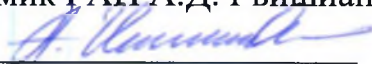


«УТВЕРЖДАЮ»



Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Геофизического центра  
Российской академии наук  
академик РАН А.Д. Гвишиани

  
«10» сентября 2018 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Сдельниковой Ирины Александровны  
«ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ  
ПРОЦЕССОВ В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ», представленную на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 –  
«Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа Сдельниковой Ирины Александровны направлена на изучение деформаций в зонах субдукции и выявление их особенностей на разных стадиях сейсмического цикла на основе данных спутниковой геодезии. Актуальность исследования определяется высокой сейсмической активностью, а также цунамиопасностью субдукционных регионов. Именно в таких районах происходят катастрофические землетрясения.

Одно из направлений исследований Лаборатории геодинамики ГЦ РАН непосредственно связано с вопросами изучения деформаций земной поверхности по данным космической геодезии.

### **Актуальность исследований**

Методы спутниковой геодезии представляют собой перспективное и активно развивающееся направление исследования деформаций земной поверхности. Сети станций спутниковых наблюдений постоянно расширяются, и в настоящее время во многих сейсмически активных регионах развернуты достаточно густые сети. Развитие систем наблюдений деформаций земной поверхности позволяет усовершенствовать модели глубинных тектонических процессов и изучить закономерности их развития, что обуславливает

актуальность данной работы.

### **Цель и задачи исследований**

Цель представленной диссертационной работы заключается в выявлении особенностей деформаций на разных стадиях сейсмического цикла и, в частности, на стадии подготовки сильнейших землетрясений. Для этого автором выполнено моделирование пространственно-временного распределения межплитовых деформаций путем решения следующих задач:

1. Фильтрация исходных данных спутниковых геодезических измерений, и в частности, разделение составляющих, отражающих проявление различных тектонических процессов.

2. Моделирование пространственного распределения межплитовых деформаций по смещениям земной поверхности в районе Курильских островов и Японии.

3. Оценка вычислительной устойчивости предложенного алгоритма моделирования деформаций в зонах субдукции.

Цель диссертации и решаемые задачи соответствуют современным тенденциям геофизических исследований, направленных на анализ современных деформаций земной поверхности и изучение глубинных тектонических процессов по данным спутниковых геодезических измерений.

### **Структура работы и основные результаты**

Диссертация И.А. Сдельниковой логично структурирована и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы и двух приложений. Основное содержание диссертации изложено на 116 страницах машинописного текста (без приложений), включая 42 рисунка и 2 таблицы.

Во введении автор дает общую характеристику работы: обосновывает актуальность темы и основные направления исследований, формулирует цель работы, научную новизну, свой личный вклад, теоретическую и практическую значимость, защищаемые положения.

В первой главе показано формирование представлений о природе

деформаций в зонах субдукции и представлен обзор подходов к оценке межплитовых деформаций в таких районах. До середины 1990-х годов динамика субдукционных регионов в основном анализировалась по совокупности данных об их сейсмичности и представлениях о глобальной кинематике литосферных плит. Для количественного описания взаимодействия между плитами в зоне субдукции применялся коэффициент сейсмического сцепления, который характеризует сейсмофокальную зону в целом с осреднением за достаточно продолжительное время.

Современный подход к изучению деформаций земной поверхности основан на применении методов космической геодезии. Спутниковые измерения позволяют получать высокоточные оценки смещений земной поверхности, что служит основой для моделирования глубинных тектонических деформаций.

Исследование деформаций в данной работе выполнено в рамках модели, согласно которой распределение поверхностных смещений в зонах субдукции определяется скоростью пододвигания погружающейся плиты и степенью взаимного сцепления плит. Опираясь на международный опыт, автор для количественного описания степени межплитового сцепления применяет кинематический коэффициент межплитового сцепления. Пространственное распределение коэффициента межплитового сцепления позволяет локализовать области наиболее интенсивного накопления упругих напряжений, быстрая разгрузка которых приводит к землетрясениям.

Вторая глава раскрывает содержание предложенной автором методологии моделирования пространственно-временного распределения межплитового сцепления по данным о поверхностных смещениях, измеряемых методами космической геодезии. Пространственные вариации выявляются путем дискретизации межплитовой контактной зоны и линеаризации соответствующей обратной задачи. Решение такой задачи выполнено с применением общепринятых методов регуляризации, а именно, условия статистического согласия между итоговыми невязками и погрешностями исходных измерений. Кроме того, для сужения области возможных решений автор накладывает

дополнительные физически обоснованные ограничения. Анализ временных вариаций основан на применении регрессионного анализа к исходным временным рядам спутниковых геодезических измерений, описание которого представлено в работе.

В третьей и четвертой главе приводятся результаты применения предложенной методологии на примерах Курило-Камчатского и Японского регионов. Для указанных регионов автором выявлены особенности межплитовых деформаций на разных стадиях сейсмического цикла и рассмотрена взаимосвязь деформаций с развитием сейсмичности. Выявлены различия деформационных процессов для отдельных сегментов Курильской дуги. Пространственно-временные вариации межплитового сцепления Курило-Камчатской зоны субдукции проявляют признаки разных стадий сейсмического цикла в различных ее сегментах.

Густая сеть длительных непрерывных наблюдений на основе ГНСС данных на Японских островах предоставила автору возможность получить более детальное по сравнению с Курило-Камчатским регионом пространственно-временное распределение межплитового сцепления. Наличие измерений перед сильнейшим субдукционным землетрясением Тохоку 2011 г. позволило рассмотреть взаимосвязь косейсмических и предсейсмических деформаций в исследуемом регионе и выявить пространственно-временные вариации распределения межплитового сцепления, которые, по мнению автора, могут служить индикатором подготовки такого события. Выявление процесса подготовки является практически важным научным результатом и отражает содержание одного из защищаемых положений. Локализация мест наиболее вероятного возникновения землетрясений способствует выявлению цунамигенного характера возможного события.

Пятая глава посвящена практическим аспектам связанным с субдукционными землетрясениями и их цунамигенным потенциалом. На примере сильнейших субдукционных землетрясений Курило-Камчатского и Японского регионов показана возможность практического применения

спутниковых геодезических методов для оперативного геодинамического мониторинга подготовки и реализации сильнейших субдукционных событий, в частности, их цунамигенного потенциала. Для обоснования выявленных возможностей автор проводит анализ косейсмических деформаций в очагах Симуширских землетрясений и Тохоку, а также поле вертикальных смещений дна океана в эпицентрах указанных событий.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты, полученные в данной работе. Результаты исследований отражены в защищаемых положениях и полностью их обосновывают.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается применением общепринятых методов регуляризации некорректных обратных задач, выбором адекватных математических и физических моделей исследуемых процессов, применением статистических критериев согласованности и тестов на устойчивость.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

В работе показана возможность моделирования пространственно-временных вариаций межплитовых деформаций по данным о смещениях земной поверхности, измеримых методами спутниковой геодезии. Изучение особенностей пространственно-временных деформаций в сейсмически активных регионах позволяет усовершенствовать модели глубинных тектонических процессов и расширить понимание механизмов, приводящих к возникновению сильнейших землетрясений. Это, в свою очередь, позволяет развивать систему мониторинга глубинных тектонических процессов в целом.

Теоретическая значимость результатов состоит в выявлении предсейсмических вариаций деформаций в зонах, регистрируемых методами космической геодезии. Возможность выявления процесса подготовки сильнейших субдукционных землетрясений является также важным

практическим результатом. Локализация землетрясения по пространству позволяет выявлять цунамигенность данного события.

Несомненная практическая значимость работы состоит в возможности применения данных космической геодезии, получаемых в режиме реального времени, для оперативного мониторинга сейсмических событий с целью раннего оповещения о цунами.

Диссертационная работа Сдельниковой Ирины Александровны основана на результатах, полученных лично автором в процессе интерпретации имеющихся спутниковых геодезических данных. Автором составлены алгоритмы и программные модули, выполняющие все необходимые расчеты, выполнен анализ разрешающей способности исходных данных и методики их интерпретации, а также проведена оценка предлагаемых подходов на устойчивость получаемых результатов. Все материалы, привлеченные автором из других источников, сопровождаются корректными ссылками.

Основные результаты исследований были представлены на различных российских и международных конференциях, семинарах и заседаниях.

По работе имеются следующие замечания:

1. Изучение деформационных процессов подготовки сильных землетрясений является фундаментальной и практически значимой задачей современной геофизики. Концепция тектоники плит принята большинством специалистов, проводящих исследования по данной тематике. Однако, в обзорной части для объективности необходимо было бы указать факты, которые находятся в противоречии с данной концепцией.

2. Раздел «Деформационные процессы в зонах субдукции» очень короток, тем более, что ниже автор достаточно подробно рассматривает сейсмологические аспекты геодинамики субдукционных зон. Возможно, не лишним было бы привести в нем ссылки на работы известных ученых, занимающихся данной проблемой. В главе нет ссылки на известную сеть ГНСС наблюдений GEONET (GNSS Earth Observation Network System).

3. Во введении диссертации и автореферате недостаточно конкретно

указано в чем заключается научная новизна представленной диссертационной работы.

4. Анализ пространственно-временного распределения деформаций для Курило-Камчатской зоны субдукции приведен по данным наблюдений за период 3-4 года. Известно, что период накопления сейсмической энергии и подготовки сильных землетрясений составляет несколько десятков лет, поэтому возникает вопрос о достоверности окончательных выводов ввиду малой длительности временных рядов наблюдений.

5. Имеются несколько замечаний по оформлению работы. Например, на рис. 2.3, 3.3 заголовок шкалы следовало бы перевести на русский язык. На рис. 3.2 нет указания, что обозначают изолинии. Имеется ошибка в написании списка литературы (1) и др.

Несмотря на высказанные замечания, диссертация заслуживает высокой общей оценки и является вполне законченным научно-квалификационным исследованием.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертационной работы. Работа написана технически грамотно, хорошо оформлена и иллюстрирована.

## **Выводы**

В целом, диссертационная работа И.А. Сдельниковой представляет собой объемное научное исследование по актуальным вопросам современной геофизики на основе детального анализа имеющихся фактических данных с помощью современных технологий. Все выводы и защищаемые положения обоснованы и получены с помощью строгих проверяемых математических подходов. Все материалы апробированы и отражены в публикациях автора, две из которых в рецензируемых журналах из перечня, рекомендованного ВАК.

Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности, так как предлагает подход к анализу и интерпретации деформационных процессов в зонах субдукции и содержит необходимые для

этого научно обоснованные теоретические и практические разработки.

Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., для учёной степени кандидата наук, а её автор Сдельникова Ирина Александровна безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Отзыв рассмотрен и обсужден на семинаре лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которой – мониторинг движений и деформаций земной поверхности в районах особо ответственных объектов, 10 сентября 2018 г., протокол №4, и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

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

Заведующий лабораторией геодинамики ГЦ РАН, главный научный сотрудник,  
доктор технических наук Виктор Николаевич Татарин

Главный научный сотрудник лаборатории геодинамики ГЦ РАН,  
доктор технических наук Владимир Иванович Кафтан

*Подписавшие отзыв сотрудники согласны на обработку персональных данных и включение их в материалы, связанные с работой диссертационного совета.*

Подпись сотрудников В.Н. Татаринова и В.И. Кафтана заверяю:  
Главный специалист по кадрам В.П. Дасаева

