

ОТЗЫВ

официального оппонента
доктора физико-математических наук ТИМОФЕЕВА В.Ю.
на диссертационную работу 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»

Известно, что большая часть сейсмической энергии Земли выделяется в зонах субдукции, значительная часть которых расположена по границам Тихого океана. Современные методы изучения кинематики земной коры, включающие наземный мониторинг современных движений средствами космической геодезии различных модификаций с естественными и искусственными источниками сигнала, позволили приступить к изучению зон субдукции, в частности, исследовать сильные мелкофокусные землетрясения и условия возникновения цунами, что является особенно актуальным. Системы спутниковой геодезии в модификации GPS широкое развитие получили в 1990-ые годы. GPS - метод отличается возможностью уплотнения сетей для мониторинга зон деформаций, гибкостью при проведении измерений там, где они нужны, возможностью проведения долговременных измерений и, в отличие от других методов геодезии, отсутствием зависимости от погодных условий. Использование GPS технологии для геодинамических исследований требует специальных методов измерений и обработки данных для получения результатов с высокой точностью. Отметим, что изучение зон субдукции отличается особой сложностью, т.к. обычно измерения выполняются только на одной из двух плит. В этом случае необходимо разрабатывать и применять более сложные, по сравнению с обычными методами, алгоритмы и способы расчётов. Актуальность диссертационной работы вытекает из необходимости создания новых программ обработки данных и расчётов полей смещений при наличии банка многолетних данных, полученных на разных временных и пространственных базах. В диссертации Сдельниковой И.А. проводится изучение особенностей полей смещений в области сильных мелкофокусных землетрясений, случившихся в зонах субдукции северо-западной части Тихого океана, с возможностью образования цунами, что является актуальным в настоящее время.

Цель работы – это изучение особенностей деформирования в зонах субдукции при сильных землетрясениях. Цель работы достигается решением серии задач, в которых Сдельникова И.А. показывает новые возможности метода космической геодезии в геодинамике, для исследования современных процессов в зонах с активным сейсмическим режимом. Автором строится

оригинальное решение с акцентом на анализ режимов межплитного сцепления в различных областях зоны субдукции.

Новизна работы заключается в том, что Сдельниковой И.А. предложен оригинальный подход к интерпретации данных с учётом временных вариаций смещений земной поверхности на контакте тектонических плит. Смещение регистрируется по сети станций, расположенных на островах одной тектонической плиты, информация по смещению второй плиты отсутствует, ввиду невозможности проводить измерения смещений на дне океана. Для оценки степени сцепления плит необходимо решить обратную задачу. Автору при определённых условиях удаётся это сделать. Из анализа поля поверхностных смещений в Курило-Камчатской и Японской зонах субдукции, Сдельниковой И.А. получены интересные выводы о различных этапах сцепления в области субдукции. Эти новые факты и особенности современного деформирования можно рассматривать как признаки подготовки к сильному мелкофокусному землетрясению в зоне субдукции. Автором показана возможность использования данных космической геодезии для расчётов вертикальных смещений дна океана и, соответственно, для оперативного предсказания такого явления, как цунами.

Диссертационная работа общим объёмом 116 страниц состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе изложена история вопроса об изучении зон субдукции мирового океана, о тектонических процессах в этих зонах. Новый этап в исследованиях наступил с появлением методов космической геодезии, что позволило выделить в современных процессах косейсмическую, постсейсмическую и межсейсмическую фазы сейсмического цикла. Остаётся вопрос о предсейсмической фазе, связанной с подготовкой сильных землетрясений. В работе Сдельниковой И.А. рассматривается деформирование зоны субдукции, при этом распределение смещений в нависающей континентальной окраине определяется скоростью смещения океанической литосферы. Для количественного описания межплитовых деформаций автором предложено использовать коэффициент межплитового сцепления, меняющийся от 0 до 1, при этом значение 1 соответствует полному сцеплению, а 0 – свободному проскальзыванию.

Во второй главе приводится методика моделирования поля смещений в зонах субдукции. Здесь рассматриваются решения обратной задачи, возникающей при оценке пространственно-временного распределения межплитного сцепления по поверхностным смещениям. Особенностью задачи является тот факт, что информация о смещении имеется только для одной плиты. Задача является некорректной и необходима ее регуляризация. Сдельниковой И.А. предложено решение обратной задачи при определённых условиях, позволяющее уверенно выделять временные вариации смещений. Показано, что статистически значимое выделение

таких вариаций, обеспечивающее приемлемую точность результирующих скоростей, возможно на периоде осреднения в 1 год и более. В третьей главе приведён детальный анализ деформационных процессов в Курило-Камчатской зоне субдукции. Региональная сеть от 8 станций ГНСС заложена в период 2006-2008 гг.. Симуширские землетрясения магнитудой более 8 баллов по Рихтеру, случившиеся 15.11.2006 г. $M = 8.3$ и 13.01.2007 г. $M = 8.1$, зарегистрированы в центральной части Курильской дуги. Эти события значимо отразились в поле современных смещений и деформаций. Согласно предложенной методологии, проведена пространственная дискретизация (область 260 км x 140 км) с размером прямоугольного элемента 50 км на 100 км. При моделировании охватывалась площадка с глубиной (140 км), заведомо ниже глубин сейсмофокальной зоны региона (70-100 км). Учитывая положение станций, для регуляризации задачи введено условие монотонного убывания по глубине, регрессивным анализом получены составляющие, связанные с межплитным смещением в Курило-Камчатской зоне. Анализ показывает, что в результате Симуширских землетрясений произошла полная реализация накопленного ранее деформационного потенциала данной части сейсмофокальной зоны. Вопрос о предсейсмическом поведении в этой области остаётся открытым из-за отсутствия информации. Этот вопрос рассматривается в четвёртой главе на примере катастрофического землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. $M = 9.1$, произошедшего в 100 км от побережья острова Хонсю, где имеется густая сеть спутниковых геодезических измерений. При анализе выделены составляющие смещения с медленно меняющимся линейным трендом, ассоциируемым с вариациями межплитного сцепления, а кусочно-линейная аппроксимация отфильтрованных рядов позволяет оценить вариации скоростей поверхностных смещений. Косейсмические горизонтальные смещения составили от 5 м (в 100 км от эпицентра) до нескольких сантиметров на большом удалении. При моделировании дискретизация (область 380 км x 125 км) выполнена с размером прямоугольного элемента 50 км на 50 км, что обеспечило устойчивость решения. Нижняя граница области дискретизации (125 км) выбрана ниже границы сейсмогенной зоны (50-80 км). Отмечено, что вдоль контактной зоны существуют как области полного сцепления, так и области свободного скольжения. Моделирование процессов с учётом экспериментальных данных показало, что подготовка катастрофического землетрясения 2011 года началась с 2007 года, с отдельных более слабых землетрясений, при этом отмечены вариации сцепления в зоне субдукции, которые охватывают сравнительно небольшие области контакта плит. Сдельниковой И.А. отмечено, что очаг землетрясения Тохоку 2011 г. совпадает с областью максимального градиента межплитного сцепления, т.е. оказалась на границе полного сцепления и свободного проскальзывания ранее сцепленной зоны. После землетрясения происходит полное исчезновение межплитного сцепления в значительной части сейсмофокальной зоны, примыкающей к очагу события.

Выводы, полученные автором, важны для развития фундаментальных представлений в области Физики Земли и имеют практическое значение для среднесрочного прогноза землетрясений.

В пятой главе наиболее интересной частью являются результаты моделирования вертикальных смещений на дне океана, используя косейсмические смещения на острове Хонсю. Известно, что быстрые вертикальные движения на дне океана приводят к цунами. Автором показано, что анализ вариаций смещений в сотне километров от очага при наличии оперативного контроля данных позволяет использовать метод спутниковой геодезии для предсказания цунами. Последний вывод автора, несомненно, имеет большую научную и практическую значимость.

В заключительной части работы приведены основные результаты и выводы. Представленные в работе результаты отражены в защищаемых положениях и полностью их обосновывают. Все выводы и защищаемые положения вытекают из высококачественного экспериментального материала, полученного из известных авторитетных источников и проанализированного с помощью строгих математических подходов. Достоверность результатов подтверждается выбором адекватных математических и физических моделей исследуемых процессов, устойчивостью численных методов решения поставленных задач, применением общепринятых методов регуляризации некорректных обратных задач, применением статистических критериев согласованности и тестов на устойчивость.

Работа Сдельниковой И.А. хорошо оформлена, является законченным научным трудом. Всего автором по теме диссертации опубликовано 8 научных работ, 2 из которых в журналах, рекомендованных ВАК. По работе имеется ряд вопросов и замечаний.

1. В тексте диссертации (стр. 60) не указан источник ГНСС данных по Курило-Камчатской зоне. Здесь нет ссылки на работы сотрудников ИМГГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск).
2. В диссертации рассмотрено две сети ГНСС данных (Курило-Камчатская и Японская) отличающихся по плотности. Интересно мнение автора, есть ли оптимальное количество станций спутниковой геодезии для решения задач, поставленных в работе?
3. Какие рекомендации можно сделать по развитию сети станций ГНСС в Курило-Камчатской зоне для решения задач исследования и прогноза землетрясений и цунами?
4. Имеется ряд замечаний по редакции в подписях к рисункам: в тексте диссертации - Рис. 1.1. Границы плит обозначены очень широкими областями, что это? Рис. 3.1., 3.2., 4.2. и 4.10. Какие единицы измерений? Рис. 5.3. и 5.4. Видимо, представлены горизонтальные подвижки?; в тексте автореферата – Рис. 2а. и 5а. В каких единицах изолинии? Рис.7. Смещение в метрах? Нет пояснений для а) и б).

Высказанные замечания не изменяют положительного отношения к диссертационной работе И.А. Сдельниковой. Диссертация заслуживает высокой общей оценки и является вполне законченным научно-квалификационным исследованием. Все выводы и защищаемые положения обоснованы и вытекают из обширного фактического материала и получены с помощью строгих проверяемых математических подходов. Все материалы отражены в публикациях автора в периодических научных изданиях и апробированы в ходе выступлений на различных конференциях, семинарах и заседаниях. Автореферат в полной мере отражает основное содержание работы. Диссертация соответствует паспорту специальности (пп. 3, 4, 5, 6 и 8), направлена на изучение деформационных процессов, связанных с крупными землетрясениями и цунами, 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 достойна присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, и.о.зав. лабораторией физических проблем геофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН).

Член диссертационного совета Д 003.068.03 (ИНГГ СО РАН), специальность 25.00.10. – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых; член диссертационного совета Д 212.251.02 (Сибирский Государственный Университет Геосистем и Технологий, г. Новосибирск), специальность 25.00.32 – Геодезия; член диссертационного совета Д 003.022.03. (Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск), специальность 25.00.10.



Тимофеев Владимир Юрьевич

Я, Тимофеев Владимир Юрьевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3; Тел.: +7 (383) 330-39-52; E-mail: TimofeevVY@ipgg.sbras.ru

