

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Крылова Артема Александровича
«Оценка сейсмических воздействий на шельфе»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных
ископаемых

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Крылова Артема Александровича посвящена новой в сейсмологии и актуальной теме - изучению сейсмических воздействий на шельфе и развитию расчетных методов их количественной оценки.

В последние десятилетия, после ряда катастрофических землетрясений, в мире активно развиваются системы сейсмических наблюдений, и благодаря этому мировая сейсмология делает большие успехи. Разрабатываются инженерные приложения и методы оценки сейсмической опасности, совершенствуются нормы сейсмостойкого строительства. Особенности применяемых подходов несколько различаются в разных странах (США, Японии, Италии, Франции), что связано с особенностями сейсмичности и грунтовых условий этих территорий. Лишь в последние годы в мире начали развиваться сейсмические наблюдения на шельфе, в первую очередь, в Японии – стране с наиболее развитыми системами сейсмических наблюдений. Однако эти работы еще находятся в стадии накопления материала, и в обработке данных делаются лишь первые шаги.

Таким образом, перед диссертантом была поставлена довольно трудная задача, и выполненные им исследования можно назвать пионерскими.

Общая методология и методика исследования

Диссертационная работа Крылова А.А. основана на анализе большого объема данных регистрации сейсмических событий, полученных Институтом Океанологии в шельфовых зонах России, где для проектирования и строительства ответственных сооружений необходимо выполнить оценку сейсмических воздействий уже сегодня. Для развития методик и выполнения своих исследований диссертант привлекает также зарубежные данные и существующие на сегодняшний день методы их анализа.

В диссертации решается ряд задач, которые представляются логичными для достижения поставленной цели. Обзор изученных диссертантом существующих методов и подходов сделан в первой главе диссертации; некоторые методы описаны в третьей главе.

1. Сделан обзор нормативных документов по сейсмостойкому строительству, действующих в России и в других странах (в Европе и США), в части, касающейся сейсмических воздействий на шельфе. Это необходимо, т.к. строительные нормы разрабатываются на основе результатов наблюдений и обобщают практический опыт исследований. Более детально рассмотрена структура оценки сейсмических воздействий, принятая в России.

2. Рассмотрены особенности наблюдений сейсмических воздействий на шельфе (по отечественным и зарубежным публикациям), даны описания морских шумов, регистрирующей аппаратуры, систем геодинамического мониторинга для регистрации техногенных землетрясений и движений нефтедобывающих платформ.

3. Сделан обзор расчетных методов оценки сейсмической опасности, детерминистских и вероятностных, методов расчета искусственных акселерограмм, методов оценки отклика грунта на сейсмические воздействия.

В последующих главах, 2-й и 3-й, некоторые из описанных методов применены автором для оценки сейсмических воздействий на шельфе. Нужно отметить, что диссертант изучил и проанализировал достаточно большое количество научных публикаций, что было необходимо для применения существующих методов. Им изучены инженерные подходы, созданные американской, японской и итальянской научными «школами», написаны компьютерные программы и проведены необходимые расчеты.

Таким образом, общая методология и методика диссертационной работы современна и имеет высокий научный уровень.

Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертация содержит 4 защищаемых положения.

В Главе 2 обосновано **первое защищаемое положение**. Разработан и описан алгоритм автоматического выделения записей сейсмических событий, учитывающий особенности регистрируемых сигналов на шельфе. Описана апробация алгоритма на реальных записях, полученных при изысканиях на северо-восточном шельфе Черного моря. На выделенных записях находятся вступления Р- и S- волн, описаны этапы их дальнейшей обработки. Первое защищаемое положение вполне обоснованно.

Глава 3 посвящена обоснованию трех других защищаемых положений, которые непосредственно касаются вопросов оценки сейсмической опасности на шельфе.

Сделав обзор разных подходов, диссертант справедливо отмечает, что «оценку влияния грунта на параметры воздействия нельзя проводить в отрыве от характеристик очаговых воздействий, т.к. влияние местных условий может быть различным в зависимости от углов подхода волн, частотного состава, их интенсивности и т.д.». Поэтому он выбирает метод расчета искусственных акселерограмм с учетом отклика грунта.

Для расчета искусственных акселерограмм на шельфе наиболее подходящим, по мнению автора, является метод эмпирических функций Грина (ЭФГ), разработанный К. Ирикурой. Однако применение метода ЭФГ в условиях шельфа встречает ряд трудностей, прежде всего, это отсутствие зарегистрированных на шельфе событий достаточно больших магнитуд (разница в магнитудах слабых событий и моделируемого на их основе сильного события не должна превышать 1-2 единицы), и для улучшения работы метода диссертант предлагает предварительное сглаживание спектров Фурье функций Грина (**второе защищаемое положение**).

Однако сглаживание не решит проблему моделирования сильного события по записям слабых с разницей в магнитудах в 3 и более единиц. Указанный Ирикурой предел в 2 единицы магнитуды объясняется фундаментальными свойствами очагов землетрясений. Очаговый спектр крупного землетрясения содержит низкие частоты, определяемые размерами его разломной плоскости, тогда как спектры слабых землетрясений таких частот не могут содержать. Суммированием большого количества субочагов и сглаживанием их спектров эту проблему не решить, можно лишь улучшить моделирование, как и отмечается в диссертации. Так что предлагаемый автором частотный диапазон надежного моделирования 0,1-10 Гц очевидно будет иметь ограничения по магнитудам моделируемых сильных событий.

Третье защищаемое положение – утверждение что применение положений теории порупругой среды Био сейсмического диапазона частот дает возможность для численного моделирования отклика водонасыщенного грунта на сейсмические воздействия методами нелинейного анализа.

Это на мой взгляд наиболее важный научный результат диссертационной работы. Применяемые в мировой сейсмологической практике для расчета отклика грунта при землетрясениях стандартные методы нелинейного анализа, как и методы эквивалентного линейного анализа, описывают поведение сухих грунтов; используемые в программах нелинейного анализа нелинейные зависимости напряжение-деформация – так называемого «мягкого типа», т.е. выходят на насыщение при больших деформациях. Таким образом, эти расчетные программы, в том числе, и программа NERA, используемая диссертантом, не учитывают влияния водонасыщенности грунта, поскольку установлено, что в водонасыщенных грунтах зависимости напряжение-деформация «жесткого типа» имеют вид обратной S, т.е. показывают быстрое возрастание напряжений при достижении определенного уровня деформаций (вода несжимаема).

Использование зависимостей напряжение-деформация жесткого типа, т.е. учет водонасыщенности грунта, очень важно в исследованиях на шельфе. Поэтому возникла необходимость усовершенствовать методы расчета отклика грунта для использования их при работе на шельфе. В Главе 3 диссертации, разделе 3.4.2, диссертант описывает свое решение этой проблемы, на мой взгляд, корректное и обоснованное.

Однако нужно отметить как замечание, что в апробации предложенного нового алгоритма диссертант находит «насыщение» амплитуд колебаний и считает это признаком корректности работы программы, тогда как такое насыщение в водонасыщенных грунтах может не наблюдаться и появляться лишь при невысоких уровнях сейсмических воздействий. Как отмечалось выше, при наблюдениях на суше в водонасыщенных грунтах при достижении определенного уровня деформаций напряжения начинают быстро нарастать, и амплитуды ускорений также нарастают, появляются так называемые спайки-формы. На шельфе очевидно спайки-формы также могут возникать, хотя пока таких данных наблюдений не получено.

Другое замечание – для расчетов отклика грунта обычно задаются грунтовые толщи мощностью не менее 50 м, и именно такие примеры даны в описании программ NERA и EERA. По мнению многих сейсмологов, сейсмические волны «не замечают» грунтовые слои мощностью меньше 5 м, и это отражено в строительных нормах, например, Еврокоде-8. Если типичные мощности изучаемых грунтов на шельфе – всего несколько метров (3-14 м, как описано в диссертации), то применение расчетных программ для таких малых мощностей нужно обосновать. Например, провести тестовые расчеты с грунтовыми толщами разных мощностей и показать, как меняются результаты.

Эти замечания относятся и к **четвертому защищаемому положению**.

При обосновании четвертого защищаемого положения – интерпретации сейсмической реакции связанных и несвязных грунтов с разными значениями влажности – диссертант вполне обоснованно и корректно выбирает используемые в численном эксперименте параметры грунтовых слоев. Выводы по результатам численного эксперимента выглядели бы более убедительно, если бы было показано больше результатов расчетов: следовало бы добавить акселерограммы колебаний поверхности во всех случаях, т.к. спектры реакции информативны скорее для инженеров, чем для сейсмологов.

Научная новизна полученных результатов несомненна. Полученные в работе результаты являются новыми и могут служить основой для дальнейшего развития методов анализа сейсмических данных, регистрируемых на шельфе, и методов оценки сейсмической опасности на шельфе. Структура работы обладает внутренним единством.

Диссертация содержит также некоторые результаты сейсмических исследований на шельфе, представляющие интерес для понимания проблемы, но не относящиеся непосредственно к защищаемым положениям диссертации.

По этим результатам можно сделать следующие замечания:

1. При выполнении расчетов УИС и СМР для района месторождения им. Ю. Корчагина на севере Каспийского моря в разделе 3.1.4 используются графики повторяемости для основных зон ВОЗ в регионе, что правильно, поскольку это российские данные из базы данных карт ОСР-97. Но также для расчета акселерограмм применяются формулы из работы [Sabetta, Pugliese, 1996], полученные для землетрясений Италии, а также таблицы затухания движений грунта, рассчитанные по NGA (New Generation Attenuation) моделям [Abrahamson, Silva, 2008; Campbell, Bozorgnia, 2008], что может не соответствовать району исследований, т.к. построено по мировым, большей частью, американским, данным. Хотя в сейсмологии практикуются такие подходы, все же данные последних лет указывают на то, что в подобных расчетах следует учитывать региональные параметры и закономерности. Для России это важно, т.к. на нашей большой территории сейсмически активные области существенно различаются по своим характеристикам.

2. В разделе 3.1.4 диссертант пишет что «сейсмическая опасность, отвечающая повторяемости сотрясений 1 раз в 200–500 лет, соответствует так называемому проектному землетрясению (ПЗ). Сотрясения с повторяемостью 1 раз в 3000–5000 лет соответствуют максимальному расчетному землетрясению (МРЗ)». Однако по нашим строительным нормам проектному землетрясению соответствует период повторяемости 1000 лет, а максимальному расчетному – 10000 лет.

3. Диссертант описывает и применяет в разделе 3.2 «метод эмпирической функции Грина», но правильно говорить во множественном числе «метод эмпирических функций Грина».

4. В разделе 3.2.1 вместо «точка вспарывания» правильно говорить «точка начала вспарывания».

5. В формуле 2.6.2 нужно писать не $n = 1, 2, 3, \dots$ а $n = 0, 1, 2, \dots$

6. В разделе 3.2.1 нужно пояснить, как выбирались параметры моделирования землетрясений, приведенные в Таблице.

7. Диссертант применяет метод МСЖ, но этот метод имеет существенные ограничения, и нужно говорить об этом. Формулы МСЖ применимы к слабым движениям, и неприменимы к сильным, т.к. при сильных движениях нелинейные явления в рыхлых грунтах приведут к снижению интенсивности колебаний, и усиления не будет. А.А. Гусев также отмечает, что при применении МСЖ возможно опасное снижение оценок сейсмической интенсивности (балльности) на скальных грунтах, когда она оценивается относительно средних грунтов, которые считаются базовыми в России.

8. В разделе 3.3.3 описано сравнение оценок отклика грунта, полученных с помощью МСЖ и NERA, анализируются достоинства и недостатки методов. Это не совсем корректно, на мой взгляд, поскольку для общих выводов сравнения нужно проводить на большем количестве наблюдений.

В этом разделе непонятен абзац «Как уже упоминалось ранее, реакция грунта сильно зависит от частоты колебаний. Это хорошо видно на спектрах реакции Фурье и спектрах реакции. Причем, реакция грунта различается на разных частотных диапазонах [Крылов и др., 2016]. Зависимость соотношения амплитуд колебаний различных грунтов от частотного диапазона является известным фактом, подтвержденным как расчетными, так и экспериментальными данными [Гусев, 2002]». Что такое «спектры реакции Фурье»? О каких частотах идет речь? Что такое «Зависимость соотношения амплитуд колебаний различных грунтов от частотного диапазона»?

Непонятны выводы: «Рост разрушений в данном случае лучше характеризуют смещения». Обычно считается что разрушения при землетрясениях коррелируют со скоростями или ускорениями. И на основании чего можно судить о разрушениях в этом численном эксперименте?

Непонятен другой вывод: «На спектрах, полученных с помощью NERA, видно, что при моделировании с данными характеристиками грунтовых слоев на разных периодах преобладают разные эффекты: на малых периодах – насыщение амплитуд колебаний, на больших периодах – усиление воздействий вследствие падения импеданса, на промежуточных периодах – резонансные явления. Эти результаты подтверждаются инструментальными и расчетными данными из литературы». Где эти спектры? Почему это видно?

9. Небольшое замечание к Главе 2. При применении разработанного алгоритма выделения сигналов регистрируемых на шельфе на фоне шумов, нужно помнить что длительность сигналов это тоже региональная характеристика. На шельфе Черного моря, где регистрируются кавказские коровые землетрясения, и на Камчатке, где часто регистрируются субдукционные землетрясения, длительности близких по своим параметрам (магнитудам и эпицентральных расстояниям) землетрясений могут быть различны.

В заключение хочу сказать, что я приветствую появление таких специалистов как Артем Александрович Крылов в России, где вопросы оценки сейсмической опасности так же актуальны, как и в других странах с высокой сейсмичностью, но специалистов явно недостаточно, и в таких работах, в связи с их высокой ответственностью, необходим серьезный и квалифицированный подход.

Артем Александрович затронул в своей работе много вопросов, связанных с оценкой сейсмической опасности, рассмотрел и применил множество разных методов. Эти темы очень обширны, имеют много нюансов, описание которых трудно найти в научных публикациях, но знания приходят через практический опыт. Делая замечания к работе, я надеюсь, что они будут полезны Артему Александровичу в его будущих исследованиях.

Диссертация Артема Александровича Крылова «Оценка сейсмических воздействий на шельфе» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, результаты которой достоверны, опубликованы и апробированы. В диссертационной работе содержатся решения научных задач и новые научно обоснованные решения и разработки, имеющие значение для развития сейсмических наблюдений на шельфе. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы находятся на высоком уровне, отвечающем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам. Автореферат достаточно полно отражает результаты, изложенные в диссертации. Диссертация вносит существенный вклад в развитие методов оценки сейсмических воздействий на шельфе и полностью соответствует специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых.

В целом, считаю, что диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного правительством РФ (№842 от 24.09.2013 г.), с изменениями Постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Крылов Артем Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых.

Я, Павленко Ольга Витальевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
Главный научный сотрудник лаборатории
региональной геофизики и природных катастроф
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук (ИФЗ РАН)

Павленко Ольга Витальевна

123242, г. Москва, Б.Грузинская ул., д. 10, стр. 1
Тел.: +7 (499) 254-90-25
E-mail: olga@ifz.ru

7 ноября 1959 г.

Подпись Павленко Ольги Витальевны заверяю:

зав. канц.

