

**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**

Диссертация Ю.М. Вольфмана представляет результаты изучения тектонофизическими методами альпийской (мезозойско-кайнозойской) и современной (сейсмогенерирующей) геодинамики, определяющей разрывообразование в центральной части Альпийско-Гималайского орогенического пояса и ее северного платформенного обрамления. Поскольку тектонофизика является частью структурной геологии, диссертация вполне отвечает выбранной специальности. **Актуальность** диссертации определяется необходимостью минимизировать расхождения в понимании и разработать теоретические основы альпийской разломной тектоники Крымско-Черноморского путем привлечения методов структурно-кинематического анализа мезо-разрывов (трещин с бороздами скольжения) в горных породах и механизмов очагов землетрясений.

Целями работы являются: (1) изучение деформационных режимов и кинематических обстановок альпийского разрывообразования в породах Горного Крыма; (2) реконструкция деформационных режимов и кинематических обстановок сейсмогенеза в Крымско-Черноморском регионе по данным о механизмах очагов землетрясений; (3) сопоставление альпийского разрывообразования и сейсмогенеза в Крымско-Черноморском регионе и других участках Альпийско-Гималайского пояса (Загрос, область Вранча и Черноморско-Кавказский регион). Для достижения этих целей решались многообразные **задачи**. Объединяющей их идеей является представление автора о том, что трещины в горных массивах и разрывы, устанавливаемые в приповерхностных частях земной коры геологическими наблюдениями и в более глубоких горизонтах коры и верхней мантии решениями механизмов очагов землетрясений и глубинным сейсмическим зондированием, являются разномасштабными проявлениями единого и сходного по генезису и структурным соотношениям процесса разрывообразования.

Диссертация состоит из «Введения», шести глав и «Заключения». Во «Введении» обосновывается актуальность исследований, формулируются цели и задачи работы, общие подходы и методы их решения, научная новизна, научная и практическая значимость выполненного исследования, защищаемые положения.

В главе 1 «Методы исследования» представлены обзор методов тектонофизических исследований и предлагаемые автором методические подходы. Подробно охарактеризован метод и смысл построения стереографических моделей структурно-кинематических

парагенезов трещин со следами смещений (мезо-разрывов), нарушающих горные породы, а также стереографических моделей сейсмогенеза.

Глава 2 «Деформационные режимы и кинематические обстановки альпийского тектонического разрывообразования в пределах Горного Крыма» посвящена описанию и анализу обширного материала по изучению трещин и разрывов региона. Главное внимание уделено мезо-разрывам с бороздами скольжения. Измерения направлений разрывов и смещений по ним на выбранных пунктах наблюдений выполнялись диссертантом или под руководством диссертанта и были им обработаны. Анализ основывался на построении стереографических моделей деформационных режимов и кинематических обстановок разрывообразования. Выделялись структурно-кинематические парагенезы мезо-разрывов – их сочетания, отражающие определенное направление осей главных нормальных напряжений. Среди парагенезов преобладают те, у которых две оси ориентированы к направлениям, близких к горизонтальным, а одна – к вертикальному. При этом автор отмечает секторальность ориентировки осей по странам света в субмеридиональном, субширотном и диагональных (СЗ–ЮВ и СВ–ЮЗ) направлениях. Доминирует вертикальное положение промежуточной оси главных напряжений, при которой развиваются сдвиги, реже взбросо-сдвиги и сбросо-сдвиги. Меньшее распространение имеют деформационные режимы со сбросовыми и сдвиго-сбросовыми смещениями, и еще менее распространены режимы, при которых происходят взбросовые и надвиговые смещения. Для всего множества замеренных смещений и даже для отдельных пунктов наблюдений выявлены инверсии деформационных режимов (сжатие сменяется растяжением в определенном направлении) или их трансформации (направление главного нормального напряжения становится направлением касательного напряжения). Соответственно, изменяется и направление мезо-разрывов и смещений. При этом отмечается сохранность указанной секторальности ориентировки осей напряжений и преобладание вертикальных и круто наклоненных мезо-разрывов. В связи с указанной изменчивостью постановка задачи о создании карты альпийского или только новейшего поля напряжений Горного Крыма представляется диссертанту некорректной.

В главе 3 «Сейсмогенерирующие поля напряжений в пределах Средиземноморского пояса» построение стереографических моделей деформационных режимов и кинематических обстановок разрывообразования проводится на основе полученных другими авторами решений механизмов очагов землетрясений. Для этих целей выбраны горно-складчатый пояс Загроса, область очагов промежуточных землетрясений Вранча и Кавказский регион с прилегающей восточной частью Черного моря. Показано, что отдельные сейсмические события отражают не суммарное поле напряжений, а особый

деформационный режим, обусловленный преобладающим воздействием какого-то одного геодинамического фактора, из-за чего происходят инверсии и трансформации положения главных осей напряжений с частотой в десятки лет. При этом сохраняется секторальность распределения осей напряжений в близмеридиональном, близширотном и диагональных направлениях.

В главе 4 «Сеймотектоника Крымско-Черноморского региона» принципы тектонофизического анализа сейсмичности, изложенные в предыдущей главе, применены к Крыму и Черному морю. Относительный недостаток количества решений механизмов очагов восполняется аналогиями с регионами, рассмотренными в главе 3, где статистика решений механизмов очагов более представительна. На основе выполненного анализа отмечаются инверсии и трансформации главных нормальных напряжений, секторальность их ориентировок, причем здесь, как и в регионах Средиземноморского пояса, рассмотренных в главе 3, наряду с доминирующими горизонтальным и вертикальным положением осей выделяется промежуточный пояс ориентировок осей, наклоненных под углами $35\text{--}55^\circ$ к горизонту. В Южнобережной и Анапской сейсмических зонах, а также в глубоководной части Черного моря выявлены взбросовые, реже сбросовые механизмы очагов при редкости сдвиговых механизмах. При этом Южнобережная зона концентрации гипоцентров в целом погружается к югу, что, по мнению диссертанта, делает маловероятным пододвигание Черноморской впадины под Крымский полуостров.

Глава 5 «Обстановки тектосейсмогенеза Крыма и его структурного обрамления в системе альпийской геодинамики региона» посвящена глубинному разрывообразованию и пространственно-временным закономерностям тектосейсмогенеза Крымско-Черноморского региона. Данные по глубинному разрывообразованию получены в результате интерпретации и анализа профиля ГСЗ Добре-5, проходящего в субширотном направлении от устья Дуная через Степной Крым до Керченского пролива. Выявлены три относительно пологих (углы наклона $15\text{--}17^\circ$) разлома земной коры. Главное значение имеет листрический сброс коры и верхов мантии, наклоненный на юг и представляющий собой границу Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. Два Центрально-Крымских надвига нарушают гранитно-метаморфический слой земной коры Крыма. Обобщая данные о деформационных режимах региона, диссертант приходит к выводу, что в условиях разнонаправленного сжатия, определяющего новейшее развитие региона, в зрелой континентальной коре Крыма и сходных областей доминируют сдвиги и взбросо-сдвиги, а в редуцированной субокеанской коре Черного моря – взбросы, сдвиго-взбросы и надвиги. Вместе с тем, автор показывает, что меловое и кайнозойское развитие региона было циклическим, что отразилось в осадконакоплении, и выделяет три этапа, мел-

палеоценовый, эоцен-раннемиоценовый и среднемиоцен-четвертичный. В каждом этапе автор различает трансгрессивную фазу растяжения и регрессивную фазу сжатия. Их соотношение изменялось со временем, и наиболее интенсивные сбросовые проявления растяжения, включая глубинный сброс на границе Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты, приходится на раннеальпийский этап, а проявления сжатия – на регрессивные фазы второго и третьего этапов.

В главе 6 «Использование результатов тектонофизических исследований при геолого-структурном изучении и прогнозе развития природных и природно-техногенных систем» приведено несколько удачных примеров комплексирования геологических и тектонофизических методов для определения типа движений по макро-разломам Крыма. В качестве примеров использования результатов тектонофизических исследований для оценки опасности природных бедствий в разных тектонических условиях описаны ряд районов Горного Крыма и окраина г. Керчи, плотина Днепрогэса; микрорайон Тополь-1 в г. Днепропетровске и окрестности Одесского театра оперы и балета. Источником опасности является наличие повышенной трещиноватости в зонах разломов в сочетании с особенностями рельефа и гидрогеологии. Обосновано повышение интенсивности сотрясений на балл в зонах повышенной трещиноватости.

В «Заключении» суммированы основные результаты исследования.

Обилие представленных новых данных, полученных автором лично или при его участии, и разнообразие подходов к решению поставленных задач убеждают в **обоснованности** утверждений и выводов диссертанта. Полученные новые данные об изменчивости напряженного состояния горных массивов, тектонофизических аспектах сейсмогенеза и глубинном разрывообразовании в земной коре содержат значительные элементы теоретической **новизны** и являются важным вкладом в развитие тектонофизики. Представленные в главе 4 результаты анализа расположения и механизмов очагов землетрясений уточняют оценки сейсмической опасности Крымско-Черноморского региона, а материалы главы 6 имеют **практическую значимость** для оценки таких природных бедствий, как оползни, обводнение и неустойчивость сооружений.

Вместе с тем, диссертация вызывает ряд замечаний.

1. Автор убедительно показал изменчивость деформационных режимов при образовании мезо-разрывов Горного Крыма во времени и пространстве. При этом не представлены убедительные данные о том, что какие-то из главных режимов, например, горизонтального субмеридионального, субширотного или одного из диагональных сжатия или растяжения регистрируются существенно чаще других и потому могут считаться определяющими. При такой разнообразии представленные данные трудно

использовать для определения тектонофизических условий формирования альпийской макроструктуры Горного Крыма с присущими ей разнообразной деформацией слоев, разломами и дифференцированным поднятием поверхности. На частных примерах, приведенных в главах 2 и 6, автор показывает, что комплексное применение тектонофизических и геологических данных позволяет решить часть этой проблемы – определить кинематику разломов. Но систематическое применение тектонофизических данных для интерпретации образования альпийской структуры Горного Крыма в работе отсутствует, и это снижает ее тектоническую значимость.

2. Вывод (и соответствующую часть защищаемого положения 4) о сегментации деформационных режимов образования мезо-разрывов можно принять условно по следующим причинам. Выделение того или иного пространственно ориентированного деформационного режима – обратная задача, решаемая путем интерпретации мезо-разрывов. Как показывает рис. 2.44 на с. 116, мезо-разрывы (в данном случае в палеогеновых и неогеновых отложениях) имеют разнообразную ориентировку, покрывая почти весь диапазон возможных направлений. Среди этих нарушений могут присутствовать L-сколы, примерно параллельные направлению максимальных касательных напряжений, и R-сколы, располагающиеся под определенным углом к нему. В ходе развития разрывообразования могут возникнуть сопряженные с L и R нарушениями сколы L' и R' . К этому следует добавить наблюдение О.И. Гущенко, многократно подтвержденное оппонентом, что скольжение того же типа, что и по указанным сколам, может происходить по ранее возникшему разлому, существенно отличающемуся от них по ориентировке, как по ослабленной плоскости. Все это вносит неопределенность в оценку направлений осей главных нормальных напряжений по парагенезу мезо-разрывов даже в тех случаях, когда на них присутствуют борозды скольжения, и тем более, когда их нет.
3. Как показано в работе, тектонофизический анализ проводился по мезо-разрывам в породах разного возраста, причем борозды скольжения чаще присутствуют в докайнозойских породах. Отмечены трещины в таврической серии, не продолжающиеся в более молодые породы, трещины в верхней юре, не продолжающиеся в породы мела и т.д. Иначе говоря, регистрируемые автором проявления разрывообразования формировались длительно, в течение многих десятков миллионов лет. Породы этого возраста и мезо-разрывы в них испытали деформации, нараставшие со временем. Как же в таком случае древние мезоразрывы сохранили секторальность, закономерно ориентированную относительно стран света?

4. При анализе сейсмотектоники Загроса автор игнорирует неоднородность его новейшей структуры. Если бы он ее учитывал, то выяснил бы, что, то крайней мере, часть вариаций механизмов очагов землетрясений обусловлена не инверсией или трансформацией общего поля напряжений, а особенностями новейшей структуры очага. Это замечание относится и к выполненному анализу механизмов очагов землетрясений Кавказа. Вызывает также сомнение возможность применения структурно-кинематических парагенезов, выявленных в обнажениях горных пород и по механизмам очагов верхнекоровых землетрясений, к мантийной геологической среде мегаочага промежуточных землетрясений Вранча.

Кроме указанных основных есть мелкие замечания:

5. Утверждение диссертанта о сравнительно незначительном распространении надвигов в Горном Крыму (с 59, 98 и дальше) основывается на данных о бороздах скольжения. При этом игнорируется тот факт, что плоскости надвигов часто приурочены к некомпетентным породам, например, глинам. Как я имел возможность убедиться в районе пос. Орджоникидзе, в зонах заведомых надвигов, нарушающих некомпетентные породы, борозды скольжения редки, но они появляются в компетентных породах, если надвиги их пересекают или ограничивают.
6. Сообщается о развитии в горном Крыму впадин pull-apart (с. 92), но никаких обоснований этому не приводится.
7. Неверно утверждение (с. 100 и с. 148), что к основной правосдвиговой зоне Загроса примыкают субширотные взбросо-надвиговые зоны. Как правило, такие зоны простираются вдоль сдвига.
8. Не вполне верно утверждение, что сбросы указывают на условия поперечного растяжения (с. 109). Известны сбросы, простирающиеся вдоль осей антиклиналей и висячих крыльев надвигов как вторичные образования в складчато-надвиговых парагенезах, возникающих при поперечном горизонтальном сжатии.
9. Сомнительно существование Синопско-Анапской сейсмогенерирующей зоны (с. 215) (сейсмолинеамента по В.И. Уломову), подкрепленной всего двумя землетрясениями, в очагах которых установлены взбросы, поперечные к направлению зоны.
10. Непонятно, почему на рис. 5.1 (с. 223) южная граница Восточно-Европейской платформы проведена внутри Скифской плиты.
11. Автор, продолжает наклоненный на юг глубинный листрический сброс на границе Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты, выделенный на северо-западе Черного моря, Северо-Крымской сутурой. По ней, по данным В.В. Юдина (2011) и результатам анализа сейсмотомографических данных глобальной сети (Трифонов и

др., 2020), зафиксированы признаки пододвигания Скифской плиты под Степной Крым. Эти данные противоречат литрическому сбросу.

12. Автор датирует регрессивную фазу первого этапа мел-кайнозойского развития Крымско-Черноморского региона олигоценом – ранним миоценом (с. 259). Едва ли это время накопления майкопской серии можно считать регрессией.

Итак, диссертация Ю.М. Вольфмана является законченным исследованием, обладающим внутренним единством. Она актуальна, основана на личных работах автора, обладает научной новизной и представляет собой разработку теоретических положений, которые являются важным достижением в области тектонофизики и вносят значимый вклад в изучение тектонофизическими методами альпийской и современной (сейсмогенерирующей) геодинамики, определяющей разрывообразование в Крымско-Черноморском регионе. Сделанные замечания снижают значимость работы, но позволяют принять защищаемые положения и основные выводы. Содержание диссертации полно отражено в автореферате и представлено в многочисленных публикациях автора в рецензируемых журналах, указанных в перечне ВАК.

Таким образом, диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени доктора наук, а её автор Ю.М. Вольфман достоин присуждения учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

Официальный оппонент

*Главный научный сотрудник Лаборатории
неотектоники и современной геодинамики*

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Геологического института Российской Академии наук

доктор геолого-минералогических наук  Владимир Георгиевич Трифонов

119017, Москва, Пыжевский пер, д.7, стр. 1

E-mail: trifonov@ginras.ru

Раб. тел.: +7 (495) 953-93-18

Я, Трифонов Владимир Георгиевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«5» апреля 2021 года

