

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Волковой Марии Сергеевны «Применение спутниковой радарной интерферометрии для изучения и моделирования полей смещений на склонах вулканов полуострова Камчатка», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Актуальность работы:

Работа Волковой Марии Сергеевны посвящена применению современных спутниковых технологий, в частности использованию съёмки с применением радаров с синтезированной апертурой (РСА интерферометрия). Спутниковые методы особенно важны при исследовании сейсмических и вулканических процессов в активных и труднодоступных областях таких, как полуостров Камчатка. Оценка параметров вулканических извержений имеет важное значение, так как любые вулканические извержения на Камчатке влияют на жизнь местного населения. Оценка полей смещений в горных районах, при наличии мощного снегового покрова и густой растительности, частой смены погодных условий, имеющих большое влияние на состояние атмосферы является важной методической задачей. Этим определяется актуальность задачи совершенствования технологии обработки радарных снимков для территории Камчатки, всестороннее тестирование технологии с применением снимков различной длины волны, разработка методов интерпретации, предназначенных для изучения вулканических и сейсмических процессов. Для интерпретации получаемых полей смещений особенно актуальным становится развитие подхода, основанного на построении численных математических моделей исследуемых геодинамических процессов.

Цель исследования:

Целью работы является совершенствование технологии обработки РСА снимков в сложных условиях полуострова Камчатка, обоснование технологии путем тестирования на РСА снимках С-диапазона (спутник Sentinel-1) и диапазоне длинных волн L (L-диапазон, спутники ALOS-1/2), оценка полей смещений земной поверхности в районе активных вулканов, разработка новых численных моделей исследуемых вулканических процессов и проведение интерпретации получаемых полей смещений земной поверхности в рамках этих моделей для изучения природы и характера развития вулканических процессов.

Основные задачи:

Поиск спутниковых радарных снимков в архивах мировых спутниковых агентств. Формирование и постоянное пополнение базы радарных снимков спутников европейского космического агентства (ESA) Sentinel-1 (в настоящее время более 800 снимков) и японского космического агентства (JAXA) ALOS-1, ALOS-2.

Анализ методов и результатов применения РСА интерферометрии на вулканах, с целью формулировки направлений работ по совершенствованию технологии обработки и интерпретации РСА данных в условиях полуострова Камчатка. Разработка технологии обработки РСА снимков, адаптированной к специфическим условиям Камчатки, ее тестирование на снимках С и L диапазона.

Разработка новых и совершенствование имеющихся математических моделей вулканических процессов для интерпретации полученных полей смещений, создание соответствующего программного обеспечения.

Интерпретация полей смещений для вулканических районов, на которые удалось получить интерферометрический сигнал: Плоский Толбачик, Корякский и Шивелуч. Определение природы и характера развития исследуемых процессов.

Практическая значимость исследования:

Адаптированная к условиям Камчатки технология обработки РСА снимков, которая разработана и обоснована путем массового тестирования на снимках С и L диапазона, будет использоваться сотрудниками ИФЗ РАН и, возможно, в других организациях, применяющих спутниковые технологии в горных районах и в условиях крайнего Севера. Модель остывания Толбачинского лавового поля объясняет процессы, участвовавшие в формировании различных частей лавового потока, даёт оценку различия физических свойств лавы (содержания пор и стёкол). Сопоставление реальных и расчётных скоростей оседания позволяет картировать лавоводы и лавовые каналы.

Модель внедрения дайки в постройку Корякского вулкана подтверждает гипотезу подъёма магмы во время извержения 2008–2009 гг. Следовательно, происходящие под вулканом процессы могут создавать опасность для расположенных в его окрестности населенных пунктов и объектов инфраструктуры и требуют непрерывного мониторинга, в том числе с применением спутниковых технологий. Предложенная термомеханическая модель позволяет оценить физические параметры пирокластического потока на вулкане Шивелуч и объясняет механизм вертикальной деформации при его остывании.

Содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём работы составляет 97 страниц машинописного текста, в том числе 3 таблицы, 21 рисунок. Список цитируемых литературных источников включает 94 наименования.

В главе 1 рассматриваются все доступные средства спутниковой интерферометрии. Показано, что для Камчатки наиболее результативны съёмки в диапазоне длинных волн (L-диапазон, спутники ALOS-1/2), поскольку длинные волны в меньшей степени подвержены влиянию изменений в атмосфере. Ограничения к применению снимков ALOS: у длинноволнового диапазона хуже радиометрическое разрешение, и большой интервал съёмки (1-2 раза в год). Снимки L-диапазона спутников ALOS-1/2 подходят для применения метода парных интерферограмм (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar – DInSAR). Для исследования динамики смещений во времени (применение метода SBAS) используются радарные изображения спутника Sentinel-1, C-диапазона. Отработанная технология применения РСА-интерферометрии (радары с синтезированной апертурой РСА, в английской литературе SAR – Synthetic Aperture Radar) позволила определить сценарий обработки снимков: диапазон параметров и методов для применения на территории полуострова Камчатка.

Глава 2. Проведены исследования оседания поверхности лавовых потоков, сформированных во время извержения вулкана Толбачик в 2012–2013 годах, основанные на данных РСА интерферометрии. Большая часть поверхности лавового поля соответствует “нормальной” скорости оседания и может быть хорошо объяснена моделью, основанной на термическом охлаждении и уплотнении отложений лавы. В то же время относительно небольшое количество точек явно демонстрирует гораздо более быстрое оседание по сравнению с этим “нормальным” трендом. Это связано с тем, что эта часть потока образовалась очень быстро после раскрытия трещины, в отличие от более отдаленных частей лавовых полей, формировавшихся более медленно.

В этой зоне образовалась система лавовых труб и каналов. Эти трубы опустошались во время извержения, и лава стекала во внешнюю часть поля, что привело к образованию множества полостей. Области аномально быстрого оседания, вероятно, располагаются над такими “лавовыми пещерами”. Через шесть–семь лет после извержения под затвердевшей поверхностью базальтового потока всё ещё присутствует значительное количество

крупных пустот в местах, где спутниковые данные регистрируют высокие скорости оседания. В целом, результаты моделирования показывают, что, хотя большая часть измеренных по спутнику величин оседания лавы может быть хорошо объяснена моделью термического уплотнения, наибольшие наблюдаемые значения могут быть, по крайней мере, частично обусловлены другими процессами, такими как уменьшение высоты пустот внутри лавовых отложений.

Глава 3

Исследованы смещения поверхности вулкана Корякский, полученные методами РСА интерферометрии. Вертикальные поднятия в районе трещины, из которой происходило извержение превосходят 25 см и не могут быть объяснены слоем пепловых отложений, сформированным в период извержения 2008–2009 гг. Основной причиной таких смещений скорее всего является внедрение магматического материала в постройку вулкана.

Модель дайки с глубиной нижней кромки 0.5 км над уровнем моря, шириной по простиранию 1.0 км, по падению 2.4 км, с углом падения от 45° до 60° хорошо соответствует смещениям, определенным по РСА интерферометрии. Объем дайки соответствуют объёму магмы по порядку величины равной 10⁶ куб.м.

Полученные результаты поддерживают гипотезу о том, что активизация вулкана Корякский была связана с подъемом вулканического материала и его внедрением, в том числе, в вулканическую постройку самого вулкана. Поэтому происходящие под вулканом процессы могут создавать опасность для расположенных в его окрестности населенных пунктов и объектов инфраструктуры и требуют непрерывного мониторинга.

В главе 4 исследованы процессы оседания поверхности пирокластического потока возникшего в результате извержения вулкана Шивелуч 29 августа 2019 года.

Оседание поверхности пирокластического потока определяется тремя процессами: остыванием потока, уплотнением и размывом пород. Построенная математическая модель позволяет оценить относительную роль термической компоненты оседаний и оседаний за счет компакций пород.

По снимкам спутника Sentinel-1A были оценены мощность пирокластического потока и скорость оседания его поверхности. Карты скоростей смещений поверхности вулкана, построенные по данным РСА-интерферометрии по сериям снимков спутника Sentinel-1A за 2020 и 2021 годы в периоды с мая по октябрь, показывают оседания в области пирокластического потока с максимальной скоростью в 2020 году равной 385 мм/год, в 2021 году равной 257 мм/год. Мощность пирокластических отложений, оцененная по тем же снимкам, достигает 30 м.

Диссертант представил следующие защищаемые положения, которые успешно доказаны

1. Технология обработки РСА снимков, эффективность которой в условиях полуострова Камчатка (низкая когерентность радарных снимков, горный рельеф, существенное влияние атмосферы) обоснована путем массового тестирования на снимках С и L диапазона (глава 1).

2. Термомеханическая модель процесса оседания поверхности лавового поля, сформированного в результате Трещинного Толбачинского Извержения 2012–2013 гг, которая учитывает скорость формирования потока и определенные по составу лав вулкана Плоский Толбачик скрытую теплоту кристаллизации, зависимости теплоёмкости, теплопроводности и плотности от температуры, температурную зависимость концентрации кристаллов в объёме расплава и процент незакристаллизованного материала (стекло или расплав), а также пористость (глава 2).

3. Математическая модель формирования дайки в процессе извержения вулкана Корякский в 2008–2009 гг., основанная на решении Окада, модифицированном для компенсации влияния горного рельефа (глава 3).

4. Термомеханическая модель остывания пирокластического потока, сформированного в результате извержения 29.08.2019 г. вулкана Шивелуч, учитывающая компакцию отложений за счёт изменения во времени их пористости и плотности (глава 4).

Апробация результатов и публикации

По материалам диссертации опубликовано четыре печатных работы в рецензируемых изданиях, входящих в системы цитирования Web-of-Science и Scopus. Одна статья вышла в журнале первого квартиля списка Scopus. Основные результаты были представлены на международных и российских конференциях: 18-я и 19-я международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН в 2020 и 2021 годах; конференция японского космического агентства «Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2020», Япония, 18–22 января 2021; конференция европейского космического агентства EGU2021 (European Geosciences Union), Вена, Австрия, 19–30 April 2021; конференция европейского космического агентства FRINGE2021, Нидерланды, 31 мая–04 июня 2021.

Оценка диссертации высокая. За время работы над диссертацией автор подробно освоил методы обработки и интерпретации спутниковых снимков с различных приборов апертурной съёмки. Получение качественных снимков в различных частотных диапазонах со спутников Европейского космического агентства (ESA) Sentinel-1 и японского космического агентства (JAXA) ALOS-1, ALOS-2 по вулканическим объектам на Камчатке определяет значительную организационную работу соискателя.

В целом диссертация представляет собой полноценные результаты по применению спутниковых технологий для исследования вулканических процессов. При прочтении диссертации возникли замечания и вопросы.

1. В разделе «Актуальность» излишне подробно описаны преимущества использования спутниковых технологий для исследования деформаций земной поверхности. На самом деле это всё детально представлено в главе 1, а такое излишнее описание в разделе «Актуальность» в действительности маскирует реальную актуальность.
2. В главе 2 неубедительно представлены причины поднятия поверхности лавовых полей для толщины слоя меньше 20 метров. Все динамические процессы, связанные с распространением лавовых потоков через 6-7 лет после начала извержения должны прекратиться. Такой интересный результат, в какой-то степени аномальный, требует более детального исследования и объяснения.
3. В разделе «Актуальность» «Мутновская геотермальная станция» названа «Мутновской гидротермальной станцией». Это принципиально неверно.

Окончательная оценка:

Отмеченные в отзыве официального оппонента замечания не снижают высокого уровня работы, которая является законченным научным исследованием и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат отражает основные положения диссертации. Диссертация соответствует критериям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335) для ученой степени кандидата наук, а ее автор Мария Сергеевна Волкова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент, научный руководитель Государственного бюджетного учреждения науки Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН), доктор физико-математических наук

Евгений Ильич Гордеев

Почтовый адрес: 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Б.И. Пийпа, д. 9
Тел.(4152) 202052, (4152) 20-21-03
ФАКС: (4152) 29-79-82, (4152) 29-77-17
E-mail: volcan@kscnet.ru
Web-адрес: www.kscnet.ru/ivs

Я, Гордеев Евгений Ильич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

5 августа 2022 г.

Подпись Е.И. Гордеева заверяю.

Подпись Гордеева Е. И.

заверяю.

Зав. ОК ИВиС ДВО РАН

