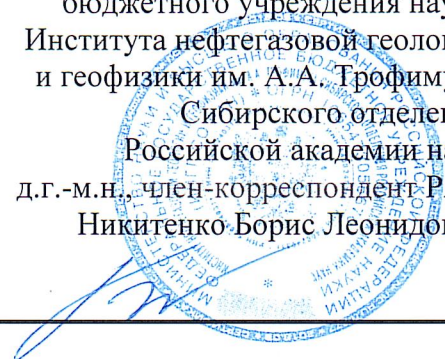


УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения
Российской академии наук
д.г.-м.н., член-корреспондент РАН
Никитенко Борис Леонидович



13 марта 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация **«Алгоритм коррекции сигналов площадной сейсморазведки методом факторного разложения с введением псевдоаприорной информации»** по специальности **1.6.9 – «Геофизика»** на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук выполнена в лаборатории динамических проблем сейсмики №572 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Горевячев Никита Алексеевич работал в лаборатории динамических проблем сейсмики ИНГГ СО РАН в должности младшего научного сотрудника с 2018 г. и научного сотрудника с 2022 г. по настоящее время.

Горевячев Никита Алексеевич, 1994 года рождения, гражданин России, окончил геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета (в настоящее время – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», НГУ) по направлению 05.03.01 «Геология» по профилю «Геофизика» в 2015 г., а в 2017 г. получил степень магистра по направлению 05.04.01 «Геология» по профилю «Геофизические методы исследования земной коры».

В 2020 г. Горевячев Н. А. окончил очную аспирантуру ИНГГ СО РАН по специальности 05.06.01 «Науки о Земле» по профилю 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Диплом об окончании аспирантуры выдан в 2020 г. ИНГГ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Митрофанов Георгий Михайлович, главный научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмики ИНГГ СО РАН.

Текст диссертации проверен в системе «Антиплагиат. Эксперт»: оригинальность 94,13% с учетом корректного самоцитирования.

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Учёного совета ИНГГ СО РАН 13 марта 2025 г., протокол № 3.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:**Члены Ученого совета:**

чл.-корр. РАН В.Н. Глинских, академик РАН М.И. Эпов, чл.-корр. РАН Д.В. Метелкин, чл.-корр. РАН Л.М. Бурштейн, чл.-корр. РАН Б.Л. Шурыгин, д.ф.-м.н. Е.Ю. Антонов, д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.т.н. Ю.И. Колесников, д.ф.-м.н. М.И. Протасов, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.т.н. К.В. Сухорукова, д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев, к.ф.-м.н. А.А. Дучков, д.т.н. В.М. Грузнов, к.г.-м.н. И.А. Губин, д.г.-м.н. О.С. Дзюба, д.г.-м.н. И.В. Коровников, к.г.-м.н. М.А. Фомин, д.э.н. И.В. Филимонова, д.г.-м.н. Н.В. Сенников, д.т.н. А.Г. Плавник, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, д.ф.-м.н. Ю.П. Стефанов, д.г.-м.н. Н.К. Лебедева, д.г.-м.н. В.В. Лапковский, д.ф.-м.н. В.В. Лисица, к.г.-м.н. Б.М. Попов, к.г.-м.н. А.В. Левичева.

Сотрудники ИНГГ СО РАН:

д.г.-м.н. З.Н. Гнибиденко, д.г.-м.н. Е.А. Мельник, д.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.г.-м.н. Н.Н. Неведрова, д.ф.-м.н. В.В. Плоткин, к.ф.-м.н. А.М. Айзенберг, к.г.-м.н. А.В. Арефьев, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская, к.г.-м.н. П.Г. Дядьков, к.г.-м.н. А.В. Еделев, к.ф.-м.н. А.В. Мариненко, к.г.-м.н. В.В. Оленченко, к.т.н. В.В. Потапов, к.г.-м.н. О.П. Саева, к.г.-м.н. Ю.К. Советов, к.ф.-м.н. Т.А. Ступина, к.г.-м.н. М.О. Федорович, к.г.-м.н. Е.В. Цибизова, к.ф.-м.н. Е.И. Штанько, к.ф.-м.н. А.В. Яблоков, к.ф.-м.н. С.В. Яскевич, О.О. Асанов, П.А. Дергач, Л.Ю. Епонешникова, В.В. Карстен, А.А. Ковалев, А.А. Лапковская, П.С. Осипова, М.И. Фокин, Г.С. Чернышов.

ВОПРОСЫ ЗАДАЛИ:

д.т.н. Ю.И. Колесников, д.ф.-м.н. М.И. Протасов, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев, к.ф.-м.н. А.М. Айзенберг, к.ф.-м.н. А.А. Дучков, к.г.-м.н. Ю.К. Советов, В.В. Карстен.

ВЫСТУПИЛИ:

д.т.н. Ю.И. Колесников, д.г.-м.н. Е.А. Мельник, д.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.ф.-м.н. М.И. Протасов, д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев, к.ф.-м.н. А.М. Айзенберг, к.ф.-м.н. А.А. Дучков.

С диссертацией ознакомились специалисты-эксперты: д.ф.-м.н., М.И. Протасов, д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев, д.т.н. Ю.И. Колесников, д.г.-м.н. Е.А. Мельник.

Члены экспертной комиссии дали **положительную оценку** диссертационной работе Горевячева Н.А.

По итогам рассмотрения диссертационного исследования «Алгоритм коррекции сигналов площадной сейсморазведки методом факторного разложения по данным площадной сейсморазведки» по специальности 1.6.9 – геофизика принято следующее **заключение:**

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация выполнена на высоком профессиональном уровне с использованием современных методов сейсморазведки, а также анализа реальных наземных и морских инженерных данных. Результаты исследования обоснованы, обладают новизной и практической значимостью.

Актуальность работы определяется необходимостью развития программно-алгоритмической базы метода факторного разложения (декомпозиции) в связи с ростом объема данных в современной сейсморазведке (высокоплотная сейсморазведка). Традиционные итерационные методы, разработанные еще в 70-х годах, не обеспечивают необходимой точности, особенно при работе с длиннопериодными вариациями в данных в условиях поверхностно-согласованной постановки задач.

Современные вычислительные мощности позволяют обрабатывать большие объемы данных, что делает перспективным использование алгоритмов, основанных на прямом решении системы линейных уравнений. Такие методы с высокой точностью обеспечивают решение за счёт обращения матрицы системы, что особенно важно при работе с большими объемами данных и сложными сейсмическими сигналами. Внесение априорной информации, такой как данные микросейсмокаротажа (МСК) или вертикального сейсмического профилирования (ВСП), повышает качество решения, однако объёмы необходимой информации для устранения длиннопериодных вариаций часто оказываются чрезмерно большими, особенно в площадной сейсморазведке.

Переход к использованию псевдоаприорной информации позволяет минимизировать количество необходимых данных, компенсируя их недостаток и повышая точность решения. Однако существующие решения, основанные на прямом обращении матрицы, пока ограничиваются профильными данными. Разработка алгоритмов поверхностно-согласованной коррекции сигналов для площадных данных с использованием прямого обращения открывает новые возможности для повышения точности и скорости обработки.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Соискателем разработан и реализован в виде научно-исследовательской версии программного продукта алгоритм факторного разложения и решения задачи поверхностно-согласованной коррекции сейсмических сигналов и его составляющие:

- для работы с профильными 2D данными – в итерационной и матричной постановке;
- для работы с площадными 3D данными – в итерационной и матричной постановке;
- для деконволюции – на основе матричного подхода и разложения Холецкого;
- для коррекции амплитуд в программном обеспечении экспресс-обработки данных метода отраженных волн общей глубинной точки.

Выполнен сравнительный анализ итерационного и матричного методов, сделан вывод о границах применимости каждого из них при решении задач в поверхностно-согласованной постановке (итерационный метод – для поверхностно-согласованной коррекции амплитуд и остаточных времен по данным площадной 3D сейсморазведки, матричный метод – для всех типов задач по данным профильной 2D сейсморазведки и деконволюции по данным площадной 3D сейсморазведки).

Проведено тестирование алгоритма на модельных данных, которое показало, что при наличии длиннопериодных вариаций и слабой связности наблюдений итерационный метод дает неточное решение.

Выполнено сопоставление результатов коррекции сигнала на реальных данных, полученных разработанным алгоритмом, с результатами из коммерческого пакета обработки; результаты идентичны, отклонение между решениями не превышает 2-3%.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Высокая достоверность результатов реализации алгоритма поверхностно-согласованной коррекции сейсмических сигналов (матричный и итерационный способ), построенных на основе факторного разложения, определялась путем математического моделирования, а также сравнения с результатами, полученными на аналогичных реализациях из промышленного пакета обработки (Geovation). Основные результаты работы представлены на международных и российских конференциях. Исследование поддерживалось грантом РФФИ 19-35-90087 «Применение факторного разложения при анализе и учете изменений сейсмических сигналов».

Научная новизна

Найдено новое решение задачи поверхностно-согласованной коррекции сейсмических сигналов методом факторного разложения на основе прямого матричного обращения для профильных 2D и площадных 3D сейсмических данных:

- для обеспечения единственности и устойчивости решения системы линейных уравнений с использованием полиномиального разложения факторов определено количество и тип неоднозначно определяемых компонент (константы, линейные и параболические составляющие), необходимых для разных типов факторных моделей для площадной 3D сейсморазведки;

- с высокой точностью получены оценки длиннопериодных вариаций в сейсмических сигналах в поверхностно-согласованной постановке для данных сейсморазведки с использованием разложения Холецкого в качестве решателя и внесения псевдоаприорной информации в систему линейных уравнений;

- решение задачи поверхностно-согласованной деконволюции ускорено в 3 раза за счет использования прямого решателя, основанного на разложении Холецкого.

Практическая значимость проведенных исследований

Преимущество разработанного алгоритма на основе матричного метода заключается в его независимости от плана наблюдений. В то время как итерационный метод сильно зависит от связности наблюдений в сейсмической расстановке: чем слабее взаимосвязь между наблюдениями, тем ниже скорость сходимости итеративного решателя. В частности, в случае "вытянутых" профильных расстановок с неравномерным распределением данных или слабой связностью матричный алгоритм оказывается более эффективным с точки зрения точности получаемых оценок.

Еще одним преимуществом алгоритма (матричной реализации) в сопоставлении с итерационными реализациями является его эффективность в случае решения задачи поверхностно-согласованной деконволюции за счет высокой скорости и точности получаемого решения. Это преимущество достигается благодаря использованию единого решателя, а именно разложения матрицы методом Холецкого один раз с последующим перемножением с векторами правых частей, в отличие от итерационного подхода, где требуется запускать решатель независимо для каждой частоты спектра, что значительно увеличивает вычислительные затраты и время поиска решения соизмеримой точности в сравнении с матричным методом.

Ценность научных работ соискателя

Ценностью разработанного алгоритма (матричной реализации) является возможность внесения псевдоаприорной/априорной информации непосредственно в ходе получения решения системы линейных уравнений. Это позволяет с высокой точностью получать оценки вариаций длиннопериодных компонент в сейсмических сигналах. Особенно важным это становится в условиях, когда априорной информации недостаточно или она отсутствует. В таком случае псевдоаприорная информация становится ключевым инструментом для повышения устойчивости и надежности результатов оценки вариаций в сейсмических сигналах.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «Геофизика» по физико-математическим наукам.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Материалы диссертации изложены в **23 научных работах**, из них **4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК** (Технологии сейсморазведки, Геоинформатика, Journal of Marine Science and Engineering, Pure and Applied Geophysics) категорий **К1, К2**; 17 – материалы конференций и семинаров. На разработанный алгоритм и его программные модули получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ.

Основные публикации:

1. Изменение формы исходного импульса при морских сейсмических исследованиях / Н.А. Горевячев [и др.] // Технологии сейсморазведки. – 2016. – № 4. – С. 67-76. **(К1)**
2. **Горевячев Н.А.** Особенности решения систем линейных уравнений при коррекции сейсмических сигналов / Горевячев Н.А., Митрофанов Г.М. // Геоинформатика. – 2018. – № 2. – С. 37-44. **(К2)**
3. Mitrofanov G.M. Improving accuracy in studying the interactions of seismic waves with bottom sediments / G.M. Mitrofanov, **N.A. Goreyavchev**, R.S. Kushnarev // Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – V. 9. – №. 2. – P. 229. **(К1)**
4. Mitrofanov G.M. On the Long-Period Statics Problem in Seismic Investigations / G.M. Mitrofanov, V.I. Priimenko, **N.A. Goreyavchev** // Pure and Applied Geophysics – 2022. – V. 179 – P. 1661-1677. **(К1)**
5. Митрофанов Г.М. Свидетельство о регистрации программы ЭВМ FADE2D / Г.М. Митрофанов, **Н.А. Горевячев**, Р.С. Кушнарв // Св-во о регистр. прогр. 2021664234; RU; №2021663286, заявл. 25.08.2021, опубли. 02.09.2021.
6. Кушнарв Р.С. Свидетельство о регистрации программы ЭВМ FADE3D / Р.С. Кушнарв, **Н.А. Горевячев**, Г.М. Митрофанов // Св-во о регистр. прогр. 2023680901; RU; № 2023669404, заявл. 22.09.2023, опубли. 06.10.2023.
7. **Горевячев Н.А.** Свидетельство о регистрации программы ЭВМ Surface-consistent spiking deconvolution based on Cholesky decomposition (SC_Chol_SpikeDecon) / Н.А. Горевячев, Г.С. Чернышов // Св-во о регистр. прогр. 2024682722; RU; № 2024681877, заявл. 24.09.2024, опубли. 26.09.2024.
8. **Горевячев Н.А.** Свидетельство о регистрации программы ЭВМ Application for express processing of seismic CMP data (Fast_CMP_proc) / Н.А. Горевячев, А.В. Яблоков // Св-во о регистр. прогр. 2024683779; RU; № 2024681917, заявл. 24.09.2024, опубли. 14.10.2024.

Доклады на международных и российских конференциях:

1. Mitrofanov G.M. 3D Data Processing with Factor Models Application / G.M. Mitrofanov, **N.A. Goreyavchev** // Tyumen 2019 (Tyumen, 25-29 March 2019). – European Association of Geoscientists & Engineers, 2019. – V. 2019. – №. 1. – P. 1-5.
2. **Goreyavchev N.** Seismic-Signal Distortion Analysis in Marine Profiling Data / N. Goreyavchev, G. Mitrofanov, M. Tokarev // NSG2020 3rd Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2020. – V.2020. – №1. – P. 1-5.
3. Митрофанов Г.М. Применение факторной декомпозиции при определении априорной информации в задачах коррекции сейсмических данных / Г.М. Митрофанов, **Н.А. Горевячев**, Р.С. Кушнарв // Геомодель 2023: 10-я Международная конференция Геонауки: время перемен, время перспектив: Сборник материалов конференции (Санкт-Петербург, Россия, 17-20 апреля 2023 г.). – 2023. – С. 307-310.

4. **Горейвчев Н.А.** Введение псевдоаприорной информации в алгоритм поверхностно-согласованной деконволюции для площадных систем наблюдений / Н.А. Горейвчев, Г.С. Чернышов, Г.М. Митрофанов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь - XX Международный научный конгресс. Международная научная конференция "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 8 т. (Новосибирск, 13-17 мая 2024 г.). – 2024. – Т. 2. – № 2. – С. 75-82.

Все выше сказанное позволяет утверждать, что представляемое диссертационное исследование является **самостоятельной законченной работой и соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «Геофизика»**, п. 14 (Математические и численные исследования в теории прямых и обратных задач геофизики ...) раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 18.03.2023).

При экспертизе текста диссертации, автореферата, публикаций, а также результатов проверки текста системой «Антиплагиат» **установлено**, что диссертация **соответствует всем требованиям п. 14** «Положения о присуждении ученых степеней»:

- соискателем сделаны ссылки на все источники заимствования материалов, **фактов некорректного цитирования или заимствования без ссылки на соавторов в тексте диссертации и автореферате не обнаружено**;
- **сведения, представленные соискателем**, об опубликованных им работах, в которых **полностью изложены** основные научные результаты диссертации, **достоверны**;
- • в тексте диссертации соискателем отмечено, какие результаты получены им лично, а какие – в соавторстве.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Горейвчева Никиты Алексеевича «Алгоритм коррекции сигналов площадной сейсморазведки методом факторного разложения по данным площадной сейсморазведки» **рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9. – «Геофизика».**

Заключение принято на заседании Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 28 чел. Результаты голосования: «за» – 28 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 3 от 13 марта 2025 г.

Заключение оформила:

и.о. ученого секретаря ИНГГ СО РАН, к.г.-м.н.



А.В. Левичева