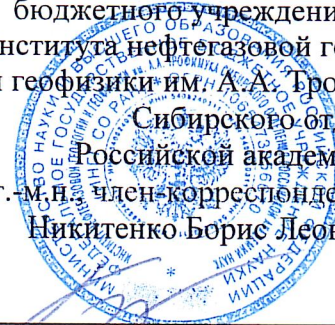


УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения
Российской академии наук
д.г.-м.н., член-корреспондент РАН
Никитенко Борис Леонидович



16 июня 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация **«Построение сейсмотомографической модели верхней части разреза по вибросейсмическим данным с подавлением корреляционного шума»** по специальности **1.6.9 – «Геофизика»** на соискание ученой степени кандидата технических 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 Чернышов Глеб Станиславович 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.

Чернышов Глеб Станиславович, 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. Чернышов Г. С. 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 – кандидат физико-математических наук, Дучков Антон Альбертович, заведующий лабораторией динамических проблем сейсмики ИНГГ СО РАН.

Текст диссертации проверен в системе «Антиплагиат. Эксперт»: оригинальность 93,04% с учетом корректного самоцитирования.

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Учёного совета ИНГГ СО РАН 16 июня 2025 г., протокол № 7.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Члены Учёного 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.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, 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.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.ф.-м.н. В.В. Плоткин, д.г.-м.н. А.С. Сальников, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, к.ф.-м.н. А.М. Айзенберг, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская, к.г.-м.н. П.Г. Дядьков, к.т.н. А.Л. Макасы, к.ф.-м.н. И.В. Михайлов, к.г.-м.н. В.В. Оленченко, 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. С.В. Яскевич, П.А. Дергач, Д.К. Дмитрачков, А.А. Заплавнова, В.В. Карстен,

Вопросы задали: акад. РАН д.г.-м.н. И.Ю. Кулаков, д.ф.-м.н. М.И. Протасов, д.г.-м.н. А.С. Сальников, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, к.г.-м.н. П.Г. Дядьков, В.В. Карстен.

Выступили: акад. РАН д.г.-м.н. И.Ю. Кулаков, д.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.ф.-м.н. М.И. Протасов, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, к.ф.-м.н. А.А. Дучков, к.г.-м.н. В.В. Оленченко, В.В. Карстен.

С диссертацией ознакомились специалисты-эксперты: д.ф.-м.н., М.И. Протасов, д.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.г.-м.н. И.Ю. Кулаков.

Члены экспертной комиссии дали **положительную оценку** диссертационной работе Чернышова Г.С.

По итогам рассмотрения диссертационного исследования «Построение сейсмотомографической модели верхней части разреза по вибросейсмическим данным с подавлением корреляционного шума» 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 инженерных и нефтегазовых данных. Результаты исследования обоснованы, обладают новизной и практической значимостью.

Актуальность Сейсмический метод направлен на изучение среды для построения скоростных моделей – распределение скоростей сейсмических волн. Основным источником развития метода является сейсморазведка для поисков и разведки месторождений углеводородов.

В последние десятилетия наиболее активно развивается метод вибросеймики. Вибрационные источники сейсмических волн имеют ряд преимуществ по сравнению со взрывными. Они позволяют значительно повысить производительность работ, могут использоваться в сложных поверхностных условиях, имеют меньше ограничений по безопасности и экологичности проведения работ. Однако качество данных, полученных с помощью вибрационных источников, часто ниже, чем у взрывных. Это связано с техническими трудностями генерации низких и высоких частот, а также с нелинейными искажениями. Одним из решений понижения начальной частоты свип сигнала является генерация нелинейных свип-сигналов.

Наземные сейсморазведочные работы зачастую проводятся в регионах со сложной структурой верхней части разреза (ВЧР). Осложняющими факторами как для малоглубинных, так и для разведочных задач являются перепады высот рельефа, наличие неоднородной зоны малых скоростей (ЗМС) и высокоскоростных слоев многолетнемерзлых пород в северных районах.

В первых работах по изучению ВЧР сейсмическими методами по временам прихода сейсмических волн строились слоистые скоростные модели методами: прямого лучевого моделирования, полей времен, t_0 в различных вариациях. Кроме времен первых вступлений, проводилась корреляция последующих волн, что давало дополнительную информацию о среде. Однако, требованию автоматизации обработки больших объемов данных лучше всего удовлетворяет метод лучевой томографии, который дает модели с гладкими вариациями скоростей. Входными данными для него служат годографы времен первых вступлений сейсмических волн – их проще всего определять на сейсмограммах, но качество работы автоматических алгоритмов сильно зависит от соотношения сигнал/шум. Особенно актуальна эта проблема для данных вибрационной сейсморазведки из-за наличия дополнительных видов шума (корреляционные и гармонические шумы). Понижения уровня шума можно добиться применением специальных алгоритмов на этапе обработки данных, при этом в публикациях и методических рекомендациях отсутствует достоверная оценка эффективности алгоритмов обработки исходных вибрационных данных.

Различные реализации самого метода лучевой томографии отличаются методами решения прямой задачи для расчета времен пробега сейсмических волн, подходом к построению сетки задания скоростной модели, параметризацией модели, подходом к регуляризации задачи, алгоритмом решения системы линейных уравнений. В существующих реализациях алгоритма томографии особенности параметризации модели получили наименьшее внимание, а реализуются только два варианта: через скорость или медленность.

Основными этапами (особенностями) построения скоростной модели ВЧР по вибросейсмическим данным являются:

1) Повышение качества вибросейсмических данных путем: а) расширения частотного диапазона генерируемого сигнала, включая расширение в сторону низких частот, б) обработки виброграмм при получении коррелограмм направленную на понижение уровня корреляционных помех в области прослеживания волн первых вступлений.

2) Снятие времен первых вступлений на коррелограммах.

3) Построение скоростной модели ВЧР методом томографической инверсии – слоистые или сеточные модели.

Таким образом, в настоящее время существует необходимость развития как подходов к получению и обработке вибрационных данных, так и алгоритмической составляющей метода лучевой сейсмической томографии.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Чернышовым Г.С. лично разработана методика повышения качества вибросейсмических данных и модифицирован алгоритм томографической инверсии.

Разработаны рекомендации по выбору оптимальной частоты выхода на максимальное усилие вибрационной установки при генерации НЧ свип-сигналов. Выбор частоты согласно рекомендациям, повышает качество и сокращает время генерации НЧ свип-сигнала.

Программно-реализованы и применены рассматриваемые в работе алгоритмы обработки исходных вибрационных данных. Выполнено тестирование разработанной методики для

подтверждения корректности работы, а также выводов о повышении качества вибросейсмических данных и детальности скоростных моделей.

Автор лично принимал участие в полевых работах и получении данных малоглубинной сейсмоки, проводил обработку и интерпретацию реальных данных для апробации элементов разработанной методики при изучении механических свойств пород верхней части разреза.

Автор лично разработал программу тестирования виброисточников на предмет возможности генерации низких частот и анализировал реальные данные опытных методических сейсморазведочных работ с разными моделями виброисточников. Разработана рекомендация выбора частоты выхода на максимальное усилие источника - определяется исходя из указанных в паспорте технических характеристик или путем генерации монохроматических сигналов. Критериями возможности генерации низких частот служит значение нелинейных искажений - уменьшение при возрастании усилия вибратора на конкретной частоте, синфазность генерации низких частот всеми вибратора в группе.

Научная новизна

Выведены явные формулы для задания развертки свип-сигнала в области низких частот для компенсации занижения усилия прижима вибрационной установки в этой области. Скорость развертки частоты в области низких частот (нелинейная часть) в квадрат занижения мощности меньше чем у линейного участка. С учетом этой особенности рассчитывается функция скорости развертки частоты свип-сигнала. Программную реализовал алгоритм генерации низкочастотного свип-сигнала для использования при проведении полевых сейсморазведочных работ.

Предложена оптимальная методика обработки для подавления корреляционных шумов в первых вступлениях, включающая деконволюцию виброграмм с сигналом Ground Force. Деконволюция применяется в частотной области для оптимизации времени расчета. Сигнал с плит установки усредняется для группы источников. Уровень шума для деконволюции подбирается в зависимости от уровня шума данных, обычно в диапазоне 1-5%. После применения деконволюции необходимо применить полосовую фильтрацию в той же полосе частот, что и генерируемый свип, для подавления шума вне целевой полосы частот: гармонический сигнал, случайный шум, сигнал сторонних источников.

Модифицирован алгоритм томографической инверсии - добавлена возможность выбора параметризации скоростной модели среды через умножение томографической матрицы на весовую, состоящую из значений скорости начальной скоростной модели в заданной пользователем степени (от -2 до 0). Показано на серии тестов на синтетических и реальных данных, что оптимальная параметризация среды в большинстве случаев не будет соответствовать стандартному виду (скорость, медленность).

Практическая значимость проведенных исследований

Разработанная методика позволяет повысить качество вибросейсмических данных, в частности повысить устойчивость снятия времен первых вступлений на вибросейсмических данных за счет понижения уровня корреляционного шума.

Параметризации скоростной модели позволяет контролировать глубинность целевых аномалий скоростной модели среды, как следствие повышает точность определения структуры ВЧР.

Программа расчета низкочастотных свип-сигналов предназначена для использования при проведении полевых сейсморазведочных работ с различными моделями виброисточников.

Ценность научных работ соискателя

Разработанная методика и модификация алгоритма томографической инверсии могут быть использованы для повышения информативности сейсмических съемок с виброисточником при построении скоростных моделей ВЧР как в разведочных, так и в малоуглубинных приложениях

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «Геофизика» по техническим наукам, пункт 18.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Материалы диссертации изложены в **19 научных работах**, из них **6 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК** (Near Surface Geophysics, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, Нефтяное хозяйство, ПРОНЕФТЬ) категорий **К1, К2**; 17 – материалы конференций и семинаров. На разработанный алгоритм и его программные модули получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ.

Основные публикации:

1. Методика и результаты исследования физико-механических свойств связных грунтов сейсмическим методом / М.В. Курленя, **Г.С. Чернышов** [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 3. – С. 3-10. (**К2**)

2. Методика и результаты сейсмического исследования процессов образования оползней в условиях многолетнемерзлых пород / М.В. Курленя, **Г.С. Чернышов** [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 5. – С. 6-13. (**К2**)

3. The effect of near-surface azimuthal anisotropy on a joint interpretation of seismic and electrical resistivity data / S.V. Yaskevich, P.A. Dergach, **G.S. Chernyshov** [et all.] // Near Surface Geophysics. – 2022 – V. 20. – N 3. – P. 279-291. (**К1**)

4. Choosing optimal model parameterization for improving the accuracy of refraction seismic tomography / **G.S. Chernyshov**, A.A. Duchkov, I.Y. Koulakov // Near Surface Geophysics. – 2022. – V. 20. – N 2. – P.135-146. (**К1**)

5. Подход к построению слоистой скоростной модели верхней части разреза по данным времен первых вступлений / **Г.С. Чернышов** [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 1. – С.26-31.

6. Анализ эффективности методов подавления помех вибрационных данных / **Чернышов Г. С.** и др. // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2024. – Т. 9. – №. 3. – С. 17-25.

7. Никитин А.А. Свидетельство о регистрации программы ЭВМ ST3D / А.А. Никитин, А.А. Дучков, И.Ю. Кулаков, **Г.С. Чернышов** // Св-во о регистр. прогр. 2020615981; RU; № 2020615095, заявл. 01.06.2020, опубли. 05.06.2020.

8. **Чернышов Г.С.** Свидетельство о регистрации программы ЭВМ TomoRefr3D / **Г.С. Чернышов**, А.А. Никитин, А.С. Матвеев, Д.А. Литвиченко// Св-во о регистр. прогр. 2019665753; RU; № 2019664881, заявл. 21.11.2020, опубли. 28.11.2020.

9. **Чернышов Г.С.** Яблоков А.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ nSeisLab / **Чернышов Г.С.**, Яблоков А.В. // № 2019618979, заявка № 2019617513 от 21.06.2019, зарегистрировано 08.07.2019, RU.

Доклады на международных и российских конференциях:

1. **Chernyshov G.S.** Model-parameterization scaling for improving accuracy of seismic tomography in reconstructing near-surface velocity model / **Chernyshov G.S.**, Duchkov A.A.,

Kulakov I.Y. // EAGE. 26th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Held at Near Surface Geoscience (7 - 8 December, 2020). – 2020

2. **Чернышов Г.С.** Построение скоростной модели по данным рефрагированных волн для учета неоднородной ВЧР / **Чернышов Г.С** и др. // Интеллектуальный анализ данных в нефтегазовой отрасли. Вторая региональная конференция EAGE в России и странах СНГ (Новосибирск, Россия, 4-6 августа 2021 г.). – 2021. – С.

3. **Чернышов Г.С.** Оценка эффективности методов обработки виброграмм / **Чернышов Г.С** и др. // ПроГРРесс-23. Геологоразведка как бизнес: Сборник материалов 3-й международной научно-практической конференции (Сочи, 23-25 октября 2023 г.) – ООО "Геомодель" – М. – С. 79-83 – 2023

4. **Чернышов Г.С.** Методы возбуждения низкочастотных свип-сигналов в сейсморазведочных работах / **Чернышов Г.С.**, Литвиченко Д.А., Дучков А.А. // 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: СГУГиТ, 2024. – Т. 2. – № 4. – С. 182-188.

Все выше сказанное позволяет утверждать, что представляемое диссертационное исследование является **самостоятельной законченной работой и соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «Геофизика»**, п. 18 (Использование геолого-геофизических данных для построения цифровых геологических, гидродинамических, геодинамических и иных моделей геологической среды и месторождений) 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 Чернышова Глеба Станиславовича «Методика построения сейсмотомографической модели верхней части разреза по вибросейсмическим данным с подавлением корреляционного шума» **рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических 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 26 чел. Результаты голосования: «за» – 26 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 7 от 16 июня 2025 г.

Заключение оформила:

ученый секретарь ИНГГ СО РАН, к.г.-м.н.



А.В. Левичева