

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Эртелевой Ольги Олеговны «ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Рассматриваемая диссертационная работа посвящена анализу совокупности инструментальных данных по сильным движениям. Такое исследование чрезвычайно важно и актуально как в теоретическом, так и – и даже особенно – в практическом отношении. Автором получены важные новые результаты, являющиеся важным вкладом в развитие этого направления исследований.

**Актуальность** работы несомненна. В настоящее время быстро накапливающиеся данные записей сильных движений используются явно недостаточно. Связано это в значительной степени с недостаточной систематизацией и анализом этих данных. Первым этапом такой работы является анализ общемировых данных – как это и сделано в представленной диссертации. На основе такого анализа и при наличии необходимых региональных и локальных данных можно будет реализовать в дальнейшем кардинальное уточнение оценок ожидаемых величин сейсмических воздействий.

### **Содержание диссертации:**

Диссертации О.О. Эртелевой содержит 290 страниц текста и включает в себя 77 рисунков, 21 таблицу и список литературы из 512 наименований. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

**Введение** включает в себя обоснование актуальности и практической значимости темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, охарактеризована научная новизна, практическая значимость и апробация полученных результатов.

На защиту автором выносятся следующие 4 положения:

1. Единый для всех магнитуд закон затухания пиковых амплитуд ускорений грунта в эпицентральной области землетрясения с учётом зависимости декремента поглощения от уровня колебаний, в соответствии с которым волновое поле величин ускорения делится на 3 зоны с различными законами затухания волн. Зависимости характеристик ускорений сейсмических колебаний от параметров очага и среды, описывающие связь амплитуд, продолжительности колебаний, преобладающего периода и коэффициента динамического усиления с магнитудой, расстоянием, механизмом очага и грунтовыми условиями, установлены для ближней и дальней зон отдельно. Выявленные закономерности способствуют увеличению точности прогнозных оценок пиковых ускорений и их характеристик как во временной, так и в спектральной области.
2. Закон масштабирования пиковых скоростей, устанавливающий независимость на подобных расстояниях пиковых скоростей от магнитуд и позволяющий при исследовании волнового поля рассматривать все эмпирические данные совместно.
3. Модель формирования и распространения сейсмических колебаний в скоростях, включающая закон затухания пиковых скоростей, закономерности формирования формы спектра реакции в скоростях и его среднюю форму, а также зависимости характеристик скоростей сейсмических колебаний от параметров очага и среды. Как и в

случае пиковых ускорений, согласно закону затухания скоростей. в эпицентральной области землетрясений существуют 3 зоны с различными характеристиками сейсмических колебаний. Установленные закономерности являются основой для разработки системы прогнозных оценок в скоростях.

4. Методика прогноза параметров сильного движения грунта при землетрясениях, основанная на разработанных эмпирических корреляционных соотношениях, связывающих характеристики сейсмических колебаний с различными параметрами очага и среды, позволяющая производить оценку сейсмических воздействий с различным доверительным уровнем и являющаяся практической реализацией результатов проведённых исследований.

Все указанные положения аргументированы в диссертации достаточно полно.

В **первой главе** – «Аналитический обзор литературных данных» - даётся подробный анализ литературы по теме диссертации. Особо выделено понятие ближней зоны землетрясения, где сейсмические эффекты максимальны и потому наиболее опасны. Согласно новым инструментальным данным, эта зона обладает рядом особенностей, частью противоречащих имевшим место ранее представлениям о процессах генерации и распространения сейсмических волн. Наибольшую важность представляют особенности процессов затухания пиковых амплитуд ускорений и скоростей колебаний в этой зоне. Установлена важность перехода от эпицентрального и гипоцентрального расстояний к кратчайшему расстоянию до поверхности разлома. Однако, чёткого определения понятия ближней зоны и полного описания имеющих здесь место особенностей характера сейсмических воздействий ранее не было. Эти вопросы решены в диссертации.

Много работ посвящено влиянию грунтовой толщи. И здесь также недавно были получены некоторые неожиданные результаты, так при высоких интенсивностях амплитуды оказываются выше на скальных грунтах. В качестве важных характеристик сейсмического воздействия рассматриваются также доминирующие периоды и частотный состав колебаний и длительность колебаний. Обсуждаются методы задания и использование коэффициента динамического усиления  $\beta$ . Отмечается, что несмотря на важность этого параметра, зависимость его от параметров сейсмического события и среды исследована слабо. Подчёркивается, что все более важным параметром сильных движений грунта оказывается скорость колебаний (не только величина ускорений). Это связано с тем, что скорости имеют более тесную корреляцию с повреждениями зданий и сооружений и возникающими при сейсмических воздействиях деформациями нежели ускорения. Важны и активно исследуются также спектральные характеристики сильных движений. В конце первой главы, на основе проведенного анализа, даются выводы, подводящие к целям, задачам и применяемым в диссертации методам исследования.

**Вторая глава** – «Методика исследований и исходные данные» – посвящена выбору метода исследования, его особенностям, даётся описание сформированной автором и используемой в диссертации базы данных. Здесь особо хотелось бы отметить большой объем этой БД, что и явилось информационной основой для полученных автором новых содержательных обобщений.

Глава завершается выводами, концентрирующими полученные результаты. Приведена классификация существующих методов оценки (прогноза) параметров сейсмических воздействий. В качестве исследуемых далее параметров указаны уровень колебаний, преобладающая частота и продолжительность колебаний, а также соотношения разных

компонент колебаний. При исследованиях спектров в качестве основных параметров приняты коэффициент динамического усиления  $\beta$  и логарифмическая ширина спектра колебаний. В качестве ещё одного параметра введён безразмерный параметр количества циклов колебаний. Делается вывод, что на настоящий момент наиболее важные и достоверные результаты даёт статистическое исследование зависимости этих параметров от характеристик очага и среды. Важным достоинством при таком статистическом подходе является возможность получения разброса любого из исследуемых параметров. Теоретический и полуэмпирический подход к оценке параметров сейсмических воздействий дают на настоящий момент заметно худшие результаты, но при этом теоретический подход, очевидно, является предпочтительным в плане понимания физики процесса.

Подчеркнём, что по мере возможности автор переходит к использованию безразмерных параметров, позволяющих лучше обобщать имеющуюся эмпирическую информацию.

**Третья глава** – «Пиковые ускорения грунта» – посвящена описанию величин ускорения грунта. По имеющейся базе данных параметров сильных движений грунта было проанализировано распределение логарифмов пиковых амплитуд ускорений ( $\lg PGA$ ) с использованием закона нормировки расстояний. Автором представлено целостное описание характеристик величин ускорений – параметра, в настоящее время наиболее популярного в плане применения в сейсмостойком строительстве.

В конце главы сформулированы основные полученные результаты, к которым относятся нижеследующие.

1. Установлен единый для всех магнитуд закон затухания пиковых амплитуд ускорений грунта в эпицентральной области землетрясения. Волновое поле разделено на 3 зоны с различными законами затухания волн. Оценена роль региональных различий закона затухания.

2. Исследованы зависимости между пиковыми амплитудами ускорений на различных компонентах в зависимости от уровня колебаний, магнитуды, расстояния, типа грунта и механизма очага; установлены корреляционные соотношения между параметрами;

3. Рассмотрены особенности вертикальной компоненты колебаний, предложено эмпирическое корреляционное выражение для оценки ее уровня в зависимости от уровня максимальной горизонтальной компоненты;

4. Впервые установлены зависимости продолжительности колебаний ускорений в ближней зоне от различных параметров среды и очага;

5. Уточнено уравнение для оценки преобладающих периодов колебаний;

6. Впервые установлены зависимости величины коэффициента динамического усиления от различных факторов.

Отсюда видно, что автор получил весьма целостное описание совокупности изменений типовых величин ускорений в ближней зоне. Некоторые из этих закономерностей являются уточнением ранее известных соотношений, некоторые являются новыми.

**В четвертой главе** – «Пиковые скорости грунта» – аналогичным образом исследованы данные по пиковым значениям скоростей. Приводимые в этой главе результаты, в отличие от данных по ускорениям, являются в подавляющем своём большинстве не уточнениями ранее известных соотношений, а новыми результатами. Выводы по четвертой главе:

1. Установлен закон масштабирования пиковых амплитуд скоростей грунта;

2. Установлен закон затухания скоростей в эпицентральной области землетрясений. Показано, что при распространении волн существуют 3 зоны с различными законами

затухания. Оценены значения скорости, характеризующие границы между зонами;

3. Впервые установлена средняя форма спектра реакции в скоростях. Оценены основные параметры спектра, найдены их средние значения и соответствующие стандартные отклонения;

4. Оценены различия в уровнях различных компонент. Среднее различие в уровне горизонтальных компонент скоростей составляет 43%. Уровень вертикальной компоненты на 60% меньше уровня максимальной горизонтальной компоненты;

5. В дальней зоне преобладающий период скорости зависит от магнитуды и расстояния. В ближней зоне преобладающий период зависит только от магнитуды, зависимость от расстояния не обнаружена. Получены корреляционные уравнения для преобладающих периодов. Установлены различия между преобладающими периодами различных компонент;

6. В дальней зоне продолжительность колебаний скорости зависит от магнитуды и расстояния, а в ближней - определяется только магнитудой события;

7. Оценены средние значения коэффициента динамического усиления (демпфирование 5%). Определены факторы, влияющие на величину коэффициента  $\beta$ : ширина спектра, преобладающий период, продолжительность колебаний, уровень колебаний; разработаны эмпирические соотношения для оценки влияния этих факторов.

Легко видеть, что и по величинам типовых пиковых скоростей автор получил целостное описание в необходимом для практических применений виде. Дополнительно отметим, что в ряде случаев в 3-й и 4-й главе автор указывает на характерные значения параметров сейсмических воздействий, характерные для тех или иных важных пороговых ситуаций, так, например, скорость  $PGV = 20$  см/с отмечается как отвечающая границе ближней и дальней зоны; такие указания весьма важны в некоторых приложениях, в частности в палеосейсмологии.

**В пятой главе** – «Прогноз параметров сейсмического движения грунта» – излагается метод прогноза параметров сильных движений грунта, основанный на использовании полученных в диссертации результатов. Цель здесь – получение локального спектра реакции с использованием результатов, полученных при исследовании ускорений и скоростей и с учётом грунтовых условий. При этом, в типичном пока случае недостатка региональных данных, используются среднемировые зависимости.

Выводы по пятой главе формулируются автором так:

1. Описан эмпирический метод прогнозирования ожидаемых параметров сейсмического движения грунта;

2. Предложен метод задания ожидаемого спектра реакции в ускорениях;

3. Впервые предложен метод задания ожидаемого спектра реакции в скоростях;

4. Рассмотрены факторы, влияющие на региональные особенности сейсмических воздействий;

5. Разработаны принципы создания банка региональных акселерограмм. Основная трудность – многочисленность вариаций параметров сейсмических воздействий и их комбинаций. Учёт региональных особенностей возможен при непосредственном проведении работ по детальному сейсмическому районированию.

В данной главе предложен метод использования полученных выше результатов и на ряде примеров показана его эффективность. Использование этого метода представляется весьма полезным в практическом отношении при решении задач сейсмостойкого строительства.

**В Заключении** подводятся итоги проделанной работы.

**Научная новизна** диссертации в первую очередь заключается в получении новых эмпирически обоснованных закономерностей изменения величин сейсмических воздействий в ближней зоне, включая выделенную автором разломную зону.

**Достоверность** полученных в диссертации результатов обеспечивается объёмом собранной эмпирической информации (числом и разнообразием записей сильных движений) и применением обоснованных апробированных методов их статистического анализа.

**Практическая значимость** рассматриваемой диссертации весьма высока, это следует из важности рассмотренных вопросов и из доведения результатов до практического использования (например, глава 5 диссертации).

Отметим также хороший стиль изложения материала диссертации.

#### **Замечания:**

К основным замечаниям можно, по-видимому, отнести следующие

1. Автор рассматривает типичные (логарифмически средние) значения параметров и их разброс. Именно это и надо в первую очередь для практического использования. Но в теоретическом отношении и в случае редких особо ответственных объектов интересны также и экстремальные значения. Так, например, экстремальные инструментально зарегистрированные значения  $PGA$ ,  $PGV$  могут превосходить типичные значения в несколько раз. Подобные большие значения выявляются, вроде бы, и при анализе архео- и палеосейсмологических данных. Анализ таких значений весьма важен не только в плане оценки максимально возможных сейсмических воздействий, но и в плане понимания физики очагового процесса.

2. Второе замечание схоже по своему характеру. Автор пишет об эффекте увеличения амплитуд пиковых ускорений и скоростей с расстоянием в разломной зоне и связывает этот эффект с подпиткой волны энергией при ее распространении от плоскости подвижки в предположительно перенапряжённом горном массиве. Качественно этот эффект представляется аналогичным механизму возникновения лазерного излучения. Такой подход вполне созвучен предложенной ранее М.А.Садовским с соавторами концепции энергетически насыщенной геофизической среды. Однако, как и в случае концепции энергонасыщенной среды, рассмотрение остаётся на качественном уровне, даже без попытки дать более детальное описание эффекта.

Впрочем, в диссертации неоднократно отмечается, что полученные результаты могут быть использованы в целях исследования физики сейсмического процесса. Сделанные замечания касаются именно физики процесса и могут рассматриваться как пожелания на будущее.

К второстепенным замечаниям более редакционного характера можно отнести следующие.

По материалам главы 3 и 4, по-видимому, были бы полезны некоторые обобщающие полученные результаты таблицы. В случае последующей публикации в виде монографии, нацеленной на практическое использование, такие таблицы были бы особенно полезны.

Некоторые (впрочем, обычно общепотребительные) обозначения используются автором без пояснений.

Редкие фразы требуют, видимо, редакции (н.п., «На коротких расстояниях ощутимо влияние направленности излучения: движение на объект значительно увеличивает период», стр. 30; «... чем длиннее  $\kappa$ , тем более мягким является грунт», стр.33).

Некоторые другие вопросы редакционного плана (мешающие полному пониманию работы) были сняты при общении рецензента с автором.

Указанные замечания ни в коей мере не снижают достоинств работы, выполненной на современном научном уровне, на специально собранном новом богатом фактическом материале и чрезвычайно важной в практическом отношении.

**Заключение.** Диссертационная работа О.О. Эртелевой является законченной научной работой с большим теоретическим и ещё большим практическим потенциалом. Этой работой внесён решающий вклад в исследование и использование инструментальных данных по сильным движениям. Результаты диссертации отражены в многочисленных высокорейтинговых научных публикациях и прошли апробацию на международных и российских конференциях. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует требованиям ВАК согласно п.9 Положения о присуждении учёных степеней, автор заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. Соответственно, О.О. Эртелева заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией регистрации и интерпретации волновых полей Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук

25 апреля 2020 г.

Родкин Михаил Владимирович

Я, Родкин Михаил Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Адрес: 117997, Москва, ГСП-7, Профсоюзная ул., 84/32

Тел.: 8(495)333-45-13. Факс: 8(495)333-41-21

e-mail: rodkin@mitp.ru

Подпись д.ф.-м.н. М.В. Родкина удостоверяю.  
Зам. Директора ИТПЗ РАН



Каберов Ваис Харисович