

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Скоркиной Анны Александровны

«Изучение спектральных свойств камчатских землетрясений магнитудного диапазона 3–6» по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Актуальность темы исследований

Диссертация А.А. Скоркиной посвящена изучению свойств очаговых спектров (в диапазоне 0.2÷30 Гц) камчатских землетрясений магнитудного диапазона 3–6 и их практическим приложениям. Она была выполнена в рамках целого направления детальных исследований очаговых спектров, успешно развиваемого на протяжении многих лет на Камчатке доктором физ.-мат. наук А.А. Гусевым вместе с коллегами. Интерес к этим исследованиям постоянно растет как в России, так и в США, Новой Зеландии и других странах по мере развертывания в сейсмоактивных регионах плотных сетей цифровых станций для регистрации сильных движений и накопления больших объемов высококачественных цифровых записей землетрясений в широком частотном и динамическом диапазоне.

В теоретическом плане очаговые спектры содержат ценную информацию о процессе разрушения в очаге землетрясения и его продолжительности, о геометрии разрыва и распределении подвижек по нему; эту информацию обычно извлекают в рамках различных упрощенных моделей протяженного очага. Наиболее часто используют модель очага Бруна-Аки («модель ω^2 ») с одной корнер-частотой в спектре, однако она не может объяснить наблюдаемые спектры объемных волн во всем диапазоне частот. На практике лучшее согласие с наблюдениями часто дают модели очаговых спектров с двумя и тремя корнер-частотами, но таких исследований явно недостаточно, чтобы достичь ясности в этом вопросе. Для совокупностей землетрясений большое внимание привлекает к себе проблема скейлинга различных очаговых параметров, так как знание характеристик скейлинга дает важную информацию о пространственно-временной структуре очаговых процессов. В практическом отношении очаговые спектры используются для решения целого ряда инженерно-сейсмологических задач, связанных с оценкой сейсмической опасности и сейсмических воздействий. Все это обуславливает несомненную актуальность выбранной соискателем темы исследований.

Диссертационная работа состоит из Введения, пяти глав, Заключения и Списка литературы (179 наименований). Общий объем работы составляет 130 страниц машинописного текста, включая 36 рисунков и 8 таблиц.

Цель и задачи исследований

Целью исследований автор выбрала установление свойств очаговых спектров камчатских землетрясений магнитудного диапазона $M_w = 3 - 6$, изучаемых в рамках спектральной модели с тремя корнер-частотами (f_{c1} , f_{c2} и f_{c3}) по записям поперечных волн и кода-волн, полученных на станциях сети цифровых приборов для регистрации сильных движений (акселерометров). Для достижения этой цели на первом этапе автором выполнен критический обзор различных моделей, предложенных для описания очаговых спектров, освоено необходимое программное обеспечение и осуществлен отбор акселерограмм для нескольких сотен камчатских землетрясений, зарегистрированных за период 2010-2016 гг. На втором этапе были выполнены массовые расчеты спектров отобранных записей по S-волнам и по кода-волнам и осуществлены довольно сложные процедуры по приведению рассчитанных спектров записей к очагу. На третьем этапе по восстановленным очаговым спектрам были получены оценки трех корнер-частот и сейсмического момента M_0 для изучаемых землетрясений, после чего для каждой из корнер-частот были определены параметры их скейлинга в зависимости от M_0 . Наконец, на заключительном этапе полученные значения M_0 были пересчитаны в моментную магнитуду M_w , а очаговые спектры использованы для нахождения спектральных стационарных аномалий под сейсмическими станциями сети.

Научная новизна

Впервые для одного из регионов России (Камчатки) было проведено массовое исследование очаговых спектров землетрясений с использованием записей, полученных сетью цифровых приборов для регистрации сильных движений (акселерометров). При этом впервые был применен автоматический метод обработки и анализа спектров с определением трех корнер-частот (f_{c1} , f_{c2} и f_{c3}) и сейсмического момента M_0 и с параллельным использованием записей S-волн и кода-волн. Данный метод позволил получить оценки спектральных параметров для сотен камчатских землетрясений по группе станций и установить общий характер скейлинга для найденных корнер-частот спектра в зависимости от сейсмического момента.

Научная и практическая значимость

Научная значимость полученных в диссертации результатов состоит в убедительном доказательстве непригодности общепринятой модели Бруна с единственной корнер-частотой для объяснения большинства наблюдаемых очаговых спектров камчатских землетрясений в диапазоне частот $0.2 \div 30$ Гц и необходимости ее существенной корректировки. Во-первых, с высокой степенью надежности показано регулярное присутствие в очаговых спектрах ускорений высокочастотного ограничения

(так называемой частоты « f_{max} очаговой природы»), а во-вторых, выяснилось, что характер скейлинга для корнер-частот f_{c2} и f_{c3} не согласуется с гипотезой о простом подобии очаговых спектров. Эти результаты, полученные по данным массовых определений, существенно уточняют наши представления о свойствах очаговых спектров.

В практическом отношении следует, прежде всего, выделить тщательно разработанную методику оценки сейсмического момента M_0 и моментной магнитуды M_w для камчатских землетрясений по приведенным очаговым спектрам смещений в группе S-волн и кода-волн. Это открывает путь к построению каталога камчатских землетрясений, унифицированного по M_w и, таким образом, согласованного с современными мировыми каталогами.

Другой важный практический результат состоит в получении спектральных станционных аномалий для грунтовых разрезов под десятками сейсмических станций сети, которые найдут самое широкое применение не только в исследованиях очаговых спектров, но и при оценке сейсмической опасности и сейсмических воздействий в регионе.

Достоверность и научная обоснованность

Достоверность полученных научных результатов обеспечивалась, в первую очередь, средствами внутреннего контроля, заложенными в методику анализа данных. Разнообразие этих средств контроля и проверки впечатляет: здесь проверяется согласие между оценками параметров спектров, полученными: (а) в диалоговом и автоматическом режиме, (б) по спектрам записей S-волн и кода-волн, и (в) по спектрам записей на разных станциях сети.

Что касается полученных оценок сейсмического момента M_0 и моментной магнитуды M_w для камчатских землетрясений, их достоверность подтверждается результатами сопоставления с аналогичными оценками, найденными с помощью других, независимых методик, а также полученных известными международными сейсмологическими агентствами.

Замечания по работе

1. Очаги почти всех изученных землетрясений располагаются в зоне субдукции, которая весьма неоднородна как по падению, так и по простиранию. Эпицентры землетрясений располагаются и в океане за осью желоба, где господствует растяжение, и на глубине более 50 км, где предполагается переход от хрупкого разрушения к вязко-пластическому. Автор умалчивает о возможной связи параметров изученных очаговых спектров с этими и другими особенностями глубинного строения зоны субдукции. Не

могут ли эти возможные, но пока скрытые от глаз связи объяснить наблюдаемые нарушения скейлинга для второй и третьей корнер-частот?

2. Вызывает некоторые сомнения выбор временного окна для оценки спектра шума перед вступлением Р-волны, тогда как спектр сигнала оценивается по окну, начинающемуся от вступления S-волны. Если спектр шума оценивать по окну, взятому непосредственно перед вступлением S-волны, то его амплитуды будут значительно выше, чем показано на многих рисунках. Поскольку уровень шума влияет на разрешение частот в спектре, в этом случае отбракованных спектров при анализе могло стать больше.

3. В третьей главе диссертации имеется два раздела с одинаковым номером 3.2, но при этом с совершенно разным содержанием. Нужно сказать, что это не оказывает какого-либо влияния на изложение и выводы в диссертации.

4. В тексте диссертации и в автореферате есть много мелких, но досадных неточностей, допущенных, скорее всего, по недосмотру:

– в автореферате в формулах (1, 2, 3 и 6) отсутствует точка над переменной M_0 , а в формуле (1) еще и над переменной D , являющаяся символом дифференцирования по времени, что затрудняет понимание текста или приводит к некорректным выражениям;

– в тексте диссертации (уравнение 1.33 на с.29, первый абзац текста на с.79), а также в автореферате (с.10 нижняя строка, с.11 верхняя строка) встречаются выражения типа $f_c \sim M_0^{1/3}$, в которых пропущен знак « \sim » перед показателем степени. Аналогично, в тексте диссертации (с.115 вверху) и в автореферате (с.23 вверху) во всех приведенных формулах, описывающих скейлинг корнер-частот, пропущен знак « \sim » перед скобками;

– аналогичное замечание относится к знаку перед параметрами β_k – показателями степени в выражениях типа $f_{ck} \sim M_0^{\beta_k}$; очевидно, что всюду перед показателем степени должен быть знак « \sim », однако в автореферате (с.17 внизу) все значения β_k положительные, что неверно, а в тексте диссертации (на с.82 вверху) указываются вперемешку и отрицательные (что правильно) и положительные (что неправильно) значения параметров скейлинга β_k ;

– в тексте диссертации (с.42, внизу) и в автореферате (с.13 внизу) сказано, что «сначала спектр S-волн в источнике пересчитывается в спектр S-волн на фиксированном расстоянии $r_{пр} = 50$ км»; однако, из контекста ясно, что речь идет о спектре *в приемнике*, а не в источнике;

– в тексте диссертации (с.46 вверху) вместо «осредняя разности спектров» правильно сказать «осредняя логарифмические разности спектров», как следует из рис.2.3 (там же);

Заключение

Приведенные замечания не умаляют достоинств данной работы, выполненной на высоком научном уровне. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

Диссертация А.А. Скоркиной выполнена на актуальную тему, характеризуется научной новизной, защищаемые научные положения, выводы и рекомендации убедительно обоснованы, работа содержит решение существенной для геофизики задачи по установлению, в рамках современной модели с тремя корнер-частотами, свойств очаговых спектров камчатских землетрясений диапазона магнитуд $M_w = 3 - 6$, зарегистрированных региональной сетью цифровых приборов сильных движений. Результаты и рекомендации диссертации могут использоваться в работе Камчатского филиала и других региональных подразделений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН».

Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для ученой степени кандидата наук, а ее автор А.А. Скоркина достойна присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

ведущий научный сотрудник лаборатории цунами имени С.Л. Соловьева
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН,
кандидат физико-математических наук



Алексей Илларионович Иващенко

Я, Иващенко Алексей Илларионович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

117997, Москва, Нахимовский проспект, 36
тел.: 8-499-124-8713 (раб.); 8-915-196-1421 (моб.)
E-mail: aii_imgg@mail.ru

