

**«УТВЕРЖДАЮ»**



Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Геофизическая служба Российской академии наук  
член-корреспондент РАН А.А. Маловичко

« \_\_\_\_\_ » февраль 2014 г.

### **ОТЗЫВ**

**ведущей организации «Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизическая служба Российской академии наук»  
на диссертацию Бесединой Алины Николаевны «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»**

Диссертационная работа Бесединой А.Н. посвящена вопросам научного обоснования возможности математической коррекции волновых форм, полученных в ограниченных частотных диапазонах, с целью расширения возможностей сейсмических наблюдений при решении различных геофизических задач.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка используемой литературы из 132 наименований. Объем работы: 143 страницы машинописного текста и 67 рисунков.

Особенностью диссертационной работы является сочетание развития теоретических подходов и экспериментальной проверки с адаптацией их к конкретным условиям сейсмического мониторинга в платформенных районах, где задачи безопасности объектов народного хозяйства требуют тщательного анализа инструментально полученной информации, а число приборов, участвующих в наблюдении, как правило, не велико и имеет ограниченный диапазон частот. В каждом из этих направлений автором проведены исследования с целью выбора оптимального варианта при моделировании и обработке наблюдений. Все эти исследования выполнялись автором самостоятельно или при его активном участии.

Наиболее значимыми являются следующие исследования:

Автором показано, что с помощью метода программной коррекции волновых форм можно существенно расширить круг исследований, претельваемых широко распространенными короткопериодными датчиками, что полезно в условиях дефицита широкополосного оборудования. Экспериментально определены границы при-

менимости этого метода для различных преобразователей в различных условиях. В качестве практического примера предложено и апробировано использование модифицированных таким методом геофонов в малоапертурных группах, на наблюдениях которых базируются исследования слабой сейсмичности на Русской платформе. Особое значение имеют результаты модельных расчетов, позволившие оценить поправки к геомеханическим характеристикам слабых очагов, определяемым в рутинной практике по значениям энергетического класса и магнитуде по объемной волне Р. Еще одним важным исследованием для оценки свойств, а именно проницаемости, флюидонасыщенных коллекторов, и влияния на них внешних воздействий в виде лунных и солнечных приливов является оценка вариаций этого параметра, выполненная по данным широкополосных сейсмических и гидрогеологических наблюдений.

Все эти исследования выполнены автором на хорошем математическом уровне с пониманием физических основ исследуемых процессов.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что настоящие исследования научно обосновывают возможность расширения рабочего диапазона частот сейсмических датчиков за счет процедуры коррекции волновых форм в определенных автором границах адекватного использования методики. Расширяется ряд подходов, используемых для получения очаговых параметров сейсмических событий в районах слабой сейсмичности, с широким спектром объектов народного хозяйства, требующих высокого уровня обеспечения безопасности. Исследования автора по определению фильтрационных параметров среды по фазовым характеристикам приливного отклика скважин имеет практическое значение как один из методов оценки вариаций проницаемости коллекторов. Это может найти широкое применение в нефтегазовой области.

Во введении автором обосновывается актуальность темы и научная ценность работы, определяется объект и цели исследования, приводятся основные положения, вынесенные на защиту.

**В первом разделе, названном «Анализ сведений о методах коррекции и областях их применения»** дается обзор используемой сейсмической аппаратуры и основных методов расширения штатного диапазона сейсмометра, описываются состояние исследования в разных задачах, стоящих перед сейсмическим мониторингом в районах слабой сейсмичности, при наблюдениях микросейсмического фона в области низких частот и исследовании длиннопериодных процессов приливного отклика среды. Диссертант широко использует литературные источники по соответствующей тематике. В тексте главы упоминается более 100 отечественных и зарубежных работ. На основании анализа

опубликованных материалов автором делаются выводы, по своей сути содержащие задачи, которые будут решены в диссертационной работе.

**Во втором разделе «Метод коррекции частотной характеристики датчиков»** описываются теоретическая основа исследований, в том числе детально рассмотрены методы измерения шумовых характеристик сейсмометров и сейсмических каналов. Приведена математическая модель, соответствующая методу фильтрации с учетом схмотехнических особенностей, способствующих снижению электрических шумов. Определены технологические условия расположения корректирующей схемы.

Автором четко установлены границы применения метода коррекции обратным фильтром. Кривые амплитудных спектров сопоставлены с уровнями микросейсм по модели Петерсона и характеристическими сейсмическими событиями, записанными эталонными сейсмометрами. Все сопоставления произведены на высоком технологическом и методологическом уровне.

Достаточно детальное теоретическое обоснование метода коррекции АЧХ при учете гравитационной составляющей позволяет уверенно использовать короткопериодные сейсмометры для различных задач, в том числе для количественной оценки лунно-солнечных приливов.

**В третьем разделе «Апробация метода коррекции»** приводятся многочисленные примеры сопоставления результатов регистрации различных сейсмических явлений эталонными и скорректированными сейсмическими каналами. На примере записей промышленных взрывов, телесейсмических событий и микросейсмических шумов сопоставлены волновые формы и амплитудные спектры наблюдаемых сигналов. Учтены возможные фазовые искажения, проявляющиеся при применении частотной коррекции. Предложена и математически обоснована методика компенсации фазовых искажений. Теоретические ФЧХ корректно сопоставлены с результатами натуральных экспериментов. В итоге, на основании амплитудного спектра шумов, измеренных на станции «Михнево» и скорректированной АЧХ датчика СМЗ-КВ, четко определены частотные области достоверной регистрации сейсмических явлений.

Таким образом, материалы исследования, приведенные во втором и третьем разделах, полностью обосновывают два защищаемых положения

– метод коррекции волновых форм адаптирован для расширения рабочего диапазона частот различных измерительных каналов, широко используемых в России при проведении сейсмологических наблюдений;

– экспериментально установлены границы применимости метода программной коррекции для короткопериодных датчиков и высокочастотных геофонов GS-20DX с учетом с учетом условий проведения измерений.

**Раздел 4** рассматриваемой работы – «**Мониторинг слабой сейсмичности**» посвящен моделированию излучения сейсмического источника с целью извлечения из записей слабых сейсмических событий информации об очаговых процессах при применении методов коррекции волновых форм.

В первой части раздела приведены формулы для расчета волновых форм на различных расстояниях от модельного источника с заданным значением сейсмического момента  $M_0$ . Установлена зависимость диаметра источника от сейсмического момента  $M_0$  через угловую частоту  $f_0$  на основе модели Брюна по результатам наблюдений (от  $M_w$  -4 до 4, или  $M_0$  от  $10^2$  до  $10^{14}$ ).

Во второй части показано, что эффект ограниченной полосы сейсмометра наиболее сильно проявляется при определении магнитуд слабых событий на малых расстояниях от очага.

Расчеты показали, что на ближних расстояниях магнитуды, вычисленные непосредственно по максимальной скорости смещения грунта  $V_{max}$ , даже превышают значение  $M_w$ . По мере увеличения расстояния магнитуда, определенная по  $V_{max}$ , становится все более недооцененной по сравнению с моментной. В ближней зоне землетрясений с магнитудой больше 2 отношение  $E_s/M_0$  практически не зависит от расстояний

Установлена зависимость эффективности излучения от масштаба событий. Построены локальные шкалы магнитуд для «Михнево» и «Монаково», определены поправки для локальной шкалы магнитуд станции «Михнево» применительно к слабым событиям с  $M < 2$ .

Проведено сравнение магнитуды, определенной по группе, и магнитуды, рассчитанной аналитически. На малых расстояниях от источника отмечается завышенное значение магнитуды, определенной по группе. При этом наблюдается общий тренд снижения «переоценки» магнитуды с увеличением  $m_b$ .

Апробация метода коррекции также проводилась для исследования параметров микросейсмического фона в низкочастотной области на станции ГФО «Михнево», оборудованной широкополосным сейсмометром КСЭШ-Р, для оценки характеристик блоковой среды.

Выделены импульсные колебания с характерными периодами 1-1.2 мин, преимущественно ассиметричной формы. Период повторения составляет 5-7 мин. Подобные сигналы могут быть связаны с блоковым движением земной коры.

Таким образом, выносимое на защиту положение, касающееся 4-го раздела «Неточности, возникающие при оценке характеристик очагов слабых сейсмических событий, связаны с эффектом радикального искажения с расстоянием высокочастотной части спектра излучаемых колебаний и с пересчетом определяемых инструментально магнитуд  $m_b$  в  $M_w$ » раскрыто полностью.

**В пятом разделе** рецензируемой работы – «Исследование проявления солнечно-лунных приливов при совместном анализе сейсмических и гидрологических данных» автор обосновывает возможность и предлагает использовать в платформенных асейсмических областях, где деформографические измерения довольно редки, для контроля приливных деформаций данные сейсмологических и гидрологических наблюдений. При этом в качестве зондирующего сигнала для диагностики флюидонасыщенного коллектора предлагается использовать приливные компоненты, выделяемые в смещении грунта и уровне подземных вод.

Автор приводит результаты определения гидрологических параметров коллекторов в пределах осадочного чехла, приуроченного к южной окраине Московской синеклизы на территории расположения Геофизической обсерватории «Михнево». Для решения этой задачи используются сейсмические записи широкополосным сейсмометром STS-2 и прецизионные наблюдения за уровнем подземных вод в скважине датчиком LMP 308i.

В этом разделе представлены результаты исследования, показывающие насколько автор владеет различными методами физико-математического представления среды для решения такой прикладной задачи, как определение диапазона вариаций проницаемости карбонатного коллектора трещинно-порового типа. Эти исследования могут быть проведены с использованием откорректированных сейсмических записей по предложенному в предыдущих главах алгоритму.

Следует отметить детальный подход к инструментальному обеспечению исследования: учтены барометрические вариации; точность измерителей и параметры регистрации соответствуют требованиям методики. Комплексный анализ вариаций позволил выделить основные гармонические составляющие в приливном воздействии и подтвердить их теоретическими расчетами. Аккуратно учтены также сторонние факторы, такие как температурные вариации и сильные телесеismicические явления.

По результатам анализа годовых циклов автором показано, что волны лунного типа менее зависимы от влияния внешних факторов и поэтому более устойчивы и могут быть использованы в качестве зондирующих сигналов для контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Оценка фазового сдвига между приливными компонентами в уровне подземных вод и смещении грунта для волны лунного типа  $M_2$  дала возможность автору впервые определить диапазон вариаций проницаемости флюидонасыщенного карбонатного коллектора трещинно-порового типа.

Полученные результаты имеют практическое значение, а предложенный автором метод может быть рекомендован к применению на практике для решения подобного рода задач.

В этом разделе полностью обосновывается четвертое положение, вынесенное на защиту: «Совместная обработка данных сейсмологических и гидрологических наблюдений позволяет выделить временные интервалы, пригодные для корректного определения вариаций фильтрационных параметров коллектора по фазовым характеристикам приливного отклика скважин.

Следует положительно отметить четкость изложения выводов к каждому разделу, а также краткость и четкость текста заключения в целом ко всей работе.

Исследования, проведенные Бесединой А.И. изложенные в диссертационной работе безусловно должны быть оценены положительно.

Несмотря на это имеется ряд незначительных замечаний:

1. Некоторые рисунки требуют небольших дополнений на самом рисунке или в подрисуночных подписях: рис. 1.4 (стр. 20) плохо вычерчен; на стр. 50 диссертации на рис. 2.14 и рис. 2.15 новая фазовая характеристика показана красной линией, а в тексте написано, что пунктирной, «пунктирная линия» на этих рисунках отсутствует, что затрудняет оценку погрешности приведенных результатов; на стр. 123 в подрисуночных подписях к рис. 5.7 и рис. 5.8 не описано, что значит а и б;
2. В тексте диссертации нет сведений об идентичности (повторяемости) характеристик сейсмометров и сейсмических каналов. При детальном анализе частотных характеристик подобные оценки крайне желательны.
3. В автореферате при изложении содержания четвертого раздела не приведена частота, до которой скорректирована характеристика СМЗ-КВ, а ведь именно эта величина определила полноту оценки магнитуды.
4. В тексте и на рисунках не указаны доверительные интервалы (погрешности) оценок полученных значений разностей расчетных магнитуд  $m_b$ ,  $M_E$  и моментной магнитуды.
5. Необходимо было бы привести пример аппроксимации спектра по модели Брюна (с отметкой «полки») для землетрясений разных магнитуд, зарегистрированных приборами геофоном GS-20DX и сейсмометром СМ-ЗКВ.
6. Имеются отдельные замечания, касающиеся ссылок автора на источники. Так, в литературе: Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т. 1, 2. М.: Мир, 1983 в явном виде не содержатся уравнения формул (4.2), (4.6), (4.10), на которые неоднократно ссылается автор в диссертации. Автор использует модифицированный вид этой формулы, что, на наш взгляд, требует дополнительного пояснения в тексте.

Автореферат диссертации отражает ее основное содержание и структуру.

Указанные замечания не снижают общий высокий научный уровень работы, автора отличает высокий профессионализм и глубокое знание темы. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а

ее автор Беседина А.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Результаты работы Бесединой А.Н. могут быть рекомендованы для практического использования в организациях РАН и других ведомствах, ведущих исследования в области сейсмологического мониторинга в районах слабой сейсмичности.

Диссертация Бесединой А.Н. рассмотрена на научном семинаре ФБГУН Геофизическая служба Российской академии наук и получила положительную оценку.

Ведущий научный сотрудник ГС РАН

кандидат физ.-мат. наук

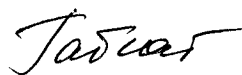
Зав. лабораторией ГС РАН


кандидат физ.-мат. наук

Научный сотрудник ГС РАН

кандидат технических наук

 Л.С. Чепкунас

 И.П. Габсатарова

 П.Г. Бутырин

Подпись руки ведущего научного сотрудника отдела СОД, к.ф.-м.н.


Чепкунас Любимы Семеновны удостоверяю.

Начальник ОК ГС РАН  Е.В. Зюликова

27 февраля 2014 года

Подпись руки заведующего лабораторией ИРС, к.ф.-м.н.

Габсатаровой Ирины Петровны удостоверяю.

Начальник ОК ГС РАН  Е.В. Зюликова

27 февраля 2014 года

Подпись руки научного сотрудника сектора СМ УР, к.т.н.

Бутырина Павла Генриховича удостоверяю.

Начальник ОК ГС РАН  Е.В. Зюликова

27 февраля 2014 года