

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой Алины Николаевны «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Актуальность диссертационной работы А.Н.Бесединой состоит в совершенствовании современных методов сейсмического мониторинга земной коры с привлечением независимых геофизических наблюдений, в частности, наблюдений за вариациями уровня подземных вод в открытых пьезометрических скважинах. Такие комплексные наблюдения позволяют расширить частотный диапазон наблюдений в длиннопериодную область и получить, таким образом, новую информацию о динамических процессах в земной коре.

Обоснован метод коррекции волновых форм и экспериментально установлены границы применимости этого метода с учетом конкретных геолого-геофизических условий наблюдений. В результате сделан важный вывод о возможности применения малогабаритных геофонов с программно скорректированными частными характеристиками для проведения сейсмического мониторинга до частот порядка 0.1-1.0 Гц и даже ниже. Этот вывод реализован в методике расчетов энергетических классов и магнитуд относительно слабых сейсмических событий и проведена оценка возможных ошибок. Показано также, что метод коррекции волновых форм может применяться для оценки характеристик блочности геологических сред. Так, экспериментально выделены и проанализированы импульсные сейсмические сигналы с характерным периодом 1-1.2 мин и интервалами повторения 5-7 мин, связываемые автором работы с колебательными движениями блоков земной коры, разделенных зонами активных разломов. Этот вывод автор аргументирует качественным совпадением результатов натуральных наблюдений и модельных испытаний, привлекая концепцию метастабильных состояний геологической среды, что, очевидно, соответствует современным представлениям о механике геофизической среды.

В пятом разделе работы изложены результаты комплексной обработки микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений на геофизической обсерватории «Михнево». Выделены сигналы, соответствующие барометрическим и земноприливным колебаниям. В огибающих микросейсмического шума выделены временные интервалы, в которых наблюдается расхождение теоретических и экспериментальных приливов в смещениях грунта. Эти расхождения объясняются автором влиянием сильного удаленного землетрясения, резкого изменения среднесуточной температуры воздуха и резкого изменения гидрогеодинамического режима. Далее отмечено, что огибающие приливных компонент в вариациях уровня подземных вод имеют асимметричную форму. Выделены интервалы расхождения между теоретическими и экспериментальными приливами в вариациях уровня подземных вод. Сделано предположение о дополнительном влиянии гидрогеодинамического фактора на приливный отклик наблюдательной системы скважина-пласт. Последнее предположение, в принципе, не противоречит известному опыту гидрогеодинамических наблюдений и лишней раз подчеркивает сложность динамического отклика пористых проницаемых насыщенных сред на внешнее воздействие. Важно, что этот эффект обнаружен экспериментально. Тем значимее выглядит его изложение с должной тщательностью на страницах диссертационной работы.

В заключение пятого раздела работы сделана попытка оценки фильтрационных свойств вскрытого скважиной «Михнево» пласта по параметрам земноприливных колебаний уровня. В ходе уровня выделены интервалы квазистационарного и нестационарного режимов фильтрации. Величины оценок проницаемости по этим интервалам различаются на порядок (200-600 мД против 10-60 мД). Чтобы объяснить это расхождение, автор работы вновь привлекает влияние дополнительных факторов, что вновь подтверждает сложность динамического отклика проницаемых пористых сред. Впрочем, этот результат не входит в блок защищаемых положений диссертационной работы.

По актуальности темы, научной новизне, практической ценности и объему выполненных и опубликованных автором экспериментальных и теоретических разработок диссертационная работа Бесединой Алины Николаевны «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» является законченным исследованием и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Отзыв составлен Барабановым Вячеславом Леонидовичем, старшим научным сотрудником Института проблем нефти и газа РАН. Адрес: 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3, ИПНГ РАН. Тел. (499) 135-7221. Автор отзыва дает согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Старший научный сотрудник  
Института проблем нефти и газа РАН,  
кандидат физико-математических наук

В.Л.Барабанов

28 февраля 2014 г.



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук	
Подпись (и) <u>Барабанова В.Л.</u>	заверяю
Специалист отдела кадров ИПНГ РАН АС.И. Невешкина	28.02.2014
тел.: (499) 135-72-63	(подпись)

## ОТЗЫВ

на автореферат и диссертацию БЕСЕДИНОЙ Алины Николаевны  
«НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ПРИ  
ПРОВЕДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 25.00.10 - геофизика, геофизические  
методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация Бесединой А.Н. выставлена на сайте ИДГ РАН, что дает возможность ознакомиться и написать отзыв, не прибегая к осторожной оговорке: “судя по автореферату”. Настоящий отзыв – положительный. Содержание диссертации разделяется на две части, которые можно условно назвать “методической” и “сейсмологической”. Первая часть (разделы 2,3) посвящена развитию программных методов коррекции волновых форм сейсмограмм. Решение этой задачи с использованием известных и достаточно надежных алгоритмов позволило расширить частотный диапазон сейсмоприемников СМ-3КВ и высокочастотных геофонов GS-20DX, в котором могут анализироваться записи сейсмограмм после их коррекции. Несомненным достижением является то, что продемонстрирована возможность улучшения частотных характеристик широко распространенного сейсмометра СМ-3КВ за счет заметного расширения частотного диапазона в сторону низких частот (вплоть до 0,01 Гц при достаточном высоком отношении сигнал/шум).

В связи с разработанным методом программной коррекции частных характеристик стоит отметить, что сейсмическая сеть, контролирующая территорию южной части о. Сахалин, включает ряд японских сейсмометров DAT и DATAMARK. У этих датчиков рабочий частотный диапазон несколько уже, чем у STS-2. Применение программной коррекции актуально, даже если полоса частот будет расширена до 1-50 Гц, как у STS-2. Однако для этого потребуется дополнительная работа из-за особенностей датчиков DAT и DATAMARK. По - видимому, практическое значение разработанного метода коррекции будет несколько шире сформулированного в автореферате.

Во второй части диссертации (разделы 4, 5) представлены примеры использования метода программной коррекции сейсмограмм для выделения в спектре движений грунта диапазонов периодов, отражающих блоковое строение среды. Значительное внимание уделено вопросам сравнения скорректированных сейсмических рядов и с записями гидрогеологических наблюдений. В диссертации, в разделе 4 также затронут вопрос об определении моментной магнитуды землетрясения,  $M_w$ , по параметрам спектра. Отмечено, что в работах отечественных сейсмологов такой подход используется редко. Хотя развитие этого подхода выходит за рамки диссертации, стоит отметить, что выкладки работы (формула (5) автореферата) могут использоваться для усовершенствования алгоритмов расчета скалярного сейсмического момента  $M_0$  и далее магнитуды  $M_w$ . Одна из возможностей: вместо оценок низкочастотного предела спектральной плотности смещения,  $\Omega_0$ , проводить нелинейную регрессию эмпирического спектра скорости к функции  $F(s)$ , пропорциональной (5). При этом коррекция волновых форм будет способствовать меньшей погрешности определения параметра регрессии, пропорционального  $M_0$ . Таким образом,

создан задел для дальнейших исследований по смежным вопросам, что можно считать признаком высокого уровня работы. Поставленная в работе цель достигнута.

Единственное замечание к диссертационной работе относится к описанию влияния обратной связи на частотные характеристики. Так как применение обратной связи ухудшает чувствительность измерительной системы, необходимо представить сведения об изменении этого параметра для всей сквозной системы регистрации и обработки сейсмограмм от датчиков СМ-3КВ или GS-20DX и до выходных файлов после коррекции. В рамках этого вопроса стоило бы также обсудить, можно ли избежать ухудшения чувствительности за счет дополнительного усиления сигнала до оцифровки.

Считаю, что диссертация Бесединой А.Н. является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, находящейся в соответствии с требованиями ВАК к кандидатским диссертациям. Соискатель заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Зам. директора ИМГиГ ДВО РАН  
по научной работе, к.ф.-м.н.



Л.М. Богомолов

Подписывая настоящий отзыв автор: Богомолов Леонид Михайлович дает свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,  
693022, г.Южно-Сахалинск, ул. Науки 1 б  
тел 8 4242 791517, 8 924 1917393 (сот)  
e-mail: [bogomolov@imgg.ru](mailto:bogomolov@imgg.ru)

Подпись	<i>Л.М. Богомолов</i>	заверяю
Зав. канцелярией ИМГиГ ДВО РАН		
<i>Л.М. Табаурова</i>		
« 19 »	ед	20 14 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой А. Н.  
«НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВЫХ  
ФОРМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические  
методы поисков полезных ископаемых»

На современном этапе развития науки и техники важное значение имеет объем информации и ее полнота. Этот тезис напрямую относится и к различным видам сейсмической информации, в том числе применительно к проблеме геофизического мониторинга.

Аппаратурным и программным методам коррекции волновых форм посвящена диссертационная работа А. Н. Бесединой.

Наиболее значимыми результатами диссертационной работы, судя по автореферату и авторским статьям, являются:

- метод программной коррекции волновых форм, позволившие расширить рабочий диапазон частот сейсмических датчиков;
- усовершенствование датчиков GS-20DX и CM-3KB в сторону как высоких, так и низких частот;
- обоснование возможности восстановления истинных параметров движения грунта;
- коррекция волновых форм, выполненная на основе учета гравитационных свойств инерционной массы датчика. Впервые в платформенных условиях проведено исследование приливного отклика среды и выполнена оценка вариаций проницаемости флюидонасыщенного карбонатного коллектора трещинно-порового типа.

Полученные новые дополнительные параметры в низкочастотной и высокочастотной областях позволили получить принципиально новые

ответы и решения. В частности, к ним относятся характеристики очага сейсмических воздействий, такие как сейсмический момент и излученная сейсмическая энергия.

В целом научная новизна и защищаемые научные положения соответствуют потребностям современной науки о сейсмических волнах, изложены и отражены в автореферате корректно, адекватно и достоверно.

Результаты модельных расчетов и результаты применения методов коррекции при проведении сейсмических наблюдений составляют безусловную практическую ценность работы.

По существу и количеству публикаций достаточно для выполнения требования ВАК (раздел 2« Положения...»). Достоинство уважения к автору и вызывает гордость за Державу доклады на зарубежных форумах и конференциях (Испания, Швеция, Австрия).

По автореферату можно отметить ряд замечаний дискуссионного характера.

1. В цели работы изменить акценты и изложить в редакции «...расширение возможностей сейсмических наблюдений при решении широкого круга физических задач и научное обоснование методов коррекции волновых форм первичных преобразователей разных частотных диапазонов».

2. Целесообразно было бы больше внимания акцентировать на результатах, позволивших выделить и идентифицировать несколько новых типов волн.

3. В списке публикаций более правильно указать патент РФ на полезную модель № 111689 ( опубл. 20.12.2011г. ), а не номер заявки.

4. Имеются опечатки. Например , на стр.15 не выделен абзацный отступ  
« В четвертом разделе... »

Указные замечания не умаляют значения полученных результатов .

## Вывод

В представленной диссертационной работе содержится решение задачи, имеющей существенное значение для геофизики и сейсмологии. Судя по автореферату, диссертация соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Беседина Алина Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Рецензент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, дальнейшую их обработку.

Научный консультант  
Генерального директора ООО «Промстройвзрыв»  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник



Бригадин Иван Владимирович

«24» 02 2014г.

190031, Санкт-Петербург,  
наб. реки Фонтанки, 117, оф. 389  
тел. 8-812-3142046, E-mail: ivanbrigadin2008@yandex.ru  
моб. тел. +7 (911) 2711246



Подпись Бригадина И.В. заверяю  
Генеральный директор  
ООО «Промстройвзрыв»



Губайдуллин В.М.



## Отзыв

на автореферат диссертации Бесединой Алины Николаевны, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, на тему:  
«Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

В настоящее время в РФ большое количество месторождений разрабатывается в сложных горно-геологических и геомеханических условиях, на больших глубинах. При этом снижается эффективность и не обеспечивается безопасность горных работ. На некоторых рудниках и шахтах на Урале, Западной Сибири и других регионов проводятся сейсмические наблюдения, регистрируются динамические явления, их местоположение, время и энергетический класс события. Данные наблюдения позволяют оперативно оценивать геомеханическое состояние массивов горных пород и разрабатывать мероприятия по снижению удароопасности. Плановый сейсмологический мониторинг на горнодобывающих и угледобывающих предприятиях дает возможность количественно оценить сейсмичность и представляет собой возможность материально-технического обеспечения решения задач предотвращения, контроля и предостережения потенциальных неустойчивостей породного массива, которые могут привести к динамическим проявлениям. Решаются задачи мониторинга сейсмического отклика массива горных пород на разработку: спасение персонала; предотвращение негативных последствий открытой и подземной разработки; ранжирование сейсмической опасности; предупреждение об опасности; ретроспективный анализ и др.

В связи с этим, проведенная автором работа по научному обоснованию методов коррекции волновых форм при ведении сейсмических наблюдений является актуальной и значимой. Позволяет расширить рабочий диапазон частот сейсмических датчиков и использовать их в качестве широкополосного прибора, оценивать количественные поправки к геомеханическим характеристикам очагов слабых событий и др.

В результате проведенных экспериментальных и лабораторных исследований разработан и обоснован метод программной коррекции волновых форм с целью расширения диапазона частот сейсмических датчиков и определены границы применимости метода с учетом условий проведения измерений.

Основные положения, результаты и выводы диссертации достаточно полно раскрыты в автореферате и подтверждаются наличием 14 работ автора, 4 из которых - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ к публикации материалов кандидатских диссертаций и одним патентом полезной модели.

В целом, диссертационная работа Бесединой Алины Николаевны на тему «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» по актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Почтовый адрес: 111020, Москва, Крюковский тупик, 4

Тел. 8-926-279-39-08

Ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН,

доктор технических наук

 В.А. Еременко

Подпись ведущего научного сотрудника отдела геотехнологических проблем, доктора технических наук В.А. Еременко заверяю:

Ученый секретарь Института проблем

комплексного освоения недр РАН

доктор технических наук



 И.В. Милетенко

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации А.Н.Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Работа А.Н.Бесединой посвящена достаточно важной проблеме расширения диапазона частот датчиков при сейсмическом мониторинге сейсмоактивных регионов, в частности – разработке метода коррекции волновых форм для датчиков в разных диапазонах частот, амплитуд и уровней сейсмического шума. Актуальность темы исследования связана с расширением возможностей сейсмических наблюдений при решении широкого круга геофизических задач.

Автором предложен метод коррекции частотных характеристик сейсмометров обратным фильтром и определен критерий применимости метода с помощью результатов измерения характеристик датчиков и оценок шумов измерительных каналов. Чрезвычайно важной является апробация предложенного метода в полевых условиях.

В работе проведен анализ сигналов различной интенсивности – микросейсмического шума, техногенных взрывов и землетрясений. Показано, что малогабаритные геофоны с проведенной корректировкой частотных характеристик могут использоваться вместо крупногабаритных и более дорогостоящих средств измерений. При анализе сильных землетрясений указаны границы применимости метода коррекции, когда уровень полезного сигнала превышает уровень инструментального шума измерительного канала, а также уровень микросейсмического фона. Показано, что предложенный автором метод позволяет расширить рабочую полосу частот короткопериодных сейсмометров и, таким образом, использовать их в качестве широкополосных приборов.

Важное значение имеет применение разработанной методики к анализу колебаний сверхнизких периодов, например, приливных волн. Результаты синхронных сейсмических и гидрогеологических наблюдений позволили автору исследовать приливный отклик среды и дать оценку вариаций проницаемости флюидонасыщенного карбонатного коллектора трещинно-порового типа.

Работа А.Н.Бесединой, судя по автореферату, выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне, квалификация автора сомнения не вызывает.

Диссертационная работа А.Н.Бесединой, судя по автореферату, удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Рецензент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Старший научный сотрудник  
лаборатории механики деформируемого  
твердого тела и сыпучих сред ИГД СО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук, с.н.с.  
630091, Новосибирск, Красный проспект, 54  
тел. +7(383)2170432

 С.В.Лавриков  
21.02.2014

Подпись С.В.Лаврикова заверяю:  
Ученый секретарь ИГД СО РАН  
кандидат техн. наук





А.Н.Дворникова

## ОТЗЫВ

На автореферат кандидатской диссертации А.Н. Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений». Специальность 25.00.10

Коррекция волновых форм с использованием цифровых методов обработки записей - это перспективный метод обработки исходных данных, особенно теперь, когда и разведочная сейморазведка и сейсмология перешли к решению задач сейсмического мониторинга, четырехмерной сеймики. Вообще говоря, это задача универсальная, независимо оттого, проводятся наблюдения в нашей стране или где-то еще. Действительно, если позволяет аппаратный шум, то есть если отношение сигнал/шум в какой-то полосе частот высок, стало быть, в этой полосе частот сейсмические сигналы будут ясно записаны, пусть даже полоса частот канала сравнительно высокочастотна. В идеале, если аппаратура бесшумна, то полоса регистрируемых частот бесконечна: почти от «нулевой частоты», то есть от постоянной составляющей, до частот очень высоких. Здесь только та тонкость, что надо правильно квантовать и дискретизировать регистрируемый сигнал, это достигается высокочастотностью и большим динамическим диапазоном АЦП. Сама аппаратура шумит, этот вопрос хорошо рассмотрен автором. Таким образом, задача очень актуальна, реализуются новые возможности аппаратуры и вычислительной техники. Автор с хорошим пониманием проблемы (что для современных специалистов по сейсмометрии не свойственно) рассмотрел ее теоретически, показал на реальных примерах дееспособность предлагаемого метода, правильно обозначил новые возможности. Есть и еще проблемы сейсмологии, которые могут быть решены предлагаемыми методами. Эти проблемы связаны с проблемой долговременной стабильности аппаратуры, коррекцией частотных характеристик не аппаратурными, а цифровыми методами. Этот вопрос важен для решения задач мониторинга, особенно если используются малоапертурные группы, как в Михнево.

Понятно, это только начало большого исследования по современной метрологии сейсмических приборов, но главное сделано - доказана принципиальная возможность другого пути развития сейсмометрии, в основе которой идея цифровой коррекции сейсмограмм.

Работа обладает несомненной новизной, выполнена очень грамотно, полученные результаты и их объяснение не вызывают сомнения.

Есть некоторые придрки к постановке решаемых сейсмологических задач, но они не меняют общей положительной оценки.

Работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 25.00.10, Алина Николаевна Беседина заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

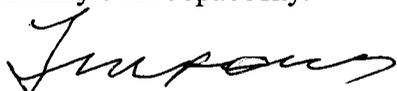
Рецензент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Доктор физ.-мат. наук, член корр. РАН

Г.н.с. ИФЗ РАН

119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86

Тел. 8-916-295-05-34

 А.В. Николаев



УДОСТОВЕРЯЮ

30.08.2013, к.т.н. Бесединой

## Отзыв

на автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Бесединой Алины Николаевны

### "НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ"

(Специальность 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы  
поисков полезных ископаемых»)

Актуальность темы диссертации, судя из содержания автореферата, не вызывает сомнения, так как в работе рассмотрена проблема научного обоснования методов коррекции волновых форм для первичных преобразователей с разными частотными диапазонами, а также применение этих методов для расширения возможностей сейсмических наблюдений при решении геофизических задач. Надо согласиться с автором, что пределы применимости методики для различных датчиков, имеющие разные диапазоны частот, амплитуд и уровней сейсмического шума теоретически и экспериментально недостаточно изучены. Поэтому, экспериментально установленные границы применимости метода программной коррекции для короткопериодных датчиков СМ-3КВ, с учетом условий проведения измерений, имеют практическое значение, т.к. до сих пор на территории России и Украины их модифицированные варианты используются и для сейсмологических целей.

Специалисты нашей экспедиции с 2013 года начали апробировать изложенную в автореферате (диссертации) методику совместной обработке данных сейсмологических и гидрогеологических наблюдений для условий Украинского щита. Она позволяет выделить временные интервалы для корректного определения вариаций фильтрационных параметров коллектора по фазовым характеристикам приливного отклика скважин и определить их связь с приливными изменениями силы тяжести.

Заслуживают внимания методы и объемы современных научных исследований, выполненные автором диссертации в процессе многолетней научной деятельности, а также то, что положения диссертационной работы подтверждены имеющимся официально зарегистрированным патентом.

В целом, судя по автореферату, диссертация *Бесединой Алины Николаевны* представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне с использованием современных компьютерных технологий, а соискатель заслуживает присвоения ей научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв составлен Свистуном Владимиром Кирилловичем, начальником Днепропетровской геофизической экспедиции «Днепрогеофизика», Пигулевским Петром Игнатьевичем, главным геофизиком партии обработки и интерпретации материалов экспедиции. Адрес: 49057, Украина, г. Днепропетровск, ул. Геофизическая, 1, тел +38056-763-5968. Авторы отзыва дают согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

*Начальник ДГЭ "Днепрогеофизика",  
Заслуженный работник промышленности Украины*

*Главный геофизик ПОИМ ДГЭ,  
доктор геол.-мин. наук*



Свистун В. К.

Пигулевский П. И.

*Подписи Свистуна В.К.  
и Пигулевского П.И. подтверждены.*

Начальник ВК  
ДГЭ "Дніпрогеофізика"

*Влад Кемаренко 03.03.2014*

## О Т З Ы В

на автореферат *БЕСЕДИНОЙ Алины Николаевны* к диссертационной работе **“Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений”**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – “Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых”

Известно, что задача восстановления истинного движения почвы по записи сейсмоприемника или обратная задача осложняются наличием у любого сейсмометрического прибора собственной частотной характеристики, которая вносит в запись вынужденных колебаний значительные искажения. Для наиболее распространенных инерционных датчиков с индукционными преобразователями в пределах резонансной частоты искажение записи может привести к значительным увеличениям реальных амплитуд, что недопустимо при высокоточной сейсмометрии. Решение этой задачи актуально, в частности, для инженерной сейсмологии, где исследуются динамические характеристики зданий при паспортизации или проводится сейсмическое спектрально-динамическое зонирование грунтового основания. При решении обратной задачи временным способом приходится сталкиваться с накапливающимися неперiodическими составляющими при интегрировании и некорректностью численного дифференцирования. Для устранения этих погрешностей в решение необходимо вводить регулирующие уход от нулевой линии корректирующие функции. При использовании же спектрального способа необходимость выбора определенного участка спектра, по которому восстанавливается сигнал, заведомо ведет к ошибкам. Определение функции корректирующего фильтра, на которую делится спектр записи сейсмоприемника, также не обходится без погрешностей, т.к. при этом в решение обратной задачи требуется введение регулирующего члена, параметры которого подбираются экспериментально.

Посвященная рассмотрению данной проблемы диссертационная работа А.Н. Бесединой, судя по содержанию автореферата, обладает несомненными достоинствами. Автором предложен и успешно реализован экспериментально-расчетный способ коррекции частотных характеристик некоторых распространенных в сейсмометрии измерительных каналов. На основе расчета шумов реальных измерительных каналов определяются границы применимости подобных устройств в практике сейсмических наблюдений. Выбранный способ коррекции частотных характеристик сейсмометров опробован для сигналов различной природы и интенсивности: микросейсмического шума, промышленных взрывов.

землетрясений. Использование аппаратуры с коррекцией измерительных каналов повысило точность определения энергетических и геомеханических параметров землетрясений и взрывов, а коррекция волновых форм, выполненная на основе учета гравитационных свойств инерционной массы датчика, позволила использовать широкополосные сейсмометры для анализа волновых процессов в диапазоне сверхнизких периодов (ниже 0.00028 Гц). Впервые, по результатам синхронных сейсмических и гидрогеологических наблюдений в платформенных условиях, проведено исследование приливного отклика среды и выполнена оценка вариаций проницаемости флюидонасыщенного карбонатного коллектора трещинно-порового типа.

Таким образом, к числу наиболее важных достигнутых результатов диссертационной работы А.Н. Бесединой следует отнести разработанный автором подход к коррекции зарегистрированных сейсмограмм, что позволяет практически полностью восстановить истинные значения движения грунта. Как следствие, появляется возможность использования широкополосных сейсмометров для анализа волновых процессов. Вместе с этим открываются перспективы регистрации волновых процессов в диапазоне сверхнизких периодов и возможность изучать спектры так называемых "медленных волн" различной природы, зачастую являющихся источниками инициации опасных геодинамических процессов.

Изложенные в автореферате формулировки и содержание четырех защищаемых положений не вызывают претензий и вполне обоснованы в представленном качестве.

Однако есть два небольших замечания.

1. В автореферате отсутствуют сведения о проведении сравнительного анализа параметров, определенных без коррекции и с использованием коррекции амплитудно-частотных характеристик (АЧХ).

2. В представленной работе коррекция АЧХ часто называется методом, но правильнее было бы называть ее способом.

В качестве пожелания автору хотелось бы отметить следующее.

Как правило, решения задач по коррекции частотных характеристик в сейсмометрии сводятся, в конечном итоге, к определению «истинного смещения» грунта. Осуществить проверку на реальных записях обычно не представляется возможным, поскольку истинное движение почвы остается неизвестным. Корректность таких преобразований, по мнению

рецензентов, может быть успешно проверена с помощью вибростенда, что уже практикуется в наших исследованиях.

Высказанные замечания имеют частный и, возможно, дискуссионный характер: они не снижают общей ценности и многих отдельных достоинств рассматриваемой диссертационной работы.

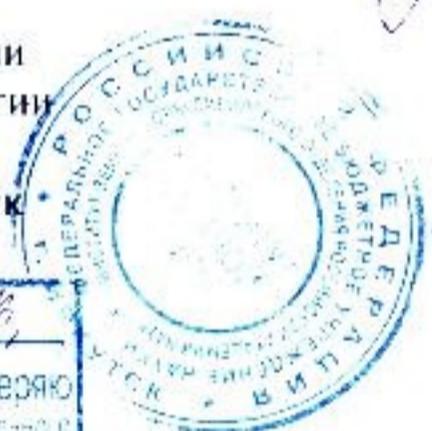
Представленная к защите диссертация Бесединой Алины Николаевны является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Рассматриваемая диссертационная работа отвечает критериям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», и ее автора, А.Н. Беседину, следует признать заслуживающей присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых»

*«Рецензенты дают согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку»*

Главный научный сотрудник лаборатории тектонофизики ФГБУН Институт земной коры СО РАН  
доктор геолого-минералогических наук

В.В. Ружич

Старший научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии ФГБУН Институт земной коры СО РАН  
кандидат геолого-минералогических наук



Е.Н. Черных

Подпись	<i>Ружич В.В.</i>	завещаю
	<i>Черных Е.Н.</i>	
Зав. канцелярией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук		
№	<i>12</i>	2014 г.

ФГБУН Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук,  
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128; тел. 8(3952)427000.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой Алины Николаевны  
«Научное обоснование методов коррекции волновых форм  
при проведении сейсмических наблюдений»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности  
25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Представленный автореферат диссертации Бесединой Алины Николаевны «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» включает в себя общую характеристику работы и ее содержание по главам диссертации.

Общая характеристика включает все обязательные для этого раздела пункты, а именно: актуальность, цель, задачи исследования, достоверность полученных результатов, научная новизна, личный вклад автора, практическая ценность работы, защищаемые положения, апробация работы. Далее приведено содержание введения, пяти разделов и заключения диссертации. Отражающий основные положения работы список публикаций соискателя включает 4 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 10 публикаций в сборниках научных трудов, материалов и тезисов конференций, 1 патент на изобретение.

Диссертация представляет результаты исследования возможности расширения частотного диапазона регистрации сейсмических сигналов аппаратурой, изначально не предназначенной для такого использования. Достижение поставленных целей позволяет существенно расширить круг сейсмологических и геофизических задач, которые могут быть решены с использованием аппаратуры изначально существенно более низкого качества, что и успешно продемонстрировано соискателем.

Соискатель последовательно обосновал востребованность такого исследования (I раздел), сделав обзор аппаратуры и актуальных задач, требующих проведения частотной коррекции. Во II разделе рассмотрены теоретические аспекты проведения коррекции частотного диапазона, что позволило определить критерий применимости данного метода на основании результатов измерения характеристик датчиков и оценок собственных шумов их измерительных каналов. III раздел посвящен применению метода при регистрации сейсмических сигналов различных масштабных уровней. В IV разделе автор, проанализировав ошибки оценок параметров землетрясений по обычным, некорректированным данным, доказывает возможность их уменьшения с использованием коррекции. В V разделе изложены результаты совместного анализа данных сейсмических и гидрогеологических наблюдений, а также исследования приливного отклика среды, получена оценка вариаций проницаемости коллектора подземных вод. На основании полученных результатов сформулированы 4 защищаемых положения.

Проделанная автором работа полезна и с теоретической, и с методической, и с практической точек зрения. Научная новизна и актуальность не вызывают сомнений. Представленный автореферат позволяет квалифицировать работу как законченное исследование. Изложение материала в автореферате достаточно ясное и логичное, поэтому принципиальных замечаний нет.

Редакционные замечания следующие:

Подпись к рис. 1 («Спектры двойной амплитуды скорости в полосе 1 октава») представляется неудачной и может ввести читателя в заблуждение. 1/ Спектр амплитуды скорости и амплитудный спектр скорости – не синонимы: первое может быть воспринято как спектр огибающей волновой формы по скорости. 2/ Неочевиден смысл «полосы 1 октава». Частотный диапазон спектра на рисунке существенно выше. И окном

сглаживания это тоже не является согласно приведенному графику. 3/ Размерность амплитудного спектра скорости указана неверно.

Рисунок 2 отсутствует. Впрочем, ссылки на него тоже нет в тексте.

Подпись к рис. 3 («Сигналы (а) и соответствующие спектры (б) ... в частотном диапазоне 5-9 Гц») также нуждается в редакции, так как представлены спектры в диапазоне 1-40 Гц, в отличие от волновой формы.

Фраза «Обычный в практике сейсмологических наблюдений разброс в определении магнитуды, равный 0.5, приводит к почти двукратной ошибке в оценке размеров источника» (стр.17, внизу) также нуждается в редакции, так как 0.5 – это разброс единичного определения магнитуды, а «в практике сейсмологических наблюдений» принято использовать определение по нескольким станциям, что уменьшает ошибку в разы.

Автореферат соответствует предъявляемым требованиям. Тематика работы соответствует специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

На основании автореферата можно сделать вывод, что представленная работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор – Беседина Алина Николаевна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Зав. лабораторией сейсмического мониторинга  
Камчатского филиала Геофизической службы РАН  
к.ф.-м.н., доцент

Салтыков В.А.

Адрес: 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9  
Телефон: (+7 415) 2431813

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их последующую обработку.

Салтыков В.А.

Подпись руки заведующего лабораторией СМ КФ ГС РАН, к.ф.-м.н., доцента

Салтыкова Валентина Александровича удостоверяю.

Начальник  Е.В. Зюликова

27 февраля 2014 года

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой Алины Николаевны «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений и определяется сложившейся тенденцией в мире, связанной с необходимостью проведения широкополосных сейсмологических наблюдений, используемых при решении ряда фундаментальных и прикладных задач. Тема особенно важна в России, где широкополосные датчики, вследствие их значительной стоимости, используются в относительно малом количестве.

В диссертации поставлена и решена актуальная задача изучения способов расширения рабочего диапазона для ряда сейсмических датчиков и коррекции волновых форм в доступном частотном диапазоне с учетом свойств измерительных каналов. Определены границы применимости метода коррекции волновых форм, что особенно важно при оценке характеристик очагов слабых сейсмических событий.

Новизна исследований заключается в применении развиваемого метода коррекции частотных характеристик сейсмометров для обработки экспериментальных сигналов различной природы и интенсивности, что является весьма ценным обстоятельством. Каждый из представленных примеров, имеющих самостоятельное значение, сопровождается исчерпывающим анализом особенностей обработки и помехоустойчивости обнаружения сигналов различной частоты, регистрируемых также различными сейсмометрами.

Результаты, полученные соискателем, обоснованы согласованием натуральных наблюдений и научных выводов, а достоверность обеспечивается современными средствами и методиками проведения исследований. Принятые в работе допущения и ограничения обоснованы и отражены в полном объеме.

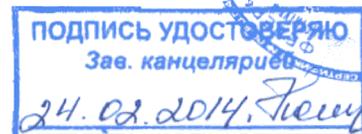
Автореферат содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики. Написан квалифицированно и аккуратно оформлен.

Исходя из представленных в автореферате сведений, диссертация написана на высоком научном уровне, соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, и соискатель Беседина А.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10.

Гл. н. с. ИНГГ СО РАН,  
Доктор г.-м. наук

*В.Д. Суворов*

В.Д. Суворов



Отзыв

на автореферат диссертации А.Н.Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10

Тема диссертации А.Н.Бесединой актуальна своей направленностью на совершенствование методических разработок, связанных с использованием аппаратуры по фиксированию волновых форм в различных частотных диапазонах в земной коре и интерпретацией получаемых данных. В исследованиях сейсмического процесса любые уточнения в регистрациях и характеристиках волн различных периодов позволяют уточнить важные характеристики очага землетрясения – сейсмический момент и энергию. Они рассматриваются в разделах 3 и 4 автореферата диссертации.

На основе моделирования излучения сейсмического источника диссертантом проводится оценка возможных ошибок, возникающих при расчете параметров слабых очагов землетрясений. В основу теоретической базы расчетов положена модель очага по Брюну, которая рассматривает очаговую область как шаровую. Это совершенно верное допущение для слабых событий, генерируемых, как правило, мало амплитудными подвижками в относительно непротяженных разрывах. Очаги сильных сейсмических событий возникают при существенных подвижках в очаге и контролируются протяженными по простиранию разрывами. Модели сильных очагов землетрясений чаще рассматриваются как эллипсоидные формы, объемные формы которых характеризуются различными по длине осями. Следовательно, расчеты могут измениться. При оценке результатов расчетов и сопоставлении их с экспериментальными данными желательно уточнять случаи, когда начинает фиксироваться не соответствие теоретических и экспериментальных результатов. Подобные наблюдения могут помочь исследователям при выборе моделей очагов землетрясений и на их основе оценки сейсмического процесса при геодинамических построениях.

Существенный интерес представляют исследования А.Н.Бесединой характеристики блоковой среды по записанным широкополосными датчиками параметрам микросейсмического фона. На нем четко зафиксированы импульсные сигналы, отражающие, скорее всего, колебательные движения блоков, разделенных разломными зонами – зонами пониженной прочности и сцепления материалов. Диссертантом замечено, что по мере приближения к метастабильному состоянию характерный период системы «блок – прослойка» смещается в низкочастотную часть спектра микросейсмического шума. Наблюдение очень важно в смысле дальнейшей разработки и совершенствования мониторинговых систем наблюдений и их оперативных расчетов в сейсмических регионах мира.

Автореферат диссертации А.Н.Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» и опубликованные работы соответствуют требованиям, предъявляемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а их автор достойна присвоения искомой степени.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись *Шерман*  
Шерман Семен Иойнович, гл. науч. сотрудник, доктор г.-м.н., профессор  
Институт земной коры СО РАН, 660022, Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.сл.+7(3952)428261

Подпись	<i>Шерман</i>
Заведующий	<i>Шерман</i>
« <i>11</i> » <i>02</i> 20 <i>14</i> г.	



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой Алины Николаевны «**Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмически наблюдений**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация А.Н. Бесединой посвящена актуальной проблеме усовершенствования методов коррекции сейсмических сигналов при регистрации датчиками различного типа. Основная цель работы состояла в выборе и обосновании методов коррекции формы сигнала для расширения частотного диапазона чувствительности датчиков, а также определении границ применимости метода.

Согласно представленной в автореферате информации, в диссертации выполнен анализ состояния проблемы на основе публикаций и показана актуальность проводимых исследований; описан метод и критерий применимости коррекции сигнала при помощи обратного фильтра; приведены убедительные примеры успешной апробации выбранного метода коррекции частотных характеристик датчиков; на основе расчета при помощи математического моделирования колебаний поверхности, вызванных излучением сейсмического источника, расположенного на глубине, получены оценки возможных ошибок при определении параметров очага.

В качестве важнейших результатов работы следует отметить предложенный метод расширения частотного диапазона датчиков сейсмических сигналов с установленными границами его применимости, а также полученные оценки поправок для уточнения геомеханических характеристик очагов слабых событий. Полученные результаты показали возможность расширения частотного диапазона сейсмических датчиков, что обеспечивает получение дополнительной информации с использованием более распространенных и дешевых приемников сигнала. Полученные результаты являются новыми и представляют большой практический интерес.

Автореферат написан грамотным языком, содержание диссертации и выводы хорошо изложены. Результаты работы докладывались на конференциях, опубликованы в четырех рецензируемых журналах, включенных в список ВАК, а также в других изданиях. Разработанное в соавторстве устройство для коррекции частотной характеристики датчика защищено патентом.

На основе представленной в автореферате информации, считаю, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Беседина Алина Николаевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

С.н.с. ИФПМ СО РАН  
д.ф.-м.н.

Подпись Ю.П. Стефанова удостоверяю  
Начальник отдела учета и подготовки кадров  
Института физики прочности и материаловедения  
Сибирского отделения РАН

**«ЗАВЕРЯЮ»** УЧЕНЫЙ  
СЕКРЕТАРЬ ИФПМ СО РАН  
В. С. ПИЕШАНОВ



Стефанов Ю.П.

Сеченова В.С.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бесединой Алины Николаевны на тему: «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Диссертационная работа Бесединой А. Н. посвящена решению научной проблемы обоснования методов коррекции волновых форм сигналов, регистрируемых в процессе сейсмических наблюдений, путём расширения частотного диапазона каналов регистрации и обоснованию технической реализации и применения этих методов.

**Актуальность работы.** Практическое решение сейсмологических задач, связанных, например, с исследованием характеристик сейсмических источников или контролем их функционирования, базируется на анализе информации, получаемой по результатам сейсмических наблюдений за этими источниками. Необходимая сейсмическая информация поступает с пунктов наблюдений, оснащённых каналами регистрации сейсмических колебаний.

Сейсмические каналы регистрации с заданными рабочими полосами частот формируются на базе сейсмоприёмников, имеющих соответствующие характеристики. В частности, для формирования длиннопериодных и среднечастотных каналов регистрации используются широкополосные сейсмоприёмники с обратными связями типа STS-1, КСЭШР, STS-2, REFTEK-151-30, CMG-3, GS2000 и другие. Для формирования короткопериодных и высокочастотных каналов используются сейсмоприёмники без обратных связей и с магнитоэлектрическими преобразователями типа СМ-3КВ, GS13, GS21 или геофоны типа GS-20DX, СВ-5 (10,20) и другие. При этом короткопериодные сейсмоприёмники и геофоны за счёт специфики их использования в региональных и местных сейсмических сетях получили значительно большее распространение, по сравнению с широкополосными сейсмоприёмниками.

В ряде случаев при регистрации сейсмических колебаний рабочая полоса каналов (как широкополосных, так и короткопериодных), не в полной мере охватывает частотные составляющие регистрируемых сигналов. При этом волновые формы зарегистрированных сигналов имеют известные искажения за счёт подавления части их спектра на границе полосы пропускания сейсмических каналов, что ограничивает возможность использования данных каналов для наблюдений за такими источниками.

В связи с этим, диссертационная работа А.Н.Бесединой, посвящённая решению проблемы коррекции искажений волновых форм сейсмических

сигналов, возникающих за счёт ограничения их спектров в каналах регистрации, представляется весьма актуальной и перспективной в плане расширения круга наблюдаемых источников и повышения эффективности сейсмических наблюдений.

Наибольшую перспективу имеет решение проблемы коррекции волновых форм сигналов за счёт расширения рабочей полосы частот короткопериодных каналов путём переноса её нижней границы в сторону низких частот. Применение такой коррекции даёт возможность в определённой степени использовать многочисленные местные и региональные сейсмические сети для наблюдений не только за близкими источниками, но и, например, за источниками, находящимися от этих сетей на телесеismicких расстояниях.

**Научные результаты.** В своей работе автором на основе анализа методов решения ряда задач сейсмологии показана необходимость проведения коррекции волновых форм регистрируемых сейсмических сигналов. На примерах показано, как ограничение спектров сейсмических сигналов, происходящее при недостаточной ширине полосы пропускания каналов регистрации, приводит к существенным ошибкам в оценке параметров источников этих сигналов. Обоснована возможность коррекции частотных характеристик широкополосных каналов для получения данных регистрации сейсмических колебаний в длиннопериодной и сверхдлиннопериодной областях. Внедрение такой коррекции в каналах регистрации существующих сейсмических сетей позволит увеличить число этих сетей, обеспечивающих сейсмических наблюдений в данных областях.

По результатам проведенных исследований обоснованы и выбраны методы коррекции частотных характеристик сейсмических каналов. В качестве универсального средства коррекции рабочей полосы частот в канале предложен метод, основанный на использовании компенсирующего фильтра, имеющего частотную характеристику обратную характеристике канала на корректируемой границе (обратный фильтр).

Для сейсмических датчиков типа СМ-3КВ и GS-20DX разработана математическая модель корректирующего фильтра, по результатам исследования которой были определены границы применимости данного метода коррекции. Основным критерием применимости метода в заданном частотном диапазоне является соотношение сигнал/шум (с/ш), допустимое при решении конкретной сейсмологической задачи. Экспериментальные исследования, проведенные с применением вибростенда типа ПСВУ, показали, что с помощью коррекции нижняя граница рабочей полосы частот геофона GS-20DX может быть сдвинута до частоты 1Гц при низких соотношениях с/ш и до частоты 0,5Гц при высоких соотношениях. В сейсмоприёмнике СМ-3КВ данная граница для указанных соотношений с/ш может быть сдвинута до частот 0,1Гц и 0,01Гц соответственно, что позволяет в определённых условиях использовать данный сейсмоприёмник в качестве широкополосного.

Для коррекции нижней границы рабочего диапазона частот широкополосных сейсмоприёмников автором предложен метод А.В.Рыкова, основанный на учёте гравитационных свойств их инерционной массы. Применение данного метода открывает возможность использовать эти сейсмоприёмники для регистрации сейсмических колебаний в области сверхдлинных периодов.

Результаты выполненных автором большого объёма модельных и экспериментальных исследований, включая анализ материалов сейсмических наблюдений, проведенных в полевых условиях, убедительно подтвердил правильность разработанных методов коррекции частотных характеристик каналов регистрации, сформированных на базе современных короткопериодных и широкополосных сейсмоприёмников, показали возможность применения этих методов в существующих системах сейсмического мониторинга.

**Научная новизна** полученных в работе результатов заключается:

в научно обоснованном выборе методов коррекции волновых форм сейсмических сигналов с использованием различных способов расширения рабочей полосы частот каналов регистрации;

в определении границ применимости разработанных методов коррекции на основе модельных и экспериментальных исследований;

в разработке экспериментально подтверждённых направлений использования предложенных методов коррекции для решения конкретных сейсмологических задач;

в разработке практических путей внедрения методов коррекции в техническое обеспечение существующих систем сейсмического мониторинга.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что разработанные методы коррекции волновых форм сейсмических сигналов внедрены и успешно используются на объектах ГФО «Михнево» и малобазовой сейсмической группы «Монаково». Кроме того, данные методы могут использоваться в существующих местных и региональных сейсмических сетях для решения широкого круга сейсмологических задач.

Таким образом, на основе анализа материалов автореферата можно заключить, что поставленные в диссертационной работе цели и задачи автором достигнуты. К недостаткам работы могут быть отнесены следующие.

1. Не представлены пути реализации в каналах регистрации «обратных фильтров», ни аналоговых, ни цифровых.

2. Не раскрыты суть и условия реализации численных методов коррекции.

3. Допускаемая автором возможность расширения рабочего диапазона частот короткопериодных сейсмических датчиков представляется неправомерной, поскольку их АЧХ открыта в область высоких частот. В качестве реальной верхней границы рабочего диапазона частот таких датчиков принимается частота, близкая к частоте первого резонанса

механической системы упругого подвеса инерционной массы. Например, у сейсмоприёмника СМ-ЗКВ первый резонанс наблюдается на частоте около 120Гц. Поэтому в качестве паспортного значения верхней границы частотного диапазона данного сейсмоприёмника принята частота 100Гц.

Приведенные замечания могут быть следствием ограниченности объёма представленных в автореферате материалов и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа Бесединой А. Н., судя по материалам автореферата, является законченной научной квалификационной работой, по своей актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждение ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Инженер отдела  
кандидат технических наук  
старший научный сотрудник

Сутулов Евгений Андреевич

107014, г. Москва, ул. Рубцовско-Дворцовая, д. 2

Тел. (499) 268-35-36; [Sutulov09@mail.ru](mailto:Sutulov09@mail.ru)

Федеральное казённое учреждение «Войсковая часть 46179» Министерства обороны Российской Федерации

Подпись Сутулова Е. А. заверяю:  
Начальник отдела кадров войсковой части 46179



Подлужный Д. Ю.

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

(Е. Сутулов)

## Отзыв

на автореферат диссертации А.Н.Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10

Диссертация А.Н. Бесединой посвящена исследованию возможностей расширения диапазона сейсмических датчиков средствами программной коррекции. Установлены критерии применимости программной коррекции для ряда известных короткопериодных регистраторов, широко используемых на практике в России. Эта техника позволяет расширить область использования рассматриваемых датчиков в сторону низких частот, что позволяет использовать датчики с скорректированными характеристиками в определенных условиях вместо широкополосных регистраторов, которые существенно дороже. Указано, что полезно применять программную коррекцию и для широкополосных регистраторов в специфических приложениях, таких как регистрация приливных деформаций и сверхнизкочастотных составляющих в микросейсмическом фоне, что совместно с гидрогеологическим мониторингом позволяет проводить оценки приливного отклика и вариации проницаемости трещиновато-пористых коллекторов. Расширение диапазона рабочих частот используемой измерительной аппаратуры позволяет точнее определять параметры очагов землетрясения и характеристик блоковой среды. Проведено численное исследование искажения сейсмического сигнала при распространении от очага к регистратору. Показано, что стандартные методики восстановления характеристик очага не подходят для анализа слабых динамических событий.

При разработке и адаптации методов программной коррекции обработан обширный фактический материал, включающий лабораторные испытания на вибростенде и результаты полигонных измерений сейсмических волн от реальных землетрясений и карьерных взрывов. Уделено внимание компенсации фазового сдвига в скорректированном сигнале.

Автореферат написан ясным научным языком, хорошо проиллюстрирован. В качестве замечания можно указать следующее: из текста автореферата не видно, каким образом определялись временные интервалы с квазистационарным и нестационарным режимами фильтрации при анализе приливного отклика среды. Также не поясняется, следует ли утверждение о том, что коллектор имеет трещиновато-пористый тип из анализа данных о приливном отклике, или это априорная информация.

Автореферат диссертации А.Н.Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» соответствует требованиям, предъявляемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а их автор достойна присвоения искомой степени.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Извеков Олег Ярославович, доцент, к.ф.-м.н.

Московский физико-технический институт, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

тел.сл.+7(495)4084827

ЗАБЕРЯЮ  
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
УЧЕНОГО СОВЕТА МФТИ  
Ю. И. СКАЛКО



 05.03.2014



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой А. Н.

«Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

При проведении сейсмического мониторинга существует ряд актуальных проблем, решение которых требует проведения измерений в широком диапазоне частот. При мониторинге особо ответственных объектов широко используются короткопериодные сейсмологические датчики, увеличение количества которых приводит к существенному удорожанию измерений. Одним из возможных решений данной проблемы является применение в качестве дополнительных датчиков геофонов с расширенным в длиннопериодную область частотным диапазоном, что существенно увеличивает их рабочие возможности.

Бесединой А. Н. отработан и адаптирован метод программной коррекции волновых форм с целью расширения рабочего диапазона частот сейсмических датчиков.

В рассматриваемой работе автором проведен большой объем лабораторных экспериментальных исследований, определены границы применимости метода для различных первичных преобразователей с учетом условий проведения измерений. Впервые в платформенных условиях на основе совместного анализа результатов сейсмических и гидрогеологических наблюдений проведено исследование приливного отклика флюидонасыщенного карбонатного коллектора трещинно-порогового типа, а также выполнена оценка вариации проницаемости.

Считаю, что диссертационная работа Бесединой Алины Николаевны по актуальности темы, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям ВАК Министерства образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает

присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Рецензент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Зав. лабораторией физико-технических  
геотехнологий ИГД СО РАН, д.т.н., проф.  
(Россия, Новосибирск, 630091,  
Красный проспект, 54, тел. (383)2170111)



А. А. Еременко

Подпись д.т.н., проф. Еременко Андрея Андреевича заверяю  
Ученый секретарь ИГД СО РАН, к.т.н.



А. Н. Дворникова

18.02.2014 г.

## ОТЗЫВ

### на автореферат диссертации А.Н. Бесединой «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

В диссертационной работе А.Н. Бесединой выполнено обоснование методики коррекции волновых форм для различных сейсмических датчиков с целью расширения возможностей сейсмических наблюдений. В работе А.Н. Бесединой сначала теоретически (по методу коррекции обратным фильтром), затем экспериментально (на нескольких типах сейсмических датчиков с различными частотными характеристиками) показана возможность численной коррекции для расширения их частотной характеристики. Выполнена оценка возможных ошибок, возникающих при расчете геомеханических параметров очагов слабых сейсмических событий, основным источником которых является поглощение высоких частот. Разработанный метод коррекции зарегистрированных сейсмограмм позволяет восстановить истинные значения движений грунта.

Разработанный метод коррекции волновых форм позволяет использовать широкополосные сейсмометры для анализа волновых процессов в области сверхнизких периодов, в частности, приливных деформаций земной коры, что продемонстрировано на примере совместного анализа данных сейсмических и гидрогеологических наблюдений на ГФО «Михнево». Наиболее интересным научным результатом, с нашей точки зрения, представляется совместный анализ сейсмических и гидрогеологических наблюдений в массиве, который в автореферате, к сожалению, выполнен только фрагментарно.

В целом, судя по автореферату, работа А.Н. Бесединой выполнена на высоком научном уровне, широко апробирована в статьях и докладах на совещаниях и конференциях. Единственный недостаток, по нашему мнению, заключается в несколько грубоватом названии работы – «Научное обоснование...». Вероятно, более целесообразным было бы название «Экспериментально-теоретическое...», «Экспериментально-методическое обоснование...» или что-то в этом роде.

Однако указанное не умаляет достоинств диссертационной работы А.Н. Бесединой. Работа выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор – А.Н. Беседина, достойна присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Главный научный сотрудник  
ГоИ КНЦ РАН, доктор техн. наук

А.В. Ловчиков

Старший научный сотрудник  
ГоИ КНЦ РАН, канд. техн. наук

М.М. Каган

ПОДПИСЬ *А.В. Ловчикова*  
*М.М. Кагана*  
По месту расставлены подписи  
Зав. канцелярией Горного института

*Ловчиков*

*06. марта 2014 г.*



Отзыв на автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук Бесединой А.Н. «Научное обоснование методов коррекции  
волновых форм при проведении сейсмических наблюдений»

Диссертационная работа А.Н.Бесединой посвящена различным аспектам проблемы расширения рабочего диапазона частот сейсмической аппаратуры как в низкочастотную, так и в высокочастотную область, и ее приложениям.

В первом разделе на основании анализа литературных данных автор рассматривает методы расширения частотного диапазона существующих сейсмических датчиков, а также выделяет конкретные области исследований, при которых расширение частотного диапазона регистрирующей аппаратуры может привести к существенному улучшению качества решения геофизической задачи. К таким направлениям, по мнению автора, относятся оценка магнитуды сейсмического события, исследование напряженно-деформированного состояния крупных блоковых структур и анализ гравитационных взаимодействий. Наибольший практический интерес представляет уточнение магнитуды при мониторинге слабых сейсмических событий, для расчета которой требуется знание спектральных характеристик сигнала в максимально широком диапазоне частот.

Во втором разделе излагается метод коррекции обратным фильтром, дано его математическое выражение. На основе анализа собственных шумов измерительных систем, а также уровня естественного микросейсмического фона в работе определены границы применимости корректирующих схем для геофонов GS-20DX и сейсмометра СМ-3КВ. Показано, что в условиях высокого уровня микросейсмического шума нижние граничные частоты коррекции составляют соответственно 1 Гц для GS-20DX и 0.1 Гц для СМ-3КВ.

Естественно предположить, что применение стандартной аппаратуры различного типа, изначально длинно- или короткопериодной, но с расширенным частотным диапазоном, позволит существенно расширить круг решаемых геофизических задач и приведет к значительной экономии средств, расходуемых на проведение масштабных исследований, что подтверждает актуальность выбранной тематики.

Для доказательства этого положения автор рассматривает ряд примеров, в которых возможная замена стандартной аппаратуры ее упрощенным вариантом не приводит к потере качества получаемых результатов. Так в третьем разделе описан процесс сравнения результатов регистрации датчика GS-20DX с расширенной частотной характеристикой и сейсмометров СМ-3КВ и REFTEK 151-30. Используются данные регистрации сигналов от источников различной природы на сейсмических полигонах в центральной части Восточно-Европейской платформы. Важным моментом является необходимость учета запаздывания скорректированного сигнала геофона относительно сигналов, полученных стандартной аппаратурой. Как показано в работе, после введения фазового фильтра геофоны с скорректированными частотными характеристиками пригодны для проведения сейсмического мониторинга в диапазоне частот 4-14 Гц.

В четвертом разделе подробно, на мой взгляд излишне, описан процесс расчета волновых форм от источника в модели Брюна, дальнейшее определение магнитуды событий по экспериментальным данным, и источники погрешностей в определении модельной магнитуды (сейсмического момента). Этот раздел крайне важен для сейсмологической практики и представляет самостоятельный интерес, однако в контексте заявленной темы автору он нужен, в основном, для подтверждения тезиса о том, что метод коррекции может быть полезен для расширения частотного диапазона датчика и включения высокочастотных компонент спектра сигнала в энергетические оценки.

Пятый раздел целиком посвящен приложениям обсуждаемого автором метода в области совместного анализа сейсмических и гидрогеологических наблюдений. Продемонстрирована возможность использования широкополосных сейсмографов в диапазоне сверхнизких периодов.

В заключение сформулированы основные результаты работы. Несомненным ее достоинством является экспериментальное доказательство возможности использования разнотипной аппаратуры в составе единого комплекса наблюдений при решении значительного числа геофизических задач после применения методов программной коррекции.

Судя по автореферату, автор выполнил большой объем исследований в областях геофизики, связанных с использованием различного рода измерительных систем. Многоплановость рассмотренных геофизических приложений, по-видимому, и не позволила автору добиться стройности и четкости изложения материала, что несколько затрудняет чтение автореферата. Но это является скорее свидетельством широкого научного кругозора автора, чем его недостатком.

Следует также заметить, что термин «коррекция волновой формы» охватывает значительно более широкий круг вопросов, чем тот, который заявлен диссертантом. К ним относится статическая коррекция, коррекция амплитуд за геометрическое расхождение и т.д. Поэтому в заглавии диссертации следовало бы уточнить, что рассматриваются методы программной, или аппаратурной коррекции, связанной с расширением частотного диапазона стандартной сейсмической аппаратуры.

В целом автореферат содержит все необходимые сведения о диссертационной работе. Судя по автореферату и списку публикаций, работа А.Н. Бесединой удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает искомой степени.

5 марта 2014 г.

Ризниченко Оксана Юрьевна, ведущий научный сотрудник Института физики Земли РАН

Москва, 123995, ул. Большая Грузинская 10, тел. (499)2549224.

Согласна на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

*Юдичев Ризниченко О.Ю. Подпись  
Зав. канцелярией*



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бесединой А. Н. «НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Сейсмологические наблюдения призваны решать широкий круг проблем, связанных с получением информации о состоянии крупных блоковых структур, для прогноза землетрясений, при мониторинге шахт и рудников, месторождений углеводородов, на объектах особо ответственных сооружений, для регистрации гравитационного взаимодействия в системе Земля-Луна-Солнце и др. Наиболее информативным инструментом являются широкополосные сейсмические датчики, однако их использование в России относительно невелико.

В этой связи цель диссертационной работы по обоснованию методов коррекции волновых форм для первичных преобразователей разных частотных диапазонов представляется актуальной.

Защищаемые научные положения находятся в рамках современных исследований методов программной коррекции волновых форм с возможностью расширения рабочего диапазона частот сейсмических датчиков.

Диссертантом разработан метод коррекции волновых форм для расширения рабочего диапазона частот сейсмических датчиков и адаптирован для широко используемых в России измерительных каналов. Изложенные в автореферате положения свидетельствуют о хорошем уровне подготовки и эрудиции автора диссертационной работы.

К замечаниям по содержанию автореферата можно отнести следующее:

1. При обосновании актуальности работы приводятся ссылки на необходимость измерений при сейсмическом мониторинге на шахтах и рудниках и месторождениях углеводородов, которые в дальнейшем изложении не находят своего воплощения в виде примеров реализации.
2. Имеются орфографические опечатки. На стр. 11 второй абзац сверху первая строка, последний абзац 5 строка снизу.

В целом, работа представляется выполненной на высоком научном уровне. В работе содержится решение задачи, имеющей существенное значение для сейсмических наблюдений. Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Алина Николаевна Беседина, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Рецензент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, дальнейшую их обработку.

Старший научный сотрудник,  
канд.техн.наук  
Институт проблем  
комплексного освоения недр РАН

Франтов Александр Евгеньевич

«...03...» марта 2014 г.  
111020, Москва, Е-20, Крюковский тупик, 4  
ИПКОН РАН  
Тел. 8 495 360 8948  
E-mail: 19fae48@rambler.ru  
моб. тел. 8 915 016 5073

Подпись кандт. техн. наук, старшего научного сотрудника ИПКОН РАН  
Франтова А.Е. удостоверяю.

Заведующая отделом кадров ИПКОН РАН



М.И. Островская

04.03.2014

## Отзыв на автореферат диссертации А.Н. Бесединой

«Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых

Диссертационная работа А.Н. Бесединой, в которой предлагается и детально проработан метод коррекции волновых форм обратным фильтром, является актуальной и, что очень важно, с практическим выходом по обеспечению сейсмологических исследований.

В работе рассматриваются границы применимости метода с учетом условий проведения измерений. Важной составной частью является моделирование собственных шумов измерительного канала с учетом основных источников шума, что было подтверждено экспериментальной оценкой уровня шумов в конкретном месте размещения аппаратуры. Автором показано, что нижнюю граничную частоту высокочастотных датчиков GS-20DX удалось понизить в 3 раза при регистрации сигналов от промышленных взрывов, а короткопериодных сейсмометров – в 50 раз при регистрации сейсмических колебаний с достаточно высоким соотношением сигнал/шум. Широкополосные датчики с расширенными частотными характеристиками могут использоваться при исследовании сверхдлиннопериодных движений. Подобные разработки могут активно применяться при проведении наблюдений в сейсмоактивных регионах. На территории России многие сейсмические станции не оборудованы широкополосными сейсмометрами, а использование короткопериодных датчиков с скорректированными частотными характеристиками позволит существенно расширить возможности сейсмической сети.

В виде замечания можно сформулировать следующее:

1. Во втором разделе автореферата диссертации моделируются шумы измерительного канала, состоящего из первичного преобразователя, усилителя и корректирующей схемы, что подразумевает представление корректирующего звена в приборном исполнении. Однако, подобные уточнения и схемы, используемые при моделировании, не приведены в автореферате.

Указанное замечание не умаляет достоинств диссертационной работы.

Результаты работы неоднократно докладывались на научных семинарах и конференциях, опубликованы в печати, в том числе 4 публикация в журнале из списка ВАК. Диссертация А.Н. Бесединой интересная и содержательная, является законченным

научным исследованием и соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – "геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых". Хочется пожелать автору успехов в развитии этого направления работ по части внедрения ее результатов в практику сейсмологических исследований.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Игорь Порфирьевич Башилов



Главный научный сотрудник ИФЗ РАН,

доктор технических наук,

123995, ГСП-5, Москва Д-242, Б. Грузинская ул., 10, стр. 1

Тел.: +7(499) 254-30-60

