



«С УТВЕРЖДАЮ»
И.о. директора ИМГиГ ДВО РАН
канд. биол. наук
/ А.В. Копанина /

14 ноября 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию **КРЫЛОВА Артема Александровича**
ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ШЕЛЬФЕ

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация А.А. Крылова посвящена исследованиям и разработкам современных методов обработки сейсмологических данных, оценки сейсмической опасности и прогноза сейсмических воздействий в шельфовых районах. Методология сейсмологических исследований на шельфе представляет сочетание инструментальных и расчетных методов. На шельфе используются многие алгоритмы и компьютерные программы, зарекомендовавшие себя в инженерных изысканиях на суше. Однако при оценке сейсмической опасности и прогнозе сейсмических воздействий на шельфе возникают определенные особенности, которые не характерны для наземных наблюдений. Одним из таких недостатков, осложняющих проведение достоверных оценок сейсмической опасности, является отсутствие записей сильных движений на грунтовых водонасыщенных основаниях, где может располагаться нефтегазовая инфраструктура. Возможно, единственным решением данной проблемы является численное моделирование отклика грунта на сейсмические воздействия, а также моделирование сейсмического источника. В рамках представленной диссертации данные вопросы достаточно подробно рассмотрены и предложены эффективные методы и алгоритмы, которые успешно протестированы на экспериментальном материале.

Выбранное направление исследований и полученные результаты имеют большие практические перспективы, связанные с оперативным мониторингом сейсмичности и прогнозом сейсмических воздействий в зонах высокого риска экологических катастроф на шельфе. Таким образом, **актуальность** темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Целью работы являются разработка и практическая апробация расчетных методов обработки морских инструментальных сейсмологических наблюдений, оценки сейсмической опасности и прогноза сейсмических воздействий на шельфе. Сочетание тематики исследований и разработок, формулировки целей, используемых методов и подходов решения задач, области практического приложения результатов подтверждает, что данная диссертация **соответствует специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых**, по которой она представлена к защите.

Структура и содержание диссертации. Диссертация А.А. Крылова содержит 150 страниц текста, включая 52 рисунка и 7 таблиц; состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 187 ссылок.

Во Введении формулируется цель диссертации, аргументируется ее актуальность, научная новизна и практическая значимость. Представлены выносимые на защиту научные положения, а также сведения о публикациях автора по теме диссертации, апробации работы, исходном материале и личном вкладе автора.

Первая глава посвящена обзору современных расчетных методов, с помощью которых производится уточнение сейсмической опасности, расчет теоретических акселерограмм, оценка влияния местных грунтовых условий на сейсмические воздействия. Детально рассмотрены особенности решаемых

задач на шельфе как на аппаратном уровне, так и в методическом плане. Выделены конструктивные особенности инженерных сейсмологических изысканий на шельфе.

Вторая глава посвящена разработке эффективных методов автоматического обнаружения сейсмических событий на записях морских сейсмографов. Показано, что совместный анализ длительности сейсмического сигнала и его корреляции на разных сейсмических станциях и каналах составляет основу предложенного метода автоматического обнаружения сейсмических событий, который позволяет эффективно обрабатывать записи локальных сетей донных сейсмографов. Полученные в настоящей главе результаты экспериментально проверены на реальных данных, полученных на северо-восточном шельфе Черного моря. Представлены методы и результаты оценки резонансных свойств верхней части грунта по записям сети донных сейсмографов.

В Третьей главе рассмотрены основные этапы расчетов по оценке сейсмических воздействий для площадки строительства на шельфе. Проведены уточнение исходной сейсмичности и сейсмическое микрорайонирование предложенными методами для добывающей платформы им. Ю. Корчагина на Северном Каспии. Исследована проблема синтеза теоретических акселерограмм на шельфе. Показано, что предварительное сглаживание комплексного спектра Фурье функции Грина методом скользящего среднего позволяет использовать эмпирическую функцию Грина слабых землетрясений для синтеза теоретических акселерограмм проектных землетрясений в шельфовых районах в частотном диапазоне 0.1-10 Гц. Предложен способ применения нелинейного анализа для численного моделирования сейсмического отклика водонасыщенного грунта на шельфе. Применение положений теории пороупругой среды М.Био для инженерно-сейсмологического диапазона частот дает возможность для численного моделирования отклика водонасыщенного грунта на сейсмические воздействия посредством нелинейного анализа в условиях

дефицита инженерно-геологических данных на шельфе. Посредством численного моделирования исследованы особенности сейсмической реакции грунтов на шельфе и суше. Методом численного моделирования проведены оценки локального отклика грунтов на сейсмические воздействия на шельфе с учетом известных материальных параметров геосреды.

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна исследования.

Для синтеза теоретических акселерограмм представлен новый подход построения эмпирической функции Грина по записям микроземлетрясений. Предложен новый метод численного моделирования влияния пористой водонасыщенной геосреды на сейсмические воздействия, использующий нелинейный анализ и пороупругую теорию М.Био. Метод учитывает недостатки имеющихся подходов и дефицит исходных данных на шельфе. Впервые методом численного моделирования проведены оценки локального отклика грунтов на сейсмические воздействия на шельфе с учетом известных материальных параметров геосреды.

Практическая значимость работы. Возможность возникновения техногенных и природных землетрясений при промышленном освоении месторождений нефти и газа на шельфе приводит к необходимости проведения комплекса работ, включающего непрерывные детальные сейсмологические наблюдения, уточнение исходной сейсмичности и прогноз сейсмических воздействий от максимальных и проектных землетрясений. Проведение соответствующих инженерно-сейсмологических изысканий регламентированы действующими СНиПами. Однако дефицит имеющихся данных на шельфе требует проработки новых методов и подходов для объективной оценки сейсмической опасности и риска. В таких условиях

представленный в данной работе комплекс программных и методических решений обосновывает высокую практическую значимость диссертации.

Достоверность и научная обоснованность работы обеспечивается хорошо проработанной постановкой проблем и задач, обилием экспериментального материала, многочисленными испытаниями и проверками на устойчивость программно-технических компонент, применением апробированных методов, а также согласием полученных результатов с результатами исследований других авторов. **Оформление диссертационной работы** не вызывает нареканий. Работа достаточно полно проиллюстрирована, материал работы изложен ясно и последовательно.

По диссертации имеются следующие **замечания**:

1. В диссертации приводятся данные об оценках локальной магнитуды M_L с использованием соответствующих калибровочных параметров. Однако, судя по тексту, данная магнитуда определяется по длительности сигнала. Унифицированное определение магнитуды M_L заключается в оценке максимального смещения S-волны на вертикальной компоненте записей, приведенных к сейсмограмме Вуда-Андерсона. Поэтому представленная магнитуда является магнитудой M_D . Не исключено, что есть связь между магнитудами M_L и M_D , но из текста это явно не следует.
2. Второе замечание также касается магнитуды. На стр. 59 главы 2.3 приводится формула (2.3.2) калибровочной функции для магнитуды по длительности. Далее в тексте расшифровывается, что длительность определяется «временем между приходом первого вступления продольной волны и временем, когда амплитуда коды не более чем в 1.5 раза превышает амплитуду фонового сейсмического шума». Такое определение магнитуды соответствует классическому случаю кода-магнитуды, но тогда в этом определении необходимо добавить коэффициент с гипоцентральной

поправкой, так как время прихода Р-волны зависит от гипоцентрального расстояния. Когда используют длительность сигнала, то ее определяют не относительно фонового шума, а относительно максимального сигнала, например, когда амплитуда уменьшается на 10% относительно максимально измеренной амплитуды. Тогда здесь не требуется поправка за расстояние, и магнитуа определяется только длительностью. С.Л. Соловьев [Solov'ev, 1965] один из первых предложил использовать такое определение магнитуды. В работе [Lee et al., 1972] были уточнены калибровочные коэффициенты, но суть осталась та же. Этот момент требуется прояснить.

3. Работа посвящена актуальной проблеме. Однако здесь следует четко разграничивать задачи: будет ли это мониторинг микросейсмический, локальный или региональный. Так, стандартная сейсмологическая практика для региональных или локальных наблюдений зачастую абсолютно не применима в случае микросейсмического мониторинга на суше или шельфе. Это касается как методов обнаружения и обработки сигнала, так и локации событий. Например, автоматическое обнаружение сейсмических сигналов при микросейсмическом мониторинге (когда станции расположены на морском дне или суше) наиболее эффективно производить с помощью методов дифракционного суммирования (например, [Anikeev et al., 2014]).

4. В формуле 2.6.1 на стр. 67 число n должно пробегать от 0, 1, ...

5. В работе представлены результаты тестирования авторского алгоритма на реальных данных по обнаружению сейсмических сигналов. Однако не показано, как при этом отработали классические анализаторы типа STA/LTA. Как при этом изменилась статистика срабатываний по отношению к ложным триггерам и пропущенным событиям?

6. Еще одно замечания касается усиления колебаний в водонасыщенных средах. Это действительно так, моделирование показывает соответствующие результаты. Однако уже широко признано, и это заложено в среднемировые и региональные законы затухания сильных движений грунта (например,

приведенная в диссертации модель Abrahamson and Silva 2008), что при сильных движениях происходит ослабление сигнала, когда происходит переупаковка приповерхностных грунтовых слоев (модель М.Био это не учитывает). Это и приводит к подавлению сильных колебаний. Поэтому в модельном методе необходимо оценить применимость подходов и возможные ограничения по амплитуде входных движений.

Рекомендации к работе

Результаты диссертация могут быть использованы в системах сейсмического мониторинга на шельфе. Полученные результаты по моделированию и расчету теоретических акселерограмм также могут быть рекомендованы для их использования в расчетах сейсмической опасности в условиях неполноты данных.

Высказанные замечания несколько не умаляют достоинств работы, выполненной на высоком научном уровне. Диссертация А.А. Крылова «Оценка сейсмических воздействий на шельфе» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в части, касающейся диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Крылов Артем Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв на диссертацию составлен кандидатом физико-математических наук Коноваловым Алексеем Валерьевичем и обсужден на заседании секции

Ученого совета ИМГиГ ДВО РАН «Геофизика и геодинамика» 10 ноября 2016 года, протокол № 9.

Зам. председателя секции Учёного совета

ИМГиГ ДВО РАН

д.ф.-м.н. Дмитрий Петрович Ковалев

Рецензент:

заведующий лабораторией физики землетрясений

к.ф.-м.н. Алексей Валерьевич Коновалов

693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, ИМГиГ ДВО РАН

Телефон.: +79841841486

Email: a.konovalov@geophysstech.ru

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б. Телефон: 8 (4242) 791517. Факс: 8 (4242) 791517. Email: nauka@imgg.ru, сайт <http://imgg.ru/ru>

*Дмитрий Ковалев Д.П.
Коновалов А.В.*

