

«УТВЕРЖДАЮ»
и.о. ректора ФГБОУ ВО
Иркутского



2016 г.

(печать организации)

Официальный отзыв

на диссертационную работу Бурзуновой Юлии Петровны
«Сложные сети трещин в разломных зонах земной коры
(результаты тектонофизического анализа),
представленную на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.03 «Геотектоника и геодинамика»

Диссертационная работа Ю.П. Бурзуновой имеет объем 151 стр. машинописного текста и сопровождается многочисленными рисунками, таблицами и библиографическим списком из 124 наименований. Текст работы включает 4 главы, введение и заключение.

Во вводной части достаточно полно дается общая характеристика работы – обосновывается ее актуальность, излагаются цели, задачи и методика исследования, дается формулировка защищаемых положений, научной новизны и практической значимости работы, сообщаются сведения о фактологической основе работы, о ее апробации и реализации полученных результатов.

Некоторые замечания вызывает формулировка защищаемых положений.

Так, *первое положение* начинается с утверждения, что трещинные сети в горных породах тектонически активных регионов «...делятся на две большие группы – хаотические и системные», это общеизвестный факт, не требующий защиты. Эту фразу можно было бы убрать без ущерба для понимания существа положения – оно сводится к оценке степени сложности таких трещинных сетей и это действительно требует обоснования и защиты.

Во *втором положении* утверждается, что сети трещин в разломных зонах разного кинематического типа (сбросов, сдвигов, взбросов и надвигов) «...отличаются величиной угла между системами сопряженных сколов». Здесь почему-то общепринятое и конкретное понятие «*угол скалывания*» заменяется неопределенным понятием «*угла между системами сопряженных сколов*», требующим уточнения – какой угол имеется в виду – двойной угол скалывания при оси сжатия или дополнительный к нему угол при оси растяжения.

Первая глава знакомит с общими сведениями о состоянии изученности проблемы и методике исследований.

По литературным данным приведены определения принятых автором терминов и понятий трещин и разломов, систем трещин и трещинных сетей. Дан обзор известных классификаций трещинных сетей и в качестве основы для исследований принята систематика С.Н. Чернышева, в которой выделяется два типа таких сетей в зависимости от характера формирующего их напряженного состояния: простая упорядоченная *системная* сеть и сложная *хаотическая* сеть. Рассмотрены известные параметры структуры трещинных сетей (плотность, густота, удельная трещиноватость, интенсивность, энтропия и др.), методика их расчета и оценка применимости для определения уровня сложности сети трещин.

В целом глава дает достаточно полное представление о методике исследования, хотя и вызывает некоторые замечания.

Так, при разделении разрывных структур на классы разломов и трещин автором приняты условные граничные параметры – длина 100 м и амплитуда смещения 10 см, но, к сожалению, не обсуждаются известные классификации разломно-трещинных структур С.И. Шермана, Р.М. Лобацкой, В.Ю. Забродина и др.

При описании принципов построения диаграмм трещиноватости отсутствует четкое обоснование принятой величины и формы статистического окна палетки для подсчета плотности трещин – неясно, почему 10-градусная величина окна равна 1% площади диаграммы (стр. 17), какая форма этого окна – в виде окружности, квадрата или использована планисфера Пронина?

На рис.1 вместо традиционных для стереометрии понятий *грамма- и гномостереографических проекций* (в сокращенном варианте *граммпроекции и гномопроекции*) вводятся соответствующие им понятия *«ориентировка трещины в виде плоскости и полюса плоскости»*, хотя следует признать, что от такой замены смысл выводов не теряется.

На рис.2 употребляется неудачное выражение *«разброс максимума»* вместо разброса полюсов трещин в системе, как это следует из текста.

Энтропия трещиноватости в тексте (стр.30) определяется как сумма *«...вероятностей попадания какого-либо количества трещин в каждый i-тый интервал массива данных»*, причем неясно – какой интервал массива данных имеется в виду. В автореферате уточняется, что энтропия *«...численно равна сумме вероятностей принадлежности элементов залегания трещин к определенному интервалу координат на стереографической проекции»*. Однако из приведенной формулы (стр. 30) следует, что энтропия равна *сумме произведений этих вероятностей на их двоичные логарифмы*.

Таким образом, эти замечаний имеют редакционный характер, отражают недостаточно полную проработку материалов предшественников и несколько произвольное толкование отдельных терминов и понятий, что затрудняет восприятие смысла.

Во второй главе дается обоснование *первого защищаемого положения* – представлены результаты изучения степени сложности трещинных сетей тектонически активных и смежных с ними участков земной коры (Прибайкалье, Саяны, Памир, Тянь-Шань, Вьетнам) на количественной основе.

Показано, что наиболее информативными для оценки степени сложности трещинных сетей являются энтропия трещиноватости, общее количество максимумов на диаграмме, средняя интенсивность максимума на диаграмме, количество значимых максимумов (с интенсивностью выше средней), величина самого интенсивного максимума.

На основе сравнительного анализа этих показателей для 650 трещинных сетей показано, что наиболее закономерная и тесная корреляция устанавливается для трендов изменчивости энтропии, средней интенсивностью максимума и величиной самого интенсивного максимума. Экспрессную оценку *степени сложности трещинной сети* рекомендуется проводить по *средней интенсивности максимума на диаграмме*: при ее значении менее 5,0% сеть является хаотической, более 6,4% – системной, а интервал от 5,0 до 6,4% характерен для переходных трещинных систем.

По результатам анализа пространственной изменчивости сложности трещинных сетей отдельных районов юга Сибирской платформы и центральной части Байкальской рифтовой зоны по профилям разного масштаба установлено, что тренд степени сложности сетей повышается (средняя интенсивность максимума понижается) по направлению от платформы к рифту и от периферийной части рифта к его оси, т. е. на более нарушенных участках с многоэтапным тектоническим развитием.

Исследование соотношений сложности и плотности трещинных сетей показало, что в целом эти параметры связаны между собой слабо (коэффициент корреляции 0,3), поскольку они определяются разными факторами: плотность зависит от величины тектонических напряжений, а сложность – от количества стадий деформации. Однако детальное изучение их в разных частях разломных зон показало, что вблизи сместителей оба показателя трещинных сетей значительно выше, чем при удалении от разломов. Кроме того, полученные ранее

эмпирические выводы о большей тектонической активности висячих крыльев разломов Прибайкалья (Р.М.Лобацкая, С.И.Шерман, К.Ж.Семинский и др.) находят подтверждение в формировании здесь более сложных хаотических трещинных сетей, которые связаны, по мнению диссертанта, с многообразием проявления здесь разнотипных второстепенных полей напряжений и количеством стадий деформации.

Таким образом, первое защищаемое положение вполне обосновано всем объемом проведенных автором исследований. Возникает лишь один вопрос – как полученные выводы о степени сложности трещинных сетей могут быть использованы при тектонофизическом анализе? Из текста работы этого не видно или, по крайней мере, это четко не сформулировано.

Глава третья посвящена обоснованию *второго защищаемого положения* по результатам структурно-парагенетического анализа 73 сложных трещинных сетей, для которых по комплексу независимых структурно-геологических признаков установлена пространственно-генетическая связь с разными морфогенетическими типами разломов (сбросов, сдвигов, взбросов), сформированных в типовых динамических обстановках.

За основу исследований приняты как известные приемы тектонофизического анализа системной трещиноватости с учетом опыта предшественников (М.В. Гзовский, П.Н. Николаев, В.Н. Данилович, С.И. Шерман, М.А. Гончаров и др.), так и новые методические подходы к структурно-парагенетическому анализу трещиноватости, разработанные в лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН (К.Ж. Семинский, А.В. Черемных, Ю.П. Бурзунова).

Внутренняя структура разломных зон рассматривается как совокупность опережающих разломов и трещин, формирующихся в разнотипных полях напряжений 2-го порядка, которые закономерно сменяют друг друга при «*переиндексации*» осей напряжений в деформируемом массиве горных пород. На уровне трещин это приводит к формированию парагенезиса из трёх примерно ортогональных систем трещин (тройки систем трещин по К.Ж. Семинскому). В области действия серии второстепенных полей напряжений у крупного разлома может сформироваться несколько троек систем трещин, образующих сложную внешне хаотическую трещинную сеть.

Показано, что для изучения таких сложных сетей трещин традиционной методики анализа трещиноватости недостаточно, требуется новый подход к их интерпретации. С этой целью разработаны *эталонные* (идеализированные) трещинные сети для разломных зон разного типа (сброс, взброс, сдвиг), развитых в наиболее распространенных элементарных геодинамических обстановках. Каждый эталон представлен в виде кругового трафарета в проекции верхней полусферы, на котором условными значками показаны магистральный разломный сместитель, мелкие разломы 2-го порядка и соответствующие им тройки систем трещин.

Суть авторской методики структурно-парагенетического анализа заключается в:

- реконструкции локального поля напряжений для каждой станции массовых замеров,
- установлении его принадлежности к зоне локального разлома *путем сравнения природной сети трещин с эталонными трещинными сетями и выбора типовых трещинных парагенезисов* (наиболее подходящих для диаграммы эталонов по совокупности совпадающих систем трещин),
- определении наиболее вероятного варианта реконструкции ориентировки и морфогенетического типа разломных структур и регионального поля напряжений 2-го порядка *по типовым трещинным парагенезисам*,
- реконструкции регионального поля напряжений 1-го порядка, в котором сформировалась трещинная сеть.

Решения поставленной задачи обычно многовариантны, что показано на примере изучения приразломных трещинных сетей на двух участках Приольхонья – на мысе Улирба (подраздел 3.1.2) и на Тажеранском массиве (глава 4).

Особое внимание уделено оценке величине углов между сопряженными трещинами, которая в природных условиях широко варьирует в зависимости от типа пород и девиаторных напряжений, определяющих тип динамической обстановки в массиве (сжатие, растяжение, сдвиг). Показано, что вариация углов у сопряженных трещин в зонах сжатия составляет 50°,

в зонах сдвига 35° и в зонах растяжения 16° , при этом минимальные значения их у всех типов примерно одинаковы (около 70°). Средняя величина угла возрастает от 75° до 94° в ряду: обстановка растяжения - сдвига - сжатия. Предполагается, что одной из причин различия углов у сопряженных разрывов является исходная динамическая обстановка, обуславливающая тип деформационного поведения пород.

По результатам исследований обосновывается необходимость корректировки (до 15°) положения систем трещин на эталонных диаграммах. Новые эталонные диаграммы в большей степени отвечают среднестатистическим величинам углов между разрывами, что повышает достоверность выделяемых с их помощью зон скалывания - применение новых диаграмм-трафаретов (на примере Западного Прибайкалья) показало более точное (на 20%) совпадение эталонных максимумов с природными системами трещин.

Таким образом, можно констатировать, что второе защищаемое положение достаточно полно обосновано, а полученные автором методические приемы удачно апробированы анализом трещинных сетей мыса Улирба и Тажеранского массива.

Однако необходимо отметить и некоторые недостатки методологического характера при изложении материалов этой очень интересной главы.

Во-первых, вряд ли можно считать удачным термин «*переиндексация*» осей напряжений (стр. 60) при формировании полей напряжений 2-го порядка, он указывает на искусственный, произвольный характер этой операции (можно переиндексировать оси напряжений таким образом, чтобы получить нужный результат), что противоречит вполне обоснованному выводу автора о закономерной смене этих полей в процессе деформации. Скорее всего, нужно говорить об изменении соотношения напряжений по разным векторам, в связи с чем возникает новое поле напряжений с другой ориентировкой осей напряжений.

Во-вторых, в работе рассмотрены основные типы разломов (сбросы, сдвиги, взбросы), сформированных в типовых динамических обстановках (растяжения, сдвига, сжатия), однако в природе чаще встречаются разломы с комбинированным типом смещений (взбросо-сдвиги, сдвиго-сбросы и др.), отражающие суперпозицию типовых динамических обстановок. К сожалению, трещинные сети таких обстановок остались за пределами внимания диссертанта, хотя возможность их допускаются в условиях трансенсивного и транспрессивного скалывания.

Четвертая глава посвящена обоснованию *третьего защищаемого положения* по результатам исследования сложных сетей трещин участка «Тажеран» (Западное Прибайкалье). Структурно-парагенетический анализ реализован здесь в рамках площадного картирования с учетом особенностей геологического строения по материалам предшественников.

По 108 пунктам наблюдения обработаны массовые замеры элементов залегания трещин, составлены диаграммы трещиноватости, проведен их анализ на базе скорректированных эталонов, определены ориентировки и типы разломов и полей напряжений разных уровней. По каждому пункту наблюдения восстановлены локальные стресс-тензоры и поля напряжений (308 решений о стресс-тензорах, в т.ч. 106 сбросов, 115 взбросов, 43 правых и 44 левых сдвига). Далее, путем сравнения локальных решений с второстепенными структурами на эталонах определены мелкие разломы и поля напряжений 3-го регионального уровня (19 групп решений). Затем аналогичным образом реконструированы поля напряжений 2-го регионального уровня (5 групп решений) и установлена их связь с крупными рифтообразующими разломами 1-го масштабного уровня (К.Ж.Семинский, А.В.Черемных),

В результате реконструкции сети разломных зон составлена схема разломной тектоники участка и предложена этапность их формирования с оценкой интенсивности проявления и относительного возраста на основе выделенных автором параметров.

Самыми интенсивными для участка оказались поля напряжений СЗ-ЮВ сжатия и СЗ-ЮВ растяжения, которые, скорее всего, отражают 1-й региональный уровень. Достаточно отчетливо представлены парагенезисы 2-го регионального уровня, сформированные в полях ССВ-ЮЮЗ сжатия, правого сдвига (в условиях субширотного сжатия и субмеридионального растяжения) и ССВ-ЮЮЗ растяжения.

Наиболее древними полями напряжения являются поля СЗ-ЮВ и ССВ-ЮЮЗ сжатия, а наиболее молодым - поле СЗ-ЮВ растяжения. Поскольку реконструкция полей проведена по следам хрупких деформаций, возраст самого древнего из них отражает время постметаморфических деформаций (в Приольхонье по современным представлениям это - палеозой).

Таким образом, третье защищаемое положение в целом можно считать обоснованным, хотя и возникают некоторые сомнения в объективности интерпретации полученных результатов и, соответственно, сформулированных на их основе выводов.

Во-первых, соглашаясь с автором о важности и необходимости приема эталонирования трещинных сетей, трудно оценить целесообразность столь многовариантных локальных решений (стр. 118-120), проверить их правомерность невозможно, не повторив весь ход анализа, а отсюда и сомнения в оптимальности выводов о реконструкции региональных полей.

Во-вторых, вызывают сомнения и выводы об относительном возрасте трещинных сетей и восстановленных полей напряжений для участка «Тажеран», основанные на выделенных автором показателях – распространенности вариантов решений, интенсивности и отчетливости проявления максимумов, меньшей величины угла скалывания в более поздних сетях трещин по сравнению с ранними, большей степени проявления опережающих трещин определенного типа в древних сетях, чем в молодых (стр. 123-124). Все это косвенные и достаточно субъективные признаки, которые вряд ли могут служить основой определения возраста деформаций. Более объективной основой могла бы быть локальная структурно-деформационная шкала Тажеранского массива, в которой учитывались бы не только неминерализованные (по сути неотектонические) трещины, но и разрывы, выполненные разновозрастными магматическими и гидротермально-метасоматическими жильными образованиями, которые широко развиты здесь, но, к сожалению, не стали предметом исследования диссертанта.

Критерием достоверности этих выводов автор считает их непротиворечивость известной схеме этапности формирования структуры земной коры Прибайкалья от палеозоя до кайнозоя (Delvaux et al, 1995, 1997). Однако необходимо не забывать, что эта схема составлена на основе глобальных представлений о палеозойских коллизионных процессах в Центральной Азии и также не учитывает последовательность формирования разновозрастных магматических и гидротермально-метасоматических жильных образований Приольхонья, а также особенности допалеозойских структур и этапов тектогенеза в Прибайкалье, т.е. является, по сути, одним из возможных и далеко не оптимальным вариантом.

В заключительной части работы подведены итоги исследования, суммированы основные выводы по защищаемым положениям, указаны результаты реализации рекомендаций автора.

Суммируя изложенное выше и оценивая диссертационную работу Ю.П. Бурзуновой в целом, необходимо отметить следующее:

1. Работа Ю.П. Бурзуновой полностью соответствует специальности 25.00.03 – геотектоника и геодинамика.

2. Актуальность, научная и практическая значимость представленной работы Ю.П. Бурзуновой не вызывают сомнения, поскольку она определяется необходимостью совершенствования методики тектонофизического анализа сложных трещинных систем, сопровождающих формирование разломно-блоковой структуры земной коры.

3. Цель и задачи исследования сформулированы достаточно четко. Они направлены на изучение системных связей между трещинными структурами и полями тектонических напряжений для реконструкции условий их формирования.

4. Методика исследований видится автором как структурно-парагенетический анализ приразломных трещин и создание на этой основе тектонофизических моделей трещинных систем. В целом приведенные в разных главах и разделах сведения дают достаточное представление об этапности исследований и использованных методических приемах.

5. Защищаемые положения сформулированы достаточно корректно – они требуют лишь редакционной правки. В целом, несмотря на указанные замечания, эти положения отражают содержание работы и могут быть предметом защиты.

6. Текст работы композиционно построен удачно – каждому положению посвящена отдельная глава.

7. Обоснование защищаемых положений фактическим материалом серьезных замечаний не вызывает. Недостатки обоснования некоторых моментов отмечены выше при анализе содержания отдельных глав. Они касаются в основном дискуссионных вопросов и не снижают ценности работы в целом.

8. Содержание диссертации освещено автором в 13 публикациях, в том числе в 8 научных статьях в журналах по списку ВАК.

9. Текст работы в целом написан достаточно доступным грамотным языком, хотя имеются погрешности стилистического плана, требующие более тщательного редактирования и корректировки. Приведенные в работе иллюстрации, представленные картами, схемами, графиками, выполнены на достаточно высоком уровне, хотя качество печати не всегда удовлетворительное (рис. 1, 2, 40, 53).

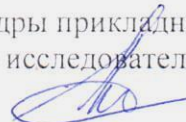
Таким образом, представленная на отзыв диссертационная работа Ю.П. Бурзуновой является законченным научным исследованием, в котором проведено тектонофизическое исследование сложных трещинных сетей в разломных зонах тектонически активных регионов.

В результате установлены общие закономерности строения сложной сети тектонической трещиноватости, что позволяет использовать их в самых разных регионах распространения разломно-трещинной тектоники, а главное, дополнена и отработана на конкретном примере усовершенствованная методика структурно-парагенетического и тектонофизического анализа сложных трещинных сетей, которая может служить необходимой основой для решения многих задач, связанных с процессами разломообразования в земной коре.

По мнению рецензента, на основе полученных результатов и выводов диссертанта и необходимо подготовить учебное пособие для использования предлагаемой методики структурно-парагенетического и тектонофизического анализа в учебных курсах при подготовке специалистов геологического профиля нового поколения.

Рецензируемая работа отвечает требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а диссертант Ю.П. Бурзуновой заслуживает присуждения ее ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной геологии
Института недропользования Иркутского национального исследовательского
технического университета

 А.П. Кочнев

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры прикладной геологии Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета (протокол № 2 от 2.02.2016 г.).

Зав. кафедрой прикладной геологии ИрНТУ
к. г.-м. наук, профессор
2.02.2016 г.

 И.И.Верховзин

