

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кузнецова Павла Юрьевича «Изучение внутренней структуры вулкана Горелый (Камчатка) методом пассивной сейсмической томографии», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9. – Геофизика.

Актуальность работы определяется необходимостью изучения активных вулканов, так как они представляют серьезную опасность для населения и инфраструктуры на прилегающих к ним территориях, а в некоторых случаях, способны оказывать влияние в масштабах крупных регионов и даже всей Земли. Исследование процессов, происходящих в активных вулканах, которые по сравнению с прочими геологическими процессами протекают очень быстро, позволяет изучать их в реальном времени. Не менее важным аспектом является регион исследования - полуостров Камчатка, где вулканическая активность является наибольшей на территории России и может представлять опасность для населения и инфраструктуры.

Основной целью исследования в работе является изучение геологической структуры вулкана Горелый с использованием метода пассивной сейсмической томографии.

Основные задачи исследования, которые автор ставит перед собой:

- получить распределение гипоцентров локальных землетрясений (точнее, каталог локальных землетрясений) под вулканом Горелый.
- построить трехмерные модели распределения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн в верхней коре под вулканом Горелый, используя данные с временной сети станций и метод пассивной сейсмической томографии.
- произвести геологическую интерпретацию результатов, полученных в ходе томографической инверсии.

Сформулированные задачи представляются значимыми и актуальными.

Содержание работы. Диссертация П.Ю. Кузнецова изложена на 116 страницах печатного текста, включает 3 таблицы и 49 рисунков. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 143 ссылки на работы отечественных и зарубежных авторов.

Во **введении** автором обосновывается актуальность выбранного направления исследования, сформулированы цели, задачи, научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту. Отмечен личный вклад автора, даны сведения о

научных публикациях и тезисах конференций, содержащих результаты диссертационного исследования.

Подробный обзор литературы представлен в первой главе. Эта глава состоит из пяти основных разделов: история развития сейсмической томографии, применение метода сейсмической томографии для изучения различных вулканов, анализ вулканов, схожих по структуре и поведению с вулканом Горелый, описание вулканизма полуострова Камчатка, обзор имеющихся работ и исследований по вулкану Горелый.

Вторая глава содержит информацию об использованных в работе экспериментальных методах и методах программной обработки данных сейсмической томографии. Приведены методология и техника проведения работ по установке и снятию временной сети станций с использованием сейсмологического оборудования. Описаны методики обработки полученных сейсмологических данных с использованием программ DIMAS и LOTOS. Подробно описаны все этапы работы алгоритма программы LOTOS и реализация синтетических тестов в ней.

Третья глава содержит результаты исследования. Представлены результаты обработки сейсмологических данных и локализации землетрясений. Подробно описана процедура обработки трехкомпонентных волновых форм с временной сети станций и выделение событий на волновых формах. Автором были выделены основные типы землетрясений, используемых в обработке, в соответствии с уже имеющейся в литературе классификацией вулканических землетрясений.

Основными результатами являются скоростные модели, построение которых пошагово описано в работе. Произведено исследование оптимальной стартовой одномерной скоростной модели, определены координаты землетрясений после их первичной локализации. Построены трехмерные скоростные модели для P и S-волн и отношения скоростей этих волн V_p/V_{sv} различных конфигурациях – горизонтальные сечения области вокруг вулкана для разных глубин и вертикальные сечения по двум профилям. Автор детально описывает и анализирует полученные скоростные модели, выделяя вариации аномалий для продольных и поперечных волн, и проводит анализ полученных значений V_p/V_s .

Очень важным этапом исследования является синтетическое моделирование, которое позволяет оценить разрешающую способность системы наблюдения, качество получаемых значений амплитуды аномалий и подобрать оптимальные коэффициенты регуляризации и сглаживания.

В последнем разделе автор описывает геологическую интерпретацию полученных результатов, в ходе которой выделяет область, насыщенную расплавом/флюидом, которая

окружена газонасыщенными областями, и границу выделения газонасыщенного флюида из магмы. В главе проводятся аналогии с другими вулканами схожими по структуре и процессам происходящим в них, а полученные результаты подтверждаются различными исследованиями, проводимыми в данном регионе или на других активных вулканах.

Вместе с тем по работе возникло несколько вопросов и замечаний:

В первой главе автор дает описание различных методов томографии в применении к изучению вулканов. Декларируется, что будут рассмотрены каждый из типов томографии с указанием преимуществ и недостатков. Однако, помимо действительно сравнительного анализа активной и пассивной томографии, для других типов преимущества указаны завуалированно, а недостатки явно не указаны. Метод приемных функций лишь упоминается без пояснений того, в чем состоит его суть. В чем же состоят сравнительные преимущества и недостатки каждого из пяти типов томографии? Для изучения вулканов чрезвычайно важна разрешающая способность метода томографии. Было бы полезно указать, если это возможно, какова разрешающая способность для каждого из типов.

Цитирования в первой главе не всегда точны. Например, в подписи к Рис. 1.1 указано, что части Б и В относятся к результатам томографической инверсии с учетом данных по ГСЗ и данных землетрясений; приводится ссылка на работу [Koulakovetal., 2014b]. Но эта работа для исследования структуры вулканов Авачинской группы использует шумовую томографию и ГСЗ (то есть в ней не используются данные о землетрясениях).

Во второй главе хотелось бы видеть немного более подробное описание программы локальной томографии LOTOS. В частности, в описании реализаций синтетических тестов (раздел 2.5) говорится о том, что они позволяют оценить качество получаемых значений амплитуды аномалий, найти оптимальные коэффициенты регуляризации и сглаживания, проверить разрешающую способность системы наблюдений, но не указывается, как именно все это можно сделать.

В третьей главе содержится повтор описания классификации землетрясений, которое уже было проведено во второй главе. Отличие состоит лишь в том, что теперь это делается на примере записей на вулкане Горелый. При этом отсутствует указание на то, к каким именно типам относятся 360 землетрясений, выделенных в ходе обработки трехкомпонентных волновых форм в программе DIMAS за период с сентября 2013 г. по февраль 2014 г.

В работе имеется значительное количество грамматических и даже смысловых неточностей. Например, даже при формулировании цели исследования неверно

используется деепричастие. Отрезки линий в подписи к Рис. 1.1 («серые палочки») названы точками отражения.

Следует отметить, однако, что сделанные замечания носят частный характер и невливают на общую положительную оценку работы П.Ю. Кузнецова. Диссертационная работа хорошо оформлена, содержание автореферата и опубликованных работ достаточно полно отражает основное содержание и выводы диссертации. Основные положения диссертации опубликованы в 4 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК, из них 3 статьи индексируются в международных базах цитирования Web of Science, Scopus: Geosciences, Journal of Volcanology and Geothermal Research и Solid Earth; 2 – в материалах российских и международных конференций и симпозиумов. Автореферат отражает основные идеи и выводы диссертации.

Вышеизложенное позволяет заключить, что по актуальности, научной новизне и практической значимости основных результатов и положений диссертационная работа «Изучение внутренней структуры вулкана Горелый (Камчатка) методом пассивной сейсмической томографии» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, и представляет собой научно-квалификационную работу, выполненную на высоком уровне. Считаю, что рассматриваемая диссертация удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями). Диссертант Кузнецов Павел Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9. – Геофизика.

Официальный оппонент:

Директор ФГБУН Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, чл.-корр. РАН,

доктор физико-математических наук

Шебалин Петр Николаевич

17 января 2022

Подпись заверяю, ученый секретарь организации

Селюцкая О.В.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

17 января 2022

Шебалин Петр Николаевич