

**Отзыв официального оппонента
на диссертацию Андреевой Надежды Вячеславовны
«Сейсмотектонические аспекты изучения поверхностного и глубинного
строения зон разломов (на примере Восточного-Европейской
платформы и складчатой системы Большого Кавказа» по специальности
25.00.03 – «Геотектоника и геодинамика» на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Целью диссертации Н.В. Андреевой является изучение особенностей строения и проявления активных разломов на поверхности и в земной коре на основе геолого-геоморфологических и геофизических данных в трёх различных геодинамических обстановках: сейсмоактивного коллизионного Альпийско-Гималайского подвижного пояса на примере Центрального и Северо-Западного Кавказа; слабо сейсмически активной северо-западной окраины Восточно-Европейской платформы (ВЕП) на примере района Калининградских землетрясений 2004 г.; сейсмически пассивных внутренних районов Восточно-Европейской платформы на примере региона Москвы.

Актуальность работы определяется значимостью изучения активных разломов и их выражения на разных глубинах земной коры как важнейшей части сейсмотектонической основы для оценки сейсмической опасности. Методической особенностью диссертации является использование и сопоставление двух источников информации о разломных зонах: во-первых, геолого-геоморфологических данных, позволяющих охарактеризовать новейшую структуру объектов исследования и выделить проявления позднечетвертичной активности; во-вторых, геофизических данных, среди которых главная роль принадлежит результатам применения метода микросейсмического зондирования (ММЗ). **Новизна** работы, помимо представления новых фактических данных, состоит в систематическом сочетании этих двух групп данных.

Автор широко привлекает опубликованные данные предшественников. Помимо их обобщения и систематизации **личный вклад** диссертанта состоит в изучении отдельных элементов новейшей структуры методами структурной геоморфологии, участии в проведении, компьютерной обработке (отчасти с помощью авторского пакета программ) и интерпретации результатов профилирования ММЗ. Все (кроме одного) представленные в диссертации профили ММЗ созданы при участии диссертанта.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав и Заключения. Введение отвечает всем стандартным требованиям к этому разделу диссертации. В главе 1 изложено развитие представлений о разломах и зонах разломов земной коры. Обсуждается понятие глубинного разлома. Кратко охарактеризованы признаки активных разломов. Глава 2 посвящена методам исследования. Охарактеризованы методы изучения новейшей

структуры, в частности, структурно-геоморфологический и дистанционный. Подробно описан ММЗ. Представлена верификация этого метода на примерах Северного Прикаспия, где показано, что его результаты близки к результатам изучения структуры кровли соляных куполов, пористости и трещиноватости, полученным другими методами. В трех последующих главах представлены результаты исследований автора в разных регионах.

Глава 3 посвящена исследованию активных разломов Большого Кавказа комплексом сейсмотектонических и геофизических методов. В разделе 3.1 кратко охарактеризованы тектоническая зональность, проявления альпийской и новейшей тектоники. В разделе 3.2 описывается Центральный сегмент Большого Кавказа (профиль по Военно-Осетинской дороге). Приводятся геолого-геоморфологические данные вдоль профиля. Представлен и описан профиль ММЗ, характеризующий земную кору и верхи мантии на глубину до 60 км. На этом, как и на других профилях ММЗ, содержащихся в работе, показаны отклонения скоростей поперечных волн от средних для соответствующих глубин значений. На профиле видны уходящие на глубины до 10 км клинья пониженных скоростей, приуроченные к зонам плиоцен-четвертичных, в том числе активных разломов. От глубин около 20 км и ниже прослежены до основания профиля вертикальные полосы пониженных скоростей V_s . Полосы имеют разную ширину. Самая широкая полоса находится под осевой частью поднятия Большого Кавказа. Крупные четвертичные, в том числе активные, продольные разломы Кавказа находятся над более тонкими полосами фундамента или границами широкой центральной полосы. Учитывая продольную тектоническую зональность Большого Кавказа, можно допустить, что выделенные полосы представляют вертикальные пластины с пониженными скоростями V_s .

В разделе 3.3 приведены геолого-геоморфологические данные вдоль профиля ММЗ Туапсе–Апшеронск через СЗ Кавказ, представлен и описан этот профиль. Принципиально он сходен с профилем через Центральный Кавказ, но низкоскоростная полоса, отождествляемая с осевой частью Кавказа, здесь сужается. Под крупными активными разломами, Ахтырским и Пшехско-Адлерским, кроме низкоскоростных клиньев в осадочной части земной коры, выявлены широкие вертикальные полосы в кристаллическом фундаменте. На более западном поперечном профиле ММЗ С–С' через СЗ Кавказ, представленном в разделе 3.4, обнаруживается понижение скоростей V_s в деформированном осадочном чехле Азово-Кубанского прогиба. Видны низкоскоростные клинья под некоторыми крупными разломами и широкие низкоскоростные полосы в кристаллическом фундаменте до основания профиля на глубине 50 км. Предполагается, что одна из этих полос продолжает низкоскоростную область под осевой частью Кавказа; две другие считаются глубинным продолжением приповерхностных активных зон, хотя

шире их и, в отличие от них, вертикальны. В том же разделе представлен продольный к Кавказу профиль ММЗ В–В'. На нем низкоскоростные клинья выявлены под некоторыми, но не всеми крупными разломами. Под Таманским прогибом низкоскоростная полоса прослежена до глубины 37 км, но геологически выраженного разлома над ней нет. Присутствие вертикальных низкоскоростных пластин как на продольном, так и на поперечном профилях через СЗ Кавказ ставит вопрос о разнонаправленности пластин.

В главе 4 описаны элементы новейшей структуры и, в частности, возможно активные разломы на северо-западе Самбийского п-ва и в районе г. Калининграда в сопоставлении с геофизическими данными о строении земной коры. Регион исследований принадлежит северо-западной части Русской плиты (Польско-Литовская синеклиза) и характеризуется слабой неотектонической и сейсмической активностью. Интерес к нему возрос в связи с двумя Калининградскими землетрясениями 21.09.2004 с магнитудами $M_w = 4.6$ и 4.8 и $I = 5-6$ баллов MSK. Представлены данные о новейшей структуре, в частности, Светлогорско-Полесской, Прегольской, Янтарненской и Бакалинской разломных и флексурно-разломных зонах. Приведены соображения об их возможной позднечетвертичной активности. Через три последние зоны построены два профиля ММЗ. На профиле через Янтарненскую и Бакалинскую зоны четких низкоскоростных клиньев в верхней части земной коры не наблюдается. Выявлены вертикальные пластины нижележащей кристаллической части коры. Под Янтарненским разломом такая пластина характеризуется повышенными скоростями V_s , а под Бакалинской зоной пониженными, причем последняя имеет значительную ширину и прослеживается от глубины 8 км до основания профиля (37 км). На профиле через Прегольскую зону пространство между двумя ее ветвями характеризуется на глубине повышенными скоростями V_s , а с самими ветвями автор сопоставляет узкие полосы пониженных скоростей на глубинах 10–20 км, хотя они несколько отстоят в стороны от проекции этих разломов на глубину.

Глава 5 посвящена Московскому региону. Глава написана, в основном, по литературным данным. В строении поверхности фундамента региона выделено несколько разломов, среди которых особое внимание уделено субширотным Павлово-Посадской зоне разломов и Бутовскому разлому и Москворецкому разлому северо-западного простирания. Геодезические данные о слабых современных движениях и выделения гелия и радона свидетельствуют о проявлении части разломов в современной геодинамике. На юго-западе Москвы, между Павлово-Посадской зоной и Бутовским разломом, находится Теплостанская возвышенность с рифейским грабеном в поверхности фундамента. На субмеридиональном профиле ММЗ, построенном вне Москвы вблизи юго-западного сегмента кольцевой дороги, грабен характеризуется пониженными скоростями V_s . Вблизи

разломных ограничений грабена выявлены клинья низкоскоростного субстрата, на южной границе грабена – до глубин 3 км и в слабой мере 7 км, на северной границе – до 1 км. Под северным ограничением на глубинах 4–23 км протягивается вертикальная полоса с пониженными скоростями V_s . Другая подобная полоса выделена под самим грабеном на глубинах от 20 км до основания профиля 45 км.

Значительная часть главы 5 посвящена слабым (до 2, редко 3 баллов МСК) сотрясениям в Москве от Охотоморского землетрясения 24.05.2013 с $M_w = 8.2$ и глубиной очага около 600 км. Опубликованные данные показывают, что в зонах разломов поверхности фундамента количество зафиксированных случаев ощущения сотрясений возрастает. Личный вклад диссертанта в эти изыскания относится к мелким оползням, возникшим при землетрясении на Воробьевых горах. В частности, был построен профиль ММЗ на склоне Воробьевых гор на глубину до 180 м. Верхние 40 м профиля слоисты. Ниже слабо намечаются вертикальные неоднородности.

В Заключение суммированы основные результаты работы.

Большая часть утверждений и выводов диссертации **обоснована** и хорошо иллюстрирована. Защищаемые положения диссертации обоснованы, хотя третье положение вызывает замечания. Среди приводимых ниже замечаний к диссертации два первых представляются важными, а остальные мелкими и второстепенными.

1. Не будучи специалистом в сейсмологии, я не могу обсуждать достоверность результатов обработки микросейсм. Принимаю, что они отражают физическую реальность. В диссертации показано, что на профилях ММЗ они образуют более или менее широкие вертикальные полосы, которые можно интерпретировать как срезы вертикальных пластин с пониженными V_s в кристаллическом фундаменте. Автор считает такие пластины гетерогенными. На Кавказе выделена широкая пластина, которая интерпретируется как свидетельство понижения скоростей сейсмических волн (разуплотнения), с которым связывается поднятие горного сооружения. По мере сужения этой пластины на СЗ Кавказе она становится неотличимой от более узких вертикальных пластин, которые автор интерпретирует как глубинные продолжения крупных разломов, выделяемых геологическими и иными методами вблизи земной поверхности и часто сопровождаемых локальным понижением V_s . Но прямое сопоставление разломов и глубинных вертикальных пластин кажется некорректным, поскольку нередко они не вполне совпадают друг с другом, а местами существуют вне поверхностных разломов, которые к тому же часто наклонны на Кавказе в отличие от пластин. Заметим также, что сходные коровые вертикальные пластины показаны в диссертации и на тектонически активном Кавказе, и на слабоактивном

северо-западном фланге Русской плиты, и в неактивном Московском регионе. Замечу, что в литературе сообщается о подобных образованиях в других регионах, независимо от их строения и эволюции. В диссертации недостает раздела, где обсуждалась бы геодинамическая природа выявленных методом микросейсмического зондирования вертикальных пластин с пониженными V_s , хотя в главе 4 мимоходом сказано, что области понижения скоростей могут возникать за счет тектонической нарушенности, флюидонасыщенности и дилатансии.

2. Все, что написано в главе 5 относительно строения поверхности фундамента и его сопоставления с геофизическими данными и, прежде всего, профилем ММЗ, вполне вписывается в цель диссертации и принятые методы исследования. Из общего ряда выбивается часть главы, посвященная проявлениям Охотоморского землетрясения 2013 г. в Москве. По-моему, эта часть (как и соответствующая часть третьего защищаемого положения) является в диссертации лишней и неуместной.
3. К с. 5. Едва ли справедливо ставить в один ряд разные по размерам и структурному значению Таманский и Кавказский сегменты Альпийско-Гималайского пояса.
4. С. 13 и 23. Вместо взрезы написано врезы.
5. С. 42, рис. 2.2. Перепутано, где а, б, в и последняя строка подрисуночной подписи.
6. С. 51. Фраза о том, что складчато-глыбовое или складчато-покровное (у разных авторов) поднятие Кавказа возникло в результате плиоцен-четвертичных тектонических движений неверна. Поднятие действительно произошло в значительной мере в плиоцен-квартере, но складчатая структура формировалась с начала миоцена или конца среднего эоцена, а отчасти еще в киммерийскую эпоху.
7. С. 54. Восточный Кавказ может быть представлен как односторонний горст, и то с оговорками, лишь в новейшей структуре. Альпийская складчатая структура образована серией складчатых зон и тектонических пластин. Во всяком случае, главный разлом – надвиг или взброс, возможно, со сдвиговой составляющей, что не свойственно горсту.
8. С. 56 и 77. Надо было написать, какого типа магнитуда.
9. Рис. 3.4. Неверно оцифрована шкала скоростей.
10. С. 65. Едва ли низкоскоростное тело под Большим Кавказом можно интерпретировать как диапир (В.В. Белоусов, 1989), поскольку кора здесь утолщена, а не утонена.
11. С. 66. Раскраска рис. 3.8 идентична не рис. 5, а рис. 3.4.
12. С. 72, рис. 3.11 – читается с трудом.
13. С. 84 и соседние, рис. 3.16. Профиль плохо согласуется с его описанием.

14. Почему абразионный уступ вдоль Янтарненской зоны разломов свидетельствует о ее позднечетвертичной активности?
15. С. 128. Едва ли следует называть разломы поверхности фундамента под Москвой активными структурами.

Приведенные замечания, особенно два первых, снижают качество диссертации, но мало затрагивают существо выполненного исследования и защищаемых положений.

Итак, диссертация Андреевой Надежды Вячеславовны представляет собой законченное исследование, характеризующееся внутренним единством. Она выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение задачи определения проявлений активных разломов на поверхности и в земной коре на основе данных геолого-геоморфологических и микросейсмического зондирования, что имеет важное значение для совершенствования оценки сейсмической опасности территорий, различающихся современной тектонической активностью. 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 кандидата наук, а её автор Н.В. Андреева достойна присуждения учёной степени кандидата 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.

«25» апреля 2022 года

Подпись т. *Трифонов В.Г.*
УДОСТОВЕРЯЕТСЯ
КАНЦЕЛЯРИЯ
Геологического ин-та
Российской Академии наук

