

**Заключение диссертационного совета 24.1.047.01, созданного на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН),
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.04.2024 № 3

О присуждении Азарову Антону Витальевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование поверхностных волн и многоканальная фильтрация сейсмических данных на основе частотно-временных представлений и проекционных методов» по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 06.02.2024 (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.047.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН), утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Азаров Антон Витальевич, "04" мая 1990 года рождения. В 2014 году соискатель окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по специальности 010800 «Механика и математическое моделирование». В 2018 году соискатель окончил аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук по направлению 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых», специальность 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». Работает научным сотрудником в Федеральном государственном учреждении науки Институте горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатории «Физических методов воздействия на массив горных пород».

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, Сердюков Александр Сергеевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмологии.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук по специальности по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» (1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела»), профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, лаборатория механики разрушения и прочности конструкции,

Пономаренко Андрей Валерьевич, кандидат физико-математических наук по специальности 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,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», в своем положительном отзыве, подписанном Ерохиным Геннадием Николаевичем, доктором физико-математических наук, профессором, директором НИИ Прикладной информатики и математической геофизики ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта», утвержденном Федоровым Александр Александровичем, доктором философских наук, профессором, ректором ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» указала, что диссертация отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842. Научные результаты, полученные в работе, соответствуют паспорту специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а автор диссертации Азаров Антон Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет **76 опубликованных работ**, в том числе **по теме диссертации опубликовано 29 работ**, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 15 работ. Работы представляют собой научные публикации, среди которых 3 статьи опубликованы в научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, 2 – в изданиях индексируемых в RSCI, 5 – в научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of

Science, 7 – в базе Scopus, из них 3 в журналах, входящих в Q1 в области геофизики. Получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. В публикациях изложены все основные результаты диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Все выносимые на защиту результаты получены автором лично. У соискателя с соавторами работ отсутствует конфликт интересов относительно результатов, выносимых на защиту.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Azarov A. V., Serdyukov A. S., Gapeev D. N. Research Note: Frequency domain orthogonal projection filtration of surface microseismic monitoring data // Geophysical Prospecting. – 2020. – Т. 68. – №. 2. – С. 382-392. DOI:10.1111/1365-2478.12847 (Web of Science)

В работе соискатель принимал участие в постановке задачи, лично разрабатывал и реализовывал метод многоканальной фильтрации микросейсмических данных, позволяющий усиливать сигналы от источников, расположенных в выделенной области геологической среды. Соискатель выполнил тестирование метода на синтетических и полевых данных. Изучил возможность обработки сейсмических данных, содержащих сигналы от источников с различными механизмами очага, на основе разработанного метода.

2. Serdyukov A. S. Azarov, A. V., Yablokov, A. V., Shilova, T. V., & Baranov, V. D. Research Note: Reconstruction of seismic signals using S-transform ridges // Geophysical Prospecting. – 2021. – Т. 69. – №. 4. – С. 891-900 (Web of Science)

В работе соискатель принимал участие в постановке задачи и разработке метода извлечения полезного сигнала из данных на основе преобразования Стоквелла. Соискатель тестировал метод на синтетических данных, а также проводил работу по изучению возможности его использования при решении задачи фильтрации шума в данных сейсморазведке.

3. Serdyukov A.S., Yablokov A.V., Duchkov A.A., Azarov A.A., Baranov V.D. Slant f-k transform of multichannel seismic surface wave data // Geophysics. – 2019. – Т. 84. – № 1. – С. A19-A24 (Web of Science)

В работе соискатель принимал участие в постановке задачи и разработке метода обработки многоканальных данных наземной сейсморазведке. Метод позволяет извлекать различные моды поверхностных волн из данных и превосходит по своей точности известные, например, основанные на f-k преобразованиях. Соискатель выполнял работу по подготовке синтетических и полевых данных для тестирования разработанного алгоритма.

4. Kurlenya, M. V., Serdyukov, A. S., Azarov, A. V., & Nikitin, A. A. Numerical modeling of wavefields of microseismic events in underground mining //Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – С. 689-695 (Web of Science)

В статье соискателем проводилась работа по моделированию распространения упругих волн в неоднородных средах с целью получения синтетических данных для тестирования алгоритмов обработки данных микросейсмического мониторинга. Соискателем выполнялись многочисленные численные эксперименты. На основе выполненных численных экспериментов, с участием соискателя была создана методика моделирования волновых полей, генерируемых микросейсмическими источниками с различными механизмами расположенных в неоднородных анизотропных средах.

5. Serdyukov S., Azarov, A., Dergach, P., & Duchkov, A. Equipment for microseismic monitoring of geodynamic processes in underground hard mineral mining //Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – №. 3 (Web of Science)

В работе соискатель принимал участие в разработке технических решений сбора микросейсмических данных, которые способствуют повышению информативности микросейсмического мониторинга геодинамических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых. Соискатель проводил анализ существующих решений сбора микросейсмических данных и работу по выявлению их недостатков.

6. Азаров А. В., Сердюков А. С. Комплекс программ обработки данных микросейсмического мониторинга разработки месторождений полезных ископаемых. средах // Горный информационно-аналитический бюллетень. средах – 2023. – № 2. – С. 58-71 (ВАК)

В работе соискателю принадлежит разработанный программный комплекс обработки данных микросейсмического мониторинга разработки месторождений полезных ископаемых средах. В рамках данного комплекса соискателем были реализованы как известные алгоритмы обработки данных (например, полосовая фильтрация, f - k фильтрация, сейсмозмиссионная томография, т.д.), так и собственные (проекционный метод, метод подавления поверхностных волн).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Отзыв на автореферат** представил д.ф.-м.н., профессор, Белоносов Владимир Сергеевич, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук. **Отзыв положительный** и не содержит замечаний.

2. **Отзыв на автореферат** представил д.ф.-м.н., Митрофанов Георгий Михайлович, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и

геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН). **Отзыв положительный** и содержит следующие замечания:

- Желательно было привести основные выводы и результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, а не ограничиваться ссылкой, что они приведены в Заключении

- В кратком изложении четвертой главы диссертации приводятся сведения о двух программных модулях, разработанных на основе результатов диссертационной работы. Из приведенного текста не совсем понятно, в чем отличие друг от друга. При прочтении автореферата формируется, что в них реализованы одни и те же алгоритмы.

3. **Отзыв на автореферат** представил Шарин Сергей Викторович, эксперт отдела разработки геологических проектов ООО «РН-БашНИПИнефть». **Отзыв положительный** и не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области математического моделирования распространения сейсмических волн и обработки сейсмических данных, наличием у них публикаций в рецензируемых изданиях по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан программный комплекс обработки данных микросейсмического мониторинга наземными системами наблюдения и программный комплекс подавления поверхностных волн в данных наземной сейсморазведки;

предложен подход к моделированию поверхностных волн и их подавления в данных наземной сейсморазведки, а также метод выделения сигналов от сейсмических источников, расположенных внутри выделенной области геологической среды;

доказана применимость разработанных методов фильтрации данных в задачах наземной сейсморазведки на отраженных волнах и микросейсмического мониторинга наземными системами наблюдения;

введена методика построения пространства решений уравнений распространения сейсмических волн от точечных источников с произвольным сейсмическим моментом, расположенных в заданной области неоднородной среды.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность разработанных методов фильтрации данных наземной сейсморазведки и микросейсмического мониторинга по сравнению с полосовой фильтрацией, f - k фильтрацией, τ - p фильтрацией;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы частотно-временного и пространственного спектрального анализа, проекционные методы, методы моделирования распространения упругих волн от сейсмических источников;

изложен алгоритм поиска параметров модели распространения поверхностных волн, которая предложена в работе;

раскрыта возможность использования частотно-временного преобразования Стоквелла в задаче подавления поверхностных волн в сейсмических данных;

изучены причины, вследствие которых существующие методы подавления шумов становятся неэффективными при решении задач наземной сейсморазведки и микросейсмического мониторинга;

проведена модернизация подходов к построению пространства решений распространения упругих волн, на которое проецируются сейсмические данные.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены (указать степень внедрения) предложенные методы фильтрации сейсмических данных в процесс выполнения Федеральной целевой программы (проект № 14-604-21-0047 «Разработка научно-технических основ создания технологии микросейсмического мониторинга геодинамических процессов в массиве горных пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях»), в процесс выполнения проектов Российского фонда фундаментальных исследований (грант «Развитие метода эмиссионной томографии в задачах мониторинга добычи полезных ископаемых на основе учета и определения механизмов микросейсмических событий» №16-35-00513, «Развитие методов обработки данных микросейсмического мониторинга с учетом анизотропии горных пород» №15-35-20932, «Создание и исследование новых адаптивных методов частотно-временной и пространственно-временной спектральной фильтрации сейсмических сигналов» №18-35-20030) и Российского научного фонда (проект «Развитие сейсморазведки на поверхностных волнах на основе создания и исследования метода многоканального анализа адаптивных частотно-временных представлений данных» №22-77-10023);

определена возможность использования многоканального метода фильтрации данных микросейсмического мониторинга при решении задачи локации сейсмических событий;

созданы численные реализации разработанных методов в виде комплекса программ для ЭВМ, которые обеспечивают возможность применения результатов исследований в обработке натуральных данных

наземной сейсморазведки, микросейсмического мониторинга гидроразрыва нефтяных пластов и других геодинамических процессов;

представлены результаты обработки полевых данных наземной сейсморазведки на отражённых волнах и микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта на нефтяном месторождении.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты воспроизводятся для различных наборов синтетических и полевых данных;

теория построена на основе известных моделей динамической теории упругости и известных численных алгоритмах преобразования данных;

идея базируется на анализе и обобщении методов подавления шума в наземной сейсморазведке и микросейсмического мониторинга:

использованы сравнения результатов фильтрации, полученных с использованием предложенных методов и существующих;

установлено соответствие результатов экспериментов с теоретическими оценками;

использованы современные подходы обработки сейсмических данных.

Личный вклад соискателя состоит в:

– участии в постановке задач исследования и выборе методов их решения

– проведении анализа существующих методов подавления шумов в сейсмических данных;

– разработке метода моделирования поверхностных волн и их подавления в данных наземной сейсморазведки;

– разработке метода многоканальной фильтрации микросейсмических данных для подавления сигналов от источников, расположенных вне заданной области среды;

– разработке и тестировании на синтетических и полевых данных комплексов программ, в которых реализованы предложенные в работе методы фильтрации.

В ходе защиты диссертации критических замечаний не поступило.

Соискатель Азаров А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 16 апреля 2024 диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития методов подавления шумов в сейсмических данных **присудить** Азарову Антону Витальевичу ученую степень **кандидата технических наук**.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 13 докторов наук по специальности 1.2.2 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (отдельно по каждой научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

И.о. председателя
диссертационного совета 24.1.047.01
доктор физико-математических наук,
профессор



Пененко Владимир
Викторович

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.047.01
доктор физико-математических наук,
доцент

Сорокин Сергей
Борисович

Дата оформления заключения: 16.04.2024