСО) привлекаются для сбора макросейсмики и в нерабочее время в соответствии с регламентом работы в оперативном режиме. В случае возникновения разрушительных землетрясений для сбора макросейсмических сведений непосредственно на местах организуется выезд сотрудников ЛСО в составе групп, обследующих пострадавшие территории.

Основным способом получения макросейсмической информации в настоящее время является устный опрос по телефону.

При необходимости, когда камчатские землетрясения ощущаются и за пределами края, (как, например, после Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г., $Mw=8.3$), проводится поиск и анализ сообщений на новостных сайтах Интернет и в других интернет-ресурсах (блоги, чаты и т. п.) о макросейсмических проявлениях землетрясений в различных

населенных пунктах. Кроме того, делаются письменные запросы в научные учреждения и территориальные подразделения МЧС в тех населенных пунктах, где землетрясение могло вызвать ощутимые колебания.

Помимо этого, любой житель Камчатского края может заполнить оп-line анкету «Сообщение о землетрясении», которая доступна на официальном сайте КФ ГС РАН (<http://www.emsd.ru/lso/poll.php>). В случае отсутствия телефонной и другой связи опрос проводится с помощью рассылки бумажной версии анкеты почтой.

Макросейсмическая информация, полученная через интернет-анкету, автоматически попадает в базу данных Единой информационной системы сейсмологических данных КФ ГС РАН (ЕИС СД) [Токарев, 2011]. Остальные собранные макросейсмические данные заносятся специалистами в БД ЕИС СД с помощью локальной web-страницы. Локальная и интернет страницы для внесения информации об ощущениях землетрясения являются компонентами подсистемы для сбора и обработки макросейсмических данных (Подсистема) [Митюшкина, 2013].

Обработка макросейсмической информации проводится с помощью другой составляющей Подсистемы – интерактивной программы «The Poll Viewer», которая представляет собой «рабочее место» специалиста по макросейсмике [Митюшкина, 2013]. Программа «The Poll Viewer» дает предварительную автоматическую оценку макросейсмической интенсивности в каждом пункте с помощью алгоритма, заложенного в сейсмической шкале интенсивности землетрясений MMSK-92 (проект) [Шебалин, 2003], и позволяет специалистам на основании собранных макросейсмических сведений производить окончательную экспертную оценку интенсивности в пунктах по шкале MSK-64. Все полученные значения интенсивности проявления землетрясения и замечания специалистов при работе с данными тут же попадают в БД ЕИС СД, где формируется макросейсмический каталог. Программа «The Poll Viewer» также строит карты пункты-баллы, позволяя моментально визуализировать собранную и обработанную макросейсмическую информацию.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Макросейсмическое проявление землетрясения 28.02.2013 г.

в $14^{\text{h}}15^{\text{m}}$ $K_s=15.2$, $Mc=6.6$, $Mw=6.8$

в населенных пунктах Камчатского края и Северных Курил

1. *Мыс Лопатка, $\Delta=82$ км, $I=5-6$ баллов.* Радиограмма в Гидрографию: «Ощущалось землетрясение силой 5-6 баллов и продолжительностью 50 секунд». На маяке одноэтажный шлакоблочный жилой дом 1967 года постройки в неудовлетворительном техническом состоянии. Из-за сильных помех во время радиосвязи сотрудники всех маяков крайне редко передают подробную информацию об ощущимых событиях. Обычно передается оценка балльности и продолжительности землетрясения.

2. *Маяк Курбатова (о. Шумшу), $\Delta=94$ км, $I=5-6$ баллов.* Радиограмма в Гидрографию: «Ощущалось землетрясение силой 5-6 баллов и продолжительностью 50 секунд». На маяке одноэтажный шлакоблочный жилой дом 1975 года постройки в удовлетворительном состоянии.

3. *Северо-Курильск (о. Парамушир), $\Delta=118$ км, $I=5-6$ баллов.* Землетрясение ощущалось большинством жителей города как сильные продолжительные колебания около 1 минуты. Люди просыпались, пугались, вставали в безопасные места, некоторые покидали помещение. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Сильно раскачивались висячие предметы, мебель (шкафы). Дребезжала, подпрыгивала посуда. Дрожали, дребезжали, трещали окна. Сдвигались, раскачивались картины, открывались дверцы шкафов. Скрипели полы, потолки, стены. Легкие, тяжелые малоподвижные предметы покачивались,ibriровали. Наблюдалось падение с полок книг и игрушек. Сильно беспокоились домашние животные (метались, кричали).

4. *Маяк Круглый, $\Delta=160$ км, $I=5-6$ баллов.* На маяке одноэтажный шлакоблочный жилой дом 1965 года постройки в удовлетворительном состоянии. Смотритель маяка проснулся от гула и очень сильной вибрации, сразу проснулась и его жена. Они посмотрели на часы и быстро встали в безопасное место. В комнате все тряслось и скрипело. Две собаки забегали и залаяли. Было впечатление, что дом ходит ходуном. Сильно раскачивались висячие предметы. Дребезжала посуда и стекла окон. Скрипели, дрожали дверцы мебели и двери. Дрожала, скрипела мебель. Раскачивались тяжелые предметы. Раскачивались, сдвигались картины. Скрипели полы, потолки, стены. Осыпалась чешуйками побелка. При осмотре стен после землетрясения обнаружены новые тонкие трещины в штукатурке, откалывание небольших кусков. Респондентом также отмечено появление сквозной трещины в несущей стене.

5. *Паужетка, $\Delta=112$ км, $I=4-5$ баллов.* Землетрясение ощущало боль-

шинство жителей поселка. Люди просыпались, вставали в безопасное место, некоторые вышли на улицу. В зданиях скрипели полы, потолки, стены и мебель. Заметно раскачивались висячие предметы, цветы в горшках. Дребезжала посуда, стеклянные задвижки в книжных полках. Сдвигались, раскачивались картины. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Покачивались, незначительно смешались,ibriровали небольшие неустойчивые и легкие предметы. Осыпалась чешуйками побелка. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Был слышен подземный гул. В одноэтажном бетонном здании сейсмостанции землетрясение ощущалось, как отчетливое дрожание с нарастанием в течение 10–15 секунд.

6. *Маяк Чибуйный (о. Шумшу)*, $\Delta=112$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Радиограмма в Гидрографию: «Ощущалось землетрясение силой 4–5 баллов и продолжительностью 15–20 секунд». На маяке одноэтажный деревянный жилой дом 1988 года постройки в неудовлетворительном техническом состоянии.

7. *Запорожье*, $\Delta=127$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка. Люди просыпались от нарастающего колебания, пугались, вставали в безопасное место. Скрипели полы, потолки, стены. Раскачивались, тряслись висячие предметы. Приоткрывались межкомнатные двери, скрипела не закрытая на ключ входная дверь.

8. *Озерновский*, $\Delta=127$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Проснулось большинство жителей поселка, взрослые и дети. Многие испугались, встали в безопасное место, кто-то вышел на улицу. Сильно раскачивались висячие предметы. Скрипела, раскачивалась, дрожала тяжелая мебель. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Землетрясение продолжалось около 1 минуты.

9. *ГМС Водопадная*, $\Delta=128$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Радиограмма в ГМЦ Петропавловской ГМС: «Началась нарастающая вибрация по всему дому. На пике дребезжала посуда, качались осветительные лампы. Вибрация плавно прекратилась. Колебания продолжались 20–25 секунд». Здание ГМС одноэтажное деревянное.

10. *Вилючинск*, $\Delta=254$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Продолжительные сильные колебания ощущались большинством жителей города. Люди просыпались, пугались, вставали в безопасные места. Заметно раскачивались висячие предметы, дребезжала посуда и стекла окон. Скрипела, раскачивалась, дрожала легкая мебель. Дрожали, покачивались небольшие неустойчивые, легкие предметы, некоторые смешались, падали. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Слышался скрип со стороны стен и потолка. Наблюдалось сотрясение здания в целом. На верхних этажах пятиэтажных зданий двигались дверцы мебели, двери, картины.

11. *Рыбачий*, $\Delta=256$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Землетрясение ощущало большинство жителей городка. Спавшие просыпались. На верхних этажах

пятиэтажных зданий люди сильно пугались, вставали в безопасное место. В доме был слышен грохот, все дребезжало (посуда, окна), упали цветы в горшках, стоявшие на подставке, сильно раскачивались висячие предметы.

12. *Николаевка*, $\Delta=268$ км, $I=4-5$ баллов. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка в течение 10–20 секунд. Люди просыпались, вставали в безопасные места. Некоторые слышали подземный гул, наблюдали сотрясение здания в целом. Сильно раскачивались висячие предметы. Скрипела, дрожала, раскачивалась тяжелая мебель. Упали два цветочных горшка: один упал с подоконника, второй, стоявший на полу, опрокинулся (3 этаж четырехэтажного крупноблочного дома).

13. *Петропавловск*, $\Delta=268$ км, $I=4-5$ баллов. Землетрясение ощущало большинство жителей города (в основном взрослое население), как продолжительные плавные покачивания. Многие спавшие проснулись. Люди пугались, вставали в безопасные места, некоторые после землетрясения вышли на улицу. Было ощущение сотрясения здания в целом, содрогались стены. Заметно раскачивались висячие предметы. Слышался скрип пластиковых оконных блоков. Наблюдалось дрожание, раскачивание мебели. Дверцы шкафов издавали хлопающие звуки. Перемещались картины на стене. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Некоторыми жителями зафиксировано падение книг и других небольших неустойчивых предметов на открытых полках и поверхностях.

14. *Институт*, $\Delta=273$ км, $I=4-5$ баллов. Землетрясение ощущалось на всех этажах зданий (пятиэтажные панельные и четырехэтажные крупноблочные дома на бульваре Пийпа Б. И. в г. Петропавловске-Камчатском), как отчетливое продолжительное плавное нарастающее покачивание. Хорошо ощущались Р и S вступления. Спавшие просыпались, на верхних этажах пугались. Многие встали, перешли в безопасное место, открыли входную дверь. Было ощущение содрогания здания в целом. Заметно раскачивались висячие предметы. Скрипела, дрожала, раскачивалась мебель. Подрагивали дверцы шкафов. Слышалось дребезжание посуды и стеклянных дверей серванта. Замечено колебание жидкости в открытых сосудах и падение небольших неустойчивых предметов с открытых полок.

15. *MГeoЭC-1*, $\Delta=210$ км, $I=4$ балла. Двухэтажное жилое здание, бетонный монолит на Мутновской геотермальной электростанции. Многие спавшие проснулись от короткого резкого толчка, испуга не было. Последующего раскачивания практически не было.

16. *P. Карымшина (стационар КФ ГС)*, $\Delta=241$ км, $I=4$ балла. Землетрясение ощущали на 1 этаже двухэтажного деревянного здания. Два сотрудника стационара проснулись от колебаний, продолжавшихся 5–10 секунд. Скрипели полы, потолки, стены. Наблюдалось сотрясение здания целиком. Едва заметно раскачивались висячие предметы. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери.

17. Термальный, $\Delta=255$ км, I=4 балла. Сильные продолжительные плавные покачивания ощущало большинство жителей поселка. Люди просыпались, некоторые пугались, вставали в безопасные места. Скрипела мебель, полы, потолки и стены. Заметно раскачивались висячие предметы. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Отдельные люди до землетрясения слышали подземный гул.

18. Паратунка, $\Delta=258$ км, I=4 балла. Землетрясение ощущали многие жители поселка, просыпались. На 2 этаже пятиэтажного панельного дома люди проснулись от резких колебаний кровати, сразу побежали в безопасное место (дверной проем). Отметили, что трещала мебель, дребезжали оконные стекла и посуда, поскрипывали и дрожали двери, дребезжала и раскачивалась люстра. В одноэтажных частных деревянных домах люди просыпались, но ощущения были намного слабее.

19. Маяк Петропавловский, $\Delta=260$ км, I=4 балла. Все проснулись от отчетливой вибрации, продолжавшейся 10 секунд. Заметно раскачивалась люстра, дрожал шкаф и слышался звук со стороны чугунного радиатора отопления, висящего на крюках у стены. Постукивали о стену радиаторы отопления.

20. Сосновка, $\Delta=270$ км, I=4 балла. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка. Люди просыпались, пугались, вставали в безопасное место, некоторые затем покинули помещение. На 2 этаже крупноблочного многоквартирного дома сильно качались кровати; компьютерный стол раскачивался и стучал о стену; на столе сильно качался монитор. Был слышен шум, идущий непонятно откуда.

21. Вулканый, $\Delta=272$ км, I=4 балла. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка. Многие спавшие проснулись. На 4 этаже пятиэтажного панельного дома спавшие проснулись от сильного колебания кровати, испугались и сразу побежали в безопасное место (в проем двери), сильно раскачивалась люстра.

22. Начики, $\Delta=272$ км, I=4 балла. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка в течение 20 секунд. На 2 этаже трехэтажного крупноблочного дома женщина проснулась от раскачивания дивана. Ее дочь не спала, испугалась, обе сразу же встали в безопасное место. Сильно раскачивалась люстра.

23. Пионерский, $\Delta=274$ км, I=4 балла. Землетрясение продолжалось около 1 минуты. Спавшие просыпались, вставали в безопасное место. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Заметно раскачивались висячие предметы, дребезжала посуда.

24. Новый, $\Delta=276$ км, I=4 балла. Продолжительные колебания ощущали многие жители поселка. Спавшие просыпались, пугались, некоторые вставали в безопасное место. Заметно раскачивались висячие предметы, дребезжала посуда. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Скрипели полы, потолки, стены. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

25. Елизово, $\Delta=283$ км, $I=4$ балла. Землетрясение ощущало большинство взрослого населения города. Отчетливые колебания продолжались до 30 секунд. Ощущавшие находились на разных этажах зданий в разных частях города. Люди просыпались от колебаний кроватей. Некоторые пугались, вставали в безопасное место. Заметно раскачивались висячие предметы (люстры, вертикальные жалюзи). Дрожал монитор на столе. Слышалось дребезжание посуды, скрип дверных косяков и мебели. Наблюдалось колебание жидкости в открытых сосудах, дрожание различных предметов.

26. Лесной, $\Delta=288$ км, $I=4$ балла. На 2 этаже четырехэтажного крупноблочного дома женщина проснулась от раскачивания кровати, сильно испугалась, встала в безопасное место. Колебались межкомнатные двери, сильно качалась люстра. Бусы, подвешенные на двери, качались и стучали о дверь.

27. Зеленый, $\Delta=292$ км, $I=4$ балла. На 3 этаже четырехэтажного крупноблочного дома проснулись от отчетливого дрожания, продолжавшегося 5–10 секунд. Скрипела, дрожала, раскачивалась тяжелая мебель.

28. Коряки, $\Delta=292$ км, $I=4$ балла. В одноэтажном частном доме (бетонный монолит) жители проснулись от плавных сильных толчков. Встали, включили свет, напряженно ожидали, что будет дальше. Заметили, что покачивается люстра. В домах напротив люди тоже встали, зажегся свет.

29. Раздольный, $\Delta=292$ км, $I=4$ балла. Землетрясение ощущали многие жители поселка. На 1 этаже четырехэтажного крупноблочного дома женщину и ее мужа разбудил короткий и резкий толчок. Женщина очень испугалась, вскочила, побежала в проем двери. Слегка качалась люстра.

30. ГМС Семячики, $\Delta=412$ км, $I=4$ балла. Радиограмма в ГМЦ Петропавловской ГМС: «Проснулись от отчетливого плавного покачивания, как на лодке, в течение 1 минуты». Здание ГМС одноэтажное деревянное.

31. ГМС Кроники, $\Delta=492$ км, $I=4$ балла. Радиограмма в ГМЦ Петропавловской ГМС: «Ощущались длительные колебания, звенела посуда на полках». Здание ГМС одноэтажное деревянное.

32. Анача, $\Delta=255$ км, $I=3$ балла. На 4 этаже пятиэтажного панельного дома женщина не спала, сидела, смотрела телевизор. Ощутила слабые колебания. Слегка закачалась люстра.

33. Пущино, $\Delta=388$ км, $I=2-3$ балла. Землетрясение ощущалось очень слабо, некоторыми жителями. В поселке два двухэтажных деревянных многоквартирных дома, остальные постройки деревянные одноэтажные.

34. Мыс Васильева (о. Паромушир), $\Delta=185$ км, $I=2$ балла. Радиограмма в Гидографию: «Ощущалось землетрясение силой 2 балла и продолжительностью 15–20 секунд». На маяке одноэтажный жилой дом из бутобетона 1954 года постройки в неудовлетворительном техническом состоянии.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Макросейсмическое проявление Ильпирского землетрясения
13.03.2013 г. в 3^h12^m $K_s=13.9$, $Mc=6.3$, $Mw=5.8$
в населенных пунктах Камчатского края

1. Р. Анапка, $\Delta=25$ км, $I=6-7$ баллов. Жители поселка Ильпирский, ездившие на снегоходах на рыбалку на р. Анапку на следующий день после землетрясения, обратили внимание, что на льду реки появились тонкие трещины, которых раньше не было, а в одном месте образовалось нагромождение торосов с проломом внутри.

2. Оссора, $\Delta=95$ км, $I=5-6$ баллов. Землетрясение ощущали все жители поселка. Сначала многие слышали гул, напоминающий звук от движения груженого транспорта, затем началось содрогание стен домов. Большинство людей в испуге покидали помещения, выбегали в панике и долгое время находились на улице. Многие ощутили сильный толчок, на верхних этажах школы – плавное сильное раскачивание. Во всех домах сильно раскачивались висячие предметы. Скрипела, дрожала, раскачивалась мебель, плоские телевизоры. Дребезжала и подпрыгивала посуда, дребезжали в старых рамках стекла окон. В некоторых квартирах открывались двери. Отмечалось падение небольших неустойчивых предметов (кувшин, 1.5=литровой бутылки с водой). У некоторых людей ухудшилось самочувствие (головные боли, сердечные боли).

В школе на 4 этаже в кабинете русского языка и литературы учительница наблюдала колебание дверных косяков. В кабинете информатики от колебаний выдавило изнутри с одной стороны дверной наличник. На 3 и 4 этажах школы с потолка осыпалась шпаклевка. Был слышен треск от движения стен и перекрытий. С улицы в штукатурке трехэтажного старого каменного здания начальной школы появилась длинная трещина, со стены упали пластины штукатурки, оголив кладку; там же под карнизами в углах окон также выпали куски штукатурки (со слов учителя школы Заварзиной Нины Ильиничны).

Сотрудник сейсмостанции А. Я. Гуревич в момент землетрясения был на подледной рыбалке на заливе. Сидя почувствовал сильный однократный толчок вбок. По прибрежному ледяному припайю пошли тонкие трещины. Все, кто рыбачил на заливе, почувствовали толчок, сразу стали собираться и пошли в поселок.

3. Ильпирский, $\Delta=41$ км, $I=5$ баллов. Со слов сотрудницы поселковой администрации, находившейся на момент землетрясения в кабинете на 2 этаже двухэтажного деревянного здания, сначала услышали подземный гул, затем затрясся пол, начал стучать о стену шкаф, открывались и закрывались дверцы мебели. С полки упал перекидной календарь,

упала аудиоколонка, стоящая на корпусе процессора. Сильно качался монитор. Люди в испуге сразу стали покидать здание. Респондент выключила все электроприборы, взяла верхнюю одежду и пошла к выходу. Находясь уже на лестнице, заметила, что землетрясение прекратилось. Землетрясение ощущалось и на открытом воздухе. Все рыбачившие жители поселка быстро покинули лед. Сильно беспокоились домашние животные. Здания скрипели и сотрясались в целом. Большинство жителей еще около часа оставалось на улице в ожидании повторных толчков.

4. *Карага*, $\Delta=105$ км, $I=5$ баллов. Респондент находилась во время землетрясения на 1 этаже двухэтажной школы (бетонный монолит). Стояла в очереди у кассы за авансом. Вдруг почувствовала сильное волнообразное движение пола сначала в одну сторону, потом в другую (ощущение, что здание наклонилось), по инерции схватилась за край стола. Потом шагнула к дверному проему, который находился рядом, кто-то из коллег побежал к выходу. В поселке в зданиях сильно раскачивались висячие предметы, раскачивалась и скрипела мебель, падала посуда, дребезжали и трещали окна. Раскачивались, сдвигались картины. Открывались и закрывались дверцы шкафов, двери. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Осыпалась чешуйками побелка. Сильно беспокоились животные. Землетрясение продолжалось 10–20 секунд. Многие жители поселка вышли из помещений и некоторое время находились на улице в ожидании повторных толчков.

5. *Кострома*, $\Delta=113$ км, $I=5$ баллов. Респондент сидела на рабочем месте на 2 этаже двухэтажного деревянного здания. Сначала почувствовала сотрясение, как от идущего рядом трактора, затем сильный толчок и раскачивание. Сильно закачалась люстра, закачались столы и шкафы. Сразу же и она, и ее коллеги схватили верхнюю одежду и выбежали на улицу. Когда через несколько минут вернулись обратно, обнаружили, что столы немного сдвинулись, на одном из столов упала бутылочка с kleem и печать, с верхней полки шкафа упала папка. На улице во время землетрясения был слышен гул, как от летящего самолета. Во время землетрясения большинство жителей поселка сильно испугались, покинули здания.

6. *Тымлат*, $\Delta=69$ км, $I=4–5$ баллов. В детском саду, когда дети одевались после дневного сна, землетрясение началось сильным дрожанием, переходящим в резкие волнообразные толчки. Все испугались. Воспитатели стали в срочном порядке одевать детей и уводить их в безопасные места. Сильно раскачивались висячие предметы. Все продолжалось около 1 минуты. На улицу детей вывели уже после землетрясения. Быстро пришли родители и забрали детей. Затем провели осмотр всех помещений здания. Трещин не обнаружили, предметы не падали. В то же время в продуктовом ларьке упали продукты с полок. Землетрясение

ощущали все жители поселка, сильно испугались. Люди покидали помещения и еще долго находились на улице.

7. *Вывенка, $\Delta=111$ км, I=4 балла.* Землетрясение ощущали в течение 30 секунд многие жители поселка как плавные покачивания в направлении С-Ю с резкими толчками в конце. Заметно раскачивались висячие предметы. Скрипела, дрожала, раскачивалась тяжелая мебель. Дрожали, дребезжали окна. Большинство жителей вышли на улицу и находились там еще около часа в ожидании повторных толчков.

8. *Корф, $\Delta=144$ км, I=4 балла.* Респондент стоял в одноэтажном деревянном здании аэропорта, вдруг почувствовал сильное плавное покачивание, его повело. Казалось, что по стенам кто-то стучит. Люди спешно покинули здание аэропорта. На улице на проводах раскачивались цепи. Все продолжалось не более 5 секунд. На 2 этаже двухэтажного мелкоблочного здания Корякгекодобычи респондент, стоя, в течение 7 секунд отчетливо ощущал сначала слабое дрожание с затуханием, затем резкий толчок. В здании землетрясение ощущали все, многие испугались и вышли на улицу.

9. *Тиличики, $\Delta=148$ км, I=4 балла.* Землетрясение ощущало большинство жителей поселка, многие люди в испуге покидали помещения, некоторые выбегали в панике. Характер колебаний – отчетливое плавное покачивание с сильными толчками в середине. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Скрипели полы, потолки, стены. Заметно раскачивались висячие предметы, дребезжала посуда, стеклянные дверцы шкафов, вибрировал телевизор, прикрепленный к стене. Скрипела, дрожала, раскачивалась тяжелая мебель. Легкие предметы покачивались, вибрировали, незначительно передвигались. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Один из 32 опрошенных жителей наблюдал падение небольших неустойчивых предметов, раскачивание стоящих машин. Четыре человека наблюдали земляные волны, трое из них находились на одной улице. Сильно беспокоились домашние животные, выбегали из укрытия.

10. *Лесная, $\Delta=176$ км, I=3–4 балла.* Сотрудница администрации сидела на рабочем месте, почувствовала однократный сильный толчок и затухающее раскачивание в течение 2–5 секунд. Отчетливо закачалась люстра, покачивался шкаф (одноэтажное деревянное здание на высоком бетонном фундаменте).

11. *Ивашка, $\Delta=183$ км, I=3 балла.* Сам респондент землетрясение не ощущал, так как двигался, но успел заметить покачивание люстры. Сотрудники МЧС также ничего не ощущали, но зафиксировали 3 звонка от жителей, что произошло землетрясение. Все ощущавшие отметили раскачивание люстр и штор. Некоторых людей тошило.

12. *Хаилино, $\Delta=210$ км, I=3 балла.* Землетрясение ощущали немногие

жители поселка, находившиеся в состоянии покоя. Одна из респонденток лежала на диване на 1 этаже двухэтажного деревянного многоквартирного дома. Почувствовала плавное несильное покачивание в течение 2–5 секунд. Услышала, как потрескивает деревянный балкон. Заметно закачалась люстра. Не испугалась, не вставала. Другой респондент находилась на 2 этаже двухэтажного многоквартирного дома из металлоконструкции, лежала. Отчетливо ощутила мелкую вибрацию. На зеркале трюмо задребезжали висевшие бусы, поскрипывал шифоньер.

13. *Палана*, $\Delta=227$ км, $I=3$ балла. Землетрясение ощутили немногие сотрудники поселковой администрации, находясь в покое (сидели) в трехэтажном крупноблочном здании. Опрашиваемая сотрудница находилась на 2 этаже, ощущала слабое плавное покачивание. Задрожали веточки комнатного растения, стоявшего на столе. Сидевший в кабинете посетитель тоже ощущил землетрясение.

14. *Таловка*, $\Delta=281$ км, $I=3$ балла. Респондентка сидела на рабочем месте в одноэтажном деревянном здании. Отчетливо почувствовала, как плавно качнулось кресло, закачались цветы. Было ощущение головокружения с головной болью. Позвонили из школы, сообщили, что ощущали землетрясение, приблизительно с той же интенсивностью, на всякий случай отпустили детей домой.

15. *Ледяное*, $\Delta=170$ км, $I=2-3$ балла. Работник участка геологодобычи сидел в балке за компьютером, почувствовал кратковременное плавное покачивание. Висячие предметы не колебались. Землетрясение ощущали только люди, находившиеся в балках в покое (сидели). Работавшие на улице ничего не почувствовали.

16. *Манилы*, $\Delta=286$ км, $I=2-3$ балла. Землетрясение ощущали отдельные люди. Респондент находилась в одноэтажном деревянном многоквартирном доме, сидя за столом, отчетливо ощущила толчок. Было ощущение, что толкнуло вместе с домом.

17. *ГМС Чемурнаут*, $\Delta=77$ км. Сотрудники ГМС по радиосвязи сообщили, что ощущали землетрясение. Данные о его проявлении отсутствуют.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Макросейсмическое проявление землетрясения
21.05.2013 г. в 5^h43^m $K_s=14.4$, $Mc=6.3$, $Mw=6.1$
в населенных пунктах Камчатского края
и Северных Курил

1. *Маяк Круглый, $\Delta=150$ км, $I=5$ баллов.* Смотритель маяка и его жена находились в состоянии покоя в одноэтажном мелкоблочном здании, когда началась очень сильная жесткая тряска, сопровождающаяся рокочущим подземным гулом. Люди встали в безопасное место. Сильно раскачивались висячие предметы. Дребезжала посуда и окна. Скрипела, дрожала, раскачивалась тяжелая мебель, дверцы мебели, двери. Небольшие неустойчивые предметы сдвигались, разворачивались, падали. Раскачивались, незначительно смещались,ibriровали легкие и тяжелые предметы. Сдвигались, раскачивались картины. Скрипели полы, потолки, стены. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Сильно беспокоились домашние животные. Землетрясение продолжалось в течение 40 секунд. Позже при осмотре помещения замечено появление тонких трещин в штукатурке и в несущих стенах, откалывание небольших кусков штукатурки.

2. *Петропавловск, $\Delta=165$ км, $I=4-5$ баллов.* Землетрясение ощущалось большинством жителей города, находившихся в покое внутри помещений, а также в стоящем транспорте. Отчетливо ощущалось продолжительное плавное раскачивание, сильнее на верхних этажах. Люди пугались, вставали в безопасное место, некоторые в спешке покидали здание, испытывали головокружение и тошноту. На первых этажах заметно раскачивались висячие предметы. Дребезжала, подпрыгивала посуда. Скрипела, раскачивалась тяжелая мебель, дрожали, скрипели дверцы мебели. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Раскачивались небольшие неустойчивые легкие и тяжелые предметы. Раскачивались картины. На верхних этажах отмечается падение неустойчивых небольших предметов (бутылки с шампунем в ванной). Слышался скрип полов, потолков, стен. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Сильно беспокоились домашние животные. На улице и в здании автосалона плавно раскачивался стоящий транспорт: легковые машины, пассажирский автобус. В здании автосалона дрожали, скрипели и дребезжали стеклянные витрины, окна и стены. Раскачивались витринные стеллажи в торговых центрах. Некоторые респонденты наблюдали раскачивание столбов ЛЭП.

3. *Рыбачий, $\Delta=165$ км, $I=4-5$ баллов.* Респондент сидел на рабочем месте в двухэтажном мелкоблочном здании в кабинете на 2 этаже. По-

чувствовал резкий толчок и последующее раскачивание. Ощущалось общее сотрясение здания, качался монитор, раскачивалась не убранная с Нового года искусственная елка. Респондент сильно испугался и выбежал на улицу.

4. *Вилючинск, $\Delta=170$ км, $I=4-5$ баллов.* Продолжительные колебания ощущали многие жители города, находясь в помещении в состоянии покоя. Люди пугались, вставали в безопасное место, покидали здание. Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Скрипела, раскачивалась мебель, двери. Трещали металлические стеклопакеты. Качались мониторы. Скрипели полы, потолки, стены. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Сильно беспокоились домашние животные. Некоторые люди слышали подземный гул.

5. *Пионерский, $\Delta=175$ км, $I=4-5$ баллов.* Сотрудники поселковой администрации, сидевшие на рабочих местах (2 этаж двухэтажного деревянного здания), ощутили сильное плавное раскачивание. Покачивался шкаф с папками. Качались цветы, мониторы, межкомнатные двери. Испугались, состояние было напряженное, но выходить не стали. Плавное отчетливое боковое раскачивание ощущали и в стоящей на улице машине УАЗ.

6. *МГеоИс-1, $\Delta=177$ км, $I=4-5$ баллов.* Сидевшие на рабочих местах сотрудники станции ощутили сильное горизонтальное раскачивание и общее сотрясение здания (3 этаж четырехэтажного здания из металлоконструкции). Сильно закачались цветы и мониторы. На оборудовании сработали датчики превышения допустимого уровня вибрации и датчики изменения уровня масла. Испугались, но не паниковали, встали в безопасное место.

7. *26 км Елизовского шоссе, $\Delta=182$ км, $I=4-5$ баллов.* Респондент спал, проснулся от сильного плавного покачивания, продолжавшегося около 20–30 секунд. Заметно раскачивались висячие предметы. Открывались, закрывались дверцы мебели, двери. Покачивались небольшие неустойчивые, легкие предметы. Был слышен подземный гул. Землетрясение ощущало большинство жителей района.

8. *Паратунка, $\Delta=183$ км, $I=4-5$ баллов.* Сотрудники паспортного стола сидели на рабочих местах. Почувствовали сильное плавное раскачивание, общее сотрясение здания. Сильно закачались цветы и мониторы. Сидя ощущалось раскачивание стула. Люди испугались и на всякий случай вышли на улицу.

9. *Термальний, $\Delta=185$ км, $I=4-5$ баллов.* Респондент находилась на улице, стояла, разговаривала со знакомой. Ощутила два несильных плавных толчка в ноги, почувствовала легкое головокружение.

10. *Сосновка, $\Delta=187$ км, $I=4-5$ баллов.* Респондент сидела на диване

с внучкой. Началось плавное, но сильное раскачивание. Закачался ходильник и большой плоский телевизор на подставке. Сильно закачалась люстра. Не испугалась, но состояние было напряженное. Встали с внучкой в безопасное место.

11. *Институт, $\Delta=170$ км, I=4 балла.* На 1 этаже здания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, сидя за рабочим столом, слабо ощущалось плавное покачивание. Слегка раскачивались висячие предметы. На 2–3 этажах землетрясение ощущалось отчетливо. Заметно раскачивались висячие предметы. Раскачивалась тяжелая мебель. Потрескивали пластиковые стеклопакеты. Качались ЖК мониторы на столах. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Некоторые сотрудники встали в безопасное место.

12. *P. Карымшина (стационар КФ ГС), $\Delta=182$ км, I=4 балла.* Отчетливо ощущались продолжительные колебания на 1 этаже здания и слабо на улице. Слегка раскачивались висячие предметы, легкая мебель. Дребезжала посуда, потрескивали окна. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Покачивались небольшие неустойчивые, легкие предметы.

13. *Елизово, $\Delta=191$ км, I=4 балла.* Землетрясение ощущали многие жители города, как плавное покачивание. Некоторые люди испугались. На верхних этажах заметно раскачивались висячие предметы, картины. Дрожали дверцы мебели, двери. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Покачивались небольшие неустойчивые, легкие предметы. Сильно беспокоились животные.

14. *Раздольный, $\Delta=199$ км, I=4 балла.* Отчетливо ощущались продолжительные покачивания. Некоторые люди испугались. Заметно раскачивались висячие предметы. Покачивались полуоткрытые межкомнатные двери. Колебалась жидкость в чашке. Дребезжала посуда, трещали окна. Сильно беспокоились домашние животные.

15. *ГМС Водопадная, $\Delta=168$ км, I=3 балла.* Ощущалась серия слабых толчков продолжительностью 1.5 минуты.

16. *ГМС Семячики, $\Delta=232$ км, I=3 балла.* Ощущалось землетрясение силой 3 балла и продолжительностью 20 секунд.

17. *ГМС Кроники, $\Delta=187$ км, I=3 балла.* Ощущался короткий толчок. Заскрипела мебель.

18. *Северо-Курильск, $\Delta=342$ км, I=2 балла.* Интенсивность взята из ежедекадного Северо-Курильского сейсмологического бюллетеня № 15 за 2013 год.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Макросейсмическое проявление
Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. в 05^h44^m
 $K_s=17.0$, $M_c=7.4$, $M_w=8.3$

Представленные сведения собраны Камчатским филиалом ГС РАН на основании телефонного опроса жителей Камчатки и прилегающих территорий; ответов на запросы, отправленные в филиалы ГС РАН, ГС СО РАН, ИФЗ РАН и другие организации; а также сообщений из новостных и других сайтов в Интернете. Подробный перечень используемых источников макросейсмических данных (ИМД) об Охотоморском землетрясении представлен в конце данного Приложения. Авторский текст ИМД сохранен. При использовании представленной информации ссылка на ИМД обязательна.

Наиболее подробные сведения были присланы А. Д. Завьяловым (ИФЗ РАН), Е. П. Семеновой (Сахалинский филиал ГС РАН), Н. А. Гилевой (Байкальский филиал ГС РАН), Л. И. Карпенко (Магаданский филиал ГС РАН), Р. А. Дягилевым (Горный институт УрО РАН, Пермь). Выражаем искреннюю благодарность всем оказавшим помочь в сборе необходимых сведений.

I. РОССИЯ

Ниже приведены макросейсмические описания, систематизированные в соответствии с разделением Российской Федерации на федеральные округа (рис. М.8.1).



Рис. М.8.1. Карта федеральных округов Российской Федерации. Кружками отмечены пункты, для которых приводятся макросейсмические описания.

I. 1. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (ДФО)

I. 1.1. Камчатский край. Источник макросейсмических данных (ИМД) № 8.

1. *Крутогорово*, $\Delta=139$ км, $I=4$ балла. В течение 2–5 секунд отчетливо ощущались дрожание и вибрация, схожая с сотрясением, создаваемым тяжелым трактором. Заметно раскачивались висячие предметы.

2. *ГМС Ича*, $\Delta=146$ км, не ощущалось.

3. *Соболево*, $\Delta=148$ км, $I=3$ балла. Землетрясение наблюдали в течение 5 секунд немногие жители поселка, находившиеся в покое. Ощущалось покачивание предметов, на которых сидели или лежали. Покачивались висячие предметы.

4. *Усть-Большерецк*, $\Delta=270$ км, $I=3-4$ балла. Землетрясение замечено немногими людьми, находившимися в состоянии покоя. В течение 1 минуты ощущались отчетливое дрожание, вибрация, как от проезжающей рядом тяжелой техники. Некоторые жители наблюдали покачивание висячих предметов, дрожание кровати.

5. *Кавалерское*, $\Delta=274$ км, $I=3-4$ балла. Наблюдали заметное покачивание открытой межкомнатной двери и висячих предметов.

6. *Пущино*, $\Delta=282$ км, $I=4$ балла. Ощущались отчетливые продолжительные колебания в течение 1.5–2 минут, вызывающие головокружение. Заметно раскачивались висячие предметы.

7. *Октябрьский*, $\Delta=282$ км, $I=5$ баллов. Землетрясение ощущалось в течение 3–5 минут, как сильная жесткая тряска. Люди в испуге вставали в безопасные места, некоторые покинули помещение. Сильно раскачивались висячие предметы. Скрипела, раскачивалась мебель. Из аквариума выплеснулось немного воды, рыбы в нем метались. Сильно качался большой плоский телевизор, стоящий на тумбе.

8. *Шаромы*, $\Delta=291$ км, $I=4$ балла. Колебания вызывали головокружение. Заметно раскачивалась люстра. Было впечатление, что перекашиваются межкомнатные дверные проемы. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

9. *Ганалы*, $\Delta=295$ км, $I=4$ балла. Землетрясение ощущалось в стоящем грузовом транспорте – вахтовке. Люди, спокойно сидевшие в вахтовке, заметили плавное слабое покачивание корпуса, продолжавшееся 10–20 секунд.

10. *Anacha*, $\Delta=299$ км, $I=4-5$ баллов. Многие жители поселка, находившиеся в помещениях, ощущали в течение 3–5 минут сильную продолжительную тряску. Люди в испуге вставали в безопасные места. Некоторые из них испытывали головокружение. Сильно раскачивались висячие предметы. Дребезжала, подпрыгивала посуда. Открывались, закрывались дверцы мебели, двери.

11. Хайрюзово, $\Delta=309$ км, не ощущалось.
12. Сокоч, $\Delta=309$ км, $I=5$ баллов. Колебались висячие предметы, открывались двери, с полки упала люстра.
13. Мильково, $\Delta=312$ км, $I=4$ балла. Землетрясение замечено многими жителями поселка, находившимися в помещении, и отдельными людьми на улице. Ощущались отчетливые продолжительные плавные колебания. Заметно раскачивались висячие предметы. Упала прислоненная к стене сложенная гладильная доска (возможно, доска стояла очень неустойчиво). Люди на улице, стоявшие возле теплицы, наблюдали, как в больших металлических бочках волнами ходила вода.
14. ГМС Начики, $\Delta=316$ км, $I=3$ балла. В момент землетрясения респондент сидела на стуле в одноэтажном деревянном здании. Начали качаться цветы, висящие на стенах.
15. Усть-Хайрюзово, $\Delta=317$ км, $I=4$ балла. В одноэтажном деревянном частном доме отчетливо ощущались дрожание и вибрация. Закачалась люстра. От вибрации на столе стала передвигаться настольная лампа. Испугались.
16. Ковран, $\Delta=332$ км, $I=3$ балла. Отчетливое плавное покачивание ощущалось в течение 5–10 секунд в помещении людьми, находящимися в состоянии покоя. Наблюдалось колебание висячих предметов.
17. Эссо, $\Delta=338$ км, $I=3-4$ балла. Землетрясение заметили многие жители поселка. В течение 5–10 секунд ощущались слабое дрожание и вибрация. Едва заметно раскачивались висячие предметы. Покачивались,ibriровали небольшие неустойчивые, легкие предметы. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Сильно беспокоились животные. После землетрясения было много звонков на сеймостанцию от жителей.
18. Долиновка (Мильково), $\Delta=340$ км, $I=3-4$ балла. В помещении отчетливо ощущалась слабая вибрация в течение 20–30 секунд. Слегка качались висячие предметы. Стоя на улице, опираясь на микроавтобус, ощутили, как машину не сильно и плавно качнуло.
19. Раздольный, $\Delta=340$ км, $I=4$ балла. Землетрясение замечено в стоящей легковой машине. Отчетливые колебания продолжались в течение 3–5 минут.
20. Елизово, $\Delta=348$ км, $I=4-5$ баллов. Землетрясение ощущало большинство жителей города, находясь в помещениях на всех этажах зданий в состоянии покоя и в движении. Люди вставали в безопасные места, многие испугались, некоторые жители испытывали головокружение. Раскачивались висячие предметы, межкомнатные двери. Скрипела, дрожала мебель. Покачивались,ibriровали небольшие неустойчивые, легкие предметы. Все раскачивалось в такт плавным колебаниям, которые были сильными приблизительно первые 20 секунд, затем чувство-

валось несильное качание. Землетрясение продолжалось около 1 минуты. Сильно беспокоились домашние животные.

21. *Вулканый*, $\Delta=352$ км, $I=3\text{--}4$ балла. Отчетливые продолжительные колебания около 1 минуты ощущало большинство жителей поселка. Заметно раскачивались висячие предметы.

22. *Термальныи*, $\Delta=353$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Землетрясение ощущалось около 1.5–2 минут. Люди в испуге вставали в безопасные места. Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах. Раскачивалась, скрипела, дрожала легкая мебель, дверцы мебели, двери. Дребезжали окна и посуда. Раскачивались, дрожали небольшие неустойчивые, легкие предметы. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Скрипели полы, потолки, стены. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

23. *Паратунка*, $\Delta=354$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Землетрясение ощущалось около 1 минуты большинством жителей поселка и баз отдыха, расположенных вблизи него. Многие люди сильно испугались, встали в безопасные места, некоторые покинули помещение. Колебания вызывали головокружение. Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах. Раскачивалась, скрипела, дрожала различная мебель, дверцы мебели, двери. Дребезжали окна и посуда. Раскачивались, дрожали небольшие неустойчивые, легкие и тяжелые предметы. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Сильно беспокоились домашние животные. Землетрясение хорошо ощущалось и на улице людьми в состоянии покоя.

24. *P. Карымшина (стационар КФ ГС)*, $\Delta=358$ км, $I=4$ балла. Отчетливые колебания продолжались 1.5–2 минуты. Слегка качались висячие предметы. Дребезжала посуда. Скрипела, дрожала легкая мебель, дверцы мебели, двери. Дрожали, трещали окна. Покачивались, вибрировали небольшие неустойчивые, легкие предметы. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

25. *Новый*, $\Delta=362$ км, $I=4$ балла. В течение 20–30 секунд большинством жителей поселка ощущались отчетливые плавные покачивания. Заметно раскачивались висячие предметы. Скрипели полы, потолки, стены, дверцы мебели, двери.

26. *Вилючинск*, $\Delta=367$ км, $I=4\text{--}5$ баллов. Землетрясение ощущалось большинством жителей города, как продолжительные (более 1 минуты) плавные покачивания. Многие люди испугались, встали в безопасные места. На нижних этажах люди покинули помещения. Сильно раскачивались висячие предметы, цветы. Скрипела, раскачивалась мебель. Раскачивались мониторы. Дребезжала посуда. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Люди ощущали колебания и стоя на улице.

27. *Институт*, $\Delta=368$ км, $I=4$ балла. Сильное плавное раскачивание

ощущалось всеми сотрудниками, находившимися в здании, а также жителями домов, расположенных на бульваре Пийпа Б. И. г. Петропавловска-Камчатского. Заметно раскачивались висячие предметы. Дрожала, скрипела закрепленная мебель. Многие встали в безопасные места, некоторые покинули помещение.

28. *Рыбачий*, $\Delta=372$ км, $I=4-5$ баллов. Землетрясение ощущалось большинством жителей городка, как продолжительное сильное раскачивание в течение 3 минут. Люди в испуге вставали в безопасные места, некоторые покинули помещение. Вывели детей из детского сада. Заметно раскачивались висячие предметы. Колебалась жидкость в открытых сосудах.

29. *МГеоЭС-1*, $\Delta=372$ км, $I=4$ балла. Начальник дежурной смены и его коллеги сидели на рабочих местах. Ощутили продолжительное частое покачивание в течение 3–5 минут, на фоне которого отмечались несколько более сильных толчков. Заметно качались комнатные цветы и мониторы. Сработали датчики превышения уровня вибрации и изменения уровня масла на оборудовании. Люди находились в напряженном состоянии, но не вставали и продолжали работу.

30. *Петропавловск-Камчатский*, $\Delta=373$ км, $I=5$ баллов. Землетрясение ощущалось в зданиях на всех этажах людьми, находящимися в состоянии покоя и в движении. На улице ощущали немногие люди, находясь в покое, а также сидя в стоящем транспорте. Характер колебаний – длительное плавное раскачивание более 1 минуты. Некоторые жители слышали подземный гул. Люди в испуге вставали в безопасные места, выходили из помещений, испытывали головокружение. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах; раскачивались картины, настольные лампы, высокие растения, ЖК мониторы и телевизоры. Отмечался скрип, дрожание, раскачивание мебели, мебельных дверец и дверей. Колебалась жидкость в открытых сосудах (выплескивалась на 5 этаже 12-этажного дома). Дребезжала посуда и стекла окон в старых рамках, потрескивал пластик в новых окнах. Скрипели полы, потолки и стены. Несколько респондентов заметили покачивание столбов ЛЭП, сотрясение ветвей деревьев. Сильно беспокоились домашние животные: прятались, кричали.

31. *Атласово*, $\Delta=379$ км, $I=4-5$ баллов. Директор поселковой школы стояла, опершись на стол (1 этаж двухэтажной школы из бруса). Почувствовала, как стол затрясся. Сильно закачались цветы, закачалось и начало постукивать о стену подвешенное зеркало. Она и сторож школы (больше никого в здании не было) испугались и выбежали на улицу.

32. *Радыгина*, $\Delta=379$ км, $I=4-5$ баллов. Ощущалось отчетливое плавное покачивание около 1 минуты. Раскачивались висячие предметы.

Колебалась жидкость в открытых сосудах. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

33. *Лазо, $\Delta=389$ км, $I=3$ балла.* В состоянии покоя около 2–5 секунд ощущалось слабое дрожание. Слегка раскачивались висячие предметы.

34. *Запорожье, $\Delta=406$ км, $I=4$ балла.* Землетрясение замечено в складе-хранилище. Ощущалось плавное равномерное покачивание и колебания большой амплитуды длительное время. Качались плафоны подвешенных ламп. Поднятый электрокаром поддон заметно раскачивался. Колебалась жидкость в открытом сосуде. Наблюдалось сотрясение хранилища в целом. Люди испугались, покинули помещение.

35. *Озерновский, $\Delta=406$ км, $I=4$ балла.* Респондентка сидела на рабочем месте. Внезапно зашевелилось все: стол, кресло, незакрепленный шестиуровневый стеллаж, межкомнатные двери. Заметно закачались монитор и жалюзи. Никаких звуков не было слышно. Люди испугались, большинство из них вышли из кабинетов и встали в безопасные места. Землетрясение было по их ощущениям не очень сильным, отчетливым, но пугало своей продолжительностью – около 3 минут.

36. *ГМС Семячики, $\Delta=408$ км, $I=6$ баллов.* Радиограмма: «Ощущали землетрясение силой 6 баллов. Щукин».

37. *Шумный, $\Delta=410$ км, $I=4$ балла.* Респондент стоял в каркасно-панельном здании скотника. Отчетливо ощущалось плавное покачивание в течение 3–5 минут. Испугался. Заметно раскачивались висячие предметы. Со слов респондента, в Шумном землетрясение ощущалось сильнее, чем на Паужетке, но слабее, чем в Запорожье и Озерновском.

38. *Долина гейзеров (кордон), $\Delta=411$ км, $I=6$ баллов.* Смотритель во время землетрясения находился на верхней вертолетной площадке кордона Долины гейзеров (с площадки открывается вид на окрестности кордона). Разговаривал по спутниковому телефону с управлением заповедника, которое находится в г. Елизово. Во время разговора ему сказали, что у них началось землетрясение, начала шататься мебель. Через несколько секунд он сам ощутил толчки. Слегка закружилась голова. С пика Слияния (небольшая скала в месте слияния рек Шумная, Сестрёнка и Гейзерная), с обрывов, которые образовались после схода оползня 3 июня 2007 года, посыпались камни. Судя по звуку, выше по реке Гейзерной тоже произошли камнепады. На кордоне сложилась телескопическая 12-метровая мачта от радиоантенны по причине того, что в редукторе сломался стопор, удерживающий ее в развернутом состоянии. Других изменений, разрушений, сдвигов предметов смотритель не заметил ни на кордоне, ни внутри домов. Землетрясение продолжалось 1.5–2 минуты.

39. *Козыревск, $\Delta=274$ км, $I=3$ – 4 балла.* Землетрясение ощущалось в течение 20–30 секунд в помещениях людьми в состоянии покоя. Неко-

торые жители испытывали головокружение. Заметно раскачивались висячие предметы. Колебалась открытая дверь. Раскачивались небольшие неустойчивые предметы.

40. *Паужетка*, $\Delta=418$ км, $I=4$ балла. Ощущалось отчетливое плавное покачивание в течение 3–5 минут. Многие люди испугались, встали в безопасные места. Сильно раскачивались висячие предметы.

41. *Маяк Круглый*, $\Delta=423$ км, $I=5$ – 6 баллов. Смотритель маяка и его жена находились в состоянии покоя в одноэтажном мелкоблочном здании, когда начались очень сильные продолжительные колебания. Люди сразу встали в безопасное место, затем покинули помещение. Сильно раскачивались висячие предметы. Дребезжала посуда и стекла окон. Скрипела и раскачивалась мебель. Дрожали дверцы мебели, двери. Раскачивались, незначительно смешались небольшие неустойчивые, легкие предметы. Сдвигались, раскачивались картины. Скрипели полы, потолки, стены. Осыпалась чешуйками побелка. Наблюдалось сотрясение здания в целом. Метались, лаяли домашние собаки. Землетрясение продолжалось 3 минуты 45 секунд. Позже при осмотре замечены тонкие трещины в штукатурке, откалывание ее небольших кусков. Появились тонкие трещины в потолочном перекрытии и в несущей стене по всей высоте, отколы бетона в стыках перекрытия. На башне светомаяка треснуло большое штормовое стекло по диагонали на юго-восточной стороне.

42. *Седанка*, $\Delta=432$ км, $I=3$ – 4 балла. Плавное покачивание ощущали в течение 5–10 секунд многие жители поселка, находившиеся в помещении в покое. Закачались висячие предметы, началось покачивание мебели.

43. *ГМС Водопадная*, $\Delta=434$ км, не ощущалось.

44. *Мыс Шипунский*, $\Delta=447$ км, не ощущалось.

45. *Тигиль*, $\Delta=451$ км, $I=4$ балла. Ощущались продолжительные колебания. Заметно раскачивались висячие предметы. Скрипела, дрожала мебель. В музее качались стеллажи с книгами. Люди испытывали головокружение, некоторые пугались и вставали в безопасные места.

46. *ГМС Кроники*, $\Delta=474$ км, $I=5$ баллов. Ощущались сильные длительные колебания продолжительностью 3.5 минуты. Качались висячие предметы, скрипела мебель, открывались дверцы шкафов, легкая мебель сдвигалась, падали предметы с полок.

47. *Мыс Лопатка*, $\Delta=473$ км, не ощущалось.

48. *Ключи*, $\Delta=478$ км, $I=3$ – 4 балла. Отчетливо ощущалось плавное покачивание в течение 5–10 секунд. Покачивались, выбирировали легкие предметы. Наблюдалось сотрясение ветвей деревьев и кустов.

50. *Воямполка*, $\Delta=524$ км, не ощущалось.

53. *Погодный (микрорайон Усть-Камчатска)*, $\Delta=580$ км, $I=4$ – 5 баллов. Более 1 минуты ощущались отчетливые плавные колебания, сильнее на верхних этажах. Многие люди испугались, встали в безопасные

места или покинули помещение. Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах. Раскачивалась, трещала мебель. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Дребезжала посуда и стекла окон. В такт колебаниям раскачивались различные предметы. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

54. *Крутоберегово*, $\Delta=587$ км, $I=4-5$ баллов. Землетрясение ощущалось около 1 минуты, как сильное плавное покачивание с четким вступлением Р и S волн. Многие жители испугались, некоторые покинули помещение. Сильно раскачивались висячие предметы. Скрипела, раскачивалась мебель, дверцы мебели, двери. Покачивались небольшие неустойчивые, легкие предметы. Дребезжала посуда. Наблюдалось сотрясение здания в целом.

55. *Палана*, $\Delta=612$ км, $I=3-4$ балла. В течение 5–10 секунд отчетливо ощущалась вибрация, как от проезжающей рядом тяжелой техники. Слегка качались висячие предметы. Землетрясение ощущали многие жители Паланы.

56. *Лесная*, $\Delta=666$ км, не ощущалось.

57. *ГМС мыс Озерной*, $\Delta=666$ км, не ощущалось.

58. *Ивашка*, $\Delta=670$ км, $I=3$ балла. Землетрясение ощущали многие жители поселка, находившиеся в помещении в состоянии покоя. Плавные покачивания в течение 20–30 секунд вызывали головокружение. Заметно раскачивались висячие предметы.

63. *Карага*, $\Delta=741$ км, $I=3$ балла. Респондентка во время землетрясения шла по улице, что-то почувствовала. Стала звонить подруге, которая в это время лежала на кровати дома. Подруга ощутила покачивание, но не поняла, что это было. В это время к ней зашла соседка и сказала, что трясет. Слегка раскачивались висячие предметы. Землетрясение заметили немногие жители поселка. Ощущение чего-то необычного отмечали и рыбаки, находившиеся на бухте.

64. *Кострома*, $\Delta=744$ км, не ощущалось.

65. *Оссора*, $\Delta=752$ км, $I=2$ балла. Слабое плавное колебание заметили два человека из одиннадцати опрошенных жителей поселка.

67. *Тымлат*, $\Delta=772$ км, не ощущалось.

68. *Никольское*, $\Delta=781$ км, $I=4$ балла. Отчетливое плавное покачивание продолжалось около 1 минуты. Ощущалось многими людьми, находившимися в помещении в покое. Некоторые жители испугались. Заметно раскачивались висячие предметы. Дребезжала посуда. Легкая мебель скрипела, дрожала. Открывались, закрывались дверцы мебели. Колебалась жидкость в открытом сосуде. Покачивались небольшие неустойчивые предметы. Было ощущение раскачивания здания в целом. Находившийся на улице человек наблюдал покачивание своей стоящей машины.

70. Ильпирский, $\Delta=850$ км, не ощущалось.

74. Тиличики, $\Delta=963$ км, не ощущалось.

75. Парень, $\Delta=1006$ км, не ощущалось.

78. Каменское, $\Delta=1116$ км, не ощущалось.

I.1.2. Пункты на территории ДФО помимо Камчатского края.

49. Северо-Курильск, $\Delta=481$ км, $I=4-5$ баллов.

1) ИМД № 8. Землетрясение замечено большинством жителей города. Люди вставали в безопасные места, некоторые покинули помещение. Ощущались равномерные колебания, продолжавшиеся более 1 минуты, схожие с колебаниями от проезжающей тяжелой техники. Заметно раскачивались висячие предметы, раскачивалась, дрожала мебель. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Покачивались различные предметы. Одна из респондентов наблюдала раскачивание картин, сотрясение здания в целом, до трясения слышала подземный гул.

2) ИМД № 12:

– Штормовое сообщение по ССД № 1 в табл. М. 8.1: Северо-Курильск – 5–6 баллов.

– Данные с метеопоста «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240500 Землетрясение Северо-Курильск 32215 220 землетрясение 24 мая 16:47 Сахалинского времени продолжалось 60 секунд, ощущалось в районе станции 4 балла, раскачивание висячих предметов.

51. Магадан, $\Delta=565$ км, $I=4$ балла. ИМД № 10. Сотрудниками Магаданского филиала ГС РАН был проведен опрос 39 респондентов, проживающих в различных районах Магадана. Четыре респондента находились во время землетрясения на первых этажах зданий, все они бодрствовали, находились в покое. Ими отмечены колебания висячих предметов, покачивание картин, легких предметов и легкой мебели, открывание дверец шкафов. Люди выходили в испуге на улицу, испытывали дурноту. Беспокоились домашние животные. На более высоких этажах люди ощущали качание мебели, колебания висячих предметов, дребезжение посуды, испуг, головокружение, некоторые спящие просыпались. У одного респондента на 6-м этаже выплеснулась вода из блюдечка кота. Повреждения зданий не отмечены.

Таблица М.8.1. Штормовые сообщения, отправленные по службе срочных донесений (ССД) в связи с землетрясением 24.05.2013 г. в 05^h44^m.

№	Штормовое сообщение по ССД	Интенсивность в пункте
1	От: "skr" Кому: "Москва (шторм)"; "П-Камчатский (шторм)"; "Сахалин (шторм)" Тема: STATF Дата: 24 мая 2013 г. 17:14 SEISMO N3200 SKR MAY24 SPZ EP054617.1 FMD SPE ES4736.0 XM4758.1 T0.8A255594.0 SPN XM4758.3 T0.8A744305.0 (FOCUS 054430.6 LAT 55.5N LON 164.7E DEP 33. D7.1 MAG MPSP MPLP MSMS207.2 K16.3 Felt: Severo-Kuril'sk 5-6 balla) STOP	Северо-Курильск 5-6 баллов
2	От: "Лысенко Татьяна" Кому: "сейсмостанция Южно-Сахалинск"; "ОСО", "ГСРАН" Тема: SEISMO N3144 Дата: 24 мая 2013 г. 17:33 SEISMO N3144 OKH BEG MAY24 000000 END MAY24 060000 MAY24 MPZ IP054634.5 FM,C XM4703.0 T13.9A3479.3 MPE IS4806.2 MPN XM4825.3 T10.6A6885.7 MPE XM4832.4 T10.1A4129.4 CLAR (FOCUS 054431.3 LAT 59.6N LON 153.3E DEP 33. D8.3 MAG MPSP MPLP8.8 MSMS20 was felt in: Okha – 2-3, Moskalvo 2-3 Tyngor 2-3) STOP	Оха, Москальво, Тунгор 2-3 балла
3	От: "seismo_ugl" Кому: "передача сводок" Копия: "YSS", "Обнинск (сводки)" Тема: svodka Дата: 24 мая 2013 г. 17:42 SEISMO N3106 UGL1 BEG MAY24 000000 END MA Y24 055000 MAY24 SPZ IP054700.4 FMCMPZ XM4712.0 T3.0A948.6 SPZ XM4715.5 T1.0A243499.0 SPZ E4717.8 MPN ES4848.5 SPE XM4857.0 T0.9A86673.0 SPN XM4857.0 T1.4A59407.0 MPN XM4857.5 T7.5A3361.5 CLAR (FOCUS 054435.0 LAT 55.6N LON 153.6E DEP 600. D9.7 MAG MPLP8.4 FELT:UGLEGORSK 3-4 BALLA) STOP	Углегорск 3-4 балла
4	От: "kur" Кому: "с/с Ю-Сахалинск (срочная)", "Обнинск (срочная)" Тема: Шторм N3262 дополнение по интенсивности Дата: 24 мая 2013 г. 17:30 SEISMO N3262 MAY KUR24 SPZ EP054710.7 XM4721.7 T0.7A40862. SPE XM4722.0 T0.8A21450. SPN XM T0.4A6974.0 SPE ES054908.1 SPE XM4931. T1.0A45793. SPN XM T0.9A27309. CLAR (FOCUS 054435.0 DEP 33 D10.9 MAG MPSP8.2 Kurilsk, Kitovoe – 3-3.5 balla, Reidovo, Goryachie Kluchi – 2-2.5 balla) STOP	Курильск, Китовое – 3-3.5 балла; Рейдово, Горячие Ключи – 2-2.5 балла
5	От: "yuk" Кому: "GS RAS", "YSS" Тема: СЕЙСМО N3199 Дата: 24 мая 2013 г. 17:03 SEISMO N3199 YUK MAY24 SPZ IP054723.3 FMCSW XM054751.4 T0.5A51412. LPE IS054928.9 CLAR (FOCUS 054436.5 LAT 48.4N LON 162.1E DEP 81 D12.0 OSHUSHALOS 2 BALLA) STOP SEISMO N3199 GLVR MAY24 SPZ EP054726.9 XM054738.5 T0.5A43672. LPE IS054936.0 CLAR (FOCUS 054436.5 LAT 48.4N LON 162.1E DEP 81 D12.4) STOP SEISMO N3199 GRPR MAY24 SPZ IP054724.1 FMCSW XM054744.1 T0.5A33891. LPE IS054929.8 CLAR (FOCUS 054436.5 LAT 48.4N LON 162.1E DEP 81 D12.1) STOP	Южно-Курильск – 2 балла

52. Клепка Магаданской области, $\Delta=565$ км, $I=4$ балла. ИМД № 10.
Ул. Центральная, д. 17, панельный дом, 4 этаж. Лежали, тряслось, качалась люстра. Появился испуг, выскочила на улицу. Многие соседи также вышли на улицу.

59. Талая Магаданской области, $\Delta=711$ км, $I=2$ балла. ИМД № 10.
Ул. Зеленая, панельный дом, 3 этаж. Находились в состоянии покоя, ощутили покачивание.

60. Оха Сахалинской области, $\Delta=716$ км, $I=3$ балла. ИМД № 12:

- Штормовое сообщение по ССД № 2 в табл.М.8.1: Оха – 2–3 балла.
- Данные с метеопоста «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240500 Землетрясение Оха 32010 220 240546 землетрясение 2–3 балла, продолжалось 20 сек., разрушений нет.

– Землетрясение ощущалось многими жителями, на первых этажах ощущалось людьми, находящимися в покое, на верхних этажах ощущалось продолжительное качание. Наблюдались качания люстр. 2–3 балла.

61. Нырово Сахалинской области, $\Delta=721$ км, $I=2$ балла. ИМД №12.

Данные с метеопостов «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240500 Землетрясение Нырово 32013 220 240559 землетрясение на станции силой 2.

62. Тунгур Сахалинской области, $\Delta=722$ км, $I=2–3$ балла. ИМД №12:

- Штормовое сообщение по ССД №2 в табл.М.8.1: Тунгур – 2–3 балла.
- Землетрясение ощущалось многими жителями поселка на разных этажах блочных домов, находящимися в основном в состоянии покоя. 2–3 балла.

79. Москальво Сахалинской области, $\Delta=722$ км, $I=2–3$ балла. ИМД №12:

- Штормовое сообщение по ССД №2 в табл.М.8.1: Москальво – 2–3 балла.
- Землетрясение ощущалось отдельными людьми, живущими в блочном доме на 2–3 этажах. Наблюдалось качание люстр. В одноэтажных деревянных домах землетрясение не ощущалось. 2–3 балла.

69. Ноглики Сахалинской области, $\Delta=781$ км, $I=3$ балла. ИМД №12:

- данные с метеопостов «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240500 Землетрясение Ноглики 32053 220 241653 Сахалинского землетрясение 1–2 балла продолжительностью 2 секунды, слегка раскачивались занавески, открытые двери.

– Не сильно так потрясло, но люстру раскачало.

71. Тымовское Сахалинской области, $\Delta=862$ км, $I=4$ балла. ИМД № 12.

Данные с метеопостов «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240500 землетрясение в Тымовское 32071 220 1648 Сахалинского, 4 балла.

72. Пильво Сахалинской области, $\Delta=944$ км, $I=3$ балла. ИМД №12.

Данные с метеопостов «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240600 землетрясение Пильво 32069 220 241648 САХ землетрясение 2–3 балла, продолжалось 2 секунды, качалась люстра.

73. Сусуман Магаданской области, $\Delta=949$ км, $I=3–4$ балла. ИМД №10.

Сотрудниками Магаданского филиала ГС РАН был проведен опрос 31 респондента из различных районов Сусумана. 12 респондентов находились во время землетрясения на первых этажах зданий, все они бодрствовали, находились в покое. 9 из них землетрясения не ощутили. Остальные 3 находились во время землетрясения в покое и ощущали

горизонтальные колебания в течение 1 минуты. Других проявлений землетрясения эти респонденты не отметили. На более высоких этажах отмечены практически аналогичные ощущения – горизонтальное покачивание. Один респондент, находившийся на 2-м этаже, отметила дрожание комнатного цветка. Четыре респондента, живущие на 2, 3, 4 и 5 этажах соответственно, проснулись от покачивания кроватей; один из них отметил ощущения потряхивания всего дома. Колебаний висячих предметов никто не отметил.

76. *Макаров Сахалинской области, $\Delta=1018$ км, не ощущалось. ИМД №12.*
77. *Углегорск Сахалинской области, $\Delta=1020$ км, I=4 балла. ИМД №12:*
– Штормовое сообщение по ССД № 3 в табл.М.8.1: Углегорск – 3–4 балла.
– Данные сейсмостанции «Углегорск» (информацию обобщил и передал старший инженер сейсмостанции «Углегорск» Мирошниченко В. И.):

Первые телефонные звонки о произошедшем землетрясении стали поступать на сейсмостанцию «Углегорск» сразу после подземного толчка. Общая картина представляется следующим образом.

Жители г. Углегорска, те, кто находился дома или на рабочем месте в состоянии относительного покоя (лежали, сидели за рабочими столами), ощутили сотрясение очень явственно, так как во время толчка сильно качались стулья, на столах шатались мониторы, легкие предметы мебели, некоторые звонившие отмечали, что стулья под ними буквально разворачивало по оси во время сотрясения.

Общие объективные признаки, которые отметили опрошенные, были следующие: раскачивание люстр и свободно подвешенных предметов, качание цветов в горшках, качание штор-жалюзи, в открытых емкостях качалась жидкость, звенела стеклянная посуда. Так, в торговом зале магазина во время подземного сотрясения, продолжительность которого была не менее 1 минуты, сильно качало стеллажи, был слышен звон банок и бутылок, однако со стеллажей ничего не упало.

На верхних этажах жилых домов землетрясение вызвало панику среди жителей, многие выбежали на улицу. Подобные ощущения испытывали работники налоговой инспекции (2-х этажное каменное здание), которые также от испуга и паники выбежали на улицу.

Работники пожарной охраны, находившиеся на улице во время сотрясения, отметили звон оконных стекол, скрип и движение железных ворот территории; работники гаража отметили заметное качание тяжелых машин и прицепов к ним. Многие из опрошенных отмечали, что во время сотрясения и после него ощущали головокружение, как при морской болезни.

Один из опрошенных во время землетрясения находился в здании больницы, посещал родственника, сидел в палате; подземное сотрясение почувствовали все, увидели раскачивание штор на окнах и качание люстры.

Следует отметить, что произошедшее землетрясение ощутили далеко не все жители Углегорска и о землетрясении узнали, только получив информацию от других людей. В помещении самой сейсмостанции «Углегорск» подземный толчок ощутила техник, сидевшая за компьютером, однако я лично находился в соседнем помещении, был на ногах, в движении и землетрясение не ощущал.

В течение дня и последующего времени сотрудниками сейсмостанции в самом г. Углегорске было опрошено не менее 60 человек, которые подтвердили общую картину ощущимости зарегистрированного землетрясения. В ходе опроса были опрошены жители всех населенных пунктов Углегорского района, в каждом не менее чем по 10–15 человек с учетом их соседей и сослуживцев.

79. *Рейдово Сахалинской области*, $\Delta=1131$ км, $I=2\text{--}3$ балла. ИМД № 12.

– Штормовое сообщение по ССД № 4 в табл. М.8.1: Рейдово – 2–2.5 балла.

80. *Курильск Сахалинской области*, $\Delta=1140$ км, $I=3\text{--}4$ балла. ИМД № 12.

– Штормовое сообщение по ССД № 4 в табл. М.8.1: Курильск – 3–3.5 балла.

81. *Санаторный Сахалинской области*, $\Delta=1153$ км, $I=2$ балла. ИМД № 12. Легкие раскачивания замечали в спокойном состоянии. Находившиеся в движении люди землетрясение не заметили.

82. *Китовое Сахалинской области*, $\Delta=1157$ км, $I=3\text{--}4$ балла. ИМД № 12.

– Штормовое сообщение по ССД № 4 в табл. М.8.1: Китовое – 3–3.5 балла

83. *Южно-Сахалинск*, $\Delta=1162$ км, $I=3\text{--}4$ балла. ИМД № 12:

– Ул. Горького, здание техникума: задрожали цветочные горшки, покатился стул на колесиках, легкое раскачивание мебели.

– Пр. Победы, 5 этаж 5-этажного дома, «брежневка»: толчок почувствовала, задрожали бутылочки на шкафчике в ванной комнате, раскачивание люстр.

– Ул. Чехова, 2 этаж 5-этажного дома: не ощущала, двигалась.

– Ул. Горького, 1 этаж 5-этажного дома: не ощущала, двигалась.

– Часы в доме висят в форме маятника (к потолку прибит трос, а на нем в центре часы, а у пола тяжелый отвес). Так по тени троса на обоях видно было отклонение миллиметра в три.

– Люстра чуток попыталась качнуться, а вот креслице «погуляло».

– Раскачивание люстры на верхних этажах, колебания ощущались в спокойном состоянии.

84. *Горячие Ключи Сахалинской области*, $\Delta=1164$ км, $I=2\text{--}3$ балла. ИМД № 12.

– Штормовое сообщение по ССД № 4 в табл. М.8.1: Горячие Ключи – 2–2.5 балла

85. *Троицкое Сахалинской области*, $\Delta=1168$ км, $I=4$ балла. ИМД № 12:

- Муж сидел в кресле на улице, почувствовал раскачивание.
- На холодильнике звенели подвесные кружки в наборе, дом одноэтажный деревянной постройки.
- Дребезжали стекла в деревянных оконных рамках.
- Копала огород, землетрясение не почувствовала.

86. Горное Сахалинской области, $\Delta=1179$ км, $I=4-5$ баллов. ИМД № 12. По сведениям сотрудницы сейсмостанции «Южно-Сахалинск», которая находилась в Горном в момент землетрясения, с полки упал графин, раскачивалась тяжелая люстра в одноэтажном деревянном доме.

87. Холмск Сахалинской области, $\Delta=1184$ км, $I=3$ балла. ИМД № 12:

- Данные с метеопостов «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240600 землетрясение Холмск 32128 220 241646 Сахалинского землетрясение 3 балла, продолжительность 3 секунды, колебания ощущались в спокойном состоянии. Дьячкова.

88. Анива Сахалинской области, $\Delta=1192$ км, $I=4$ балла. ИМД № 12:

- Находился в казарме, сидел, заполнял бумаги, осыпание шпаклевки.
- 3 этаж 5-этажного дома, плохо себя почувствовала, прилегла на диван, диван начало качать, раскачивалась посуда на барной стойке шкафа.

89. Малокурильское Сахалинской области, $\Delta=1309$ км, $I=3$ балла. ИМД № 12:

- В Малокурильском ощущались слабые колебания.
- Данные с метеопостов «Сахалинского УГМС»: ММСХ31 СХЛН 240500 Землетрясение Малокурильское 32166 220 241650 САХ. Землетрясение 3 балла 30 секунд, раскачивание висячих предметов. Шепелева.

90. Южно-Курильск, $\Delta=1321$ км, $I=2$ балла. ИМД № 12:

- Одноэтажный брусовой дом, люди ощущали в положении сидя, испуга не было. Вне помещений не ощущалось. 2 балла.

– Штормовое сообщение по ССД №5 в табл.М.8.1: Южно-Курильск – 2 балла.

91. Горячий Пляж Сахалинской области, $\Delta=1327$ км, $I=2$ балла. ИМД № 12. В 2-этажном брусовом доме землетрясение люди ощущали в положении сидя, испуга не было. Вне помещений не ощущалось. 2 балла.

92. Головнино Сахалинской области, $\Delta=1362$ км, не ощущалось. ИМД № 12.

93. Хабаровск, $\Delta=1462$ км, $I=2-4$ балла.

- ИМД № 21. Жители Хабаровска говорят, что от толчков в домах падали предметы. Сильнее всего землетрясение ощутили в Южном микрорайоне, сообщает Rigma.info. «Тряслось пятиэтажное здание. Вся наша бухгалтерия почувствовала толчок. Со столов попадали маленькие предметы. Однако в соседней одноэтажке землетрясение почувствовали слабо», – рассказал очевидец произошедшего Андрей Сотников.

– ИМД № 26: Ольга, 24 мая 2013, 15:41: «Во время землетрясения находилась на 1-м этаже в Советском районе. Ничего не почувствовала. А вот в Хабаровске в квартирах мебель “поехала”».

– ИМД № 5: В кирпичном двухэтажном здании Уральского Горного института (дореволюционная постройка) наблюдалось колебание висящих предметов, некоторые люди в испуге вышли на улицу.

94. Якутск, $\Delta=1605$ км, $I=3-4$ балла. ИМД №13. В Якутске, где имеется больше многоэтажных домов, начиная со второго и выше этажей, почувствовали землетрясение. Поведение окружающих людей во время землетрясения: некоторые выбегали из зданий, были эвакуированы сотрудники многих организаций, находящихся в центре города Якутска. Некоторые оставались на местах. Проявление землетрясения по опросу населения: жители каменных домов, начиная со 2 по 9 этажи, почувствовали колебание и вибрацию. Воздействие на предметы быта: телевизор шатался, качание люстры, шатался компьютерный стол, вода плескалась в бутылке, чашке. Падали предметы в квартирах. Поведение представителей живых существ: некоторые испугались, неадекватно себя вели. Была большая паника среди населения. Все спрашивали, будет ли еще землетрясение. Я сама лично в это время шла пешком после работы. Поэтому не почувствовала. В Якутске практически все жители района 202 квартала ощутили землетрясение, дома там построены на песке. Это ближе к реке Лена. Мы узнали у сотрудников наших филиалов, кроме города Якутска, что население нигде не ощущало землетрясения.

95. Благовещенск, $\Delta=1834$ км, $I=3-4$ балла. ИМД №21: «Несколько подземных толчков почувствовали жители областного центра Приамурья (Благовещенск). В Твиттере и на форумах горожане говорят о том, что тряслось дома, качались люстры, двигалась мебель.

– @diankin: Сильно качнуло. Думала, показалось. Но посмотрела на люстру и бусы, висят на ручке дверцы шкафа – качаются.

– @le_pavlova: Народ с верхних этажей ИПК выбежал – их тряслось! А мы слоны, мы не заметили.

– @Nadia_Ko: Даже я на третьем этаже дома почувствовала и увидела».

96. Владивосток, $\Delta=2042$ км, не ощущалось. ИМД № 28, Аксенов Сергей Евгеньевич, руководитель пресс-службы ГУ МЧС по Приморскому краю, SmartNews. В Приморье, в отличие от соседних регионов, никаких подземных волнений не было. На территории Приморья подземных толчков не ощущалось, звонков от населения не поступало. Региональное ГУ МЧС работает в обычном режиме.

I. 2. СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (СФО).

97. Усть-Илимск Иркутской области, $\Delta=3092$ км, $I=2$ балла.

1) ИМД № 26. Наталья, Усть-Илимск 24 мая 2013, 20:27: «У нас такого никогда не было, и вот сегодня ощутили подземные толчки».

2) ИМД №2:

– Землетрясение замечено 24 мая 2013 г. в 14 часов 51 минуту в доме на 7 этаже по ул. Белградская. Не испугались. Землетрясение продолжалось 1 мин., через 2 мин. еще немного. Ощущалось легкое дрожание в направлении юг-север. Качалась полка, стучала об стенку дверь. Кот продолжал спать.

– Испугались; оставались на местах. Лежа на диване, пошатывало, не пьяный. Колебания с востока на запад продолжались 1 минуту.

98. *Иркутск, $\Delta=3216$ км, $I=2-3$ балла. ИМД № 2:*

– Землетрясение замечено в районе Ново-Ленино 24 мая 2013 г. в 14 часов 55 минут на 8 этаже жилого дома. Не испугались. Ощущались волнобразные колебания.

– Землетрясение замечено в Ленинском районе на улице Розы Люксембург, в квартире на 7 этаже. Не испугались. Качались листья на комнатных растениях, стоявших в горшках на шкафу. Волнообразные колебания продолжались 1 минуту.

– Землетрясение замечено в здании на 4 этаже. Не испугались; оставались на местах. Наблюдались повторяющиеся слабые колебания, легкое дрожание (как в лодке) вертикально и из стороны в сторону раз десять, примерно 30 сек.; закачались листья большого комнатного растения в горшке на тумбочке высотой 70 см.

99. *Братск Иркутской области, $\Delta=3217$ км, $I=2$ балла.*

– ИМД № 26. Ульяна, 24 мая 2013, 16:32: «В Братске на 10 этаже качалась люстра и звенела посуда в шкафу. Для нас землетрясение редкость».

– ИМД № 33. Жители верхних этажей сегодня почувствовали подземные толчки. Небольшие, но ощутимые колебания начались в 14:55 и продолжались около минуты.

100. *Ангарск Иркутской области, $\Delta=3226$ км, ощущалось. ИМД №2.*
Не испугались; оставались на местах.

101. *Вихоревка Братского района Иркутской области, $\Delta=3242$ км, $I=3$ балла. ИМД № 2.* Землетрясение ощущали 24 мая 2013 г. в 9 часов 45 минут. Находились в здании на 4 этаже. Испугались; оставались на местах. Дрожала, скрипела и сдвигалась мебель. Легкое дрожание, колебание продолжалось 26 секунд.

102. *Саянск, $\Delta=3263$ км, $I=2$ балла. ИМД №2.* Землетрясение ощущали 24 мая 2013 г. в 14:51 местного времени. Респондент находился в здании на 5 этаже. Не испугался. Ощущалось легкое дрожание в течение 20 секунд. Домашний кот все это время продолжал спать.

103. *Нижнеудинск Иркутской области, $\Delta=3418$ км, ощущалось. ИМД № 26.* Аленка, 24 мая 2013, 17:50: «Иркутская обл. Нижнеудинск, 4 этаж. Тоже почувствовали. Сидим с дочкой в гостях в частном доме».

104. *Зеленогорск Красноярского края, $\Delta=3624$ км, $I=2$ балла.*

ИМД №26. tipograf 46, 24 мая 2013, 19:29: «Я из Зеленогорска. Из 9-этажных зданий люди постарались выйти, толчки все почувствовали. Кто был на земле или на 1–2 этажах, ничего не заметили. Матушка моя живет на 2 этаже. Сказала, что посуда не звенела».

105. Лесосибирск Красноярского края, $\Delta=3652$ км, $I=3$ балла.
ИМД №26.

– Вася, 24 мая 2013, 15:05: «Я из Лесосибирска, толчки чувствовались однократно около 13:30 ч».

– Терра, 24 мая 2013, 16:08: «Лесосибирск. Стенку раскачивало, причем в два приема секунд по 20–30. Время приблизительно 13:54».

– Алефтина, 24 мая 2013, 17:21: «Лесосибирск (третий этаж) где-то 13 час. 55 мин. под ногами почувствовалось неустойчивое движение, как покачивание пола. Такое состояние, как будто стоишь в лодке на реке... Раскачивание люстры, на домашних цветах закачались ветки, задрожали листья, за окном сверху вниз на всех деревьях одновременно закачались ветки. Такое тревожное чувство, как будто сейчас все начнет под ногами разъезжаться...»

– Кирилл, 24 мая 2013, 19:47: «Лесосибирск. Около 13:55 на службе ощутил вибрацию, будто закручивает по спирали, руки лежали на столе, а столешница слегка подрагивала; и муторное ощущение, точно знаешь, что вот-вот должно начаться головокружение».

106. Железногорск Красноярского края, $\Delta=3677$ км, $I=2\text{--}3$ балла.
ИМД № 26.

– Олег, 24 мая 2013, 14:23: «Я из Железногорска. Толчок почувствовал, было, наверное, балла 2, люстра слабо покачивалась. Заставил сына одеться, но толчок не повторился, сидим дома».

– Наталья, nate1073, 24 мая 2013, 16:13: «Я из Железногорска, толчки не почувствовала, но голову ломило очень сильно, прямо виски выламывало».

107. Сосновоборск Красноярского края, $\Delta=3691$ км, ощущалось.
ИМД № 26. Юрий, 24 мая 2013, 18:56: «Я из Сосновоборска, трясло хорошо».

108. Красноярск, $\Delta=3725$ км, $I=3$ балла.

1) ИМД №2. Землетрясение ощущали 24 мая 2013 г. в 13:53 местного времени на 6 этаже здания №72 по пр. Свободный. Не испугались; оставались на местах. Скрипели полы и потолки, дребезжала посуда, стекла окон; дрожала, скрипела и сдвигалась мебель. Слабые волнобразные колебания ощущались около 30 секунд.

2) ИМД №21. Землетрясение, которое жители Красноярского края почувствовали в пятницу 24 мая, пришло в регион из Охотского моря, где в 13:44 по красноярскому времени произошли мощные толчки магнитудой 8.2. В Красноярский край волна пришла через 6 минут. Эпи-

центр землетрясения находился на глубине более 600 километров. По информации портала оперативной информации и предупреждения ЧС, в Красноярском крае толчки ощущались силой 1.5–2 балла. По предварительной информации жертв и разрушений нет.

3) ИМД № 26. Жители Красноярска пишут в соцсетях:

- Александр, 24 мая 2013, 17:49: «Я из Красноярска и тоже нас качнуло».
- Ольга, 24 мая 2013, 16:03: «Приблизительно около 14:00 почувствовали с коллегой легкое “качание”. Красноярск (ул. Партизана Железняка)».
- Аноним, 24 мая 2013, 16:05: «В Красноярске чувствовалось, пр. Металлургов, дом 22, этаж 5».
- Оксана, 24 мая 2013, 16:15: «Почувствовала легкое пошатывание, г. Красноярск в ТРЦ “Июнь”».
- Борис, 24 мая 2013, 16:39: «г. Красноярск. Советский район, 9 мая. Живу на 1 этаже, минут за 5 почувствовал какой-то запах специфический, потом раз тряхнуло, сначала подумал, показалось, посмотрел на люстру – качается, в течение 30–60 сек., время было 14:51».
- Анна, 25 мая 2013, 14:42: «Я тоже запах почувствовала и ещё думаю, что такое, утюг, что ли, не выключили, а потом затрясло...»
- Наталья, Красноярск, 24 мая 2013, 20:49: «Красноярск, улица Юности, 7 этаж. Почувствовала хорошо, стул поехал и гладильная доска с напольной сушилкой. В это время общалась по телефону по работе с человеком на 2 этаже, проспект Молодежный, у них там было тихо».
- Евгений, Красноярск 24 мая 2013, 21:36: «На Башиловской, в районе КРАЗа, в офисе на 4 этаже административного здания коллега по работе почувствовал качание, дверца шкафа покачивалась. Я сам в этом время был на улице, ничего не почувствовал».
- Аэровокзальная, Красноярск, 27 мая 2013, 09:35: «Живу на 5 этаже в пятиэтажном доме. Проснулся от того, что стекло в серванте дрожало».

109. Ачинск Красноярского края, $\Delta=3847$ км, ощущалось. ИМД №26.
Ната 24 мая 2013, 16:23: «В Ачинске чувствовалось отлично на 5 этаже».

110. Кемерово, $\Delta=4141$ км, I=2–3 балла. ИМД №19. Две сотни человек позвонили спасателям Кузбасса из-за землетрясения. Порядка 200 звонков поступило спасателям Кемеровской области в связи с отголосками произошедшего в пятницу землетрясения в Охотском море, сообщил РИА Новости представитель регионального главка МЧС. «Только по Кемерово поступило больше 110 звонков. Люди звонили “по ощущениям колебаний”, у кого-то даже люстра качалась. Звонки поступали в течение первого полчаса после колебаний», – сказал собеседник агентства. По его словам, в других городах региона спасателям поступало примерно по 10–15 звонков.

Сила толчков в Кузбассе составила 1.5–2 балла. Разрушений и пострадавших нет, сообщает РИА Новости.

111. *Томск*, $\Delta=4143$ км, $I=2$ балла. ИМД №18. Ощущение того, что рядом проехал трамвай, легкая вибрация, как будто голова закружила. Но нигде ничего не падало, – описала свои ощущения одна из жительниц Томска.

112. *Новосибирск*, $\Delta=4333$ км, $I=2-3$ балла.

1) ИМД №1:

- на 2 этаже трехэтажного кирпичного здания качалось кресло под сидящим человеком;
- на 4 этаже пятиэтажного кирпичного здания закачался монитор;
- на 7 этаже девятиэтажного панельного здания закачались цветы на подоконнике;
- на 9 этаже девятиэтажного панельного здания закачался потолочный светильник, цветы на окнах.

2) ИМД №14: «Жители Новосибирска сообщают в соцсетях о том, что на верхних этажах многоэтажек ощущается землетрясение. “У нас дом качается! Землетрясение?!” – сообщил позвонивший в новосибирскую редакцию читатель РИА Новости. Он уточнил, что его квартира находится на девятом этаже в одной из многоэтажек на улице Челюскинцев».

3) ИМД №26. Женя, 24 мая 2013, 15:14: «Я из Новосибирска. Сидела на стуле и почувствовала тряску, но несильную. Все равно страшно стало».

4) ИМД №28. В Новосибирске на высоких этажах домов двигалась мебель, тряслись люстры, звенела посуда.

5) ИМД №2:

– Землетрясение ощущали: 24 мая 2013 г. в 13 часов местного времени. В момент землетрясения находились в здании на 4 этаже. В это время мы были на работе и все почувствовали одно и то же неприятное ощущение. Испугались, оставались на местах. Качались цветы в горшках, качался чай в стакане. Испытывали легкое головокружение, потерю равновесия – нет точки опоры. Колебания из стороны в сторону продолжались 2–3 минуты. Землетрясение пришло с северо-востока.

– Землетрясение ощущали: 24 мая 2013 г. в 13 часов местного времени. В момент землетрясения находились в здании на 5 этаже по ул. Русская, Советский район. Не испугались; оставались на местах. Легкие волнообразные колебания продолжались 5–6 минут.

113. *Искитим Новосибирской области*, $\Delta=4334$ км, $I=2$ балла.

ИМД №40. В Линево и Искитиме около часа дня люди почувствовали необычные толчки. Жильцы верхних этажей многоэтажных зданий говорят, что их дома «будто тряхнуло». Как пишут различные порталы Но-

восибирской области, землетрясение ощутили во всем регионе. Из Искитима в Службу гражданской защиты населения поступил только один звонок от жителя микрорайона Ложок. В Линево многие жители ощутили подземные толчки. Дежурный СГЗН Искитима сообщает, что информация о землетрясении подтвердилась. В Новосибирскую область докатились отголоски толчков в Охотском море. Сейсмологи говорят, что в Новосибирске сила землетрясения составило не более двух баллов. В Линево и Искитиме серьезных последствий земных колебаний не произошло. По данным местного отделения МЧС разрушений нет, предприятия работают в обычном режиме.

114. Бердск Новосибирской области, $\Delta=4338$ км, $I=2$ балла.

– ИМД №32. Каждую секунду жители Бердска звонили оперативному дежурному: землетрясение. Официально подтвержден факт землетрясения. Жители Бердска сообщают в редакцию сайта Бердск-online, что сегодня, 24 мая 2013 года, они почувствовали землетрясение... «Жители Бердска начали звонить по телефону оперативного дежурного по городу в 12:53», – говорит оперативный дежурный Сергей Логинов. – «Причем звонки поступали каждую секунду: кладем трубку – тут же звонок. За считанные минуты поступило 13 звонков».

– ИМД №16: 24 мая в Новосибирской области произошло легкое землетрясение. Около 12:50 сегодня, 24 мая 2013 года, жители Бердска почувствовали легкое землетрясение.

115. Линево Новосибирской области, $\Delta=4339$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №40. См. п. 113 Искитим Новосибирской области.

116. Барнаул Алтайского края, $\Delta=4378$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №2. Землетрясение ощущали 24 мая 2013 г. в 12 часов 52 минут местного времени. В момент землетрясения находились на 6 этаже. Оставались на местах. Наблюдали покачивание жалюзи и столов. Волнообразное колебание продолжалось 30 секунд.

117. Омск, $\Delta=4851$ км, не ощущалось. ИМД №38. Омск, 24 мая – АиФ-Омск: «По сообщению регионального МЧС, на территории Омской области сейсмической активности не наблюдалось и жалоб от населения не поступало. В связи с близостью землетрясения, спасатели региона просят омичей сохранять спокойствие».

I.3. УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (УФО).

118. Екатеринбург, $\Delta=5366$ км, не ощущалось. ИМД №35. Сегодня, 24 мая, трясет чуть ли не всю страну. Причем, трясет в прямом смысле. Ранним утром в Охотском море, чуть западнее Камчатского полуострова, произошло мощное землетрясение магнитудой 8.2 – его отголоски почувствовали жители многих городов России. В Москве, в Охотке, В Нижнем Новгороде, Новосибирске, Самаре, Санкт-Петербурге. Даже

наших соседей пермяков потрясло, а в Удмуртии и вовсе колебания достигли 2-х баллов. Уралу повезло больше: Свердловскую область обошла стороной. Причем так, что даже местные сейсмологи удивляются – неужели было землетрясение?

– Я ничего не знаю о землетрясениях, которые были сегодня, – сказал заведующий лабораторией сейсмометрии Лев Сенин. – Впервые об этом от вас услышал! То, что Екатеринбург и область ничего не почувствовали – это ж хорошо, радоваться надо.

– Но как же так, почему землетрясения обошли нас стороной?

– Не знаю. У нас такая аппаратура, что данные мы сможем узнать только через два дня, в воскресенье. Тогда и скажем точно, было у нас землетрясение или нет.

В МЧС Свердловской области уверяют – у нас все спокойно.

– По данным геофизической лаборатории «Артинская» показатели сейсмической активности на территории Свердловской области в норме, – пояснила сотрудник пресс-службы МЧС Свердловской области Алина Хасанова. – Опасности для Свердловской области нет.

I.4. СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (СЗФО).

119. Мурманск, $\Delta=5446$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №17. Ощущение раскачивания зданий прервало офисное утро обитателей зданий «КРЭС-Альянса» и бизнес-центра «Жемчужина». Люди эвакуированы, в «Жемчужине» говорят о трещине. Как пишет твиттерянин @monchabou, бизнес-центр «Жемчужина» (на фото в блоге 7-этажный, обшитый декоративными панелями) эвакуирован из-за вибраций между 5-м и 7-м этажами, чуть позже он сообщит об обнаруженной в здании трещине и переезде своего офиса в соседнее здание. Из здания КРЭСа (4-х этажный, судя по фото, помещенному в блоге, кирпичное здание старой постройки), судя по твиттеру, люди выходили дважды, однако прибывшие сотрудники МЧС ничего подозрительного не обнаружили, равно как и не все почувствовали раскачивание. Судя по бодрому обсуждению в твиттере, эвакуированные выдвинули четыре версии: раскачивания не было и кому-то все показалось, здания качались из-за ремонтных работ либо из-за тяжелогруженого поезда. Еще одна версия – эхо землетрясения на Камчатке.

121. Апатиты, $\Delta=5555$ км, ощущалось. ИМД №9. Ускорение земной поверхности в пункте наблюдения Апатиты на скальном грунте составили $0.1 \text{ см}/\text{с}^2$, что соответствует интенсивности сейсмического воздействия 2 балла по 12 бальной шкале MSK-64. Учитывая, что на грунтах 3 категории (пески, глины, торфяники, водонасыщенные грунты) отмечается усиление интенсивности на 2 балла (в соответствии с СНИП II-78), это событие могло быть ощутимым в некоторых зданиях на верхних этажах. Макси-

мальная интенсивность сейсмического воздействия не превысила 4 баллов по шкале MSK-64, следовательно, не представляет угрозы зданиям и сооружениям на территории Мурманской области.

140. *Санкт-Петербург, $\Delta=6318$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №31.* Колебания земной коры не минули и Петербург. В 9:50 высотное здание страховой компании «РЕСО» на Гаккелевской улице, д. 21а, начало сильно раскачиваться. Как рассказали очевидцы, они почувствовали тошноту и головокружение. Снаружи колебания башни были видны невооруженным глазом. Все находящиеся внутри люди были эвакуированы. Приехавшие сотрудники МЧС и других служб начали комплексное обследования здания и коммуникаций, при котором пока не зафиксировано никаких разрушений. «С вероятностью 99 % раскачивание башни – отдаленное последствие толчков в Охотском море. Это уникальное событие, я не помню ничего подобного не только за свою карьеру, но и вообще не слышал, чтобы сейсмические волны распространялись на такие расстояния», – заявил корреспонденту «БалтИнфо» Владимир Крупман, руководитель сейсмологической станции в Пулково.

1.5. ПРИВОЛЖСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (ПФО).

120. *Пермь, $\Delta=5479$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №3.* В территориальный орган ГУ МЧС по Пермскому краю поступили звонки всего с двух адресов о том, что ощущаются подземные толчки. Кроме того, Р. А. Дягилевым были найдены 12 сообщений об ощущениях этого землетрясения в Перми на одном из городских интернет-форумов. Землетрясение ощущалось преимущественно на верхних этажах зданий (4-й и выше). Люди отмечали головокружение, легкую вибрацию и покачивание, небольшие колебания висячих предметов, слабое подрагивание мебели.

122. *Ижевск, Удмуртия, $\Delta=5700$ км, $I=2$ балла. ИМД №20.* В пресс-службе ГУ МЧС РФ по Удмуртии уточнили, что сегодня, 24 мая, с 9:50 до 10:00 в Центр управления в кризисных ситуациях поступило 6 обращений граждан о сейсмических толчках в Ижевске и ряде районов Удмуртской республики на 3–5 этажах высотных зданий. Пострадавших и разрушений нет.

123. *Уфа, Башкортостан, $\Delta=5737$ км, $I=3$ балла. ИМД №30.* Уфа почувствовала на себе отголоски землетрясения в Охотском море. В разных районах столицы Башкирии ощущались подземные толчки, из многих домов были эвакуированы люди. Где и что ощутили уфимцы? Онлайн журнал ТриШурупа.рф приводит комментарии некоторых очевидцев землетрясения:

– В данный момент сижу и замечаю покачивание всего дома по улице Абрамовой, 2. Где-то на 1–2 балла.

– На Цюрупа кресла катались по кабинету.

– На Губайдуллина ощущалось! Даже завод «Электроаппарат» эвакуировали.

– Моя мама лежит в РКБ Куватова – там тоже была эвакуация, сказали, что было землетрясение. Очень сильно тряслось, особенно на 9 этаже.

– Проспект, 12! Работаем на 13 этаже – сильно качнуло и сейчас шатается!

– В Уфе было землетрясение. Я ощущала, как покачиваюсь вместе со столом, но сразу даже и не поняла, что это.

– Советский район Уфы покачивало примерно 15 минут.

– УГУЭС (на Чернышевского), очень все чувствовалось. Ездили партии. Шатались люстры и всякое такое.

– Здание на перекрестке Мингажева / Новомостовая, в котором я находилась, сейчас заметно раскачивалось. Из Уралсиба на Крупской люди тоже повыбегали, говорят.

– Срочно эвакуировано здание на Сочинской, 12, арендуемое РН-УфаНИПИнефть. Сильно раскачивалось, ездили кресла, падали цветы с подоконников. Следует отметить, что это здание и так сильно трясется от проезжающего транспорта.

– Я живу на Набережной в Сипайлово, наш дом сильно качалось, даже вода из аквариума выплыла.

– Учусь и работаю в УГУЭС, на 7, 8, 9 этажах цветы и люстры ходили ходуном, нас эвакуировали.

124. Стерлитамак, Башкортостан, $\Delta=5822$ км, ощущалось. ИМД №29.
ФГКУ «14 отряд ФПС по РБ» Стерлитамакского гарнизона пожарной охраны сообщает, что на территории Дальнего Востока произошло землетрясение в районе Охотского моря. В связи с этим в некоторых районах Республики Башкортостан зафиксированы слабые сейсмические явления (подземные толчки). В Стерлитамаке подземные толчки ощущались в центральном и юго-западном районах города. Информации об ущербе и пострадавших не поступало.

125. Набережные Челны, Татарстан, $\Delta=5829$ км, I=3–4 балла.

1) ИМД № 36. Набережные Челны, жители пишут в соцсетях:

– Я живу в 65 комплексе и здесь ощущалось. Не поняла, что это. Потом догадалась. Подумала, что мне показалось. Живу на 9 этаже.

– На кровати лежу, и как кровать затряслась! И слышу звон кружек, как друг об друга бьются!

– У меня на кухне пол раздвинулось на 2 части... Не знаю, что делать... Пойду из дома.

2) ИМД № 24. В Набережных Челнах произошло первое за последние 24 года землетрясение. Сила толчков составила 3 балла. 24 мая в 9:55 по московскому времени в единую диспетчерскую службу стали поступать звонки. Челнинцы во многих районах города ощутили под-

земные толчки, в домах раскачивались люстры, на верхних этажах зданий с полок летели книги, папки и даже аквариум. Особенно остро ощутили эти толчки работники бизнес-центра «2.18», в народе известного как «тюбетейка». Очевидцы тут же начали делиться информацией, что башня накренилась на несколько градусов. За 10 минут людей, находящихся внутри, эвакуировали, входы оцепили и вызвали сотрудников службы МЧС. В это время генеральный директор бизнес-центра Игорь Горячев заверял журналистов:

– Здание рассчитано на очень большие нагрузки, свалить его нереально.

После того как служба спасения не обнаружила ни одной трещины во время проверки здания, Игорь Евгеньевич дал комментарий на пресс-конференции и опроверг все слухи, что «тюбетейка» отклонилась от нормы.

– Ничего подобного! – заверил он. – Если бы она отклонилась, перестали бы функционировать лифты, но даже эвакуация происходила с их использованием.

Он рассказал, что все, что ощутили в бизнес-центре, – это дрожание мебели, сам директор же испытал легкое головокружение. По его словам, никаких разрушений не было и паники удалось избежать.

Уже после обеда пресс-конференция состоялась в мэрии. Руководитель Исполкома Фархад Латыпов провел совещание по вопросам ГО и ЧС.

– С 9:55 до 11:00 в службу спасения поступало 62 звонка от граждан, – подытожил представитель МЧС, – 8 единиц спецтехники выехали на осмотр высотных зданий, мостов, переходов. Пока никаких нарушений не выявлено.

Единственное здание в Челнах, которое пострадало – дом 7/20, где располагается компания «Евро-групп». Там были разбиты несколько стекол.

Сотрудники МЧС связывают подземные толчки в городе с землетрясением в Охотском море, амплитуда которого достигала 8–10 баллов. У нас она была равна 3 баллам.

126. *Елабуга, Татарстан, $\Delta=5837$ км, ощущалось.* ИМД №23. См. п. 126 Казань, Татарстан.

127. *Салават, Башкортостан, $\Delta=5843$ км, ощущалось.* ИМД №27. Жители Салавата также ощутили тряску. «Жители 11 домов обратились к нам с сообщением о толчках», – сообщили ProUfu.ru в Аварийно-спасательной службе Салавата. Звонки поступают только из южной части Салавата. Спасателям звонят жители домов улиц Октябрьская, Губайдуллина, Ленинградская, Салавата Юлаева и Губкина. Они ощущали два подземных толчка. Пострадавших нет.

128. *Нижнекамск, Татарстан, $\Delta=5857$ км, ощущалось.* ИМД №23. См. п. 126. Казань, Татарстан.

129. Заинск, Татарстан, $\Delta=5874$ км, ощущалось. ИМД №23.
См. п. 126. Казань, Татарстан.

130. Альметьевск, Татарстан, $\Delta=5893$ км, ощущалось. ИМД №23.
См. п. 126. Казань, Татарстан.

131. Казань, Татарстан, $\Delta=5964$ км, I=3 балла.

1) ИМД №23. Где-то в половине одиннадцатого утра пятницы 24 мая в нашей редакции раздался тревожный звонок. Читательница Миляуша из Авиастроительного района Казани, проживающая по ул. Чапаева, 21, рассказала нашему корреспонденту, что около 10 часов утра, подойдя к домашнему аквариуму, она увидела, что в нем сильно тряется вода. «Я не придала этому значения, — продолжает Миляуша. — А буквально через 2 минуты позвонила мама, (она проживает в Азино на ул. Ломжинской, 18) и рассказала, что ее шатает, в квартире тряется люстра, гремят чашки на кухне. Мама спросила меня, может, это землетрясение? Но в Интернете никакой информации я не нашла. Неужели действительно произошло землетрясение?»

Редакция обратилась в соответствующую службу. По информации ГУ МЧС России по Республике Татарстан, сегодня (24 мая) в 09:59 (мск.) в акватории Охотского моря действительно зарегистрировано сейсмособытие магнитудой не менее 8.2. В Петропавловске-Камчатском землетрясение ощущалось на уровне 4–5 баллов. Отголоски землетрясения зарегистрированы на территории Дальневосточного, Сибирского, Уральского и Приволжского федеральных округов. А также и на территории Республики Татарстан — в городах Казань, Альметьевск, Нижнекамск, Елабуга, Заинск и т.д. — по сообщениям, поступающим в ЕДДС муниципальных районов от граждан, ощущались незначительные колебания.

2) ИМД №36. Казань, жители пишут в соцсетях:

— Лежал на кровати и раскачивать начало, пошел на кухню посмотреть на воду в графине, не показалось ли мне, вода там качалась, потом сервис кухонный звенеть начал. Секунд через 15 всё закончилось. Понимал хорошо, так как на 9 этаже живу.

— На горках качало пару минут, 8-й этаж, лежал на кровати, думал со мной что-то не в порядке.

— На Галиаскара Камала было заметно, секунд 20 дребезжали стекла на шкафах.

132. Зеленодольск, Татарстан, $\Delta=5984$ км, I=3 балла. ИМД №42.
Сегодня около десяти часов произошло землетрясение в Охотском море на глубине 600 метров. Его отголоски докатились и до Татарстана. В службу спасения о различных проявлениях этого явления сообщили жители Казани, Альметьевска, Нижнекамска, Елабуги, Заинска и Зеленодольска. Никакой информации о пострадавших не поступало. На 17 часов на пульт дежурно-диспетчерской службы в нашем городе (Зеленодольс-

ке) позвонили три человека: женщина с ул. Зеленої сообщила, что у нее вдруг поехал диван; соседи из двух квартир в доме на ул. Королева заволновались, когда увидели раскачивающиеся люстры. Беспокойство овладело служащими завода имени Горького, когда многие почувствовали, что из стороны в сторону покачивает пол в здании завоудправления.

133. Оренбург, $\Delta=6008$ км, $I=2-3$ балла. ИМД № 39. В Оренбурге зафиксированы «отголоски» землетрясения в Охотском море. Землетрясение продлилось чуть больше минуты. В начале двенадцатого в пятницу оренбуржцы – жители многоэтажек – повыскакивали из своих квартир. У всех на лице застыл немой вопрос «Неужели опять взрывы в Донгузе?» Оренбуржцы привыкли, что область находится в устойчивой сейсмологической зоне. Землетрясение у нас такое же редкое явление, как снег в тропиках. Последний раз нашу область трясло практически десять лет назад. В этот раз землетрясение было не очень сильное. Толчки почувствовали только счастливые обладатели высотных квартир. Они и начали обрывать телефоны МЧС.

– У меня поднялось давление, – рассказывает Надежда Лубягина, проживающая на десятом этаже, – я легла на диван. Вижу, люстра тряется, диван ходуном ходит. Подумала у меня инсульт и начала звонить в скорую! А тут соседка прибежала, сказала, что и у них квартира ходуном ходит!

Небольшое колебание земной коры в Оренбуржье – это отголоски сильного землетрясения на Дальнем Востоке.

– Сила землетрясения в нашей области небольшая, чуть больше 1 балла, – рассказали в отделе геоэкологии Российской академии наук уральского отделения, – некоторые даже не почувствовали, что их трясет.

Как нам сообщили в пресс-службе ГУ МЧС России по Оренбургской области, пострадавших в результате землетрясения нет. Сотрудники МЧС заверили, что угрозы для жизни и здоровья нет, и попросили оренбуржцев сохранять спокойствие.

134. Самара, $\Delta=6129$ км, ощущалось. ИМД №28:

– В результате подземных толчков в Самарской области одно из административных зданий начало разрушаться – образовались две трещины. Речь идет о здании на улице Красноармейской, 17, уточняет главный госинспектор Самарской области по пожарному надзору Вадим Пучко. Проведена эвакуация сотрудников, здание оцеплено. Сейчас проходит его обследование.

– Самару тряхнуло. Я и мои сотрудники ощутили вибрацию здания. Такие же ощущения испытывали люди в разных уголках города. Землетрясение или..? @berezkin_av, Twitter

135. Нижний Новгород, $\Delta=6134$ км, $I=3$ балла.

– ИМД №25. В Нижнем Новгороде жители ощущают странные подземные толчки. Нижегородцы обеспокоены, потому что толчки похожи на землетрясение. Нижегородец Виктор Загвоздин рассказывает: «Город трясет! Как будто землетрясение! Дом ходил ходуном 2 минуты, и это реально ощущалось. Звонил в МЧС, трубку не брали 5 минут, выяснилось, что трясет все районы нижней части города: Сормово, Ленинский район и Автозавод». «Людей из бизнес-центра “Орбита”, который находится на улице Нартова, эвакуировали. Еще выводили людей из некоторых офисов с улицы Большая Покровская и улицы Горького», – сообщила нижегородка Марина Сидорова (фамилия изменена). В пресс-службе ГУ МЧС по Нижегородской области нам сообщили о том, что им звонят обеспокоенные нижегородцы и спрашивают о происходящем. Поступило уже более 100 звонков. Сотрудники МЧС выясняют причину подземных толчков. Ситуация усложняется тем, что в Нижнем Новгороде нет ни одной сейсмостанции. Пока служба МЧС не может сказать, что это за явление.

– ИМД № 28, сотрудник пресс-службы ГУ МЧС по Нижегородской области, SmartNews: Нижний Новгород. Здесь тоже ощутили землетрясение. В центре города проведена эвакуация сотрудников офисов на улицах Ульянова и Нартова. Сегодня в Центр управления в кризисных ситуациях ГУ МЧС России по Нижегородской области поступило более 100 сообщений о подземных толчках от жителей Нижнего Новгорода. Звонки поступали с 9:50 до 10:20. После этого звонки прекратились. Последний раз подобное явление наблюдалось в регионе в конце 70-х годов. Тогда на территории области было зарегистрировано землетрясение силой 3–4 балла.

– ИМД № 8. Интернет-опросник КФ ГС РАН: На 4 этаже восьмиэтажного дома (бизнес-центр, ул. Нартова, 6) ощущалось слабое плавное покачивание. Едва заметно раскачивались висячие предметы. «Мы на работе в офисе. Около 10 часов утра ощутили легкое головокружение и покачивание. Жалюзи на окнах стали несильно раскачиваться. Это повторилось 2–3 раза по 1–1.5 минуты. Мы покинули здание и вышли на улицу. На улице ничего не ощущалось. Через час мы вернулись на рабочие места. Больше здание не качало».

138. Навашино Нижегородской области, $\Delta=6275$ км, $I=2-3$ балла.
ИМД № 28. Очевидец в городе Навашино Нижегородской области сообщил, что в 9:54 по московскому времени зафиксировал толчок, длившийся около 3–4 секунд. «Посуда в доме тряслась, картина на стене сдвинулась на 1 сантиметр», – отметил он. В МЧС по Нижегородской области подтвердили данную информацию.

139. Выкса Нижегородской области, $\Delta=6294$ км, $I=2-3$ балла. ИМД № 41.

– Гость 85. Пт., май 24, 2013, 12:17: «Я отсыпался после ночной, без

10 минут 10 почувствовал, что диван качается, не понял... думал спросонья, потом снова. В прихожей обсыпалась штукатурка. Живу в Центральном, 7 этаж».

– Pennywise. Пт., май 24, 2013, 15:25: «Тоже живу в Центральном, 9-й этаж, около 10-и почувствовал колебания, подумал, что показалось, оказывается, нет».

I.6. ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (ЦФО).

136. Костромская область, $\Delta=6135$ км, ощущалось. ИМД №11: «Землетрясение ощущалось в 6 субъектах Центрального федерального округа – Смоленской, Московской, Рязанской, Тульской, Ивановской и Костромской областях». Более подробные сведения МЧС не предоставило, в сообщениях СМИ по Костромской области ничего не найдено.

137. Иваново, $\Delta=6198$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №19. Как сообщили Ч.ги в пресс-службе МЧС РФ по Ивановской области, 24 мая около 10 часов на пульт дежурного поступило несколько сообщений от жителей улицы 8 Марта, которые почувствовали подземные толчки. По словам звонивших, от этих толчков мебель в их офисах и квартирах ходила ходуном. В пресс-службе подтвердили, что эти подземные толчки стали отголосками землетрясения в Охотском море, произошедшем утром 24 мая. Но, поскольку Ивановская область не является сейсмоактивной зоной, то у ивановских спасателей просто нет необходимой аппаратуры для фиксации землетрясения. Поэтому о магнитуде подземных толчков в МЧС РФ по Ивановской области ничего сказать не могут.

141. Москва, $\Delta=6437$ км, $I=2-4$ балла.

1) ИМД №4:

– Москва, 2-й Спасоналивковский пер., д. 9, 5 этаж (высокий старый дом), в промежутке от 8:40 до 9:40. Колебания всего дома в течение минуты – звук.

– Москва, Литовский бульвар, 10 этаж, утро. Задрожали предметы: детский брелок (скорее всего, гигроскопический тренажер), клавиатура и мышка у компьютера.

– Москва, ул. Новаторов, д. 34, к. 3, 4 этаж. Механические часы, которые уже давно не шли, неожиданно стали работать; игрушка с пьезоэлементом внезапно брякнула, несмотря на то, что ее никто не трогал.

– Москва, Таганская площадь, 4 этаж офисного здания, 10:30. Наблюдались колебания всего – стульев, столов, люстр. Люди были эвакуированы из здания.

– Москва, ул. Часовая, д. 21б, 5 этаж, утро. Небольшая тряска стола.

2) ИМД №6

Сотрудник Института физики Земли РАН (ИФЗ) А. Д. Завьялов

через РИА «Новости» обратился к москвичам с просьбой сообщить по электронной почте о том, как они ощущали землетрясение 24 мая 2013 г.: указать улицу и номер дома, где они находились в момент землетрясения, тип строения (кирпичный, блочный, панельный), год постройки, этаж, где ощущались колебания, а также некоторые детали: раскачивались ли люстры, перемещалась ли мебель, звенела ли посуда, испытывали ли люди головокружение. В ответ на это обращение были получены сообщения от 86 респондентов из Москвы. Кроме того, несколько сообщений предоставили коллеги А. Д. Завьялова по ИФЗ.

Землетрясение ощущалось в основном на верхних (начиная с 3-го) этажах высотных зданий, наблюдалось покачивание висячих предметов, покачивание воды в посуде и аквариумах, дрожание мебели. На высоких этажах (9–20) по сообщениям отдельных респондентов падали легкие предметы (цветочные горшки), перемещалась легкая мебель (катались офисные кресла). Из отдельных высотных офисных зданий сотрудники были эвакуированы. Характер ощущавшихся колебаний по впечатлениям разных респондентов был различен: плавные продолжительные (1–5 мин.) несильные колебания; высокочастотная вибрация; серия из нескольких легких толчков; ощущения как от идущего поблизости поезда метро. Большинство респондентов ощущали головокружение и дурноту, некоторые, особенно находившиеся на высоких этажах, теряли равновесие. В то же время, часть респондентов ощущали землетрясение очень слабо, несмотря на то, что находились на верхних этажах. Эта информация позволила сотрудникам ИФЗ оценить интенсивность сотрясений в Москве на 2–4 балла по шкале MSK-64.

3) ИМД №2: землетрясение замечено в Москве 24 мая 2013 г. в 9 часов 50 минут местного времени на 6 этаже здания. Не испугались. Наблюдались очень слабые, но, тем не менее, ощутимые колебания с периодом около 0.8–1 сек. Легкое раскачивание продолжалось 2–3 минуты. Коллеги респондента по работе тоже ощутили, но только те, кто находился в спокойном и расслабленном состоянии. У респондента и у некоторых его коллег слегка кружилась голова.

142. *Рязань, $\Delta=6453$ км, ощущалось.* ИМД № 19: Землетрясение в акватории Охотского моря, произошедшее 24 мая, прошло по всей Сибири, докатившись отголосками до Москвы. Звонки о толчках поступали в МЧС и от жителей Рязани, сообщил вице-губернатор Рязанской области Сергей Филимонов на внеочередном заседании комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций 24 мая. По его словам, звонки поступали от жителей улицы Новосёлов, проезда Речников и площади Дмитрова. «Все службы в Рязани работают в штатном режиме, разрушений и жертв нет. Обстановка на постоянном контроле», – отметил Сергей Филимонов, пишет ДИА Рязань.

143. Тула, $\Delta=6574$ км, $I=2$ балла. ИМД №34, интерфакс-центр: Тула. 24 мая. Отголоски дальневосточного землетрясения дошли до Тулы, легкие толчки почувствовали жители ряда домов в центральной части города. В областном управлении МЧС «Интерфаксу» сообщили, что информация о подземных толчках поступила от жителей по улице Рязанская, дом 1. Легкие толчки, по словам собеседника агентства, также ощущались в центральной части Тулы, возле Кремля и здания правительства региона. Специалисты МЧС выехали на место фиксации толчков, в настоящее время идет эвакуация людей из ряда зданий. Более полная информация появится позднее, отметил представитель управления МЧС. В областном МВД агентству сообщили, что колебания ощущались в здании типографии на улице Фридриха Энгельса, высотном здании института на улице Демонстраций, а также в здании правительства региона на проспекте Ленина.

144. Смоленск, $\Delta=6731$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №37. В Смоленске почувствовали отголоски землетрясения в Охотском море. Некоторым смолянам даже пришлось эвакуироваться из офисов. До областного центра небольшие колебания докатились к началу одиннадцатого часа утра. В это время в соцсетях появилась информация о том, что в центре Смоленска зашатались верхние этажи зданий, и в числе таковых оказалось 9-этажное здание на Дохтурова, 3.

— Толчки ощущались на 8–9 этажах здания, — рассказал смолянин Андрей, работающий в одной из организаций в доме №3 на Дохтурова, — гремели стаканы, качалась вода. У всех возникло чувство тревоги, народ побежал вниз. Служба эксплуатации здания сообщила об эвакуации. Люди вышли на улицу еще до приезда спасателей. Сотрудники МЧС сказали, что вызовы к ним поступали из высоток, что на улицах Фрунзе и Ленина...

«Встряхнуло» и здание суда на Гагарина, 46.

— В одиннадцатом часу у нас на верхних этажах затряслись шкафы, — говорит Елена, сотрудница ИТ-службы Смоленского областного суда. — Сначала никто не удивился — дело в том, что в здании идет ремонт, и мы подумали, что это строители что-то кидают или разбивают какую-то стену. Но появилось ощущение, что земля уходит из-под ног и голова кружится, как в транспорте, когда он трогается. Тут к нам вошли судебные приставы и сказали: «Эвакуируемся». Все выбежали на улицу — и мы, и те, кто был на заседаниях суда, это все минут пять заняло, думаю. Честно говоря, мы немного испугались, — здание-то старое. Но потом нам сказали, что все хорошо, можно возвращаться. Сейчас работаем.

— Сообщения о «землетрясении» поступали к нам также от сотрудников Промышленного и Ленинского суда, и с улицы Ленина, 13а. По

словам звонивших, на верхних этажах зданий чувствовалась вибрация, и люди вышли на улицу, – сообщили в дежурной части Центра управления в кризисных ситуациях ГУ МЧС по Смоленской области. – От нас по указанным адресам сразу же убыли оперативные группы для выяснения ситуации. Никаких толчков зарегистрировано не было. Угрозы зданиям, а тем более людям, нет. Предположительно, до Смоленска могла дойти остаточная волна землетрясения в Охотском море.

145. *Нововоронежская АЭС, $\Delta=6769$ км, $I=2-3$ балла. «...землетрясение в Охотском море 24.05.2013 г. ...создало макросейсмический эффект на достаточно обширной территории, в том числе и в районе НВАЭС 2–3 балла по шкале MSK-64» [Надёжка и др., 2014].*

I.7. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (ЮФО).

186. Ставрополь, $\Delta=7204$ км, ощущалось. ИМД №43.

I.8. ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ (ЮФО).

187. Новороссийск, $\Delta=7424$ км, ощущалось. ИМД №43.

II. КАЗАХСТАН.

145. Усть-Каменогорск (Оскемен), $\Delta=4653$ км, $I=2-3$ балла.

– ИМД №7: «...землетрясение ощущалось многими жителями Восточно-Казахстанской области. В наш Центр данных уже примерно через 10 минут после начала землетрясения поступили звонки из Департамента по ЧС Восточно-Казахстанской области, расположенного в городе Усть-Каменогорске. Дежурный сказал, что в Департамент поступают звонки от жителей города о том, что они почувствовали колебания от землетрясения. Жители отмечают, что в квартирах качались люстры, на стенах качались картины».

– ИМД №15. См. п. 150. Атырау, Казахстан.

146. Курчатов, $\Delta=4837$ км, $I=3$ балла. ИМД №7: «...затем звонки поступили из города Курчатов, расположенного на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне. Жители города также почувствовали колебания, сопровождавшиеся раскачиванием люстр. Отметим, что в г. Курчатов имеются только малоэтажные дома не выше 4 этажей».

147. Астана, $\Delta=5208$ км, $I=2$ балла.

– ИМД № 7: «В столице Казахстана, г. Астане, землетрясение ощущали жители многоэтажных домов».

– ИМД № 15. См. п. 150. Атырау, Казахстан.

148. Алматы, $\Delta=5459$ км, $I=2$ балла. ИМД №7: «В г. Алматы на юге Казахстана отдельными людьми ощущались подземные толчки на высоких этажах домов».

149. Уральск, $\Delta=6230$ км, $I=2$ балла. ИМД №22: Землетрясение ощу-

щали жители высотных домов в Уральске, сообщили в областном ДЧС. На пульт ДЧС поступило более 20 звонков от горожан. Жертв и разрушений нет.

150. Атырау, $\Delta=6544$ км, $I=2-3$ балла. ИМД №15. Сегодня, 24 мая, в 10:59 по местному времени многие находившиеся на верхних этажах жители и гости Атырау внезапно ощутили колебания пола под ногами. А люди из высотных офисов даже выбежали на улицу.

На снимках сотрудники компаний, арендующих офисы в здании 10-этажного бизнес-центра «Isker». Редакция «АЖ» располагается в метрах 300 по прямой от этого здания, но мы на высоте своих трех этажей ничего не почувствовали. А на 7–10 этажах здания, по свидетельствам очевидцев, колебания были довольно ощутимы:

— Со столов на пол посыпались телефоны, ручки, захлопали двери, — рассказала одна из сотрудниц «Эксон Мобил». — Оповещения по зданию не было, но люди сразу поняли, что происходит, и побежали к лифтам.

Сотрудники расположенного неподалеку здания ТШО также вышли из офиса. На некоторых этажах там сработала сигнализация и собственная служба безопасности оповестила людей, сотрудники некоторых департаментов выбежали, не дожидаясь сигнала. Через 20 минут паника улеглась и люди вернулись в свои кабинеты.

Спустя два часа после землетрясения пресс-служба Департамента ЧС по Атырауской области распространила сообщение для СМИ: «24 мая в 12 часов по времени Астаны (11:00 по времени Атырау) в Единую дежурную диспетчерскую службу (ЕДДС) областного департамента ЧС поступили телефонные сообщения из офисов компаний “Тенгизшевройл” и “Аджип” о том, что ощущались слабые толчки. Департамент ЧС по Атырауской области связался с Алматинской сейсмологической опытно-методической экспедицией, где были получены следующие разъяснения. Сегодня в Охотском море произошло землетрясение на дне моря на глубине 602 километра и магнитудой 8.2. Это были отголоски этого землетрясения. Аналогичные отголоски сдвига земной коры в Охотском море ощущались в городах Астана и Оскемен. На территории Атырауской области разрушений не зафиксировано. Информации о пострадавших не поступало. Предприятия и организации в регионе работают в обычном режиме».

151. Тенгиз, $\Delta=6550$ км, ощущалось. ИМД №15. По данным СМИ Казахстана слабые подземные толчки ощущались даже в Западном Казахстане. В Атырауской области в единую диспетчерскую службу областного департамента ЧС поступали телефонные звонки из офисов нефтедобывающих компаний, в которых сообщалось, что ощущаются землетрясения в районе Тенгиза.

III. КИРГИЗИЯ.

184. Бишкек, $\Delta=5628$ км, ощущалось. ИМД №43.

IV. США. ИМД № 44.

152. Кодьяк (Kodiak), штат Аляска, $\Delta=3203$ км, I=3 балла. Колебания ощущались внутри частного дома большинством людей. Слабо, в течение 30 секунд. Пошли посмотреть, что производит шум на кухне (был слышен слабый скрип). Висячие предметы слегка колебались.

153. Анкор Пойнт (Anchor Point), штат Аляска, $\Delta=3231$ км, I=2 балла.

– Колебания ощущались внутри частного (деревянного двухэтажного) дома только самим респондентом. О других он не знает. Отреагировал спокойно. Ощущалось легко, в течение 10 секунд. «*Сидел в кресле и почувствовал, как что-то качнуло кресло.*»

– Колебания ощущались внутри частного дома (бревенчатого на стальных сваях) только самим респондентом. О других она не знает. Слабо, в течение 10 секунд. «*Сидела в кресле и ощутила тряску. Муж на улице ничего не почувствовал.*»

– Колебания ощущались внутри частного дома немногими людьми. Ощущалось слабо. Других сведений нет.

154. Хомер (Homer), штат Аляска, $\Delta=3265$ км, I=3 балла.

– Колебания ощущались внутри частного (трехэтажного каркасного деревянного) дома большинством людей. Слабо, в течение 30 секунд. Отреагировали спокойно. Было ощущение нарушения равновесия. Висячие предметы слегка колебались. Был слышен слабый скрип. Предметы на полках слегка дрожали. «*Продолжалось долго.*»

– Колебания ощущались внутри частного дома большинством людей. Висячие предметы слегка колебались. Был слышен слабый скрип. Предметы на полках слегка дрожали.

155. Палмер (Palmer), штат Аляска, $\Delta=3318$ км, ощущалось. Ощущалось с интенсивностью 3 балла по шкале MMI. Описания нет.

156. Сэттон (Sutton), штат Аляска, $\Delta=3327$ км, I=3 балла. В мобильном домике, снятом с колес и поставленном на кирпичи, ощутили толчок и продолжительное покачивание в течение 5 мин. Заметно раскачивался вентилятор, подвешенный к потолку на цепи.

157. Джуно (Juneau), штат Аляска, $\Delta=4216$ км, I=3 балла.

– Колебания ощущались внутри частного дома немногими людьми. Слегка колебались висячие предметы.

– Колебания ощущались внутри квартиры многими людьми. Слабо, в течение 4 минут. Отреагировали спокойно, сидели и смотрели, как слегка колебались висячие предметы.

– Колебания ощущались внутри частного дома немногими людьми. Ощущались слабо. Слегка колебались висячие предметы. Был слышен слабый скрип.

– Колебания ощущались внутри частного дома. Слегка колебались висячие предметы. «*Ветровые колокольчики слегка зазвенели, висячие выключатели и другие маленькие висячие предметы слегка качались в течение минуты*».

158. Питерсберг (*Petersburg*), штат Аляска, $\Delta=4353$ км, $I=3$ балла.

– Колебания ощущались внутри частного дома немногими людьми. Очень мягко, в течение 30–40 секунд. Висячие предметы слегка колебались. «*Очень мягко, слегка*».

– Колебания ощущались внутри частного дома многими людьми. Ощущалось легко. Висячие предметы слегка колебались.

159. Гонолулу (*Honolulu*), Гавайские о-ва, $\Delta=5467$ км, $I=3$ балла. Сам респондент не ощущал землетрясения. Ощущали в другом офисном здании. Очень слабо, в течение 1 минуты. Встали в дверной проем. Слегка колебались висячие предметы.

160. Сиэтл (*Seattle*), штат Вашингтон, $\Delta=5542$ км, $I=3$ балла.

– Колебания ощущались внутри частного (кирпичного) дома только самим респондентом. О других он не знает. Висячие предметы слегка колебались. «*Заметил, что закачались светильники. Не было сквозняка, который мог бы заставить их так качаться*».

– Колебания ощущались внутри многоквартирного дома только самим респондентом. О других не знает. Ощущалось в течение 15 секунд. Слегка колебались висячие предметы. «*Я живу на 16 этаже 27-этажного железобетонного здания. Я услышал звук, посмотрел на окно и увидел, что жалюзи покачиваются и постукивают об оконную раму. Жалюзи высотой 5.5 футов (167.64 см) были полностью опущены. Окно и жалюзи расположены на ЮВ стороне здания параллельно направлению СВ–ЮЗ. Жалюзи колебались и раньше во время далеких землетрясений, но не настолько далекого*».

161. Голета (*Goleta*), штат Калифорния, $\Delta=6716$ км, $I=4$ – 5 балла. Колебания ощущались внутри частного дома. Спавшие проснулись. Ощущалось большинством людей. Сильно, в течение 1 минуты. Сильно испугались, выбежали наружу. Висячие предметы сильно колебались. Был слышен громкий скрип. Некоторые предметы смещались или падали. Картины покачивались и постукивали, но не падали.

162. Ирвайн (*Irvine*), штат Калифорния, $\Delta=6917$ км, $I=2$ балла. Колебания ощущались внутри частного дома только самим респондентом. О других он не знает. Других сведений нет. «*Не уверен, было ли это землетрясение или что-то другое*».

163. Рок-Айленд (*Rock Island*), штат Иллинойс, $\Delta=7706$ км, $I=3$ – 4 балла.

– Колебания ощущались внутри частного дома всеми людьми. Слабо, в течение 5–7 секунд. Забеспокоились, встали в дверной проем.

Было ощущение нарушения равновесия. Висячие предметы слегка колебались. Закачались мебель и техника. «*Диван, на котором я сидел, слегка закачался, потом пауза и закачался снова. Закачались бусинки на абажуре моей лампы*».

– Землетрясение ощущалось в здании клиники многими людьми. Слабо, в течение 30 секунд. Висячие предметы слегка колебались. «*Я сидел с пациентом, почувствовал колебания, и меня самого качнуло; персонал клиники тоже ощущал колебания*».

V. ЯПОНИЯ. ИМД № 44.

164. *Саппоро (Sapporo), префектура Хоккайдо, $\Delta=1582$ км, I=3 балла.*

– Колебания ощущались внутри частного дома многими людьми. Ощущали слабо. Висячие предметы слегка колебались. Предметы на полках слегка дрожали.

– Колебания ощущались внутри частного дома многими людьми в течение 80 секунд. Висячие предметы слегка колебались. Предметы на полках слегка дрожали.

165. *Аомори (Aomori), префектура Аомори, $\Delta=1823$ км, I=3 балла.*

Колебания ощущались внутри частного дома многими людьми. Ощущали легко, в течение 90 секунд. Отреагировали спокойно. Висячие предметы слегка колебались. Был слышен слабый скрип. Предметы на полках слегка дрожали.

166. *Фурукава (Furukawa), префектура Миэги, $\Delta=2042$ км, I=3 балла.* Колебания ощущались внутри частного дома многими людьми. Ощущали легко, в течение 60 секунд. Висячие предметы слегка колебались. Предметы на полках слегка дрожали.

167. *Сендай (Sendai), префектура Миэги, $\Delta=2076$ км, I=2 балла.* Колебания ощущались внутри частного дома многими людьми. Ощущалось слабо. Отреагировали спокойно.

168. *Токио (Tokyo), префектура Токио, $\Delta=2380$ км, I=3 балла.*

– Колебания ощущались внутри частного дома немногими людьми. Предметы на полках слегка дрожали.

– Колебания ощущались внутри частного дома немногими людьми. Ощущали слабо. Предметы на полках слегка дрожали.

169. *Йокогама (Yokohama), префектура Канагава, $\Delta=2406$ км, I=3 балла.* Колебания ощущались внутри офисного здания большинством людей. Ощущали слабо, в течение 1 минуты. Висячие предметы слегка колебались.

VI. КИТАЙ. ИМД № 44.

170. *Чунцин (Chongqing), провинция Сычуань, $\Delta=4663$ км, I=3 балла.* Колебания ощущали большинство людей в офисном здании. Слабо,

в течение 5–10 секунд. Отреагировали спокойно, но встали в дверной проем. Картины на стенах покачивались, но не упали.

171. Ченду (*Chengdu*) провинция Сычуань, $\Delta=4725$ км, $I=3$ балла. Респондент ощутил землетрясение внутри офисного здания. Дремал, проснулся. Ощущал слабые низкочастотные колебания в течение 5–10 секунд. Отреагировал спокойно. «Я спал на столе и почувствовал продольные колебания стола, а затем колебания в поперечном направлении, но слабее (в поперечном направлении стол стоит устойчивее). Стол ориентирован: СВ-ЮЗ в длину; более сильными были колебания в поперечном СВ-ЮЗ направлении».

172. Сичан (*Xichang*), провинция Сычуань, $\Delta=5073$ км, $I=3$ балла. Колебания ощущались внутри многоквартирного дома многими людьми. Слабо, в течение 45 секунд. Отреагировали спокойно. Висячие предметы слегка колебались.

VII. КАНАДА.

183. Пембертон (*Pemberton*), $\Delta=5324$ км, ощущалось. ИМД №43.

173. Ванкувер (*Vancouver*), $\Delta=5380$ км, $I=2$ балла. ИМД №44.

– Колебания ощущались внутри частного деревянного дома немногими людьми в течение 3 секунд.

– Колебания ощущались внутри многоквартирного дома. Сам респондент ничего не ощутил. Люди отреагировали спокойно. Слегка колебались висячие предметы. «Я находился на 32 этаже высотки False Creek. У меня есть 9-дюймовые дедушкины часы, которые в тот момент стояли. Я встревожился, потому что начали бить куранты и цепи застучали друг об друга».

VIII. ИНДИЯ. ИМД №44.

174. Чандигарх (*Chandigarh*), штат Пенджаб и Харьяна, $\Delta=6457$ км, $I=3$ балла. Колебания ощущались внутри офисного здания большинством людей. Слабо, в течение 3 минут. Слегка колебались висячие предметы.

175. Мохали (*Mohali*), штат Пенджаб, $\Delta=6461$ км, $I=3$ балла.

– Колебания ощущались внутри офисного здания многими людьми. Легко, в течение 10 секунд. Отреагировали спокойно. Покачивалась мебель.

– Колебания ощущались внутри офисного здания немногими людьми в течение 3 секунд. Предметы на полках слегка дрожали.

176. Нойда (*Noida*), штат Уттар Прадеш, $\Delta=6604$ км, ощущалось. Колебания ощущались внутри офисного здания всеми людьми. Ощущались умеренно, в течение 10 секунд. Встали в дверной проем. Возникло ощущение нарушения равновесия. Других сведений нет.

177. Дели (*Delhi*), национальный столичный округ Дели, $\Delta=6604$ км, $I=3$ балла.

– Колебания ощущались внутри офисного здания всеми людьми. Слабо, в течение 2 секунд. Забеспокоились, встали в дверной проем. Висячие предметы слегка колебались.

– Сам респондент землетрясения не ощутил. Сообщил о том, что в другом здании (отель) колебания ощутили большинство людей. Висячие предметы слегка колебались. Предметы на полках слегка дрожали.

– Колебания ощущались внутри офисного здания многими людьми. Слабо, в течение 20 секунд. Забеспокоились, встали в дверной проем. Висячие предметы слегка колебались. «*Мы ощутили это в здании*».

– Колебания ощущались внутри офисного здания многими людьми. Слабо, в течение 1 минуты. Встали в дверной проем. Висячие предметы слегка колебались.

178. Гургаон (Gurgaon), штат Харьяна, $\Delta=6634$ км, $I=3$ балла.

– Колебания ощущались внутри офисного здания всеми людьми. Слабо, в течение 4 секунд.

– Колебания ощущались внутри 10-этажного офисного здания немногими людьми. Слабо, в течение 4–5 секунд. Висячие предметы слегка колебались.

– Колебания ощущались внутри офисного здания многими людьми. Сам респондент землетрясения не ощутил. Легко, в течение 60 секунд. Люди забеспокоились. Висячие предметы слегка колебались.

– Колебания ощущались внутри офисного здания немногими людьми. Сам респондент землетрясения не ощутил. Других сведений нет.

– Колебания ощущались внутри многоквартирного дома многими людьми. Слабо, в течение 4 секунд. Отреагировали спокойно. Висячие предметы слегка колебались. Картины покачивались и постукивали, но не упали.

IX. КИРГИЗИЯ.

184. Бишкек, $\Delta=5628$ км, ощущалось. ИМД №43.

X. ЭСТОНИЯ.

185. Таллин, $\Delta=6539$ км, ощущалось. ИМД №43.

XI. ПОЛЬША.

179. Гданьск (Gdansk), $\Delta=7211$ км, $I=2-3$ балла. ИМД № 44.

Колебания ощущались внутри многоквартирного дома многими людьми. Слабо, в течение 10 секунд. Забеспокоились. Висячие предметы слегка колебались. «*Ощущал точно так же, как землетрясение <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/global/shake/nrbq/>*».

– событие, произошедшее 21.09.2004 в 13:32 по Гринвичу, N54.79 W20.03, в 21 милю (33.8 км) к северо-западу от Калининграда, вызвавшее в Гданьске сотрясения с интенсивностью 2 балла по шкале MMI (данные NEIC) – прим. переводчика.

XII. ИНДОНЕЗИЯ.

180. *Маланг (Malang), о-в Ява, $\Delta=7956$ км, I=2–3 балла. ИМД №44.*

Колебания ощущались внутри 5-этажного торгового центра немногими людьми. Сам респондент землетрясения не ощутил. Висячие предметы слегка колебались. «У меня есть цифровые ювелирные весы Mettler Toledo, которые стоят в алюминиевом ящике под стеклом. Ящик прикреплен к бетонной стене. Каждый раз во время землетрясения весы реагируют: цифры начинают бегать, хотя на весах ничего нет».

XIII. ИТАЛИЯ. ИМД №43.

188. *Феррара (Ferrara), $\Delta=8384$ км, ощущалось.*

189. *Милан (Milan), $\Delta=8385$ км, ощущалось.*

XIV. ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ.

181. *Дубай (Dubai), $\Delta=8255$ км, I=3 балла. ИМД №44.* Колебания ощущались внутри 10-этажного многоквартирного дома многими людьми. Ощущали легко, в течение 40 секунд. Встали в дверной проем. Висячие предметы слегка колебались.

XV. МЕКСИКА.

182. *Икстаксокитлан (Ixtaczoquitlan), штат Веракрус, $\Delta=9470$ км, I=3 балла. ИМД №44.* Колебания ощущались внутри кирпичного частного дома в течение 2 минут. Ощущал только сам респондент, о других не знает. Висячие предметы слегка колебались. Предметы на полках слегка дрожали.

Источники макросейсмических данных (ИМД):

1. Алтае-Саянский филиал ГС РАН, директор Еманов Александр Федорович, emanov@gs.nsc.ru, данные собрала Подкорытова В. Г., podk@gs.nsc.ru.

2. Байкальский филиал ГС РАН. Данные макросейсмического интернет-опросника, разработанного в Байкальском филиале ГС РАН. Гилева Надежда Алексеевна, nagileva@crust.irk.ru.

3. Горный институт УрО РАН, Дягилев Руслан Андреевич, dr@mipermt.ru.

4. Институт динамики геосфер РАН, Артемьева Наталья Анатольевна, natalia.artemeva@gmail.com.

5. Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, к. ф.-м. н. Лунева Маргарита Николаевна.

6. Институт физики Земли РАН, Завьялов Алексей Дмитриевич, zavyalov@ifz.ru.

7. Казахстанский национальный центр данных, директор Михайлова Наталья Николаевна, mikhailova@kndc.kz.

8. Камчатский филиал ГС РАН, лаборатория сводной обработки. Раевская Анна Александровна, raevs@emsd.ru, Митюшкина Светлана Владимировна, mitik@emsd.ru.
9. Кольский филиал ГС РАН, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 14. Тел.(81555)79663, факс: (81555)76590, e-mail: kolf@krsc.ru
10. Магаданский филиал ГС РАН, Карпенко Лариса Ивановна, larisa@memsd.ru.
11. МЧС России. Москва, Театральный проезд, д.3, info@mchs.gov.ru
12. Сахалинский филиал ГС РАН, Семенова Елена Петровна, semenova@seismo.sakhalin.ru.
13. Якутский филиал ГС СО РАН, Анастасии Карапаевой, nastyaa@omsd.sakha.ru.
14. <http://24warez.ru/main/article/1157443694-krasnoyarsk-zemletryasenie.html>. 24 мая – РИА Новости.
15. <http://azh.kz/ru/news/view/15023>.
16. <http://berdsk-online.ru/all-news/proisshestviya/6351-v-berdske-pochuvstvovali-zemletryasenie>.
17. <http://blogger51.livejournal.com/1201728.html>.
18. <http://dv.kp.ru/online/news/1446660>.
19. <http://earth-chronicles.ru/news/2013-05-24-44304>.
20. <http://glazov.bezformata.ru/listnews/udmurtii-pochuvstvovali-zemletryasenie/11734099>.
21. <http://krsk.sibnovosti.ru/incidents/236830-zemletryasenie-v-krasnoyarskiy-kray-prishlo-iz-ohotskogo-morya>. Сибирское агентство новостей, Красноярск.
22. <http://news.nur.kz/264585.html>, информационное агентство Tengrinews.kz.
23. <http://news16.ru/336092> (Автор: Наталья Миннуллина. Источник: Казанские ведомости).
24. <http://news16.ru/336163>.
25. <http://progorodnn.ru/news/70945.html>.
26. <http://prokrai.ru/землетрясение-24-мая-2013г-красноярск>.
27. <http://proufu.ru/obcestvo/item/26165-novye-podrobnosti-podzemnye-tolchki-oshchutili-i-v-salavate.html>.
28. <http://smartnews.ru/society/incidents/7397.html>.
29. <http://sterlegrad.ru/str/society/42206-zhiteli-sterlitamaka-oschutili-otgoloski-zemletryaseniya-v-ohotskom-more.html>.
30. <http://ufa.bezformata.ru/listnews/zemletryasenii-v-ufe-dazhe-kresla/11734150>.
31. <http://www.baltinfo.ru/2013/05/24/Zemletryasenie-raspugalo-plankton-356432>, Балтийское информационное агентство «BALTINFO».
32. http://www.berdsk-online.ru/all-news/topnews/6352-kazhdyyu-sekundu-zhiteli-berdska-zvonili-operativnomu-dezhu_rnomu-zemletryasenie.

33. <http://www.bratsk.org/news/show/25382.html>.
34. <http://www.interfax-russia.ru/Centerprint.asp?id=403805&sec=1672&type=news>.
35. <http://www.kp.ru/daily/26081/2984866>.
36. <http://www.kp.ru/online/news/1446392>.
37. <http://www.kp.ru/online/news/1446620>.
38. <http://www.omsk.aif.ru/society/news/87458>.
39. <http://www.orenday.ru/novosti/novostnaya-lenta/v-orenburg-zafiksirovanyi-otgoloski-zemletryaseniya-v-oxotskom-more>.
40. <http://www.vesiskitim.ru/2013/05/24/otgoloski-zemletryaseniya-v-ohotskom-more-pochuvstvovali-zhiteli-iskitima-i-rajona/3440>.
41. <http://wyksa.ru/obsh/forum/viewtopic.php?f=6&t=11675>.
42. <http://zpravda.ru/novosti/item/4730-zemlyatryasenie-na-ohotskom-more-oschutili-zelenodoltsyi.html>.
43. European Mediterranean Seismological Centre. 2013-05-24 Mw 8.3 SEA OF OKHOTSK. <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/Testimonies/comments.php?id=318696>.
44. U.S. Geological Survey, Wald D.J., "Did You Feel It?" Internet-based system.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Макросейсмическое проявление землетрясения
12.11.2013 г. в 7^h03^m $K_s=15.0$, $Mc=6.4$, $Mw=6.1$
в населенных пунктах Камчатского края

1. ГМС *Кроноки*, $\Delta=85$ км, $I=6$ баллов. Радиограмма: «Ощущались сильные длительные колебания. Сильно качались висячие предметы, падали книги, посуда, сдвигалась мебель, разрушилось помещение дизельной: обрушился потолок, лопнули и осыпались стены, отвалился угол здания, перекосило двери и окна. Здание восстановлению не подлежит. Жданов». По сообщению заместителя начальника Петропавловской ГМС дизельная очень плохой постройки уже давно находилась в аварийном состоянии, не эксплуатировалась. Здание шлакоблочное, блоки сделаны из плохого бетона. Произошедшее землетрясение окончательно разрушило здание.

2. *Кальдера вулкана Узон*, $\Delta=165$ км, $I=5-6$ баллов. Упала посуда с полок.

3. Устье реки Шумной, $\Delta=145$ км, $I=5$ баллов. Респондент находился в домике, расположенном на берегу устья реки Шумной. Во время землетрясения был на втором этаже дома. Дом в ветхом состоянии и даже при сильном ветре его ощутимо покачивает. Очень сильно ощущалось плавное покачивание. Падать в комнате было нечему, но ноутбук чуть не съехал с лавки, на которой стоял.

4. ГМС *Семячики*, $\Delta=170$ км, $I=5$ баллов. Землетрясение замечено в покое (сидели) в одноэтажном деревянном здании. Ощущались сильные продолжительные колебания. Сильно раскачивались висячие предметы. Дребезжала посуда и стекла окон. Скрипели, дрожали дверцы мебели, двери, мебель, различные предметы. Сдвигались, раскачивались картины.

5. Усть-Камчатск, $\Delta=177$ км, $I=4$ балла. Продолжительное плавное покачивание в течение 10–20 секунд с двумя толчками разной силы замечено большинством жителей поселка. Некоторые люди встали в безопасное место, открыли входные двери. Некоторые жители нижних этажей в многоэтажках вышли на улицу. В помещении землетрясение ощущалось как в состоянии покоя, так и в движении (1, 3 этажи). Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах. На 5 этаже раскачивался высокий холодильник.

6. *Лазо*, $\Delta=200$ км, $I=4$ балла. Респондентка была в сарае на дойке коров. В момент начала землетрясения нагнулась. Отчетливо ощутила качку, слегка повело. Заметно раскачивалась лампа, освещавшая сарай. Коровы вели себя спокойно. Хотя было заметно, как их качнуло.

Дети респондента (мальчики 9 и 12 лет) находились одни в доме, сильно испугались. Коллега респондента наблюдал колебание воды в доверху наполненной бочке: вода слегка расплескалась. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка.

7. *Таежный, $\Delta=210$ км, I=4 балла.* Респондентка сидела на диване в одноэтажном деревянном доме. Ощутила слабое покачивание из стороны в сторону, затем сильнее. Раскачивалась люстра с отклонением от вертикали приблизительно на 3 см. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка.

8. *Ключи-20, $\Delta=211$ км, I=4 балла.* Ощущались продолжительные колебания. Отдельные жители испугались, покинули помещение. Заметно раскачивались висячие предметы, сильнее на верхних этажах многоэтажной постройки. Скрипела, раскачивалась мебель. Дребезжала посуда и стекла окон. Дрожали, скрипели дверцы мебели, двери. Небольшие неустойчивые предметы покачивались, незначительно смещались, вибрировали.

9. *Ключи, $\Delta=212$ км, I=4 балла.* Плавные продолжительные колебания ощущало большинство жителей поселка. Отдельные люди в испуге покидали помещение. Заметно раскачивались висячие предметы, легкие и тяжелые предметы. Дребезжала посуда.

10. *Мильково, $\Delta=246$ км, I=4 балла.* Землетрясение ощущало большинство жителей поселка. Заметно раскачивались веточки комнатных растений и люстры. Задребезжала посуда. Дрожала, раскачивалась мебель (стул, кресло-кровать).

11. *Вилючинск, $\Delta=326$ км, I=4 балла.* Землетрясение ощущали многие жители города. Заметно раскачивались висячие предметы. Дребезжала посуда, скрипела тяжелая мебель. Был слышен гул. Один из респондентов находился в балке для строителей, расположенному на земле на возвышенности. Во время землетрясения балок сильно раскачивался, подпрыгивал. Находившиеся там люди боялись, что балок сползет по склону. Громко выли собаки на улице.

12. *Крутоберегово, $\Delta=182$ км, I=3–4 балла.* Землетрясение ощущали многие жители поселка. Наблюдалось раскачивание висячих предметов и сотрясение здания в целом.

13. *Атласово, $\Delta=217$ км, I=3–4 балла.* Респондент сидел, смотрел телевизор. Сначала заметил колебание веточек комнатных растений, стоявших в углу. Удивился – откуда ветер. Затем почувствовал колебание кресла. Заметно раскачивалась люстра. Ощущались отчетливые продолжительные плавные колебания. Землетрясение ощущало большинство жителей поселка (в поселке около 800 человек).

14. *Долиновка (Мильково), $\Delta=225$ км, I=3–4 балла.* Землетрясение ощущали немногие жители поселка. (В поселке зарегистрировано 294 челове-

ка, реально проживает около 170). Респондентка сидела на диване. Ощущала вибрацию дивана. Заметно раскачивалась люстра и открытая межкомнатная дверь. Испугалась. Вместе с шестилетним ребенком встала в безопасное место.

15. *Козыревск*, $\Delta=228$ км, $I=3-4$ балла. Со слов сотрудницы сейсмостанции Н. С. Рагунович землетрясение ощущали многие жители поселка. Плавные колебания вызывали легкое головокружение. Плавно раскачивалась люстра. Никаких звуков не было. Шедший по улице внук почувствовал, как слабо качнуло. Не сразу понял, что это было землетрясение.

16. *мыс Шипунский*, $\Delta=233$ км, $I=3-4$ балла. Радиограмма в Гидрофографию: «Землетрясение ощущалось силой 3–4 балла и продолжительностью 15–20 секунд».

17. *Никольское*, $\Delta=235$ км, $I=3-4$ балла. Отчетливо в течение 5–10 секунд ощущалось мелкое дрожание здания. Заметно раскачивались висячие предметы. Был слышен подземный гул.

18. *Институт*, $\Delta=306$ км, $I=3-4$ балла. Респондент находился в каб. 339, расположеннном на 3 этаже мелкоблочного здания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС). В течение 2 секунд стоя слабо ощущалось плавное покачивание. На рабочих столах с амплитудой 2–5 см одновременно закачались ЖК мониторы. Другой респондент находился на верхнем этаже пятиэтажного панельного много квартирного дома, расположенного рядом со зданием ИВиС. Сидя, отчетливо ощущался короткий толчок, затем довольно длительное (более 1 минуты) раскачивание и второй более сильный толчок. Едва заметно раскачивались висячие предметы. Дрожала легкая мебель. Колебалась жидкость в открытом сосуде.

19. *Петропавловск*, $\Delta=308$ км, $I=3-4$ балла. Землетрясение ощущали многие жители города, находясь в помещении в состоянии покоя. Отдельные люди испугались, встали в безопасное место. Хорошо ощущалось две волны. Раскачивались висячие предметы и мебель, дверцы мебели, мониторы на столах. На верхних этажах дребезжала посуда в серванте, колебалась жидкость в открытом сосуде, дрожали различные предметы. Отдельные респонденты отметили, что сильно беспокоились домашние животные.

20. *Пионерский*, $\Delta=308$ км, $I=3-4$ балла. Респондентка сидела на диване, смотрела с мужем телевизор (5 этаж панельного многоквартирного дома). Ощутила хороший толчок и колебания, затем снова толчок. Дребезжала посуда, сильно раскачивалась люстра. Испугалась, выключила телевизор, встала и уже пошла к двери, но все закончилось.

21. *Елизово*, $\Delta=312$ км, $I=3-4$ балла. Землетрясение ощущали немногие жители города, находившиеся в состоянии покоя в основном на

верхних этажах многоэтажных зданий. На 5 этаже от толчка подпрыгнул стоящий на диване горшок с сидящим на нем ребенком. Малыш заплакал. Сильно раскачивались подвески на люстре и двухметровый фикус в цветочном горшке на полу. Был слышен звук от дверок в душевой кабине. Последний раз дверцы душевой кабины так перемещались при Охотоморском землетрясении 24 мая 2013 г. с $Mw=8.3$. Слышно было, что из соседних квартир вышли соседи.

22. *Зеленый, $\Delta=318$ км, $I=3-4$ балла.* Респондентка стояла в кухне (4 этаж многоквартирного четырехэтажного дома). Муж сидел в комнате на диване, крикнул, что трясет. Женщина посмотрела на люстру, которая сильно раскачивалась. Ничего не дребезжало, не скрипело.

23. *Сосновка, $\Delta=323$ км, $I=3-4$ балла.* Землетрясение ощущалось на 1–3 этажах блочных многоквартирных зданий в покое (стояли, сидели). На первом этаже ощущалось и в движении. Заметно раскачивались висячие предметы. Задребезжали предметы, стоящие на высоком холодильнике, закачалась открытая межкомнатная дверь. Отдельные люди испугались, встали в безопасное место.

24. *Паратунка, $\Delta=333$ км, $I=3-4$ балла.* Землетрясение ощущали многие жители поселка. Заметно раскачивались висячие предметы. Дрожала открытая межкомнатная дверь.

25. *Начики, $\Delta=352$ км, $I=3-4$ балла.* Землетрясение было замечено в движении на 2 этаже, в покое на 4 этаже крупноблочных зданий. Заметно раскачивались висячие предметы.

26. *Источники Тумрокские, $\Delta=149$ км, $I=3$ балла.* На базе находились два человека. Во время землетрясения респондент лежал на кровати. Почувствовал слабое покачивание кровати. Другой человек лежал на полу, ощутил легкую вибрацию пола.

27. *Шаромы, $\Delta=273$ км, $I=3$ балла.* Раскачивались висячие предметы, веточки комнатных растений (от едва заметно до заметно). Ногами ощущалась вибрация пола. Во время колебаний происходили помехи в сотовой связи. Слышался какой-то скрежет в крупноблочном здании.

28. *Пущино, $\Delta=293$ км, $I=3$ балла.* Респондентка и ее муж сидели. Оба ощутили 2 толчка с интервалом в несколько секунд. Слегка раскачивалась люстра. Землетрясение заметили немногие жители поселка.

29. *Новый, $\Delta=307$ км, $I=3$ балла.* На верхнем этаже четырехэтажного многоквартирного дома отчетливо ощущалось дрожание, перешедшее в продолжительное колебание средней силы. Заметно раскачивались висячие предметы.

30. *Раздольный, $\Delta=310$ км, $I=3$ балла.* В многоквартирных зданиях на 2 этаже отчетливо ощущался короткий и резкий толчок, от которого в одной из квартир заметно закачалась люстра.

31. *Вулканый, $\Delta=320$ км, $I=3$ балла.* Респондентка сидела на стуле

за рабочим столом в здании поселковой администрации. Ощущалась слабая вибрация стула. Свет в кабинете был отключен, поэтому не видела реакцию предметов. В квартире на 3 этаже заметно раскачивались висячие предметы.

32. *Рыбачий*, $\Delta=321$ км, $I=3$ балла. На верхнем этаже пятиэтажного панельного дома заметно раскачивались висячие предметы.

33. *Николаевка*, $\Delta=322$ км, $I=3$ балла. Респондентка лежала на диване, смотрела телевизор (одноэтажный блочный частный дом). Почувствовала толчок и плавное колебание. На тумбочке заколыхался цветок. Затем последовал второй толчок посильнее и колебания. Землетрясение ощущали многие жители поселка, находившиеся в состоянии покоя.

34. *Сокоч*, $\Delta=355$ км, $I=3$ балла. Респондент сидел на стуле (2 этаж четырехэтажного крупноблочного многоквартирного дома), чувствовал плавное покачивание. С отклонением от вертикали приблизительно на 3 см раскачивалась люстра.

35. *MГeoЭC-1*, $\Delta=373$ км, $I=3$ балла. Многими сотрудниками станции, находившимися в состоянии покоя, ощущалось горизонтальное покачивание. Заметно раскачивались мониторы и комнатные растения.

36. *Маяк Круглый*, $\Delta=397$ км, $I=2-3$ балла. Радиограмма в Гидрографию: «Ощущалось землетрясение силой 2–3 балла и продолжительностью 40 секунд».

37. *Мыс Африка*, $\Delta=178$ км, $I=2$ балла. Радиограмма в Гидрографию: «Ощущалось землетрясение силой 2 балла и продолжительностью 15 секунд».

38. *Термальный*, $\Delta=337$ км, $I=2$ балла. Респондентка сидела на диване (1 этаж блочного двухэтажного многоквартирного дома). Землетрясение ощущалось слабо. Сначала показалось, что повело. Потом последовало более сильное плавное раскачивание около 3 секунд. В комнате висячих предметов нет, ничего не скрипело и не дрожало.

39. *P. Карымшина (стационар КФ ГС)*, $\Delta=348$ км, $I=2$ балла. В течение 5–10 секунд, сидя в здании, ощущалась легкая вибрация.

40. *Коряки*, $\Delta=315$ км, ощущалось. Опрашиваемые сотрудники поселковой администрации, проживающие в Коряках, землетрясение не ощущали, но знают, что есть жители, его ощущавшие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аки К., Ричардс П.* Количественная сейсмология. Т. 1, 2. М.: Наука. 1983. 880 с.
- Ассиновская Б. А., Карпинский В. В., Карпинская О. В.* Макросейсмические проявления в Санкт-Петербурге землетрясения 24 мая 2013 г. в Охотском море // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 17–20.
- Богданов В. В.* Интерпретация закона повторяемости землетрясений на примере Камчатского региона // ДАН. 2006. Т. 408. № 3. С. 393–397.
- Богданов В. В., Павлов А. В., Полюхова А. Л.* Вероятностная модель сейсмичности на примере камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2010. № 6. С. 64–74.
- Большев Л. Н., Смирнов Н. В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.
- Бялко А. В.* Наша планета – Земля. Библиотечка Квант. Вып. 29. М.: Наука, 1989. 240 с.
- Вайнберг Д. В., Писаренко Г. С.* Механические колебания и их роль в технике. М.: Наука, 1965. 276 с.
- Гаврилов В. А.* Динамика микротрещинноватости геосреды в связи с катастрофическими Симуширскими землетрясениями 2006–2007 гг. по данным комплексных скважинных измерений на Камчатке // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М. В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Материалы докладов Всероссийской конференции. Т. 2. М.: ИФЗ. 2009. С. 295–302.
- Гаврилов В. А., Воропаев В. Ф., Головщикова И. А., Лянник Ю. А., Пудов А. Л., Торосян Г. О.* Комплекс радиотелеметрической аппаратуры ТЕСИ-2 // Сейсмические приборы. М.: Наука, 1987. Вып. 19. С. 5–17.
- Геофизическая служба РАН. <http://www.gsras.ru>.
- Гордеев Е. И., Салтыков В. А., Серафимова Ю. К.* Предвестники камчатских землетрясений (по материалам Камчатского отделения Федерального центра прогнозирования землетрясений, 1998–2004 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 3–13.
- Гордеев Е. И., Чебров В. Н., Сенюков С. Л., Гирина О. А., Бахтиарова Г. М., Казанцев В. А.* Информационные ресурсы для вулканологических исследований на Камчатке // Открытое образование. 2010. № 5 (82). С. 73–82.

Гордеев Е. И., Федотов С. А., Чебров В. Н. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961–2011 гг., основные результаты // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 3–17.

Гордеев Е. И., Чебров В. Н., Левина В. И., Бахтиарова Г. М., Сенюков С. Л., Пантиухин Е. А. Банк сейсмологических данных Камчатки // Открытое образование. 2008. № 4. С. 16–22.

Гусев А. А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 74–81.

Гусев А. А., Зобин В. М., Кондратенко А. М., Шумилина Л. С. Петропавловское землетрясение 24 (25). XI // Землетрясения в СССР в 1971 году. М.: Наука, 1975а. С. 163–171.

Гусев А. А., Зобин В. М., Кондратенко А. М., Шумилина Л. С. Усть-Камчатское землетрясение 15. XII // Землетрясения в СССР в 1971 году. М.: Наука, 1975б. С. 172–184.

Гусев А. А., Петухин А. Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18,613-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64–79.

Добровольский И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 224 с.

Дроздин Д. В., Дроздина С. Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.

Зайцев В. Ю., Салтыков В. А., Матвеев Л. А. Модуляция высокочастотных сейсмических шумов приливными деформациями: особенности эффекта перед сильными землетрясениями и предлагаемый физический механизм // Физика Земли. 2011. № 11. С. 3–17.

Иванова Е. И., Ландер А. В., Токарев А. В., Чеброва А. Ю., Шевченко С. А. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980–2007 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 74–79.

Имаева Л. П., Имаев В. С., Козьмин Б. М. Сейсмотектонический анализ Яно-Индигирского сегмента зоны Черского // Физика Земли. 2011. № 12. С. 23–36.

Калинов Г. А., Лысаков А. В., Римлянд В. И., Жуков Е. А., Корчевский В. В. Автоматизированная система сбора гидрологической информации // Измерительная техника. 2012. № 2 (32). С. 92–99.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов. <http://www.emsd.ru/sdis>.

Кедр ДМ v 2 Комплекс для мониторинга ГГД поля с телеметрической передачей данных. Руководство по эксплуатации ТДКП. 110879.004 РЭ. Хабаровск, 2009. 64 с.

Ким Чун Ун, Андреева М. Ю. Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737–2005 гг.). Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009. 126 с.

Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2003–31.12.2003). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.

Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2005–31.12.2005). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.

Копылова Г. Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987–1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 39–52.

Копылова Г. Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 52–64.

Копылова Г. Н. Оценка информативности уровнемерных наблюдений в скважинах для поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений (на примере Камчатки) // Геофизические исследования. 2009. Т. 10. № 2. С. 56–68.

Копылова Г. Н. Оценка сейсмопрогностической информативности данных уровнемерных наблюдений на скважине Е1, Камчатка (по данным наблюдений 1996–2007 гг.) // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 24–28.

Копылова Г. Н., Болдина С. В. О связи изменений уровня воды в скважине Е-1, Восточная Камчатка, с активизацией вулкана Корякский в 2008–2009 гг. и сильными ($M \geq 5$) землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2012. № 5. С. 41–54.

Копылова Г. Н., Куликов Г. В., Тимофеев В. М. Оценка состояния и перспективы развития гидрогеодеформационного мониторинга сейсмоактивных регионов России // Разведка и охрана недр. 2007. № 11. С. 75–83.

Копылова Г. Н., Латыпов Е. Р., Пантохин Е. А. Информационная система «Полигон»: комплекс программных средств для сбора, хранения и обработки данных геофизических наблюдений // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Матер. междунар. геофиз. конф. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. С. 393–399.

Копылова Г. Н., Сизова Е. Г. О предвестнике землетрясений, проявляющемся в изменениях уровня воды в скважине Е-1, Камчатка // Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 116–125.

Кугаенко Ю. А., Матвеенко Е. А. Инвентаризация информационных ресурсов Камчатского филиала Геофизической службы РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. / Отв. ред. В. Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 328–333.

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

Кузьмин Ю. Д. Газотермодинамические наблюдения на гидротермальных системах Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй научно-технической конференции.

Петропавловск-Камчатский. 11–17 октября 2009 г. / Отв. ред. В. Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. С. 273–277.

Ландер А. В., Букчин Б. Г., Дроздин Д. В., Кирюшин А. В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия?, Вычислительная сейсмология, вып. 26, М: Наука. 1994. С.103–122.

Левин В. Е., Бахтиаров В. Ф., Титков Н. Н., Сероветников С. С., Магусъкин М. А., Ландер А. В. Мониторинг и исследование современных движений земной коры на Камчатке. // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений / Под ред. Е. И. Гордеева, В. Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2012. С. 188–210.

Левина В. И., Митюшкина С. В., Ландер А. В., Чеброва А. Ю. Сейсмичность Камчатского региона за период детальных сейсмологических наблюдений // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических исследований. Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2012. С. 105–137.

Маловичко А. А., Маловичко Е. А. Макросейсмические проявления в Москве от глубокофокусного землетрясения 24 мая 2013 г. в Охотском море // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 3–9.

Маловичко Е. А. Влияние геоморфологических условий и геологических процессов в верхней части разреза на интенсивность макросейсмических проявлений удаленных землетрясений на территории г. Москвы // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 224–228.

Медведев С. В., Шпонхайер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.

Митюшкина С. В., Раевская А. А., Токарев А. В., Чеброва А. Ю., Чемарев А. С. Программа для автоматизированной обработки макросейсмической информации: возможности и результаты использования // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. / Отв. ред. В. Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 347–351.

Митюшкина С. В., Токарев А. В., Раевская А. А., Чеброва А. Ю. Автоматическая обработка макросейсмической информации по камчатским землетрясениям на базе Интернет-опросника // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Отв. ред. В. Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 376–380.

Мишаткин В. Н., Захарченко Н. З., Чебров В. Н. Технические средства сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47. № 1. С. 26–51.

Молчан Г. Н., Дмитриева О. Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. 1991. Вып. 24. С. 19–50.

Мороз Ю. Ф., Бахтиаров В. Ф., Воропаев В. Ф., Гаврилов В. А., Левин В. Е., Попруженко С. В. О мониторинге электротеллурического поля с целью прогноза сильных землетрясений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 139–149.

Надёжка Л. И., Витковский И. Л., Пивоваров С. П., Ефременко М. А., Калинина Э. В. Оценка влияния высокомагнитудных телесейсмических землетрясений на площадки размещения объектов повышенной опасности // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 240–243.

Павлов В. М. Алгоритм расчета синтетических сейсмограмм в слоистом полупространстве с применением матричного импеданса // Физика Земли. 2013. № 1. С. 26–35.

Павлов В. М. Матричный импеданс в задаче расчета синтетических сейсмограмм в слоисто-однородной изотропной упругой среде // Физика Земли. 2009. № 10. С. 14–24.

Павлов В. М. Расчет смещений от статической силы в слоистом полупространстве // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 25–33.

Павлов В. М., Абубакиров И. Р. Алгоритм расчета тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объемных волн // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. 20. С. 149–158.

Ризниченко Ю. В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. С. 9–26.

Рогожин Е. А., Завьялов А. Д., Зайцева Н. В. Макросейсмические проявления Охотского землетрясения 24.05.2013 г. на территории г. Москвы // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. № 3. С. 64–77.

Салтыков В. А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 53–59.

Салтыков В. А., Дроздина С. Я. Ильпирское землетрясение 13 марта 2013 г. $M_w = 5.8$ (Северная Камчатка): аномальная протяженность очаговой зоны как артефакт // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2014. №. 2. Вып. 24. С. 130–136.

Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А., Синицын В. И., Чебров В. Н. Исследования высокочастотных сейсмических шумов в системе геофизического мониторинга Камчатки // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке / Под ред. Е. И. Гордеева, В. Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2012. С. 270–304.

Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А., Синицын В. И., Чебров В. Н. Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов // Вулканология и сейсмология. 2008. № 2. С. 110–124.

Салтыков В. А., Синицын В. И., Чебров В. Н. Изучение высокочастотно-

го сейсмического шума по данным режимных наблюдений на Камчатке // Известия РАН. Физика Земли. 1997. № 3. С. 39–47.

Салтыков В. А., Чебров В. Н., Синицын В. И., Кугаенко Ю. А., Касахара М. Организация наблюдений сейсмических шумов вблизи сейсмофокальной зоны Курило-Камчатской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 43–53.

Селиверстов Н. И. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: Издательство КамГУ им. Витуса Беринга. 2009. 191 с.

Сенюков С. Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 68–78.

Серафимова Ю. К., Широков В. А. Прогнозирование сильных землетрясений, вулканических извержений и цунами для различных регионов Земли на основе изучения их связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений / Под ред. Е. И. Гордеева, В. Н. Чеброва. г. Петропавловск-Камчатский: Холд. компл. «Новая книга», 2012. С. 305–328.

Сорокин В. М., Чмырев В. М., Похотовов О. А., Липеровский В. А. Обзор моделей литосферно-ионосферных связей в периоды подготовки землетрясений // Краткий прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов. Отв. редакторы: ак. Страхов В. Н., д.ф.-м.н. Липеровский В. А. Докл. конф., Москва, 2–3 октября 1997. – М.: ОИФЗ РАН, 1988, С. 64–85.

Старовойт О. Е., Коломиец М. В., Рыжикова М. И. Анализ макросейсмических данных глубокого землетрясения 24 мая 2013 г. в Охотском море // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 10–16.

Страхов В. Н., Мигулин В. В., Савин А. И. и др. Краткий прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов // Краткий прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов. Отв. редакторы: ак. Страхов В. Н., д.ф.-м.н. Липеровский В. А. Докл. конф., Москва, 2–3 октября 1997. – М.: ОИФЗ РАН, 1988, С. 155–160.

Татевосян Р. Э., Косарев Г. Л., Быкова В. В., Мацьевский С. А., Уломов И. В., Аптекман Ж. Я., Вакарчук Р. Н. Глубокофокусное землетрясение с Mw 8.3, ощущавшееся на расстоянии 6500 км // Физика Земли. 2014. № 3. С. 154–162.

Токарев А. В., Бахтиарова Г. М., Чеброва А. Ю., Митюшкина С. В. Современный взгляд на устаревшую систему хранения сейсмологических данных КФ ГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Отв. ред. В. Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 401–404.

- Федотов С. А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
- Федотов С. А., Шумилина Л. С.* Сейсмическая сотрясаемость Камчатки // Физика Земли. 1971. № 9. С. 3–15.
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике, Т. 1. М.: МИР, 1976. 439 с.
- Фирстов П. П.* Ударно-волновые и акустические эффекты при вулканических извержениях (обзор) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2009. №. 2. Вып. 13. С. 31–45.
- Фирстов П. П., Широков В. А., Руленко О. П., Яковлева В. С., Исаев А. В., Малышева О. П.* О связи динамики подпочвенного радона (^{222}Rn) и водорода с сейсмической активностью Камчатки в июле-августе 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 49–59.
- Хаткевич Ю. М., Рябинин Г. В.* Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология 2006. № 4. С. 34–42.
- Худсон Д.* Статистика для физиков. М.: Мир. 1970. 297 с.
- Чебров В. Н., Салтыков В. А., Серафимова Ю. К.* Опыт выявления предвестников сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений на Камчатке в 1998–2011 гг. по материалам КФ РЭС // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 85–95.
- Чебров В. Н.* Мониторинг и предупреждение природных катастроф на Камчатке // Сейсмичность Северной Евразии / Материалы Международной конференции. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 318–322.
- Чебров В. Н.* Развитие комплексного геофизического мониторинга Камчатки и Командорских островов (к 30-летию КФ ГС РАН) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2. Вып. 14. С. 13–18.
- Чебров В. Н., Воропаев В. Ф., Дроздин Д. В., Сергеев В. А., Шевченко Ю. В.* Развитие сети цифровых сейсмических станций Камчатки // Геофизический мониторинг Камчатки. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2006. С. 13–20.
- Чебров В. Н., Дроздин Д. В., Кугаенко Ю. А., Левина В. И., Сенюков С. Л., Сергеев В. А., Шевченко Ю. В., Ящук В. В.* Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013а. № 1. С. 18–40.
- Чебров В. Н., Кугаенко Ю. А., Викулина С. А., Кравченко Н. М., Матвеенко Е. А., Митюшкина С. В., Раевская А. А., Салтыков В. А., Чебров Д. В., Ландер А. В.* Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_w=8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013б. № 1. Вып. 21. С. 17–24.
- Чебров В. Н., Салтыков В. А., Серафимова Ю. К.* Прогнозирование землетрясений на Камчатке. По материалам работы Камчатского филиала Российской экспертного совета по оценке сейсмической опасности и риска в 1998–2009 гг. М.: Светоч Плюс, 2011. 304 с.
- Чебров Д. В., Гусев А. А.* Автоматическое определение параметров цунами

мигенных землетрясений на Дальнем Востоке России в режиме реального времени: алгоритмы и программное обеспечение // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 4. С. 35–57.

Чубарова О. С., Гусев А. А., Чебров В. Н. Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации. Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 57–70.

Шебалин Н. В., Аптикаев Ф. Ф. Развитие шкалы типа MSK // Проблемы макро-сейсмики. Вычислительная сейсмология. М.: ГЕОС, 2003. – Вып. 34. – С. 210–253.

Шестаков Н. В., Ohzono M., Takahashi H., Герасименко М. Д., Быков В. Г., Гордеев Е. И., Чебров В. Н., Титков Н. Н., Сероветников С. С., Василенко Н. Ф., Прытков А. С., Сорокин А. А., Серов М. А., Кондратьев М. Н., Пупатенко В. В. Моделирование косейсмических движений земной коры, инициированных глубокофокусным Охотоморским землетрясением 24.05.2013 г., $Mw=8.3$ // Доклады РАН. 2014. Т. 457, № 4. С. 471–476.

Широков В. А. О ключевой роли целочисленных резонансов при изучении причин возникновения сильных мировых и региональных (Камчатка, Курильские о-ва) землетрясений и оценка сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского на ближайшие 40 лет // Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 29.09–5.10.2013 г. Петропавловск-Камчатский. Отв. ред. В. Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013б. С. 419–424.

Широков В. А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западной части Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука. 1977. С. 103–115.

Широков В. А. О ключевой роли целочисленных резонансов при изучении причин возникновения 11- и 22-летних циклов солнечной активности и сильных мировых землетрясений // Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 29.09. – 05.10.2013 г. Петропавловск-Камчатский. Отв. ред. В. Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013а. С. 210–214.

Широков В. А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений с магнитудой $M=6–7.8$ по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы: ИВГиГ ДВО РАН. г. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 95–116.

Широков В. А., Серафимова Ю. К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2006. № 2. Выпуск № 8. С. 120–133.

Яроцкий Г. П. Поперечные дислокации активных окраин континентов Тихоокеанского рудного пояса. Петропавловск-Камчатский: изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. 307 с.

Fujita K., Koz'min B. M., Mackey K. G., Riegel S. A., McLean M. S., Imaev V.S. Seismotectonics of the Chersky Seismic Belt, eastern Sakha Republic (Yakutia) and Magadan District, Russia. Stephan Mueller Special Publication Series. 4, 117–145, doi:10.5194/smsps-4-117-2009, 2009.

Fukushima Y., Tanaka T. A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan // Bull. Seismol. Soc. Am. 1990. V. 80. Pp. 757–783.

Gavrilov V. A., Panteleev I.A., Ryabinin G. V., Morozova Yu.V. Modulating impact of electromagnetic radiation on geoacoustic emission of rocks // Russian journal of Earth sciences. 2013. V. 13. ES1002, doi:10.2205/2013ES000527.

Gusev A. A., Gordeev E. I., Guseva E. M., Petukhin A. G., Chebrov V. N. The First Version of the $A_{max}(M_w, R)$ Relationship for Kamchatka // Pure appl. geophys. 1997. V. 149. P. 299–312.

Herring T. A., King R. W., McClusky S. C. GAMIT: GPS Analysis at MIT. Release 10.4. Massachusetts: Institute of Technology, 2010a. 171 p.

Herring T. A., King R. W., McClusky S .C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.4. Massachusetts: Institute of Technology, 2010b. 95 p.

International Seismological Centre. <http://www.isc.ac.uk>

Kanamori H. The energy release in great earthquake // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. P. 2981–2987.

Kanamori H., Rivera L. Source inversion of W phase: speeding up seismic tsunami warning // Geophys. J. Int. 2008. V. 175. № 1. P. 222–238.

Kawakatsu H. Observability of the isotropic component of a moment tensor // Geophys. J. Int. 1996. V. 126. P. 525–544.

Kennett B.L.N., Engdahl E.R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes // Geophys. J. Int. 1995. V. 122. P. 108–124.

National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey. <http://neic.usgs.gov>.

Pollitz F. F. Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical earth // Geophys. J. Int. 1996. V. 125. P. 1–14.

The Global CMT Project. <http://www.globalcmt.org>.

Utsu T. Regional differences in absorption of seismic waves in the upper mantle as inferred from abnormal distributions of seismic intensities // J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Jap. 1966. Ser. 7. 2. № 4. P. 359–374.

Wald D. J., Quitoriano V., Wolden B., Hopper M., Dewey J.W. USGS “Did You Feel It?” Internet-based macroseismic intensity maps // Annals of geophysics. 2011. Vol. 54, N 6. Pp. 688–707.

Ye L., Lay T., Kanamory H., Koper K.D. Energy release of the 2013 M_w 8.3 Sea of Okhotsk earthquake and deep stress heterogeneity // Science. 2013. V. 341. P. 1380–1384.

АВТОРСКАЯ СПРАВКА

Виктор Николаевич ЧЕБРОВ – кандидат технических наук, директор Камчатского филиала Геофизической службы РАН, председатель Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Искандер Радиевич АБУБАКИРОВ – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией сейсмологии Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Вадим Васильевич БОГДАНОВ – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физики атмосферы Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Светлана Васильевна БОЛДИНА – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Юлия Юрьевна БУСС – научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Юрий Алексеевич ВЛАСОВ – ведущий электроник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Валерий Александрович ГАВРИЛОВ – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Ольга Александровна ГАШЕВА – техник Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Александр Александрович ГУСЕВ – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией сейсмологии Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, главный научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Евгения Михайловна ГУСЕВА – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Владимир Петрович ДЕНИСЕНКО – старший электроник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Светлана Ярославовна ДРОЗНИНА – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Светлана Максимовна ДУШКИНА – программист Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Елена Ивановна ИВАНОВА – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Александр Владимирович КАЙСИН – научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Галина Николаевна КОПЫЛОВА – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующая лабораторией геофизических исследований Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Надежда Михайловна КРАВЧЕНКО – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Юлия Александровна КУГАЕНКО – кандидат физико-математических наук, ученый секретарь Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Александр Викторович ЛАНДЕР – старший научный сотрудник Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН.

Евгений Александрович МАТВЕЕНКО – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Светлана Владимировна МИТЮШКИНА – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Юлия Валерьевна МОРОЗОВА – научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Алексей Владимирович ПАВЛОВ – научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Виктор Михайлович ПАВЛОВ – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Евгения Викторовна ПОЛТАВЦЕВА – младший научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Анастасия Леонидовна ПОЛЮХОВА – младший научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Анна Александровна РАЕВСКАЯ – младший научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Геннадий Владимирович РЯБИНИН – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидросейсмологии Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Вадим Александрович САЛТЬКОВ – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией сейсмического мониторинга Камчатского филиала Геофизической службы РАН, ученый секретарь Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Юлия Константиновна СЕРАФИМОВА – старший научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН, секретарь Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Елена Геннадьевна СИЗОВА – инженер-исследователь Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Николай Николаевич ТИТКОВ – старший научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Олег Викторович ФЕДОРИСТОВ – ведущий инженер Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Данила Викторович ЧЕБРОВ – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией исследований и мониторинга сильных землетрясений.

Анастасия Юрьевна ЧЕБРОВА – кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией сводной обработки Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Владимир Алексеевич ШИРОКОВ – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Чебров В. Н.....	3
Система комплексных наблюдений современных геодинамических процессов Камчатского филиала Геофизической службы РАН	
Чебров В. Н.....	8
Сети сейсмических станций.....	8
Сети геофизических, геодезических, гидрогоеохимических и др. наблюдений.....	13
Система сбора, обработки, хранения и представления данных наблюдений и результатов их обработки.....	15
Выводы.....	18

ЧАСТЬ I

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 г. НА КАМЧАТКЕ

Чебров В. Н., Гусев А. А., Гусева Е. М., Дроздина С. Я., Иванова Е. И., Кравченко Н. М., Кугаенко Ю. А., Ландер А. В., Матвеенко Е. А., Митюшкина С. В., Раевская А. А., Салтыков В. А., Чебров Д. В., Чеброва А. Ю.

ГЛАВА 1

Землетрясение 28 февраля 2013 г., $Mw=6.8$ у южной оконечности Камчатки.....	20
Механизм очага землетрясения.....	23
Особенности афтершокового процесса.....	23

Макросейсмические проявления.....	26
Анализ пиковых амплитуд колебаний грунта.....	32

ГЛАВА 2

Ильпирское землетрясение 13 марта 2013 г., $Mw=5.8$ на Камчатском перешейке.....	37
Механизм очага и тектоническая позиция землетрясения.....	39
Особенности афтершокового процесса.....	40
Макросейсмические проявления.....	43
Анализ пиковых амплитуд колебаний грунта.....	45

ГЛАВА 3

Майский рой землетрясений 2013 г. в Авачинском заливе, $Mw(\text{макс})=6.1$	46
Тектоническая позиция и механизмы очагов землетрясений роя.....	48
Особенности роя.....	49
Макросейсмические проявления.....	54
Анализ пиковых амплитуд колебаний грунта.....	57

ГЛАВА 4

Глубокое Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г., $Mw=8.3$	59
Тектоническая позиция и механизм очага землетрясения.....	63
Особенности афтершокового процесса.....	65
Макросейсмические проявления.....	68
Анализ пиковых амплитуд колебаний грунта.....	75

ГЛАВА 5

Землетрясение 12 ноября 2013 г., $Mw=6.5$
у побережья Кроноцкого полуострова.....78

Механизм очага землетрясения.....	80
Особенности афтершокового процесса.....	80
Макросейсмические проявления.....	83
Анализ пиковых амплитуд колебаний грунта.....	85

ЧАСТЬ II

ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ И ПРОЦЕССОВ, ПРЕДВАРЯВШИХ И СОПРОВОЖДАВШИХ СИЛЬНЫЕ КАМЧАТСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 г.

ГЛАВА 6

Характеристики очага глубокого Охотоморского
землетрясения 24.05.2013 г. по статическим
смещениям и широкополосным сейсмограммам.....87

Абубакиров И.Р., Павлов В.М., Титков Н.Н

Исходные данные.....	89
Инверсия исходных данных в ТСМ: теория.....	92
Результаты и обсуждение.....	96
Заключение.....	103
Благодарности.....	104

ГЛАВА 7

Наблюдения в пьезометрических скважинах.....105

Копылова Г. Н., Болдина С. В., Сизова Е. Г.

Гидрогоеосейсмические вариации уровня, температуры
и электропроводности воды, зарегистрированные
в связи с землетрясением 28 февраля 2013 г.....107

ГЛАВА 8

Особенности изменений химического состава
подземных вод в период 2012–2013 гг.
в связи с землетрясением 28.02.2013 г.
 $Mw=6.8$, $Ks=15.2$112

Рябинин Г.В.

Выводы.....117

ГЛАВА 9

Отражение подготовки сильных
землетрясений 2013 г. в параметрах
высокочастотного сейсмического
шума.....118

Салтыков В.А.

Землетрясение 28 февраля 2013 г. $Mw=6.8$119

Рой землетрясений в мае 2013 г. в Авачинском заливе.....121

Землетрясение 12 ноября 2013 г., $Mw=6.4$, $ML=6.8$123

Мониторинг модуляции ВСШ на второй гармонике приливного воздействия.....	124
Заключение.....	126

ГЛАВА 10

Аномальное поведение ионосферных параметров накануне и после серии землетрясений 28.02–01.03.2013 г.....	127
--	-----

Богданов В. В., Кайсин А. В., Павлов А. В., Полюхова А. Л., Душкина С. М., Гашева О. А.

Результаты радиофизических наблюдений.....	128
Вероятностная модель динамики сейсмического режима	132
Выводы	134

ГЛАВА 11

О прогнозе Южно-Камчатского землетрясения (28.02.2013 г., $Mw=6.8$) по данным комплексных скважинных геофизических измерений.....	136
--	-----

Гаврилов В. А., Бусс Ю. Ю., Власов Ю. А., Денисенко В. П., Морозова Ю. В., Полтавцева Е. В., Федористов О. В.

ГЛАВА 12

О ключевой роли резонансных ритмов в подготовке глубокого Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г., $Mw=8.3$	139
--	-----

Широков В. А.

Введение.....	139
Расчет резонансных ритмов, связанных с лунным ритмом 18.613 г.....	140
Исходные данные о мировых землетрясениях.....	141
Полученные результаты.....	142
Выводы.....	144

ГЛАВА 13

Комплексная оценка сейсмической опасности по данным экспертного совета КФ РЭС в 2013 г.....	145
--	-----

Чебров В. Н., Салтыков В. А., Серафимова Ю. К.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные сведения о сейсмических станциях Камчатки (состояние на 2013 г.).....	158
---	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Широкополосные сейсмические станции, данные которых доступны на межрегиональном информационно-обрабатывающем центре КФ ГС РАН «Петропавловск» в реальном времени (включая станции сети IRIS).....	163
---	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пункты геофизических наблюдений КФ ГС РАН.....165

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Система сбора и обработки макросейсмической
информации.....172

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Макросейсмическое проявление землетрясения
28.02.2013 г. в 14^h15^m $K_s=15.2$, $M_c=6.6$, $M_w=6.8$
в населенных пунктах Камчатского края
и Северных Курил.....174

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Макросейсмическое проявление Ильпирского
землетрясения 13.03.2013 г. в 3^h12^m $K_s=13.9$,
 $M_c=6.3$, $M_w=5.8$ в населенных пунктах
Камчатского края.....179

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Макросейсмическое проявление землетрясения
21.05.2013 г. в 5^h43^m $K_s=14.4$, $M_c=6.3$, $M_w=6.1$
в населенных пунктах Камчатского края
и Северных Курил.....183

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Макросейсмическое проявление Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. в 05 ^h 44 ^m $K_s=17.0$, $M_c=7.4$, $Mw=8.3$	186
--	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Макросейсмическое проявление землетрясения 12.11.2013 г. в 7 ^h 03 ^m $K_s=15.0$, $M_c=6.4$, $Mw=6.1$ в населенных пунктах Камчатского края.....	226
--	-----

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	231
АВТОРСКАЯ СПРАВКА.....	240
СОДЕРЖАНИЕ.....	243

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Российская академия наук
Геофизическая служба
Камчатский филиал

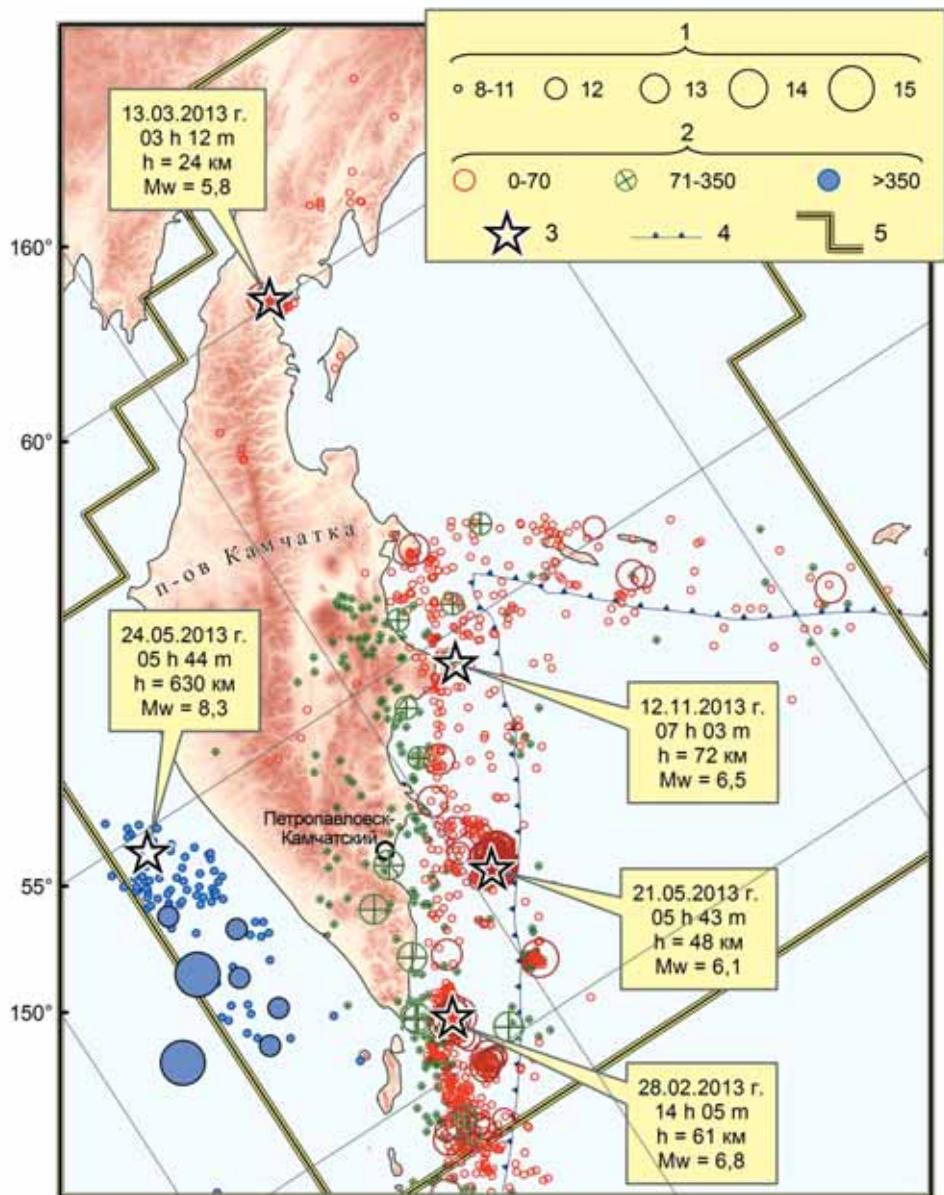
**Сильные
камчатские землетрясения
2013 года**

Редактор *В. Н. Чебров*
Корректор *Е. Н. Киселёва*
Верстка *О. И. Набутовская*

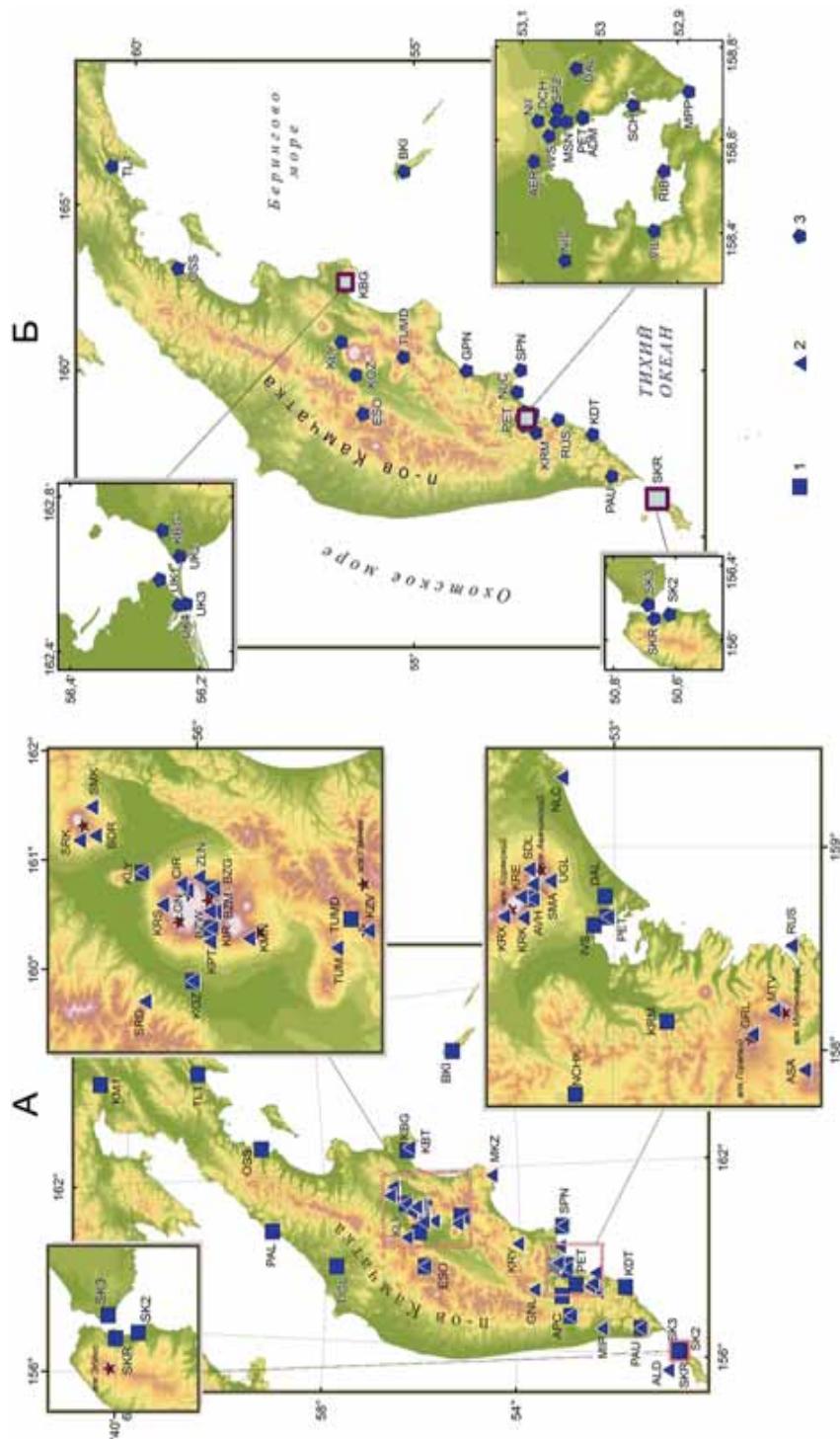
Подписано в печать 15.12.2014 г. Формат 70x100/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Peterburg». Печать офсетная.
Тираж 500 экз. Заказ

Холдинговая компания «Новая книга».
683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 60.
Тел./факс 8 (415-2) 41-12-60.

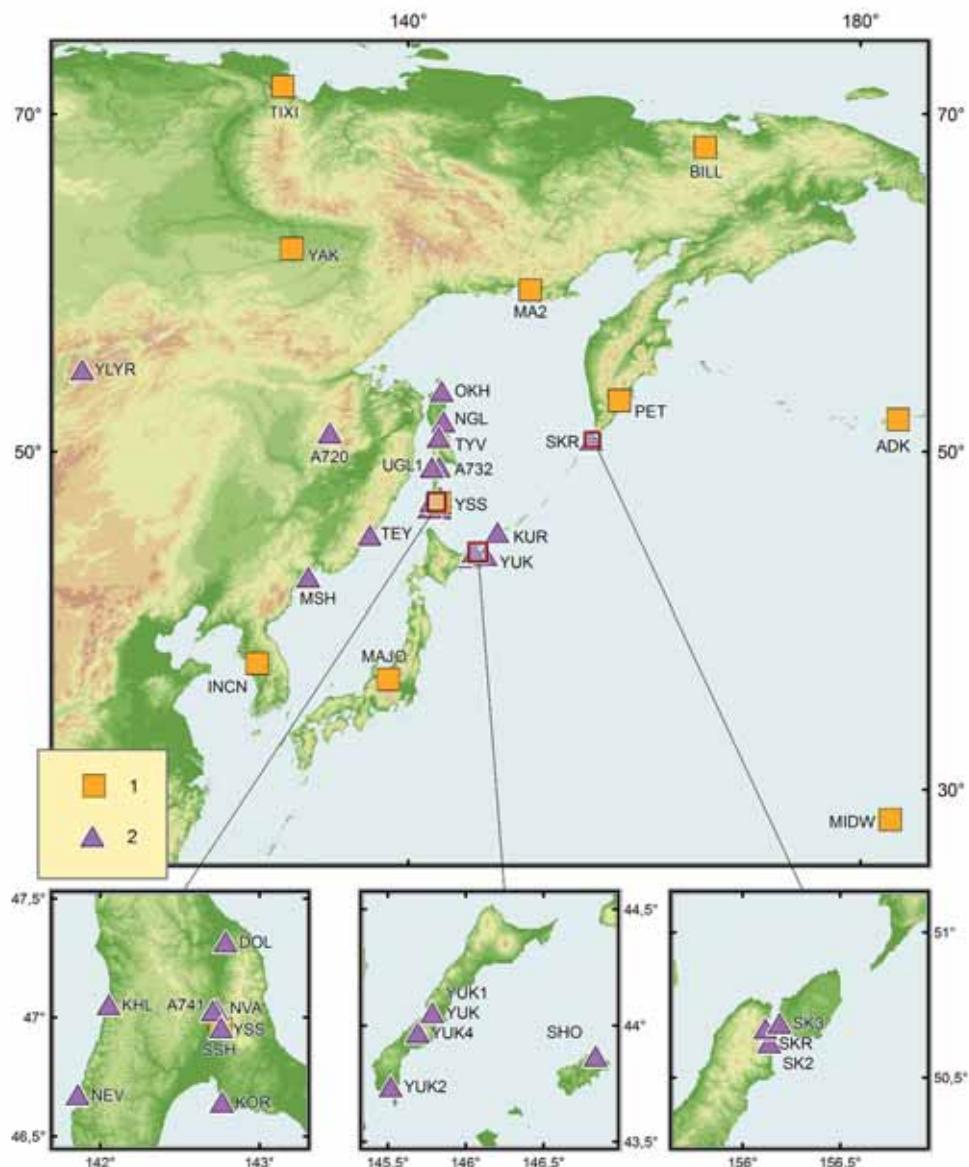
Отпечатано в ОАО «ИПК «Дальпресс»».
690950, г. Владивосток, пр-т Красного Знамени, 10.
Тел./факс 8 (4232) 45-67-06



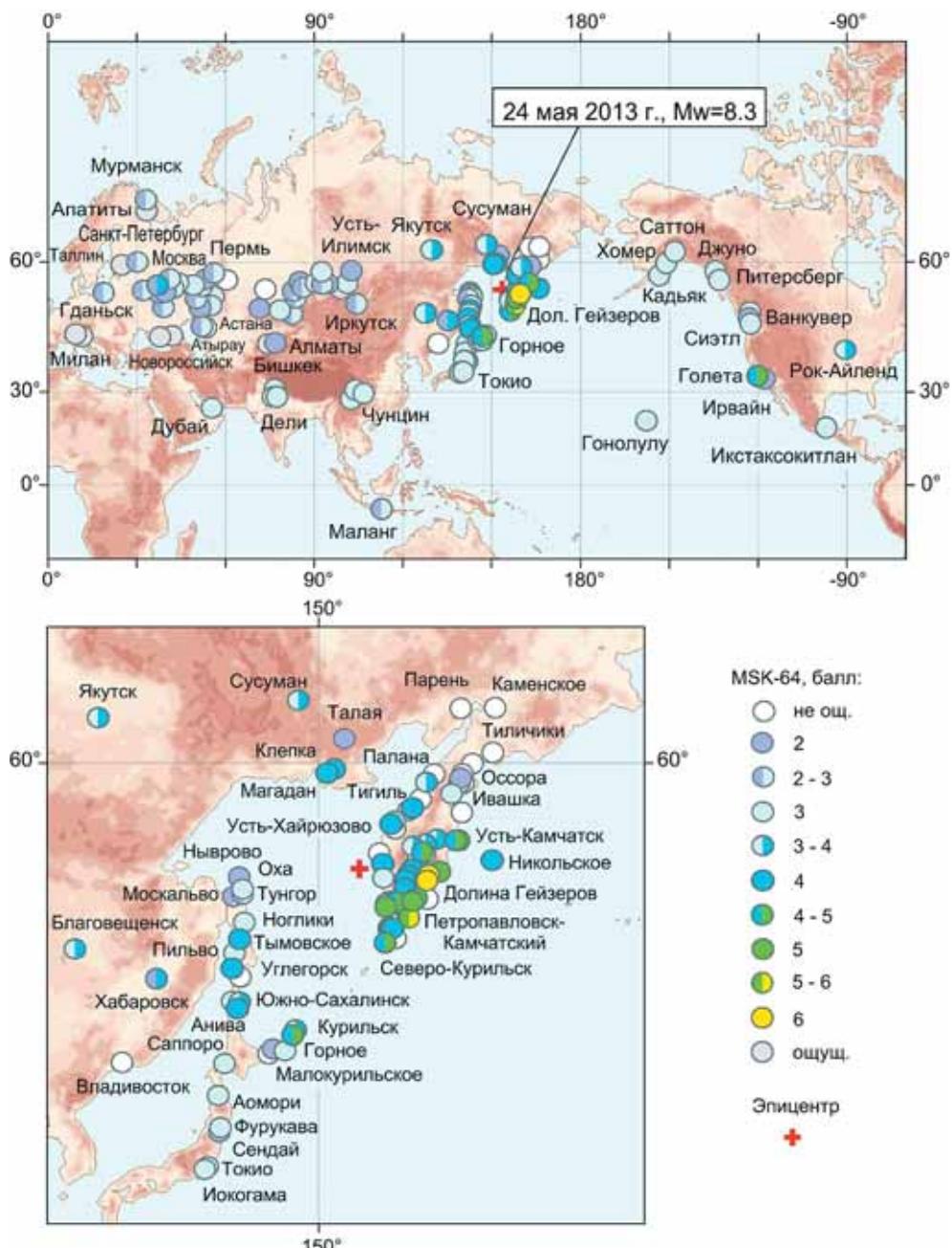
Карта эпицентров землетрясений Камчатки, Командорских островов и прилегающих территорий за 2013 г. ($K_s \geq 8,5$). 1 – энергетический класс землетрясений K_s ; 2 – глубина гипоцентра в км; 3 – сильные камчатские землетрясения 2013 г., рассмотренные в монографии; 4 – осевая зона глубоководного желоба; 5 – граница зоны ответственности КФ ГС РАН



Сеть постоянно действующих сейсмических станций Камчатского филиала Геофизической службы РАН. 1 – широкополосные цифровые велосиметры; 2 – короткопериодные велосиметры; 3 – цифровые акселерометры. На врезках более детально показаны зоны повышенной плотности сети: районы г. Петропавловска-Камчатского, пос. Усть-Камчатск, Северо-Курильск и Ключевской группы вулканов



Широкополосные сейсмические станции, расположенные на Дальнем Востоке России, в Японии, Южной Корее и США, данные которых доступны на межрегиональном информационно-обрабатывающем центре КФ ГС РАН «Петропавловск» в реальном времени. 1 – станции международной сети GSN (IRIS, США); 2 – станции сети Дальнего Востока РФ. На врезках более детально показаны южная часть о. Сахалин (слева), о-ва Кунашир и Шикотан (в центре), о-ва Парамушир и Шумшу (справа)



Карты макросейсмического проявления глубокого Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. (шкала интенсивности MSK-64).