

ОТЗЫВ

оппонента на диссертацию Азарова Антона Витальевича на тему «**Моделирование поверхностных волн и многоканальная фильтрация сейсмических данных на основе частотно-временных представлений и проекционных методов**», представленную на соискание степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы исследования. Проблема шума на сейсмических данных является актуальной и важной в сейсмологии и в сейсморазведке. Шум производится источниками различной природы и оказывает негативное влияние на качество и возможность правильной интерпретации сейсмических данных. Поэтому разработка эффективных методов фильтрации шума является неотъемлемой частью сейсмических исследований для улучшения качества сейсмических данных и повышения достоверности результатов исследований. Несмотря на то, что сегодня в геофизике существует много разнообразных методов фильтрации и подавления шума, ни один из таких методов не является универсальным и не может гарантировать полного решения данной проблемы. Поэтому тема исследований представленной диссертации, несомненно, является актуальной.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации 118 страниц; в работе представлено 33 рисунка, 5 таблиц; библиографический список включает 122 наименования.

Во введении дано обоснование актуальности работы, поставлена её цель, представлены основные задачи и методы исследования, научные результаты, выносимые на защиту, и их новизна. Приведено обоснование теоретической и практической значимости полученных результатов, показана апробация результатов исследования в виде выступлений на ряде конференций и публикации списка научных работ в рецензируемых изданиях. Описан личный вклад автора.

Первая глава посвящена обзору существующих методов фильтрации сейсмического шума и усиления полезного сигнала в данных наземной сейсморазведки и микросейсмического мониторинга. Приведён очень подробный литературный обзор, описаны недостатки каждого из методов, а также основные проблемы, которые возникают при обработке данных с их использованием. На основе выполненного обзора был определён круг вопросов, интересных для изучения, и были сформированы задачи для диссертационного исследования.

Во второй главе приведено описание метода моделирования поверхностных волн в данных сейсморазведки и способ его использования для

фильтрации поверхностных волн-помех. Представлена схема применения разработанного метода и результаты его тестирования для фильтрации поверхностных волн на нескольких примерах синтетических данных наземной сейсморазведки и пассивного микросейсмического мониторинга. Произведено сравнение результатов применения разработанного метода с результатами применения классических f - k и t - p методов, которое показывает эффективность разработанного метода.

В третьей главе приведено описание многоканального метода фильтрации данных микросейсмического мониторинга наземными системами наблюдения (так называемого проекционного фильтра), который позволяет подавлять сигналы, расположенные вне выделенной области геологической среды. Представлена подробная теория метода, а также примеры его успешного применения на синтетических и так называемых «полусинтетических» данных, смоделированных на основе сигналов реальных наблюдений.

Четвертая глава посвящена описанию двух разработанных программных комплексов. Первый комплекс «MSM DatProc» предназначен для обработки данных микросейсмического мониторинга наземными системами наблюдения. Второй комплекс «PF Seism» предназначен для подавления поверхностных шумов в данных наземной сейсморазведки. Приведены результаты тестирования обоих комплексов на синтетических и реальных данных. Стоит выделить наиболее важные результаты: «MSM DatProc» позволяет локализовать сейсмические источники в условиях высокого уровня шума (синтетические данные), а «PF Seism» позволяет эффективно подавлять поверхностные волны по сравнению с полосовой фильтрацией и классической f - k фильтрацией (реальные данные).

В заключении сформулированы результаты проведённого исследования.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достигается использованием известных моделей теории распространения сейсмических волн, теоретически обоснованных численных методов моделирования волновых полей и обработки сейсмических сигналов, большим числом примеров тестирования разработанных методов на синтетических данных, использованием полевых данных для верификации алгоритмов. Результаты диссертации опубликованы в 25 научных работах, из которых 3 - в журналах, входящих в квартиль Q1 в области геофизики, 5 - в научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, 7 - в научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 5 - в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК. Всё это также подтверждает достоверность исследований.

Научная новизна работы заключается в следующих разработках: методе моделирования поверхностных волн, позволяющем проводить последующую фильтрацию поверхностных волн из сейсмических данных и данных микросейсмического мониторинга; многоканальном методе фильтрации данных наземного микросейсмического мониторинга, а также в комплексах программ, написанных для ЭВМ. В разработанном методе моделирования поверхностных волн в данных наземной сейсморазведки была предложена модель распространения поверхностных волн и последовательность операций, позволяющая находить неизвестные параметры такой модели. В многоканальном методе фильтрации данных был предложен подход построения пространства решений распространения сейсмических волн от источников из заданной области геологической среды, имеющих различные механизмы, с последующим проецированием на это пространство многоканальных данных наземного микросейсмического мониторинга. Комплексы программ для ЭВМ являются оригинальными программными продуктами, созданными на основе разработанных в рамках диссертации научных методов.

Теоретическая значимость работы заключается в предложенном новом подходе к моделированию поверхностных волн. На его основе, как и было показано работе, возможно разрабатывать новые методы подавления поверхностных волн-помех в данных наземной сейсморазведки. Также в работе даны теоретические обоснования возможности усиления и выделения сигналов в данных с низким соотношением сигнал/шум, от источников из выделенной области пространства, которые имеют различные механизмы излучения.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения её результатов в сейсморазведке, в задачах дистанционного контроля разработки полезных ископаемых сейсмическими методами, в задачах микросейсмического мониторинга. Предложенные методы позволяют эффективно решать задачу подавления шума в сейсмических данных. Отдельно стоит отметить, что в рамках работы были созданы программные комплексы для ЭВМ, обеспечивающие возможность практического использования разработанных подходов.

Замечания по диссертации.

1. Считаю, что результаты, выносимые на защиту, должны быть сформулированы более краткой и информативной форме.
2. В формуле на с. 36 используется обозначение $a_k(t)$, тогда как в сопутствующем тексте используется $u_k(t)$.
3. В формуле 2.7 стоило бы пояснить вид функции $Q(f, \tau-x/u)$ и почему аргументы в функции расположены именно таким образом.

4. Из текста работы непонятно, когда используется формула (2.10), а когда (2.12) для подбора групповых скоростей.
5. В п.2.4.1. и п. 2.4.3 представлены хорошие примеры тестирования работы алгоритма, но не указано, в какой программе проводился расчёт сейсмограмм, также в п. 2.4.1 не указано, какая модель среды использовалась. Аналогично, в главе 3, не указана программа расчёта сейсмограмм.
6. На с. 47 отмечено, что для более полного подавления поверхностно-волновых помех в данных сейсморазведки необходимо повторять рассмотренную методику моделирования поверхностной волны несколько раз (2-3 раза) для каждого значения частоты (фактически, это означает учёт разных мод поверхностной волны). Однако, из текста работы остаётся неясным, сколько раз была повторена методика в рассмотренных примерах в главах 2 и 4.
7. На рисунках 2.4, 2.5 в диссертации не приведены оси координат. Также следовало бы указать вертикальные и горизонтальные размеры модели в метрах, и выделить область на рис.2.4 а, соответствующую изображённому на рис.2.4 б.
8. В тексте работы присутствует набор неточностей с литературными источниками и ссылками на них. Так, отсутствуют ссылки на источники [29] и [76], а [114] упоминается раньше [111], несмотря на порядок выбранной нумерации. На с. 64 представлена ссылка на работу [ForghaniArani, 2013] без указания номера; в списке литературы перечислены две работы данного автора, но от 2012 и 2014 гг. На с. 83 указана ссылка [Neidell & Taner, 1971], литературный источник которой отсутствует в списке.
9. В главе 3, с. 76, в одном из примеров работы проекционного фильтра утверждается, что «S-волна, возбужденная вторым источником, который был расположен внутри выделенной области, подавилась не полностью». Не совсем понятно, что имелось ввиду, т.к. второй источник расположен внутри целевой области, сигналы от которой подавлять не надо, а сигналы от остальных источников были, в общем, подавлены, за исключением того, что появились артефакты из-за алиасинга.
10. В главе 3, п.3.4 стоило бы подробнее описать, зачем нужен смещённый источник. Из текста это не очень понятно.
11. В тексте работы отсутствует заголовок параграфа 4.1.1.
12. В тексте работы присутствуют несколько неточностей в нумерации формул. Так, формула 4.7 указана дважды, а формулы (4.4), на которую идёт ссылка на с. 97, не существует. На с. 97, судя по смыслу, вместо формулы (4.4) подразумевалась формула (4.1).

13. На с. 97 указан второй алгоритм в описании модуля 5 из параграфа 4.1, однако, в модуле 5 представлено описание лишь одного алгоритма, который, по-видимому, и подразумевается на с. 97.
14. В параграфе 4.1.3 представлено сравнение результатов локализации микросейсмических событий по реальным данным с использованием различных методов (рис.4.3). Результаты разные и не ясно, какой из них более достоверный, при этом приводится единственное пояснение: «при использовании проекционного фильтра форма локализации сейсмической энергии на плоскости в большей степени схожа с сейсмическими событиями, которые наблюдаются при локации перфорационных взрывов из рисунка 4.5 б» (т.е. там, где результат получился однозначным). Считаю, что стоило обсудить более точный критерий, по которому можно было бы судить о достоверности результата.
15. Рис.4.8 ж и рис.4.8 з приводятся без пояснений в тексте. Стоило бы дать пояснения и указать на обозначения, используемые на рис.4.8 ж.
16. Представлены две таблицы под номером 4.1.
17. В тексте работы присутствуют и иные неточности, стилистические, грамматические и пунктуационные ошибки.

Тем не менее, отмеченные недостатки носят в основном технический и рекомендательный характер, поэтому не влияют на общую положительную оценку выполненной работы.

Заключение по диссертации. Диссертация Азарова Антона Витальевича «Моделирование поверхностных волн и многоканальная фильтрация сейсмических данных на основе частотно-временных представлений и проекционных методов», является самостоятельной, законченной научно-квалифицированной работой, в которой на основании выполненных исследований получены:


- 1) решения задачи моделирования поверхностных волн в данных наземной сейсморазведки;
- 2) решения задачи подавления шума и усиления полезного сигнала в данных наземной сейсморазведки и микросейсмического мониторинга;
- 3) решения по практической реализации разработанных алгоритмов в виде комплекса программ для ЭВМ.

Диссертация Азарова Антона Витальевича «Моделирование поверхностных волн и многоканальная фильтрация сейсмических данных на основе частотно-временных представлений и проекционных методов» соответствует паспорту специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и отвечает требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от

24.09.2013 г. №842, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Оппонент: Пономаренко Андрей Валерьевич, кандидат физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» (1.6.9 «Геофизика»), старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра физики Земли. Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9. Тел.: +7 (812) 328-20-00, e-mail: a.v.ponomarenko@spbu.ru.

Согласен на использование представленных мною персональных данных и их дальнейшую обработку.

 Пономаренко Андрей Валерьевич

Дата 22.03.2024

Подпись оппонента заверяю

И.о. начальника
отдела кадров №3
И.И. Константинова



Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.html>

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей