

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВМиМГ СО РАН)**

Просп. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090
Тел.: (383)330-83-53, факс (383)330-87-83, e-mail: director@sscc.ru
ОКПО 03533843, ОГРН 1025403656420, ИНН/КПП 5408100025/540801001

24.02.2022 №15301/1-01-09

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт вычислительной математики
и математической геофизики
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИВМиМГ СО РАН)
д.ф.-м.н., профессор РАН

Марченко М.А.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Плешкевича Александр Леонардовича
«Методы реконструкции изображения глубинных неоднородностей земной среды
по сейсмическим данным («сейсмическая миграция»)», представленная на
соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности
1.6.9 – Геофизика

Структура и объем работы

Диссертационная работа представлена на 230 стр., состоит из Введения, 4 глав, Заключения и Списка литературы, содержащего 199 наименований и снабжена 73 иллюстрациям.

Актуальность темы исследований

Диссертационная работа Плешкевича А.Л. посвящена решению ключевой задачи сейсмического метода разведки по отраженным и рассеянным волнам – воссозданию 3-мерного изображения глубинных неоднородностей земной среды и геологических объектов со сложной формой при разведке месторождений нефти и газа. Этим определяется актуальность темы исследований представленной диссертационной работы. Употребительные методы, численные алгоритмы и программы для ЭВМ решения этой важнейшей прикладной задачи разведочной геофизики связаны с необходимостью интенсивного использования параллельных вычислений и современных суперкомпьютерных технологий с использованием многих сотен и тысяч процессорных ядер, поскольку использование даже наиболее простого и экономичного алгоритма решения 3-мерной глубинной сейсмической миграции по методу Кирхгофа связано с необходимостью выполнения порядка 10^{17} арифметических операций. Суммарный объем исходных сейсмических данных и результатов сейсмической миграции может достигать порядка 10 ТБ. Известные пакеты программ для ЭВМ, позволяющие оперативно выполнять подобные производственные расчеты, имеют в основном зарубежное происхождение, а их использование связано с обременительными условиями дорогостоящих аренды и технической поддержки. В связи со сказанным актуальность темы исследований и возможность импортозамещения зарубежных программных продуктов в сфере приложения суперкомпьютерных технологий при разведке месторождений нефти и газа не вызывает сомнений.

Новизна выполненных исследований и полученных результатов

Соискатель сформулировал новизну выполненных исследований в 8 пунктах. Хотя новизна каждого из этих пунктов не вызывает сомнений, следует обратить особое внимание на пункты, связанные с 5-мерной моделью сейсмических данных многократных перекрытий, дискретная выборка которых соответствует полному комплексу результатов сейсмических наблюдений в ходе проведения современных 3D-сейсморазведочных работ на суше и на море по системе многократных перекрытий. На основе использования соотношения взаимности автором построена интегральная формула типа Кирхгофа, позволяющая выполнять пересчет совокупности сейсморазведочных данных многократных перекрытий вглубь неоднородной земной среды и получить в общем виде решение задачи 3-мерной сейсмической миграции на основе обращенного волнового продолжения. Иной важный результат касается разработанного соискателем нового асимптотического решения задачи волнового продолжения граничного условия Дирихле в лучевой параметрической системе координат, допускающего простую и компактную форму записи в виде интеграла по телесным углам, не содержащего сингулярных подынтегральных функций. Использование нового асимптотического приближения решения позволило автору успешно выполнить моделирование волн от точечного источника для разнообразных моделей неоднородных сред, в которых волновое

распространение связано со складками фронтов волн и каустиками, в которых происходит фокусировка волн. На основе нового асимптотического решения был разработан алгоритм и создана программа для ЭВМ 3-мерной глубинной сейсмической миграции. Значительный интерес представляет также разработанная автором новая псевдоспектральная сеточная схема повышенного порядка аппроксимации, служащая для решения псевдодифференциального одностороннего волнового уравнения, успешно использованная при решении задачи 3-мерной глубинной миграции сейсмических данных до суммирования с помощью сеточного псевдоспектрального метода.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Находясь в русле основных направлений и базовых представлений сейсмического метода разведки, выполненные соискателем исследования и полученные им новые результаты позволяют не только уточнить базовую постановку задачи сейсмической миграции, но и существенно расширить инструментарий для ее решения, позволяющий корректно учесть эффекты, связанные с многолучевым распространением и каустиками волн, а также с учетом неоднородных волн, которые могут быть важной энергетической составляющей в контрастных средах с нерегулярными границами раздела. Полученные соискателем основные практические результаты связаны с разработкой и широким использованием программ для ЭВМ 3-мерной сейсмической глубинной миграции до суммирования. Три из разработанных программы сейсмической миграции получили государственную регистрацию и широкое производственное внедрение. Успешное многолетнее использование этих программ во многих десятках крупных проектов сейсмической разведки для отечественных и зарубежных нефтяных и газовых компаний доказывает большую практическую значимость выполненных разработок. Примеры сравнения результатов, полученных с помощью выполненных программно-алгоритмических разработок с ведущими мировыми брендами свидетельствует об их высоком качестве, не уступающем лучшим зарубежным аналогам.

Личный вклад автора

Все представленные в диссертационной работе новые теоретические результаты получены соискателем лично. Полностью самостоятельно им была выполнена математическая постановка всех представленных в диссертационной работе задач, разработка методов и численных алгоритмов их решения, планирование вычислительных экспериментов и анализ их результатов. При непосредственном участии автора в коллективе соавторов выполнялись разработка программ, их тестирование, обработка исходных данных и анализ полученных результатов этой обработки, а также внедрение выполненных программных

разработок сейсмической миграции и азимутального анализа амплитуд в практику производственной сейсмической обработки, подготовка публикаций, презентаций и выполнение докладов на отечественных и международных научно-практических конференциях по теме диссертации.

Рекомендации по использованию результатов работы и выводов диссертации

Разработанные автором новые методы решения и численные алгоритмы послужили основой для разработки современных и высокотехнологичных программ 3-мерной глубинной сейсмической миграции до суммирования и азимутального анализа амплитуд, использующих высокопроизводительные параллельные вычисления с использованием традиционных процессоров, а также графических сопроцессоров-ускорителей. Три из выполненных при непосредственном участии соискателя программных разработок получили государственную регистрацию и были успешно внедрены в практику обработки крупных проектов 3-мерной сейсмической разведки. За время эксплуатации начальной версии программы 3-мерной глубинной миграции Кирхгофа и ее более поздних версий было успешно выполнено порядка 100 крупных проектов 3-D сейсморазведки, крупнейший из которых имел площадь исследований около 3500 км². Касаясь перспектив внедрения новых алгоритмов и программ сейсмической миграции, следует обратить внимание на существенные ограничения традиционной сейсмической миграции Кирхгофа, основанной на однолучевой модели распространения волн. В сложно-построенных средах значительную роль может играть многолучевое распространение, связанное со складками фронтов волн. В этих условиях значительное преимущество с теоретической и практической точек зрения имеют многолучевая миграция, а также волновая псевдоспектральная миграция, позволяющие получать более качественный результат сейсмического изображения сложно-построенных сред. Следует рекомендовать соискателю и его соавторам предпринять дополнительные усилия по внедрению и производственному использованию указанных программ миграции, основанных на более совершенных математических моделях и алгоритмах. Сказанное касается также внедрения и более широкого использования программы азимутального анализа амплитуд. Представляется перспективным расширить возможности 3-мерной многолучевой глубинной миграции, обеспечив возможность компенсации эффектов частотно-зависимого поглощения в земной среде. Значительный интерес представляет изучение перспектив и возможностей использования 5-D модели сейсмических данных многократных перекрытий для решения обратной динамической задачи в ее акустическом приближении.

Количество печатных работ, в т.ч. в изданиях, рекомендованных ВАК

По теме исследований соискателем было опубликовано в общей сложности 33 печатных работы. Из них 22 работы было опубликовано в отечественных и зарубежных изданиях, рекомендованных ВАК. В число публикаций рекомендованных ВАК по теме диссертации вошли 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, представленных программами 3-мерной глубинной сейсмической миграции и азимутального AVO-анализа, полученные автором с соавторами.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Диссертационная работа, содержащая Введение, 4 главы, Заключение и Список литературы, хорошо структурирована и написана ясным языком. Каждая глава снабжена краткой аннотацией и выводами, способствующими более цельному восприятию работы. Работа снабжена достаточным количеством содержательных иллюстраций, включающих примеры успешного практического использования разработанных программ сейсмической миграции и азимутального анализа амплитуд.

По отдельным разделам диссертации имеются следующие замечания.

Отдельные замечания касаются представленных в работе математических выражений и формул, в которых автор, сокращая число используемых обозначений, в некоторых случаях затрудняет их понимание. Высказанное замечание, однако, не умаляет общего достоинства выполненной работы и полученных автором результатов.

Заключение

Содержание, результаты и научно-практическая ценность в рамках поставленных и решенных задач представляют значительный вклад в геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых. В диссертационной работе А.Л. Плешкевича решена научная проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение; разработано и реализовано на современной вычислительной технике и алгоритмической базе решение важной прикладной задачи реконструкции сейсмического изображения глубинных неоднородностей земной среды в ходе геологоразведочных работ.

Диссертация Плешкевича Александра Леонардовича выполнена на актуальную тему, обладает существенной научной новизной и содержит решение задачи разработки и совершенствования методов компьютерной 3-мерной реконструкции изображения глубинных неоднородностей земной среды по сейсмическим данным на основе использования современных

высокопроизводительных программно-аппаратных вычислительных средств и систем, имеющей существенное значение для совершенствования методов поиска и разведки месторождений углеводородного сырья.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842) для ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Диссертация, автореферат и отзыв рассмотрены и обсуждены на заседании лаборатории «Обратных задач естествознания», направление научных исследований которой соответствует тематике диссертации, протокол № 1, от 18 февраля 2022 г. Отзыв подготовили д.ф.-м.н. М.А. Шишленин и д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, профессор С.И. Кабанихин.

Отзыв рассмотрен утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета ИВМиМГ СО РАН, протокол №1 от 18 февраля 2022 г.

Авторы отзыва согласны на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.

Заведующий лабораторией
обратных задач естествознания
д.ф.-м.н., +7383330-61-67, Лаврентьева, 6, г. Новосибирск,
maxim.shishlenin@sscc.ru

_____ М.А. Шишленин

Главный специалист лаборатории
обратных задач естествознания
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, профессор,
+7 383 332 0404, Лаврентьева, 6, г. Новосибирск, kabanikhin@sscc.ru

_____ С.И. Кабанихин

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН,
кандидат физ.-мат. наук

_____ Л.В. Вшивкова