

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Предмет исследований, актуальность избранной темы. Предметом исследования в диссертации являются параметры очаговых спектров камчатских землетрясений в диапазоне магнитуд $M=3-6$. Особенности очаговых спектров отдельных землетрясений несут информацию, которая важна для понимания физических процессов в очаге. Знание свойств подобия спектральных характеристик для совокупностей землетрясений также позволяет детальнее изучить пространственно-временную структуру очагового процесса. Особенности подобия очаговых параметров в диапазоне $M=5-6$ могут использоваться с определенными допущениями для расчетов воздействия землетрясений большей силы на здания и сооружения. Все три указанных направления изучения очаговых спектров представляются весьма актуальными для Камчатки, где за последние 10 лет накоплен значительный фактический материал благодаря установке современной сети цифровых приборов записи сильных движений.

Целью исследования является установление свойств очаговых спектров камчатских землетрясений в диапазоне $M=3-6$, зарегистрированных сетью цифровых приборов сильных движений (акселерометров), в рамках модели с тремя корнер-частотами. **Основными задачами** для достижения поставленной цели являлись подборка акселерограмм, расчет их спектров, восстановление по ним очаговых спектров с учетом значительного числа поправок, с внутренним контролем, в том числе, путем сопоставления результатов по поперечным волнам и по коде; получение эмпирических частотно-зависимых амплитудных поправок для разных станций в пунктах с разными грунтово-геологическими условиями и контроль поправок путем сопоставления очаговых спектров, восстановленных по записям на разных станциях; массовое определение спектральных параметров отдельных очагов (три корнер-частоты, сейсмический момент, моментная магнитуда); установление для совокупности этих очагов коэффициентов подобия отдельно для каждой из трех корнер-частот; сравнение оценок моментной магнитуды, полученных диссертантом по анализу очаговых спектров, с независимыми оценками, получение типовой зависимости энергетического класса камчатских землетрясений по С.А. Федотову от моментной магнитуды.

Для достижения поставленной цели и решения конкретных задач диссертантом лично был выполнен большой объем работы с фактическим материалом, проведен подробный библиографический анализ состояния исследований по теме диссертации, освоено существующее программное обеспечение, разработаны или адаптированы

программы для статистического анализа, проведено тестирование новых программ. В целом, поставленную цель несомненно можно считать достигнутой, а поставленные в рамках диссертации конкретные задачи полностью выполненными.

Оценивая **значимость** полученных результатов, необходимо выделить две группы аспектов – теоретические и практические. В теоретическом плане наибольший интерес, на мой взгляд представляют два результата. Во-первых, на большом материале (было обработано >4000 спектров от >700 землетрясений с $M_w = 3-6$ по записям восьми станций) фактически доказано существование третьей корнер-частоты, имеющей очаговую природу. Существование ограничения в очаговом спектре в области высоких частот несет важную информацию о физических процессах в очаге землетрясения. Конечно, здесь нельзя недооценить роль руководителя диссертации А.А. Гусева, поставившего эту задачу на основе своего многолетнего опыта исследований. Но лишь массовый анализ очаговых спектров, проверка достоверности результатов путем сопоставления результатов по поперечной волне и по коде, по записям разных станций, проведенные диссертантом позволяют вместе с известными работами А.А. Гусева поставить точку в вопросе существования третьей корнер-частоты, или « f_{\max} очаговой природы».

Во-вторых, определены коэффициенты подобия (или параметры скейлинга в терминологии диссертации – показатели степени для соответствующей степенной зависимости) для значений трех корнер-частот как функций от сейсмического момента. Для первой корнер-частоты подтверждено общеизвестное значение коэффициента подобия $1/3$ (значение характерной частоты пропорционально корню кубическому от сейсмического момента). Но для второй и третьей корнер-частот полученные коэффициенты значительно ниже. Полученный результат помимо очевидных важных инженерно-сейсмологических приложений имеет, на мой взгляд, большую перспективу применения в исследованиях физики очага землетрясения, а также, возможно, для прогнозирования пост-сейсмических процессов. Известно, например, что землетрясения, вызванные сильными взрывами, характеризуются аномально высоким отношением «высокочастотной» магнитуды по объемным волнам и «низкочастотной» моментной магнитуды. Для таких землетрясений одновременно характерно быстрое затухание афтершоковой активности. Исследование скейлинга очаговых спектров имеет, по моему мнению, большую перспективу и в исследованиях техногенной сейсмичности, а также для исследования и прогнозирования горных ударов в шахтах.

В практическом плане хотелось бы отметить два чрезвычайно важных, на мой взгляд, результата диссертации. Во-первых, в диссертации убедительно (на основании тщательного сопоставления разных подходов) продемонстрировано, что скалярный сейсмический момент и моментную магнитуду можно с успехом оценивать по спектральным характеристикам записей. Это позволяет снизить порог магнитуды землетрясений, для которых моментная магнитуда может быть определена, примерно на

единицу. Если такие определения удастся сделать рутинными для каталога, формируемого КФ ФИЦ ЕГС РАН – это будет огромным шагом вперед и послужит незаменимым материалом для многих сейсмо-статистических исследований. Для большого числа землетрясений уже проведена рутинная оценка M_w таким способом. Второй результат уже сейчас чрезвычайно важен для сейсмо-статистических исследований на Камчатке и на Курилах. Удалось установить, что, вопреки ожиданиям, соотношение между энергетическим классом по С.А. Федотову и моментной магнитудой является близким к линейному (в исследуемом в диссертации диапазоне M_w 3-6). Более того, в этом диапазоне моментная магнитуда пропорциональна с коэффициентом 1 локальной магнитуде M_L , напрямую пересчитанной из энергетического класса. Для пересчета M_L в M_w достаточно уменьшить значение M_L на 0.4. Второй результат никак не снижает значимость первого, так как прямые оценки M_w предпочтительны.

Еще одним важным практическим результатом диссертации, который будет иметь важные приложения, является расчет станционных спектральных аномалий. Для целей диссертации станционные поправки (учет “спектрального отклика станций”) необходимы при решении обратной задачи восстановления очагового спектра по записям на конкретных станциях. Но поскольку станционные поправки зависят от грунтово-геологических условий в районе установки станции, полученные результаты могут быть применены для прямых задач сейсмического микрорайонирования (СМР). Этому посвящена целая глава диссертации. Расчет станционных спектров проводился в диссертации методом межстанционного отношения спектров с использованием эталонной станции с учетом затухания по эмпирическим функциям. Учет затухания необходим из-за значительного расстояния между станциями относительно расстояний до эпицентра. Рассматривалось три варианта оценок: по среднеквадратичной амплитуде коды, по пиковой амплитуде S-волн и по спектральной амплитуде S-волн. Три варианта оценок были сопоставлены между собой, а также с оценками по широко используемому методу Накамуры (отношение спектров горизонтальной и вертикальной компонент). Были получены важные рекомендации по использованию разных оценок.

Замечания к диссертации имеют чисто редакционный характер. В частности, на стр. 35-36 при перечислении вклада отдельных ученых, для части иностранных ученых приведены фамилии в русской транскрипции и в скобках в английской, но для части из них английская транскрипция не приведена. Здесь стоит также отметить, что фамилия Дас, как иностранная фамилия в женском роде, в русской транскрипции не должна склоняться. В подписи к формуле на стр. 76 опечатка ($г/м^3$ вместо $кг/м^3$). Неверная ссылка на формулу (1.26) на стр. 90.

Хотелось бы также, чтобы в диссертации было пояснено некоторое, возможно, кажущееся противоречие утверждений во второй и в пятой главе. Во второй главе (стр. 44-

45) отмечается, что оценки «спектрального отклика станций» по S- волнам и коде приблизительно согласуются, но разброс оценок по коде много ниже, чем по S-волнам. В пятой же главе (стр. 111) указано, что для ряда станций в отдельных полосах частот обнаружили заметные расхождения (до двух раз) между методами оценки по S-волнам и по коде, причем данное расхождение имеет место как раз в области максимума аномалии.

Характеризуя работу Анны Александровны Скоркиной в целом, оппонент приходит к выводам, что диссертация выполнена на несомненно актуальную тему, обладает необходимой новизной, все положения, выводы и рекомендации убедительно обоснованы, и работа содержит решение существенной для геофизики задачи установления свойств очаговых спектров, в рамках модели с тремя корнер-частотами, для камчатских землетрясений в диапазоне $M=3-6$, полученных сетью цифровых приборов сильных движений. Результаты и рекомендации диссертации могут быть использованы в работе Камчатского филиала и других региональных подразделений ФИЦ ЕГС РАН.

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

Официальный оппонент

главный научный сотрудник лаборатории теории прогноза землетрясений

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,

доктор физ.-мат. наук,

Петр Николаевич Шебалин



Я, Шебалин Петр Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Тел.: +7 (495) 333-4513

E-mail: p.n.shebalin@gmail.com



Шебалин П.Н.
Уд.
Чушикова Е.В.