

Отзыв официального оппонента  
на диссертацию Вольфмана Юрия Михайловича  
**«Особенности процессов альпийского тектонического  
разрывообразования и сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона»,**  
по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика  
на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук

Диссертационная работа Ю.М.Вольфмана посвящена изучению закономерностей разрывообразования в регионе, тектоника которого являлась предметом исследований нескольких поколений разнопрофильных специалистов. Это привело к формированию многочисленных гипотез, касающихся обстановок его геодинамического развития в прошлом и проявлений сеймотектонической деструкции в настоящем. Актуальность исследований соискателя заключается в том, что он на основе единообразного тектонофизического подхода проанализировал механизмы очагов землетрясений, а также полевые материалы о разрывах со смещениями показал универсальность деформационных режимов и закономерностей разрывообразования, характерных для Крымско-Черноморского региона и окружающих территорий Средиземноморского пояса. Теоретическая значимость полученных результатов состоит в выделении длинно- и короткопериодных инверсий субгоризонтального сжатия и растяжения, действующих по ортогональным и диагональным направлениям, как главных обстановок разрывообразования в земной коре. В практическом отношении эта закономерность представляет основу для эффективной оценки устойчивости социально значимых объектов посредством анализа разрывных нарушений, не имеющих следов подвижек на плоскостях. Подобные сети трещин встречаются повсеместно, что позволяет проводить реконструкции стресс-тензоров в большинстве природных ситуаций.

Диссертация представляет объемный труд (371 стр.), включающий введение, шесть глав, заключение и список литературы (522 наименований). В общий объем входят 152 рисунка и 9 таблиц.

**Введение** к диссертации содержит общую характеристику исследования, которая дана в соответствии с принятой для квалификационных работ рубрикацией. Содержание разделов свидетельствует о четкой организации исследования, автор которого представил актуальность работы, ее идею, цели и задачи, кратко перечислил объекты и предмет анализа, охарактеризовал фактический материал и методы исследований, отразил научную новизну и практическую значимость, представил личный вклад в решение поставленных задач и степень достоверности полученных результатов. Здесь же

сформулировано пять объемных положений, которые автор диссертации выносит на защиту. Содержательная часть разделов не вызывает серьезных замечаний. Что же касается формы, то представляется несколько громоздким блок целей (3) со множеством задач исследования, которые в тексте диссертации даже иллюстрируются рисунком. Укрупнение формулировок сделало бы введение к работе докторского уровня более акцентированным.

В главе 1 представлен полезный и достаточно полный обзор методов, применяемых в тектонофизике для реконструкции полей напряжений и обстановок разрывообразования в земной коре. Рассмотрены критерии, которые используются разными авторами для разделения методик на группы, характеризующиеся спецификой исходного для анализа фактического материала и его результатами. На основе глубокого знания базовых методов тектонофизических реконструкций автор формирует собственный подход к анализу разнородного фактического материала. В рамках этого подхода структурно-геологические и сейсмологические данные обрабатываются с единых позиций, во главе угла которых лежит существование парагенезисов разрывов, пространственное положение которых определяется полем тектонических напряжений. В сейсмологии этим условиям соответствуют решения о механизмах очагов землетрясений, которые соискатель использует в тектонофизических построениях на площади исследования. Что касается полевых данных, то новизной авторского подхода является выделение структурно-кинематического парагенезиса (СКП), который, кроме собственно разрывной составляющей (элементы залегания зеркала скольжения), включает характеристику подвижки – ориентацию направления перемещения по плоскости разрыва. Парагенезисы представляются формализованно в виде стереограмм – моделей, – которые наглядно отражают деформационные режимы, являющиеся предметом интерпретации и выводов об обстановках разрывообразования в пределах изучаемого участка земной коры.

При в целом оправданности применения авторского метода для решения поставленных задач следует отметить некоторые особенности подхода, которые не получили достаточного освещения в этой методической части диссертации. Вместе с тем, они закладываются в базу исследования и могут влиять на получаемые результаты. В первую очередь это касается правила Гофера, используемого для определения направления подвижки по трещине со штрихами скольжения. Известно, что правило Гофера справедливо не для всех структурных ситуаций, и неверное определение может изменить решение о поле напряжений на противоположное. Это приводит к не совсем обоснованному усилению вывода об инверсии обстановок разрывообразования, которая, кстати, наиболее отчетливо показана по результатам анализа полевых данных. Во-вторых,

в методической части главы должны быть приведены причины выбора эталонного парагенезиса разрывов 2-го порядка для зоны скалывания, который используется при интерпретации природных разрывных сетей. Совокупность членов данного парагенезиса различна у разных авторов, причем набор, выбранный соискателем, отличается от приведенного в известных зарубежных учебниках (Park, 1997; Twiss, Moores, 1992) и многочисленных научных статьях. Большинство исследователей не включают в парагенезис L'-сколы, но считают обязательным присутствие в нем двух пар сопряженных сколов, которыми в сдвиговых зонах являются эшелоны сбросов и взбросов (надвигов). Подобные в механическом отношении системы разрывов 2-го порядка выделяются также в зонах 1-го порядка, формирующихся в условиях сжатия и растяжения.

В главе 2 рассмотрены деформационные режимы разрывообразования в пределах Горного Крыма, реконструированные на основе применения авторского подхода к анализу трещин со штрихами скольжения. Убедительно показано, что оси восстановленных стресс-тензоров группируются на стереографических моделях в ряде секторов, что позволяет выделить серию обстановок формирования разрывной структуры изученного региона. При этом ключевыми обстановками являются те, которые приводят к формированию или активизации сдвигов, образующих в пределах южной части полуострова диагональные сети. Спецификой деформационной истории является смена знака субгоризонтальных осей напряжений, что приводит к активизации одних и тех же разрывных структур как правых или левых сдвигов при субмеридиональном сжатии или аналогичным образом ориентированном растяжении. Инверсия тектонических обстановок данного типа – закономерность, которая, начиная с данной главы, проходит красной нитью через всю работу, и, таким образом, выделяется в качестве фундаментальной особенности динамики структурообразования в земной коре.

Следует отметить, что автор при доказательстве выявленных закономерностей не ограничивается анализом разрывов со штрихами скольжения. Используя полученные на этой главной фактологической основе результаты, он обосновывает возможность анализа «немых» в плане кинематики сетей трещин, тем самым, увеличивая эффективность приемов и методов полевой тектонофизики, направленных на реконструкцию режимов разрывообразования в земной коре. В этом плане представляются несколько противоречивыми утверждения автора в выводной части главы о некорректности постановки задачи по построению сводной карты поля напряжений для тектонически активных регионов (ввиду быстрой смены обстановок). Возможность восстановления стресс-тензора в любом выходе горных пород в силу его нарушенности трещинами дает возможность площадных реконструкций. Так, выделение в смежных коренных выходах

однотипных парагенезисов трещин позволяет оконтурить зону разлома и определить ее кинематику. К подобным площадным построениям относятся приведенные в диссертации схемы траекторий главных нормальных напряжений, а также далее в работе – зон проявления однотипных механизмов очагов землетрясений. В связи с этим утверждение соискателя о том, учитывать, «...что эти (тектонофизические – К.Ж.) методы в силу ряда причин не относятся к разряду картировочных» (стр. 261), вряд ли следует считать справедливым. Что же касается важных особенностей динамики разрывообразования, установленных автором или другими специалистами в области тектонофизики, то они могут быть адекватно отражены в легендах к картографическим материалам.

Одним из замечаний к форме представления материалов следует отнести недостаток информации по разломным зонам, которые, в частности, представлены на итоговых к главе 2 кинематических схемах (рис. 2.38). Читатель, по сути, видит их названия в первый раз, хотя из последней шестой главы диссертации следует, что некоторые зоны были изучены посредством интерпретации замеров трещин со штрихами скольжения, сделанных в их пределах. Представляется, что глава 2 (да и диссертация в целом) для более глубокого восприятия результатов исследования должна была сопровождаться обзором тектоники региона с краткой характеристикой основных разломных структур. Кроме того, в основной части главы переход от отдельных стресс-тензоров на уровне трещин к уровню обстановок разрывообразования для Горного Крыма в целом было бы логично провести через уровень исследования основных разломных зон. Это, кроме более логичного представления материалов исследования, позволило бы сформулировать основы порангового анализа полей тектонических напряжений в понимании автора емкого тектонофизического исследования.

**Глава 3** посвящена реконструкциям обстановок разрывообразования для территорий, сопредельных с Крымско-Черноморским регионом. Так, на основе применения авторского подхода к анализу механизмов очагов землетрясений, произошедших в областях Вранча, Загроса и Кавказа, убедительно показана возможность типизации проявлений сеймотектонической деструкции для обширной части Средиземноморского пояса. При этом на качественно ином фактическом материале подтвердился секторальный характер ориентации осей главных нормальных напряжений, выявленный в главе 2 при тектонофизической обработке разрывов со штрихами скольжения. Эта фундаментальная закономерность получила дополнительное развитие за счет выявленного соискателем явления, которое можно назвать переиндексацией осей напряжений в ходе сеймотектонического процесса. Кроме того, показано, что в каждый отдельно взятый период времени поле напряжений отражает не интегральный характер

воздействия комплекса внешних или внутренних по отношению к Земле силовых воздействий, а преобладание одного из них. Эти результаты трудно переоценить в плане достижения целей диссертационной работы, т.к. они получены на большом фактическом материале о механизмах очагов землетрясений и, таким образом, могут быть использованы для верификации тектонофизических построений по Крымско-Черноморскому региону, где аналогичная база данных является не столь представительной.

Рассмотренные в главе 3 материалы со всей очевидностью показывают, что участки проявления однотипных очагов в большинстве случаев позволяют выделять сейсмогенерирующие зоны, которым свойственны генетически связанные деформационные режимы. Структурно-кинематические схемы этих зон, представленные автором для областей Загроса, Кавказа и др., в целом убедительны. Лишь в некоторых деталях они вызывают вопросы, которые могут быть проиллюстрированы на примере построений для Загроса (рис. 3.4). Так, не ясны критерии проведения границ сейсмогенных зон, которые являются линейными, прерывистыми и снабжены бергштрихами. Если это крупные разломы, что можно предполагать по использованным обозначениям, то почему они не сопоставляются с известными для Загроса дизъюнктивами? Если это условное положение границ участков распространения землетрясений с определенными механизмами очагов, то это, во-первых, по меньшей мере, не вся сейсмогенная зона. Во-вторых, почему простирание подобной зоны на рис. 3.4,а соответствует ориентации синтетических R-сколов, а не L-сколов главного сместителя?

**Глава 4** является одной из ключевых в диссертационной работе, поскольку в ней представлены особенности обстановок разрывообразования для собственно Крымско-Камчатского региона, установленные путем применения авторского подхода к анализу механизмов очагов землетрясений (35 решений). Показано, что выявленные ранее закономерности высокого уровня обобщения – секторальное распределение осей напряжений, инверсия обстановок разрывообразования и др. – подтверждаются и в данном случае. Отчетливо проявилась базовая, ортогональная система осей напряжений, в которой субгоризонтальные оси сжатия и растяжения в ходе сеймотектонической деструкции меняются местами, приводя к проявлению движений разного знака на одних и тех же разрывных структурах. Усложнение напряженно-деформированного состояния, свойственное изучаемому региону, автор связывает с формированием вторичных полей напряжений, оси которых развернуты по отношению к первичному тензору на  $45^\circ$ .

Доказательная база установленных закономерностей представляется вполне убедительной. Однако остается не совсем понятной ситуация с Южно-Крымской сейсмической зоной, к северо-западной периферии которой относится береговая часть полуострова, где проводились исследования разрывов со смещениями. Почему эта территория при анализе структурно-геологических данных удовлетворяет общим закономерностям, а по результатам изучения механизмов очагов является исключением, характеризуясь сложным строением и многообразием деформационных режимов?

Главы 5 и 6 стоят особняком в диссертационной работе, т.к. первая из них посвящена результатам большой работы автора по структурной интерпретации регионального геофизического профиля ГСЗ (DOBRE-5), проходящего по изучаемой территории в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты, а вторая – его исследованиям на локальных площадках, посвященным применению тектонофизических методов для решения частных задач научной и прикладной направленности. Использование в рамках авторского подхода крупных межблоковых зон в первом случае и сравнительно мелких разломов и трещин – во втором позволило подтвердить существование главных закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния земной для региона в целом. Что касается локальных участков, то данные закономерности были успешно использованы для определения специфики напряженного состояния пород и выявления активных разломных сегментов. Это в свою очередь стало основой выводов прикладного характера о степени устойчивости тех или иных техногенных сооружений, а также разработки рекомендаций, направленных на минимизацию рисков, обусловленных сейсмотектогенезом в совокупности с воздействием экзогенных процессов.

Полученные в главах 5 и 6 результаты определяют, соответственно, общегеодинамическую и прикладную значимость исследований автора диссертации. Вместе с тем, рассматриваемые главы заметно перегружены информацией, которая для решения задач исследования является второстепенной. В главе 5 это описание геологических комплексов, получивших отражение на геофизическом профиле DOBRE-5, а также характеристика тектонических особенностей региона, которые можно было бы существенно сократить посредством использования ссылок на материалы, опубликованные с участием автора диссертации. Часть главы 6, касающуюся интерпретации спорных структурных ситуаций на основе тектонофизического анализа разрывов со штрихами скольжения в разломных зонах, была бы уместной, как уже отмечалось выше, в главе 2.

Все это, наряду с сокращением по тексту в целом некоторых повторов и описаний деталей проведенных работ, позволило бы высвободить место в заключительной части диссертации для раздела, посвященного обсуждению природы напряженного состояния и оценке вкладов внешних и внутренних сил в его формирование, представлению процесса рангования разрывов и иерархии поля напряжений, анализу закономерностей динамики напряженного состояния (инверсия, трансформация, переиндексация) и их экспериментальному подтверждению в трудах предшественников, а также другим вопросам тектонофизики разрывообразования в пределах изученного региона. Они так или иначе рассматриваются в тексте, но акцентированное изложение могло бы существенным образом усилить положительное впечатление о проведенном исследовании.

**Заключение** диссертации в полной мере отражает основные результаты проведенной автором работы, позволившей установить особенности процессов альпийского тектонического разрывообразования и сейсмогенеза Крымско-Черноморском регионе.

Форма представления материалов в диссертации вполне удовлетворительна. Она выгодно отличается от многих современных работ тем, что текст написан хорошим литературным языком (и практически не содержит ошибок), что позволяет в полной мере воспринять суть исследований автора. В качестве недостатка следует отметить большой объем работы, который можно было бы уменьшить путем сокращения серии смысловых повторов, излишне подробного описания второстепенных исследований, частичной перекомпоновки, о которой ранее, в связи с содержанием заключительных глав были сделаны конкретные пожелания. Кроме того, диссертация несколько перегружена в терминологическом отношении. Например, в тексте упоминается множество моделей (в т.ч. сейсмогенеза, сейсмогенной зоны, сеймотектоническая, тектоническая, геодинамическая, структурно-кинематическая, структурно-геологическая, покровно-надвиговая, стереографическая и пр.), что вряд ли оправдано в полной мере. Одним из недостатков, затрудняющих восприятие полученных результатов, является отсутствие в начале работы обзорной главы со схемами, отражающими положение и названия главных разломных структур и вещественных комплексов, упоминаемых в тексте. В целом диссертация хорошо иллюстрирована, однако не все рисунки отличается высоким качеством изображения и наглядностью. Иногда иллюстрации, однотипные по смысловой нагрузке, отличаются друг от друга по форме за счет обозначения одних и тех же элементов разными символами.

Завершая обсуждение диссертации, следует отметить, что основные положения, выдвигаемые на защиту, в своей основе подтверждаются фактическим материалом. Главные результаты исследования Ю.М.Вольфмана опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Автореферат соответствует тексту диссертации. Перечисленные в отзыве замечания носят уточняющий или рекомендательный характер и не снижают теоретическую и практическую значимость исследования, проведенного соискателем.

В целом диссертационная работа «Особенности процессов альпийского тектонического разрывообразования и сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона» выполнена лично соискателем ученой степени и является завершенным научно-квалификационным исследованием. В ней представлены установленные автором на примере изученного региона закономерности высокого уровня обобщения – секторальное распределение осей напряжений, инверсия кинематических обстановок и их трансформация в процессе разрывообразования, что в совокупности является научным достижением, имеющим ряд важных в практическом отношении следствий для создания линеamentно-доменно-фокальных моделей Крымского и Карпатского регионов.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а её автор – Юрий Михайлович Вольфман – достоин присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика.

Официальный оппонент:

заместитель директора Федерального

государственного бюджетного учреждения науки

Института земной коры Сибирского отделения

Российской академии наук,

доктор геолого-минералогических наук

Константин Жанович Семинский

Почтовый адрес: 664033, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Тел.: +7 914 871 1859

Эл. почта: [seminsky@crust.irk.ru](mailto:seminsky@crust.irk.ru)

1 апреля 2021 г.

