

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента**

**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата**

**технических наук Матвеева Шикиты Михайловича на тему:**

**«Технологии повышения устойчивости решения различных алгоритмов  
деконволюции» по специальности 1.6.9. Геофизика**

**Актуальность избранной темы** определяется двумя очень важными моментами. Первый относится к возрождению лидерских позиций, которые занимали российские исследователи в создании методов обработки сейсмических данных на протяжении 60-80-х годов двадцатого столетия. Второй связан с необходимостью создания российских программных продуктов, способных конкурировать по уровню с лучшими мировыми аналогами. С этих позиций алгоритмы деконволюции представляются интересным объектом исследования. Они имеют большую историю развития и обладают исключительной важностью для процессов обработки, а при их реализации используются различные подходы. Исследуя такие объекты, необходимо не только тщательно выделять и изучать их особенности, но и анализировать степень влияния применяемых алгоритмов на качество получаемых геологических построений.

Широта и сложность алгоритмов деконволюции требовала от Матвеева Н.М. значительной работы по изучению их развития с анализом моделей и особенностей реализаций. Им исследовались различные подходы, реализующие алгоритмы фильтрации, начиная с 40-х годов двадцатого столетия. Анализ используемых предположений показал, что они существенно влияют на эффективность алгоритмов, в частности, минимально-фазовость импульса источника. Одновременно автор продемонстрировал, как развитие алгоритмов расширяло возможности применения методов фильтрации при решении практических задач. Так, использование расширенной модели сейсмической трассы, позволяющей

получить обоснованные и статистически стабильные оценки обратных операторов, позволяет существенно повысить качество данных в условиях реального сейсмического эксперимента и сложного строения верхней части сейсмогеологического разреза. Особое внимание автор уделил кепстральному анализу. Его приложения в методах обработки сейсмических данных почти отсутствовали в советской и российской литературе.

Выполненный обзор позволил Матвееву Н.М. сформулировать **актуальные задачи**, требующие решения на современном уровне развития алгоритмов деконволюции. В частности, показано, что стандартные поверхностно-согласованные алгоритмы, реализованные в импортных пакетах, не учитывают случайно распределенную шумовую составляющую, которая неизбежно присутствует в реальных наборах данных, несмотря на предварительное шумоподавление. Такая составляющая может заметно ухудшать качество оценок при спектральной декомпозиции. Поэтому применение в алгоритмах поверхностно-согласованной деконволюции робастных методов статистического оценивания, обладающих устойчивостью к выбросам и шумам различного рода, является актуальной задачей.

Следствием является вторая глава, где подробно рассматриваются теоретические вопросы деконволюции с анализом используемых предположений и их последствий. Таким образом обосновывается возможность использования автокорреляционной функции (АКФ) трассы вместо неизвестной АКФ сигнатуры источника. Выполнен подробный анализ параметров деконволюции и способов их определения. Значительный раздел посвящен кепстральному анализу, где приводятся теоретические результаты и показываются его прикладные возможности. Здесь же подробно рассматриваются способы, направленные на повышение вычислительной устойчивости определяемых значений кепстров (экспоненциальное взвешивание и устранение аляйсинг эффекта в комплексном кепстре) и повышение разрешающей способности кепстрального анализа. Исследования

позволили автору разработать программы по вычислению действительного и комплексного кепстра, которые применялись на уровне обработки модельных и реальных данных.

В главе 3 представлены результаты тестирования алгоритмов поверхностно-согласованной деконволюции на модельных данных. Сопоставление выполнялось на уровне применения трех типов алгоритмов: упрощенный, стандартный (реализованный в основном в импортных пакетах) и робастный (предлагаемый автором). Они продемонстрировали преимущества предлагаемого робастного подхода к поверхностно-согласованной деконволюции и показали важность детального изучения работы существующих и предлагаемых алгоритмов на модельных данных, основой для которых являются модели реальных геологических объектов. При этом автор справедливо замечает, что им выполнен только первый шаг «в изучении робастных техник деконволюции». В дальнейшем требуется изучение эффективности применения различных робастных алгоритмов, в частности, в присутствии коррелированных помех. Значимым является эксперимент с высокоамплитудными низкочастотными помехами. Существенным с прикладной точки зрения представляется тестирование алгоритмов деконволюции на реальных данных для развития методических рекомендаций по выполнению специальной предобработки данных перед расчетом операторов деконволюции. Соответствующие методические рекомендации способствуют осознанию важности максимальной очистки сейсмограмм от помех для минимизации шумового смещения спектральной оценки данных и расчета более эффективных операторов деконволюции в области низких частот. Все полученные результаты сопровождаются выводами, которые подтверждают высокую **степень обоснованности положений, выносимых на защиту.**

В заключительной главе работы рассмотрены предлагаемые алгоритмы гомоморфной деконволюции. Выполнено акустическое моделирование данных для одномерной скоростной и плотностной модели, состоящей из 10

слоев, параметры которых соответствовали конкретной геологической среде с импульсом источника в форме Берлаге и нулевой компонентой аддитивного случайного шума. По результатам моделирования рассчитаны значения действительного и комплексного кепстра. Их анализ показал, что конфигурация действительного кепстра трассы обуславливает большую перспективность его использования для прямой оценки отклика (амплитудного) источника, по сравнению с комплексным кепстром. Результаты сравнения нескольких подходов к оценке импульса источника, основанных на гомоморфной деконволюции, позволили определить оптимальную схему применения действительного кепстра для решения этой задачи. Такая схема обеспечивает сочетание преимуществ обеих техник: более точную оценку импульса в кепстральной области и согласованность с критерием оптимальности по Винеру.

Дальнейшее исследование алгоритмов гомоморфной деконволюции на классической двумерной модели, предложенной Отисом и Смитом, показало, что изучаемые виды гомоморфной деконволюции обеспечивают близость к результатам, получаемым на основе деконволюции сжатия. Это позволило автору сделать вывод о возможности их практического применения в обработке реальных сейсмических данных. Соответствующее исследование было успешно выполнено на материалах, полученных на территории лицензионного участка, расположенного в пределах Ханты-Мансийского автономного округа.

Приведенные Матвеевым Н.М. результаты по модельным и реальным данным подтверждают **научные выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации.** Они также свидетельствуют об их **достоверности и новизне.**

По тексту диссертационной работы имеются следующие замечания.

1). При формировании модельных данных в разделе 3.1.2 отсутствует информация о вариациях в характеристиках источников и приемников, что

должно отвечать модели поверхностно-согласованной деконволюции. Также используется упрощенный тип помех (белый шум).

2). Используемая для тестирования алгоритмов гомоморфной деконволюции классическая модель, предложенная Отисом и Смитом, является слишком простой. Она не учитывает особенности реального эксперимента, в частности, наличие случайных и регулярных помех.

3). Предлагаемый на странице 57 алгоритм развертки фазы является не совсем корректным, т.к. не учитывает наличие в фазовом спектре скачков на величину «пи» в точках нуля амплитудного спектра.

4). При рассмотрении свойств кепстров не указано, что было получено ранее, а что автором.

5). В тексте имеются неточности. В частности, на стр.34 в выводе *«для теоретического обоснования деконволюции»* указывается АКФ сейсмограммы. Хотя доказательство относилось к АКФ трассы. На стр.35 используется англоязычное название Toeplitz (по фамилии немецкого математика Otto Toeplitz). Хотя в русскоязычной математической литературе имеется устойчивое название «матрица Тёплица». На стр.38 в выражении (9) потеряна импульсная характеристика среды, относящаяся к общей глубинной точке, что приводит к несоответствиям последующих выражений (10) и (11).

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9. Геофизика (технические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Матвеев Пикита Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. Геофизика.

**Официальный оппонент:**

доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук»

**МИТРОФАНОВ Георгий Михайлович**

02.10.2025 г.

Контактные данные:

тел.:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 3. Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН, лаборатория динамических проблем сейсмологии.

Тел.: +7 (383) 330-28-07; E-mail: [ipgg@ipgg.sbras.ru](mailto:ipgg@ipgg.sbras.ru)

Подпись сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук» Г.М. Митрофанова удостоверяю:

Заведующий отделом к  
02.10.2025 г.

Попп Ю.А.

