

**Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу Жуковца Виктора Николаевича «Разработка модели  
субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу» по специальности 25.00.10 –  
Геофизика, геофизические методы полезных ископаемых, представленную к защите на  
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук**

Работа состоит из Введения, Заключение, четырех глав, 35 иллюстраций и списка литературы (всего 124 наименования), изложенных на 111 страницах. Цель работы – создание модели процесса субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу для (цитата) «выяснения причин особенностей зоны субдукции в районе Алеутских островов». Задачами исследования являлись выявление и объяснение особенностей распределения гипоцентров землетрясений вдоль Алеутской дуги, определение их средних механизмов, а также в выявлении закономерностей распределения сейсмичности в островной дуге Тонга-Кермадек.

Актуальность исследования обоснована автором необходимостью понимания физических процессов, приводящих к погружению литосферных и влияющих на распределение напряжений в земной коре в окрестностях погруженной части плиты (слэба). Научная новизна, в формулировке автора, состоит в привлечении для численного моделирования вариаций максимальной глубины субдукционных землетрясений вдоль Алеутской дуги алгоритма SIMPLE. То же относится для рассматриваемой в работе дуге Тонга-Кермадек, демонстрирующей, по мнению автора, еще один возможный вид субдукции.

Основной метод, использовавшийся автором для решения сформулированных задач и достижения цели работы, – (цитата) «рассмотрение усредненного поля механизмов очагов землетрясений», их сопоставление с параметрами движения Тихоокеанской плиты по данным GPS-измерений.

В целом, диссертационная работа содержит все необходимые разделы. Результаты работы суммированы в трех защищаемых положениях.

К работе есть замечания. Ниже они излагаются в виде комментариев и вопросов к разделам и утверждениям, в них содержащимся. При этом я не буду касаться «математической» части работы, поскольку это не моя тема.

Текст читается с трудом. Тому есть две причины.

Во-первых, собственно письменный язык. Отсутствие запятых и стилистические погрешности раздражают и отвлекают от смысла. При этом хорошо прослеживается отличие частей текста, которые были написаны автором, от тех, которые заимствованы из цитируемых статей.

Во-вторых, это терминология. Я впервые встречаюсь с такой. Похоже, это собственный, автора, перевод англоязычных терминов. При этом в русскоязычной литературе, посвященной движениям плит и их возможным взаимодействиям, все уже давно отработано. «Набегающая» плита, «опережающий желоб» (стр. 21), «скорость набегания погружающейся плиты» (из 2-го защищаемого положения), «полная субдукция» (стр. 10), «поверхностные плиты» (стр. 32), «океанические дуги» (стр. 10), «межокеаническая зона субдукции» (стр. 27), – все это не позволяло сразу понять смысл текста. Из фразы «... Направлений и скоростей движения набегающей (погружающийся блок) и наплзающей (висячий блок) плит» (стр. 21) я вроде бы понял, что набегающая – это океаническая плита, а наплзающая – континентальная. Однако фраза «Если наплзающий блок покоится, а погружающийся движется - ось желоба не смещается, и надвигающаяся плита уходит вниз (АК) под углом 30-45 градусов ...» (та же страница) меня смущала: почему океаническая плита является надвигающейся?

Повсеместно употребляются термины «заглубленность», «глубина отсечения сейсмичности» (стр. 32 и по тексту), «отсечка сейсмичности» (стр. 52). «Складывание пластины» в работе определяется как один из четырех вариантов субдукции, называемом коллизия. Субдукция и коллизия – совершенно разные геодинамические обстановки и процессы, (схожие только тем, что там и там плиты сближаются), и считать коллизию вариантом субдукции нельзя.

**Название работы**

"Разработка модели ...." – название неудачное. Защищать можно модель и ее результаты, а не процесс разработки.

В названии работы не фигурирует дуга Тонга-Кермадек. Основания для рассмотрения этой островной дуги в работе, кроме того, что эта дуга может представлять (цитата) «еще один возможный вид субдукции», не приведены. Непонятно, как данные по дуге Тонга-Кермадек способствуют решениям вопросов, касающихся субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу.

**Введение** к работе занимает чуть меньше одной страницы. Из него следует, что исходный факт, побудивший автора работы к исследованию, – распространение событий (событий чего – не сказано) в центре дуги до глубины 350 км и их меньшая глубина на ее краях. Анализа того, кем и что было сделано в соответствующей области исследования, во введении нет. Отмечено, что «Явление субдукции в районе Алеутских островов имеет неравномерный характер (!! – АК). К западу и востоку от центра дуги заглупление очагов землетрясений весьма незначительно, можно сказать, что субдукция и вовсе отсутствует» (!! – АК).

В конце введения говорится, что в работе рассматривается реализация алгоритма SIMPLE. Почему именно этот алгоритм, в чем его преимущества, и т.п., не поясняется. Просто констатируется – алгоритм SIMPLE, без вариантов.

#### **Актуальность**

«Изучение областей зон субдукции представляет собой значительный интерес, поскольку понимание физических процессов, приводящих к погружению литосферных плит, может позволить лучше понять распределение напряжений в земной коре в областях близких к слэбу» (цитата). Остается непонятным, почему необходимо лучше понять распределение напряжений, что это дает и для чего это нужно. Ответа нет. Автор напряжения не изучал.

**Раздел «Степень разработанности темы исследования»** занимает полстраницы. В конце раздела сказано, что (цитата) «... и численные методы имеют свои особенности, порой испытывая проблемы со сходимостью, или отсутствием должной точности».

Во-первых, численные методы не могут испытывать проблемы. Во-вторых, прочтя такую фразу, читатель остается в недоумении – что это за проблема со сходимостью? Что это за должная точность, с которой у «численных методов могут быть проблемы»? Какая точность может считаться удовлетворительной при описании процесса субдукции? Никаких пояснений по этим вопросам в работе нет.

#### **Цель диссертационного исследования**

Описание цели исследования – треть страницы. Она сформулирована как «... моделирование процесса субдукции для выяснения причин особенностей зоны субдукции в районе Алеутских островов». Под особенностью подразумевается то, что «... на западе и востоке субдукция практически отсутствует, а в центре дуги глубина погружения слэба максимальна».

Да, на западе (Командорский сегмент дуги) субдукция отсутствует (там Алеутский трансформный разлом). А вот на востоке она есть, о чем свидетельствует Аляскинское землетрясение 1964 г. На востоке дуги субдукции не может не быть.

В этом разделе должен был появиться первый рисунок, на котором был бы изображен регион, дуга, эпицентры с цветовой шкалой глубин гипоцентров, и т.д. Кроме того, – с показом широт и долгот, значения которых ниже автор в тексте приводит. Однако первый рисунок в работе появляется только на стр. 20, в разделе 1.3. Главы 1.

#### **Задачи исследования**

В разделе сказано, что «Объектом исследования работы как раз и является построение модели погружения Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу для того, чтобы понять причину существования особенностей глубинного распределения очагов землетрясений вдоль дуги»

Объектом исследования не может быть модель. Объектом может быть только некоторое природное явление или природный процесс. Построение модели – способ. Задачи в разделе не описаны.

#### **Научная новизна**

«Исследуя пространственное распределение очагов землетрясений, было замечено [Рогожин и др., 2019], что вдоль Алеутской дуги наблюдается изменение глубины расположения гипоцентров». Далее приводятся географические координаты (по долготе) участков дуги, в которых глубины гипоцентров изменяются.

Во-первых, «Исследуя пространственное распределение очагов землетрясений, было замечено...» стилистически неверно. Так писать нельзя.

Во-вторых, Рогожин и др., 2019, конечно, были не первыми, кто такой факт отметили. Еще в 1975 г. появилась статья Кормье и др. (*Cormier, V.F. Tectonics near the junction of the Aleutian and*

Kuril-Kamchatka arcs and a mechanism for Middle Tertiary magmatism in the Kamchatka Basin // *Geol. Soc. Amer. Bul.* 1975. Vol. 86. P. 443-453), в которой западная часть Алеут была определена как область диффузного праводвигового трансформного разлома. Позднее, вопрос изменения глубины гипоцентров землетрясений вдоль Алеутской дуги рассматривался в статье Creager and Boyd, 1991, *The geometry of Aleutian subduction: three-dimensional kinematic flow model*, JGR (автором цитируется, но без должного внимания).

В-третьих, указывается, что «Понимание причины такого необычного распределения землетрясений может пролить свет на особенности процесса субдукции.» (стр. 6). Однако ничего необычного в распределении землетрясений в дуге нет: работает стандартная плейттектоническая схема перехода от нормального поддвига к косому. Она, почему-то, автору работы кажется недостаточной.

В-четвертых, автор сообщает, что «Обычно, при решении такого рода задач используют метод конечных разностей, в некоторых случаях и метод конечных элементов» (стр. 6). Какого рода задач, не сказано.

#### **Методы исследования**

«Для изучения процесса субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу применяется рассмотрение усредненного поля механизмов очагов землетрясений. Производится сопоставление направления и величины скорости движения Тихоокеанской плиты, полученных на основе данных GPS ... с типами механизмов очагов землетрясений, описывающих напряженное состояние среды. ... строились профильные разрезы вдоль Алеутской дуги, что позволило оценить форму и заглубленность слэба».

К описанию методов замечаний нет. Автор действительно построил средние механизмы землетрясений в Алеутской дуге (рис. 19), сопоставил их с данными GPS и, на этой основе, выявил корреляцию между глубиной нижней кромки погруженной части плит и величиной нормальной компоненты поддвига (рис. 18). По сути, эта часть работы представляет личный вклад соискателя (см. ниже).

**В Главе 1** (Физическое и математическое моделирование процесса субдукции) приводятся сведения об истории исследования субдукции (раздел 1.1), подходах к математическому моделированию процесса субдукции (раздел 1.2) и применение математических моделей процесса субдукции для оценки физического поведения слэба (раздел 1.3). Сведения по истории исследования субдукции, похоже, списаны из какого-то учебника, и смысла для работы не имеет. Подходов и применения я касаться не буду (причина – см. выше). Отмечу, что в разделе 1.3, на стр. 20, появляется первый рисунок в работе. Рисунок иллюстрирует модельное поле вязкости в окрестности сближающихся плит. На самом деле, первым рисунком должен был бы быть обзорный рисунок в вводном тексте к Главе 1 с изображением региона Алеутской дуги в целом, эпицентрами землетрясений и прочим, включая сетку широт и долгот, на которые автор ссылается.

**В Главе 2** автор обращается к общей характеристике сейсмичности в Алеутской дуге. Первые два раздела главы представляют изложение статьи Рогожина и др., 2019 (Землетрясение 17.07.2017 г.,  $M_w = 7.8$  вблизи Командорских островов, его тектоническая позиция и геодинамическая обстановка, *Физика Земли*, 2019, № 4, с. 72–88). Заимствованы рисунки 7-12, 15-17. Примерно пять страниц текста (страницы 31-32, 47-51) являются повторением, слово в слово, текста из упомянутой статьи. Кажется, это чистый плагиат. Я понял бы изложение автора своими словами соответствующих частей текста из упомянутой статьи, но тотальное копирование недопустимо. Даже неправильная ссылка в статье Рогожина и др., 2019 (Mets C., Gordon R.G., Argus D.F., Stein S. *Current plate motions // Geophys. J. Int.* 1990. V. 101. P. 425–478) переключалась в текст диссертации без изменений. На самом деле, правильная ссылка – DeMets ..... (можно посмотреть оригинальную статью и список ее авторов).

Мне составило труда определить, в какой части диссертационной работы излагаются результаты работ ее автора, то есть то, что можно считать личным вкладом. Похоже, личный вклад начинается с раздела 2.3 – «Особенности движения Тихоокеанской плиты». Во-первых, этому соответствует рис. 19 (помещенный, правда, перед рис. 18), на котором изображены усредненные механизмы землетрясений в Алеутской дуге. Подтверждению этому является фраза из раздела «Методы исследований», в которой автор сообщает, что «Для изучения процесса

субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу применяется рассмотрение усредненного поля механизмов очагов землетрясений». Беда в том, что усредненные решения механизмов землетрясений изображены на рисунке 19 в масштабе, при котором они неразличимы. Потребовалось увеличение рисунка на экране монитора до 400%, чтобы что-то понять. Следовало бы оконтурить, хотя бы примерно, области с доминирующим типом подвижки в очаге. Это важно было бы и в смысле утверждения автора, что на востоке Алеутской дуги, в отличие от ее центральной части, опять появляются механизмы, соответствующие сдвигу (правому). Но на рисунке 19 крайние восточные механизмы располагаются и в области известного правосдвигового активного разлома Денали и параллельных ему, и такие механизмы никакого отношения к субдукции не имеют. Они характеризуют не субдукцию, а движения по активным коровым задуговым разломам. На рисунке 20а (стр. 54), на который ссылается автор для подтверждения тезиса о наличии сдвиговых механизмов в восточной части Алеутской дуги, сдвиговых механизмов нет. Во-вторых, автором, как я понял, построен график на рис. 18, который иллюстрирует соотношение максимальной глубины слэба (его нижней границы – АК) с величиной нормальной компоненты скорости движения Тихоокеанской плиты относительно Северо-Американской (или Берингской). Автор выявил линейную зависимость между этими двумя параметрами с высоким уровнем корреляции. Это составило суть второго защищаемого положения (см. ниже).

**Глава. 3** посвящена «рассмотрению субдукции недалеко от острова Тонга». Наличие такой главы в диссертационной работе непонятно. В название работы есть только Алеутская дуга. Никакого обоснования привлечения данных по дуге Тонга-Кермадек нет. Сказано только, что «для лучшего понимания особенностей явления субдукции...». Рассматриваются параметры землетрясения 19.08.2018 г. вблизи о-вов Тонга для того, чтобы «оценить некоторые характеристики его очага, а также сравнить динамику релаксационных процессов для глубоких и коровых землетрясений». То есть в главе не выполняются те же действия, что и в отношении Алеутской дуги, так что остается непонятным, зачем все это. Описание землетрясения и результаты анализа его параметров приведены в разделе 3.2 по данным статьи Лутиков и др., 2021, в которой диссертант – последний в списке авторов. В подписях к рисункам 21, 23 и 24 автор ссылается на Лутиков, 2019, однако такой работы в списке литературы нет. Есть Лутиков и др, 2019, но эта статья посвящена землетрясению 17.07.2017 г.,  $m_w = 7.8$  вблизи Командорских островов. Поэтому, правильной ссылкой может быть только ссылка на Лутиков и др., 2021 (Сильное глубокофокусное землетрясение 19.08.2018 г. ( $MW = 8.2$ ) к западу от островов Тонга в контексте развития наших представлений о глубоких землетрясениях, *Физика Земли*, 2021, № 2).

Раздел составлен из выдержек из Лутиков и др., 2021, включая рисунки. Но здесь диссертант – соавтор (последний в списке), что дает ему на это право.

### **Защищаемы положения**

Первое гласит, что «Механизмы очагов землетрясений вдоль линии соприкосновения плит зависят от нормальной к линии соприкосновения компоненты скорости погружающейся плиты таким образом, что когда скорость близка к нулю, то это – сдвиг, а когда скорость приближается к максимальной - взброс. При этом количество взбросов растет по мере увеличения нормальной составляющей скорости погружающейся плиты».

Во втором положении утверждается, что «Маркируемая гипоцентрами землетрясений глубина проникновения слэба при одном и том же времени начала субдукции линейно зависит от нормальной компоненты скорости набегания погружающейся плиты».

Обычно вопрос состоит не в том, от чего зависят механизмы очагов землетрясений, а в том, о каких относительных движениях контактирующих плит (или блоков) они свидетельствуют. Здесь логика повернута наоборот. Механизмы субдукционных землетрясений были использованы, например, при создании моделей движения плит (DeMets, 1992, A test of present-day plate geometries for northeast Asia and Japan // *J. Geophys. Res.* 1992. Vol. 97; DeMets et al., 2010, Geologically current plate motions, *Geophys. J. Int.* 181). Если механизмы были сдвиговыми, то делался вывод о примерно параллельном движении плит, если взбросовыми – то непараллельном. Доказывать это в настоящее время смысла просто не имеет. Также понятно (если следовать обычной плейттектонической схеме), что при сближении плит под прямым углом нижняя кромка

погруженной части океанической плиты будет глубже по сравнению со случаем, когда плита погружается под островную дугу косо. Другими словами, в первых двух положениях утверждается то, что в доказательствах не нуждается.

Третье положение: « При субдукции Тихоокеанской плиты под островную дугу Кермадек-Тонга, на примере афтершоков первого дня глубокого землетрясения 19.08.2018 у о-вов Тонга, установлено, что размеры очага сильнейших глубоких ( $MW \approx 8$ ,  $h \approx 600$  км) землетрясений ограничены толщиной достигшей нижней границы верхней мантии погружающейся литосферной плиты, при этом очаг занимает всю толщину погружающейся плиты».

Видимо, это все верно, но отношения к теме работы не имеет.

**Глава 4** называется «Подход к математическому моделированию процесса субдукции». Ее содержание и значимость я оценить не могу, но ясно, что результаты работ автора, в ней изложенные, в защищаемые положения не вошли.

**В заключении** автор отмечает следующее.

«Совокупность этих ... факторов говорит о том, что Тихоокеанская плита движется субпараллельно Алеутской дуге в области Командорских островов».

Это давно известно.

«... оказывается, что глубина погружения слэба прямо пропорциональна величине нормальной компоненты скорости движения Тихоокеанской плиты (нормальной к оси желоба)».

Это следует из стандартной схемы поддвига с переходом его от нормального дуге к косому.

«При достижении границ Аляски, снова появляются сдвиговые компоненты очага землетрясения».

Соответствующие рисунки (19, 20а) этого не показывает.

«По-видимому, из всего сказанного выше можно сделать вывод, что направление и скорость взаимного движения желоба и поддвигающейся под него плиты играют немаловажную роль в формировании слэба».

Направление и скорости слэб не формируют.

**Список опубликованного автором** включает три статьи, в которых диссертант – последний в списке авторов, а также две публикации в сборниках и материалах конференций, где он первый автор. Этого мало. Стоит учесть, что из трех статей две – об одном и том же, только в разных журналах (про землетрясение 17.07.2017 г.,  $MW = 7.8$ , вблизи Командорских островов – в журналах «Физика Земли» и «Вулканология и сейсмология»).

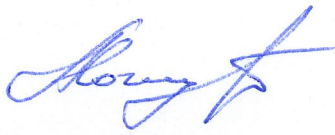
### **Общая оценка работы**

Главы 1 и 2 не представляют интереса в смысле нового решения. Глава 3 отношения к работе, определяемой названием, целями и задачами, отношения не имеет. Глава 4, как мне кажется, – это та часть работы, в которую автор «вложил» как специалист. Могу даже предположить, что только за эту главу автору стоило бы присудить степень кандидата физико-математических наук. Возможно, это самая значимая часть работы, но которую я оценить не могу. Однако эта глава оторвана от работы в целом, существует сама по себе. Плохо также то, что она не заканчивается внятными, понятными не для специалиста, выводами. Закрывающая ее фраза – «На основе полученных коэффициентов решаются уравнения количества движения и непрерывности. И получаются искомые результирующие поля скоростей и давлений». На этом все.

В целом, представляется, что автор вполне ориентируется и способен сделать вклад в математическое моделирование процессов поддвига (субдукции) океанических плит под островные дуги. Однако, кажется, что ему самому плохо понятно, насколько значим его вклад в понимание геодинамических особенностей региона Алеутской дуги.

С сожалением вынужден констатировать, что в представленном виде диссертационная работа не может быть защищена. Выполненное исследование неактуально и не обладает новизной. Из трех защищаемых положений два не несут нового. Таким образом, работа не соответствует критериям пункта 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842. Автор работы, Жуковец Виктор

Николаевич, не заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы полезных ископаемых.



Кожурин Андрей Иванович

доктор геолого-минералогических наук, зав.  
лабораторией активной тектоники и  
палеосейсмологии Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
вулканологии и сейсмологии Дальневосточного  
отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО  
РАН),  
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа,  
9,  
сайт ИВиС ДВО РАН <http://www.kscnet.ru/ivs/>.

e-mail: [anivko@yandex.ru](mailto:anivko@yandex.ru)  
тел. (984) 166-48-62

28 июля 2022 г.



*Кожурин А. И.*

заверяю.

Зав. ОК ИВиС ДВО РАН

*Е. В. Мамкина*

*28.07.2022*