


УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по науке
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Геофизического центра
Российской академии наук,
доктор физико-математических наук




Б.А. Дзедбоев
«29» августа 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Тимофеевой Веры Анатольевны
«ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РСА-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В РАЙОНЕ ПОЛУОСТРОВА
КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых»

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена применением современных спутниковых технологий для изучения сейсмических событий в труднодоступных районах с недостаточно плотным покрытием стационарными наземными станциями наблюдения, к которым относятся полуостров Камчатка и Командорские острова. Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) космического базирования и соответствующие методы обработки данных, получаемых с их помощью, широко используются в мировой практике для анализа смещений и изменений напряжений, вызванных сильными землетрясениями в земной коре. Однако, в России такие направления исследований до сих пор редки и представленная диссертация, безусловно, является качественным примером изучения сейсмических событий с применением методов спутниковой РСА-интерферометрии.

В работе развиваются методы оценки смещений на природных объектах, в

том числе в условиях, сложных для РСА-интерферометрии (горный рельеф, снежный покров, растительность). Их комплексирование с наземными геолого-геофизическими данными позволило диссертанту построить новые геодинамические модели исследуемых сейсмических процессов.

Новизна работы заключается в получении оценок и интерпретации смещений земной поверхности в эпицентральных районах Ближне-Алеутского и Южно-Озерновского землетрясений, а также области сейсмической активизации 2017–2018 гг. в районе вулкана Большая Удина. На базе вычисленных полей смещений и собранных наземных данных диссертантом построены новые модели поверхностей сейсмических разрывов. Для каждого землетрясения были оценены параметры сейсмического разрыва (размеры поверхности и длины разрыва, поле смещений на нем) путем решения соответствующих обратных задач. Достоверность полученных результатов подтверждается их согласованностью с геолого-геофизическими данными и достигается, в том числе, путем взаимной верификации данных, полученных по снимкам с различных спутниковых миссий с применением различных методов выделения деформационных сигналов: метода дифференциальной интерферометрии (DInSAR) и метода малых базовых линий (SBAS).

Практическая значимость диссертационной работы состоит в развитии и адаптации методики проведения исследований сейсмических событий в труднодоступных районах со сложным рельефом без привязки к наземной регистрирующей аппаратуре. В таких случаях спутниковая интерферометрия существенно сокращает расходы на проведение мониторинга. А её комплексирование с геолого-геофизическими данными наземных наблюдений повышает надежность получаемых результатов. Доступность данных спутниковых миссий, оборудованных РСА-датчиками, позволяет определять смещения земной поверхности вследствие достаточно сильных сейсмических событий по всему миру.

В рамках диссертационной работы для трех сейсмических процессов были отобраны и систематизированы спутниковые снимки, обеспечивающие качество

конечного результата с учетом критериев согласованности (когерентности) снимков, оценок базовых линий, времени съемки, а также метеорологических условий и наличия снежного покрова. Для исследуемых областей проведенные с использованием технологий РСА-интерферометрии расчеты позволили оценить смещения земной поверхности в период сейсмической активности, а также оценить параметры сейсмических событий и выполнить интерпретацию полученных результатов.

Новая модель поверхности разрыва Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 позволяет получить новые сведения о строении очага этого сейсмического события. А интерпретация данных модели поверхности разрыва Южно-Озерновского землетрясения 29.03.2017 подтверждает предположение, что разрыв произошел на системе разломов, связанной с береговыми горными хребтами. Результаты исследования причин сейсмической активизации в районе вулкана Большая Удина показали, что она не является предвестником крупного извержения.

Цели и задачи исследования определили структуру и логику диссертации. Диссертационная работа Веры Анатольевны Тимофеевой состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Она содержит 121 страницу машинописного текста и включает в себя 28 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 104 наименований.

Во введении диссертантом дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, приведены цель и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения и научная новизна, дана информация о публикациях по теме диссертации и конференциях, на которых были представлены результаты работы, указан личный вклад диссертанта.

В первой главе диссертационной работы приведен обзор истории развития современных спутниковых технологий с использованием радиолокаторов с синтезированной апертурой. Описаны методы РСА-интерферометрии (дифференциальная интерферометрия DInSAR и метод малых базовых линий SBAS), которые использовались в диссертационном исследовании и составили

методологическую основу работы. Глава содержит описание спутниковых миссий, являющихся источниками данных для проведения диссертационного исследования. В конце главы делается вывод, что параметры, используемые при построении дифференциальной интерферограммы, не являются унифицированными. Исследователю необходимо их подбирать на каждом этапе обработки снимков. Это отмечает вклад диссертанта в полученные в работе результаты.

Во второй главе В.А. Тимофеевой представлены результаты проведенного на основе РСА-интерферометрии и данных спутниковой геодезии моделирования поверхности разрыва Ближне-Алеутского землетрясения, произошедшего 17 июля 2017 г. в районе Командорских островов Алеутской островной дуги. Диссертантом рассмотрены и проанализированы существующие модели поверхности разрыва этого землетрясения:

- на основе инверсии волновых форм (модель Геологической службы США);
- по сейсмическим и геодезическим данным, а также приливных станций [Lay et al., 2017];
- по данным смещений на пунктах ГНСС [Чебров и др., 2019].

В.А. Тимофеевой приведены результаты проверки согласованности данных РСА-интерферометрии и спутниковой геодезии. Так, показано, что в рамках модели единого очага, предложенной Д.В. Чебровым с соавторами, данные РСА-интерферометрии и ГНСС хорошо согласуются между собой. В свою очередь они не согласуются в модели с двумя разрывами.

На основе проведенных в главе исследований диссертантом предложена новая модель поверхности разрыва Ближне-Алеутского землетрясения. Согласно ей смещения произошли неравномерно, по всей очаговой области. Неравномерность смещений проявляется по глубине. Представленные в главе результаты дают новые сведения о геодинамике изучаемого региона.

Материалы и выводы второй главы обосновывают второе защищаемое научное положение.

Третья глава работы посвящена изучению Южно-Озерновского

землетрясения, произошедшего 29 марта 2017 г., и содержит результаты моделирования поверхности его разрыва. В главе приведен достаточно полный анализ сейсмичности района залива Озерной в XX – начале XXI вв. В.А. Тимофеевой убедительно показано, что в силу сравнительно небольшой магнитуды Южно-Озерновского землетрясения и удаленности его эпицентра от стационарных пунктов ГНСС использование данных спутниковых миссий ESA Sentinel-1A и JAXA ALOS-2 в совокупности с методами РСА-интерферометрии предоставило по сути единственную возможность определить смещения земной поверхности и построить модель поверхности сейсмического разрыва.

Для оценки смещений на земной поверхности вследствие Южно-Озерновского землетрясения диссертантом проведена кропотливая работа по обработке 50 пар интерферометрических снимков, полученных спутниками Sentinel-1A и ALOS-2. При этом смещения были выявлены только для 4 пар снимков (1 пара Sentinel-1A и 3 пары ALOS-2). На основе модели сейсмического разрыва Ф. Поллитца В.А. Тимофеевой выявлена оптимальная модель поверхности разрыва Южно-Озерновского землетрясения, которая наилучшим образом приближает поле смещений, полученное с помощью РСА-интерферометрии, к данным мировых сейсмологических центров, в частности USGS.

Анализ данных Sentinel-1A и ALOS-2, в том числе, показал и то, что снимки, полученные со спутника ALOS-2 более устойчивы к проявлению метеорологических условий изучаемого региона. Этот вывод может быть полезен в будущем при обработке данных РСА-интерферометрии в других регионах при решении геодинамических задач.

Материалы и выводы третьей главы составляют основу третьего положения, выносимого диссертантом на защиту.

В четвертой главе выполнена оценка возможности извержения вулкана Большая Удина. Для этого проведен комплексный анализ сейсмологических, спутниковых и геологических данных и их сопоставление с моделью оценки размера области смещений на земной поверхности, зависящей от глубины

залегания магматической камеры.

Для анализа смещений поверхности вулкана диссертантом был применен метод SBAS, который эффективен при анализе смещений устойчиво отражающих площадок на природных объектах. За 2017 и 2018 гг. было отобрано 22 спутниковых снимка Sentinel-1A. На снимках выполнен поиск устойчивых отражателей на склонах вулкана, для которых были получены временные серии смещений. Анализ полученных графиков показал отсутствие существенных смещений на склонах вулкана Большая Удина. Анализ снимков ALOS-2 в период с 2016 по 2018 гг. показал схожие результаты, что важно для верификации оценки смещений. Приведенные в главе инструментальные результаты в совокупности с геологическими данными позволили диссертанту сделать вывод о малой возможности извержения вулкана Большая Удина.

Материалы и выводы четвертой главы обосновывают четвертое защищаемое научное положение.

В свою очередь результаты второй, третьей и четвертой глав обосновывают первое положение, выносимое на защиту.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Основные замечания:

1. В первой главе довольно скупо говорится о спутниковых миссиях, данные которых были использованы в ходе исследования. Это космические аппараты (КА) серии Sentinel и ALOS. Было бы правильно привести в первой главе основные характеристики этих КА (параметры орбиты, основные параметры целевой аппаратуры и т.п.).
2. В первой обзорной главе наблюдается нехватка упоминаний и отсылок к исследователям или исследовательским группам, внесшим вклад в создание и развитие методов РСА-интерферометрии, а также в решение геолого-геофизических задач, сформулированных и решаемых в диссертационной работе.
3. В тексте диссертационной работы отсутствует как таковой обзор программного обеспечения, используемого для обработки радарных данных

дистанционного зондирования Земли из космоса. Было бы правильным дать небольшое их описание, учитывая, что диссертантом используется программное обеспечение SNAP и ENVI SARscape.

4. В первой главе на с. 38 говорится о настройке шкалы RGB для визуализации сигналов корегистрированного набора снимков, но не уточняется, каким образом выполняется подбор.
5. В первой главе на с. 39 говорится о влиянии атмосферы на данные интерферометрии. Упомянут фактор атмосферной влажности, но не говорится о влиянии ионосферы на распространение сигнала. Данный вопрос рассмотрен в ряде работ, например, в [Zhang et al., 2021].
6. Гидравлическая связь между районом р. Толуд и районом трещинных извержений Плоского Толбачика, на которую ссылается диссертант в выводах к четвертой главе, в тексте диссертации не описана. Здесь же в выводах к четвертой главе геологическая терминология касательно вулканической активности требует более строгих формулировок.
7. В тексте диссертации и автореферата имеется ряд опечаток и оформительских неточностей. Например, в диссертации на блок-схеме, представленной на с. 35, вместо слова *фринджи* напечатано *фриджи*; на с. 56 формулы для нормальных и поперечных сдвигов имеют нечитабельный вид. В качестве разделителя дробной части в числовых величинах используется точка вместо запятой. В качестве знака числового диапазона часто используется дефис вместо тире.
8. В тексте диссертации и автореферата местами встречаются аббревиатуры раньше их расшифровки.
9. В автореферате не самым удачным образом подготовлен иллюстративный материал. На части рисунков крайне сложно прочитать подписи шкал и осей координат или найти зеленую звезду на рис. 5а.

Сделанные замечания несколько не снижают значимость результатов диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне.

В диссертационной работе В.А. Тимофеевой использовались современные

методы геофизических и спутниковых исследований. По теме диссертационной работы автором опубликовано 10 научных работ, из которых 3 в журналах из списка ВАК. Результаты докладывались на крупных российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертация и автореферат имеют внутреннее единство и включают новые научные результаты и положения, выносимые на защиту. Диссертация написана В.А. Тимофеевой самостоятельно простым и ясным для понимания языком.

Диссертация Тимофеевой Веры Анатольевны «Применение методов РСА-интерферометрии для исследования сейсмических событий в районе полуострова Камчатка и Командорских островов» выполнена на актуальную тему, является завершенным научно-квалификационным исследованием и содержит решение задачи развития и адаптации методов РСА-интерферометрии для оценки величин и конфигурации полей смещений земной поверхности в районах проявления активных эндогенных геодинамических явлений и процессов. Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842) для ученой степени кандидата наук, а ее автор Вера Анатольевна Тимофеева достойна присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Отзыв рассмотрен и обсужден на заседании научного семинара ГЦ РАН, который состоялся в режиме видеоконференцсвязи «24» августа 2022 г., протокол № 1, и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Отзыв подготовили:

ТатаринOV Виктор Николаевич
член-корреспондент РАН,



доктор технических наук,
заведующий лабораторией геодинамики ГЦ РАН,
119296, г. Москва, ул. Молодежная, д. 3,
+7 (495) 930-05-46,
v.tatarinov@gcras.ru

Красноперов Роман Игоревич
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
геоинформатики и геомагнитных исследований ГЦ РАН,
ученый секретарь ГЦ РАН,
119296, г. Москва, ул. Молодежная, д. 3,
+7 (495) 930-05-46,
r.krasnoperov@gcras.ru

Авторы отзыва дают согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подписи В.Н. Татарина и Р.И. Красноперова заверяю.

Главный специалист по кадрам ГЦ РАН

В.П. Дасаева



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН)
119296, г. Москва, ул. Молодежная, д. 3
gcras@gcras.ru
тел.: +7 (495) 930-05-46
факс: +7 (495) 930-05-06