

Потехина Инна Александровна

**РАЗЛОМНО-БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ И КИМБЕРЛИТОВЫЕ ТЕЛА  
АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО ПОЛЯ:  
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

Специальность 25.00.03 – геотектоника и геодинамика

**Автореферат**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск 2010

Работа выполнена в лаборатории тектонофизики Института земной коры  
Сибирского отделения Российской Академии наук

Научный руководитель: Кандидат геолого-минералогических наук  
Гладков Андрей Станиславович  
(Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск)

Официальные оппоненты: Доктор геолого-минералогических наук  
Костровицкий Сергей Иванович  
(Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
СО РАН, г. Иркутск)

Кандидат геолого-минералогических наук  
Саньков Владимир Анатольевич  
(Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск)

Ведущая организация: НИГП АК «АЛРОСА» (г. Мирный)

Защита состоится: «23» ноября 2010 г. в 9:00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 003.022.02 в Институте земной коры по адресу:  
664033, г. Иркутск, ул.Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института земной коры СО  
РАН

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения,  
просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета к.г.-м.н.  
Юрию Витальевичу Меньшагину, e-mail: [men@crust.irk.ru](mailto:men@crust.irk.ru)

Автореферат разослан « » октября 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, кандидат  
геолого-минералогических наук

Меньшагин Ю.В.

## Введение

**Актуальность темы.** Роль разломной тектоники в распределении и локализации кимберлитовых тел на территории Якутской алмазонасной провинции обсуждается в научной и специальной литературе на протяжении более чем 50-летнего периода после открытия первых трубок. Несмотря на столь продолжительную историю изучения, до сих пор не удалось создать единой концепции о взаимосвязи кимберлитового магматизма и разломных структур Сибирской платформы. С одной стороны, признается очевидным факт контроля кимберлитового магматизма зонами глубинных разломов, которые достаточно уверенно выделяются в фундаменте методами геофизики и характеризуются значительной протяженностью и шириной. Именно к этим зонам, а так же к узлам их пересечения приурочены кимберлитовые поля [Крутойрский и др., 1959, Эрлих, 1963, Мокшанцев и др., 1974, 1976]. С другой стороны, при переходе на следующие масштабные уровни – кимберлитовые поля, кусты кимберлитовых трубок или единичные кимберлитовые тела – связь с разломными структурами становится все менее “определенной” [Милашев, 1984]. Причиной этого является недостаточная изученность разрывных структур платформенного чехла и, в особенности их поверхностных слоев, поскольку с детализацией исследований именно они приобретают все большее значение как факторы контроля проявлений кимберлитового магматизма. До настоящего времени не увенчались успехом попытки различных авторов разработать модели, связывающие особенности строения и развития разрывной сети в верхней части платформенного чехла с известными закономерностями размещения кимберлитовых полей (кустов, трубок). Кроме того, созданию подобных моделей во многом препятствовал использованный большинством исследователей подход, при котором с разломом ассоциировалась линия магистрального сместителя, вне внимания оставалась зона его динамического влияния.

Современный тектонофизический подход определяет разломную зону, как объемное геологическое тело, характеризующееся определенной внутренней структурой, развитие которой происходит в несколько стадий [Шерман и др., 1991]. Происходящие в природе изменения геодинамических обстановок приводят к тому, что формирование внутренней структуры разломной зоны может прерваться на любой из стадий, а затем либо временно прекратиться, либо возобновиться, но уже с теми же или другими кинематическими характеристиками. Следовательно, для одной и той же разломной зоны особенности проявления на различных структурных этажах платформы могут и должны заметно различаться. В фундаменте платформы, длительность и интенсивность деформирования которого существенно выше, чем у пород платформенного чехла следует предполагать развитие наиболее зрелых форм разломов, вплоть до стадии магистрального сместителя. В пределах чехла формирование разломных зон происходит в результате движений по сместителям в фундаменте в условиях, когда тектоническая активность заметно ниже, чем на доплатформенном этапе. Поэтому, в

большинстве своем, разломы в платформенном чехле представлены широкими зонами проявления локальных разрывных нарушений и тектонической трещиноватости, т.е. в своем развитии не проходят дальше ранней или поздней дизъюнктивных стадий. В результате наложения зон разломов структурных парагенезов, сформированных в различных геодинамических обстановках, верхняя часть платформенного чехла разбита хаотичной, на первый взгляд, сетью разнонаправленных разрывных нарушений.

Для расшифровки подобных сетей необходимо использование геолого-структурных методов, ориентированных на выявление разломных зон, в верхних частях платформенного чехла, изучение их внутреннего строения и динамики развития. Весьма перспективным в этом плане является комплексный подход, базирующийся на совокупности тектонофизических методов, позволяющих получать принципиально новую информацию о внутреннем строении кимберлитовмещающих разломных зон.

**Цель работы:** Проведение комплекса тектонофизических исследований разломной тектоники для оценки структурных факторов локализации кимберлитовых тел в пределах Алакит-Мархинского кимберлитового поля Якутской алмазоносной провинции.

**Задачи исследования:**

1. Изучить тектоническую трещиноватость, разрывные нарушения и другие структурные проявления на участках карьер Комсомольский, Полигон и Структурный.

2. На основе парагенетического анализа тектонической трещиноватости и разрывных структур более высокого ранга наметить этапы становления, развития и активизации разломов на участке Структурный.

3. Восстановить региональные и локальные поля тектонических напряжений характерные для выделенных этапов развития разломных структур.

4. Провести физическое моделирование динамики развития разноранговой сети разломов Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

5. Выяснить связь разломов и кимберлитовых тел.

**Фактический материал и методы исследования.**

Основу диссертационной работы составили полевые наблюдения, выполненные автором в 2003 – 2007 гг. на территории Западной Якутии в междуречье рр. Алакит и Марха. Это, прежде всего, материалы документации естественных обнажений и горных выработок, а также замеры тектонической трещиноватости, разрывных нарушений и пликативных структур на площади Алакит-Мархинского поля и в карьере трубки “Комсомольская”. Для построения схем разломно-блокового строения помимо собственных данных были использованы топографические материалы, а также цифровые планы карьерных полей трубок Юбилейная и Комсомольская, любезно предоставленные маркшейдерским отделом Айхальского ГОКа. Результаты, полученные в процессе анализа полевого материала, были подвергнуты экспериментальной проверке методом физического моделирования на установке “Разлом”.

### **Защищаемые положения:**

1. Разломы ортогональной (субмеридиональной и субширотной) и диагональной ориентировки являются основными элементами разломно-блокового строения Алакит-Мархинского поля. Разломы ортогональной ориентировки и узлы их пересечения контролируют кимберлитовые тела.

2. Разломная сеть верхних слоев платформенного чехла Алакит-Мархинского района сформировалась в результате многоэтапных сдвиговых движений по разломам в фундаменте платформы. Строение разломных зон на земной поверхности отражает “наложение” структурных планов разных этапов деформаций чехла.

3. Локальные участки растяжения в сдвиговых зонах (структуры раскрытия и пулл-апарт) на начальном этапе формирования, явились «дренажной» основой для проникновения кимберлитового материала и формирования многофазных трубок. На последующем этапе формирования, эти участки активизировались в условиях локального сжатия.

**Научная новизна.** Впервые для Алакит–Мархинского поля собран и обобщен обширный материал по трещиноватости и локальным разрывам в естественных природных обнажениях и в открытых горных выработках. Тектонофизический анализ собранных данных показал, что в структурном строении района существенную роль играют разломы субширотного и субмеридионального направлений, а к ним и узлам пересечения этих разломов приурочены известные кимберлитовые трубки.

Физическое моделирование узлов пересечения сдвиговых зон подтвердило наличие и сочетание многих структурных элементов, наблюдаемых в природных объектах. В результате экспериментов было установлено, что при формировании разломов широтной и меридиональной ориентировки всегда формируются локальные структуры растяжения и/или сжатия северо-восточной и северо-западной ориентировок. Они позволяют выделить наиболее благоприятные участки для возможных поисково-разведочных работ. Методами тектонофизического анализа на кимберлитовой трубке Комсомольская были выделены основные направления разломных зон, с которыми связано формирование трубки. На основании реконструкции полей тектонических напряжений по массовым замерам трещиноватости, предложена структурная модель формирования кимберлитовой трубки Комсомольская.

**Практическая значимость.** Разработанная структурно-геологическая модель строения разломной сети позволяет дополнить представления об условиях локализации кимберлитовых тел на площади Алакит-Мархинского поля. Полученные результаты показали, что трапповая “покрышка”, в структурном плане отражает не только строение верхних горизонтов платформенного чехла, но и содержит информацию об особенностях разломной сети в породах, вмещающих кимберлиты. Это, в комплексе с другими геологическими и геофизическими методами, может быть использовано при проведении поисково-разведочных работ.

Работы, проведенные на карьере трубка Комсомольская, позволили составить схему разломно-блокового строения участка локализации

кимберлитовой трубки, которая использовалась компанией АЛРОСА для проектирования выработки, а также для разработки мероприятий по обеспечению безопасного проведения горных работ.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на 2-й и 3-й региональной конференции молодых ученых “Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России” (Владивосток 2008, 2010), всероссийской конференции “Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН” (Москва 2008), на XXIII всероссийской молодежной конференции “Строение литосферы и геодинамика” (Иркутск 2009), на Первой молодежной тектонофизической школе-семинаре “Современная тектонофизика: методы и результаты” в ИФЗ РАН (Москва 2009), а также на ряде семинаров лаборатории тектонофизики.

Количество опубликованных автором или при его участии научных работ 27, из них по теме диссертации 16 (в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах).

**Объем и структура работы.** Диссертация общим объемом 164 страницы состоит из 5 глав, введения, заключения, иллюстрирована 103 рисунками и 1 таблицей. Список литературы включает 84 наименования.

Работа выполнена в лаборатории тектонофизики Института земной коры.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю к.г.-м.н. А.С. Гладкову за постановку темы, советы и консультации. Он признателен сотрудникам лаборатории тектонофизики академику РАН, профессору С.И.Шерману, д.г.-м.н. К.Ж.Семинскому за всестороннюю поддержку и помощь в работе. Особую благодарность автор адресует кандидатам геолого-минералогических наук, С.А. Борнякову, А.В. Черемных, О.В. Луниной за совместно проведенные полевые работы и лабораторные исследования. За оказанное содействие в сборе фактического материала автор адресует искреннюю признательность всем сотрудникам Геологического отдела Айхальского ГОКа АК “АЛРОСА” ЗАО и лично главному геологу И.В. Маковчуку. За дружескую и моральную поддержку работ, благодарю к.г.-м.н. А.В. Кадетову, к.г.-м.н. В.А. Хак, к.г.-м.н. Я.Б. Радзиминовича, А.А. Рыбченко, С.В. Ашуркова.

Выражаю признательность и искреннюю благодарность своим родителям Н.А. Потехиной и А.Ф. Потехину за помощь и заботу.

## **Глава 1. История изучения факторов структурного контроля кимберлитового магматизма Сибирской платформы и структурно-геологическое строение Алаakit-Мархинского поля**

Данная глава содержит исторический обзор исследований посвященных изучению закономерностей размещения, группирования и строения кимберлитовых трубок, а также их взаимосвязи с различными тектоническими структурами [Одинцов, 1958; Спизарский, 1960; Атласов, 1960; Трофимов, 1961; Эрлих, 1963; Ковальский, 1970; Страхов, 1971; Арсеньев 1961; Милашев, 1984,1990; Крутойярский и др. 1959; Ковальский, 1970; Потуроев и др., 1974;

Мокшанцев, 1976; Серокуров, 1995]. Обоснован выбор площади исследований – Алакит-Мархинского кимберлитового поля расположенного в пределах северо-восточной окраины Тунгусской синеклизы на стыке с Анабарской антиклизой, в верховьях рек Алакит и Марха. Показано, что на протяжении многих лет, прошедших с начала организации алмазопроисковых работ на территории Сибирской платформы, проведены большие геологические и геофизические исследования, практическими результатами которых явилось открытие кимберлитовых тел. Собран и обобщен огромный материал, отражающий геолого-тектоническое строение территории. Однако вопрос о роли разломов в локализации кимберлитовых тел остается актуальным. Несмотря на, казалось бы, очевидную связь кимберлитового магматизма с разломными зонами и цепочечное расположение известных полей, до сих не удалось решить задачу по выявлению факторов структурного контроля. Большинство из разработанных схем отличаются друг от друга. При этом нередки ситуации, когда у различных авторов размещение одних и тех же кимберлитовых тел (кустов, полей) контролируют разломы разных направлений.

Очевидно, что имеющейся на сей день информации о разломах, основанной только на результатах геофизических и геоморфологических работ, недостаточно для решения этой задачи. Необходимо привлечение прямых геолого-структурных методов, специально ориентированных на выявление разломных зон в верхних частях платформенного чехла, изучение их внутреннего строения и динамики развития, основанный на тектонофизическом подходе. Разлом необходимо рассматривать как объемное геологическое тело. То есть, помимо собственно тектонитов сместителя, под ним понимается широкая зона развития разрывов второго и более высоких порядков, возникающих в процессе его формирования [Семинский, 2003]. Поэтому основной целью наших работ стало проведение комплекса тектонофизических исследований разломной тектоники для оценки структурных факторов локализации кимберлитовых тел в пределах Алакит-Мархинского кимберлитового района Якутской алмазонасыщенной провинции.

## **Глава 2. Тектонофизические методы изучения разломных зон**

Для решения задач, поставленных в рамках настоящей работы, были использованы полевые и экспериментальные тектонофизические методы. Первые из них представлены комплексом методических разработок и приемов направленных на полевое изучение зон разломов, картирование основных элементов их внутреннего строения и восстановления полей тектонических напряжений. Вторая группа методов (экспериментальные) служила для проверки и уточнения, разработанных на основе анализа полевых данных, моделей строения и развития кимберлитоконтролирующих разломных зон.

При полевых исследованиях вне зависимости от масштаба изучаемого объекта был использован единый подход к сбору исходной информации. Для этого использовали принципы и методы специального структурного картирования [Семинский и др., 2005], которые предусматривают создание сети точек и проведение комплекса однотипных тектонофизических наблюдений в

пределах каждой из них. Он включает в себя измерение и описание основных систем трещин на документируемом участке, детальную характеристику зон разрывных нарушений и других структурных элементов таких как складки, будины, линейность и т.д. Обязательно производился массовый замер элементов залегания трещин с указанием их генетической разновидности (скол или отрыв). Как правило, замер включал порядка 100 трещин, однако на участках со сложными условиями для наблюдений их количество было меньше (но не менее 30). Всегда отмечалось наличие поверхностей скольжения и в этих случаях документировались ориентировки следов перемещения (штрихи и борозды). Кроме того, выполнялся подсчет количества трещин на 1 м<sup>2</sup> изучаемой площадки (*N*).

В ходе последующего анализа собранных полевых данных для выделения и характеристики зон разломов в платформенном чехле, а также для восстановления осей главных нормальных напряжений использовались различные методические приемы. В частности, для картирования разломов проводились следующие виды анализа: 1) количественных параметров разрывных сетей [Шерман и др., 1991]; 2) тройственных парагенезисов трещин [Семинский и др., 2005], 3) хаотических трещинных сетей [Семинский, 2003], 4) поясов трещиноватости [Данилович, 1961; Семинский и др., 2005]. При восстановлении положения осей главных нормальных напряжений использовались методы П.Н.Николаева [Николаев, 1977; 1992] и М.В.Гзовского [Гзовский, 1975].

Физическое моделирование процессов формирования зон разломов выполнялось с соблюдением условий подобия [Шерман, Бабичев, 1989]. В качестве модельного материала использована водная паста монтмориллонитовой глины. Была проведена серия экспериментов в которых воспроизводилось формирование разломных зон при заданных условиях нагружения. Последние задавались исходя из результатов тектонофизических и структурно-геологических наблюдений. Использованное экспериментальное оборудование включало в себя приборы определения вязкости модельного материала и установку «Разлом». В нашем случае она была модернизирована для воспроизведения движений по пересекающимся сдвиговым зонам в условиях проявления двух этапов разнонаправленных движений.

### **Глава 3. Тектонофизический анализ разломно-блоковой структуры Алакит-Мархинского кимберлитового поля**

Исследования были построены по принципу “от частного – к общему” при котором последовательно рассматриваются объекты от локального до регионального иерархического уровня. Выбор такого подхода к анализу полученных данных был основан на том, что наиболее представительный материал, детально характеризующий тектоническую структуру, удалось собрать в пределах действующего карьера на трубке Комсомольской. Он послужил эталонным объектом характеристики особенностей структурного контроля на уровне кимберлитового тела. В свою очередь в качестве эталона для изучения структурных особенностей присущих кусту кимберлитовых тел

был выбран участок “Полигон”, в пределах которого расположены более 10 сближенных трубок. И, наконец, площадные исследования, охватившие большую часть территории поля, позволили охарактеризовать факторы контроля на региональном уровне.

В пределах каждого из перечисленных участков были созданы сети точек структурно-геологических и тектонофизических наблюдений (277 шт., 85 шт. и 297 шт., соответственно) в которых было изучено и замерено более 5000 трещин и разрывных структур более высокого ранга. В ходе дальнейшего анализа собранных данных были последовательно выполнены построения и рассмотрены закономерности распределений: 1) локальных разрывных структур различных направлений и рангов; 2) систем трещин разных направлений; 3) тройственных парагенезисов трещин; 4) количественные параметры трещиноватости. В результате были закартированы и охарактеризованы зоны разломов различных рангов, что позволило построить схемы разломно-блокового строения для каждого из участков.

Полученные структурные схемы свидетельствуют, что независимо от масштаба наблюдений для разломной тектоники характерны общие закономерности. Например, большая часть разломных зон в пределах карбонатного цоколя имеет субмеридиональное и субширотное направления. Они достаточно уверенно фиксируются в строении трещинных сетей участков и подчеркиваются максимумами значений количественных параметров. Разломы других направлений представлены диагональной системой нарушений, которые ориентированы на северо-восток и северо-запад, соответственно. Полученные данные свидетельствуют, что такие разломы имеют подчиненное значение.

В перекрывающих толщах и трапповых телах разрывная сеть несколько отличается: для нее характерно преимущественное развитие дизъюнктивов северо-восточного и северо-западного простираний. Данное различие объясняется тем, что тектонические силы, определявшие формирование трещиноватости и разрывных нарушений в перекрывающих трубку породах и трапповых силлах, были ориентированы иначе, чем на этапе кимберлитобразования. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты восстановления полей тектонических напряжений, выполненные как для вмещающих кимберлитовые тела карбонатных отложений, так и для перекрывающих пород.

Для восстановления положения осей главных нормальных напряжений использовались методы П.Н. Николаева [Николаев, 1977], В.Н. Даниловича [Данилович, 1961; Гладков, Семинский, 1999] и М.В. Гзовского [Гзовский, 1975]. С помощью первых двух из них на диаграммах массовых замеров были выделены сопряженные системы трещин. При этом проводился анализ формы максимумов и анализировались направления разбросов в соответствии с упомянутыми выше методами. Итоговые построения положения осей главных нормальных напряжений выполнялись по методике, изложенной в монографии М.В. Гзовского [Гзовский, 1975]. Наиболее часто встречаются решения соответствующие сдвиговому полю (оси сжатия ( $\sigma_3$ ) и растяжения ( $\sigma_1$ ) –

субгоризонтальны, промежуточная ось ( $\sigma_2$ ) – субвертикальна). Наряду с этим, присутствуют поля отвечающие сбросовому ( $\sigma_1$  – субгоризонтальна, а  $\sigma_3$  и  $\sigma_2$  – субвертикальны) и взбросовому ( $\sigma_3$  – субгоризонтальна, а  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – субвертикальны) типам.

Сводные розы-диаграммы простираций субгоризонтальных осей сжатия и растяжения для всей совокупности полученных решений полей тектонических напряжений свидетельствуют, что формирование и активизация разрывной сети изученных участков происходили под влиянием четырех полей тектонических напряжений сдвигового типа. Первое (I), характеризовалось северо-восточной ориентировкой оси сжимающих усилий и северо-западной – оси растягивающих. Второе (II) – северо-западным простираем осей сжатия и северо-восточным – растяжения. Третье поле (III) определяется субмеридиональным сжатием и субширотным растяжением. Четвертая группа полей, объединяет решения, которые свидетельствуют о субширотном положении осей сжатия и субмеридиональном – растяжения.

Особенности строения трещинных сетей, определяющих внутреннее строение разломных зон ортогональной системы, не противоречит сделанным выше заключениям. Исходя из известных закономерностей разрывообразования [Шерман и др., 1991, Семинский, 1994] наблюдаемая совокупность трещин объясняется наложением структурных парагенезисов, сформированных на двух первых этапах сдвиговых движений. При этом в зонах ортогональных разломов формируются аналогичные по направлениям и кинематике трещины, с той лишь разницей, что опережающие R-сколы в субмеридиональной зоне являются R'-сколами в субширотной и наоборот (R' в субмеридиональной – будут R-сколами в субширотной).

Совокупность полученных данных и результаты их анализа позволили разработать модель формирования разрывной структуры для участка локализации трубки Комсомольская (рис.1), а также охарактеризовать кинематику разломов различных направлений на площади Алакит-Мархинского поля в течение разных этапов. Установлено, что поля первой группы проявлялись на начальном этапе формирования (активизации) разломной сети площади работ и приводили к сдвиговым движениям по сопряженным разломам ортогональной ориентировки. При этом меридиональные нарушения представляли правые, а широтные – левые сдвиги. На участках взаимодействия между дизъюнктивами формировались кимберлитовые тела. К ним относятся, прежде всего, узлы пересечения разломов разных направлений, а также области растяжения, возникающие при сдвиговых движениях по субпараллельным сближенным нарушениям - структуры типа “pull-apart” (рис.1,б).

Поля второй группы отвечают второму этапу становления разрывной структуры на площади работ. При этом направления движений приурочены так же к широтным и меридиональным структурам однако кинематика движений имеет противоположные направления, т.е. субмеридиональные разрывы проявляются как левые, а субширотные – как правые сдвиги. Участки взаимодействия разломов, которые были областями растяжения, на данном

этапе оказываются в условиях сжатия и в их пределах возможно формирование соответствующих структур (локальные надвиги, пологие поднятия и складки), а также проявление заключительных фаз кимберлитовых трубок и деформирование уже сформированных кимберлитовых тел.

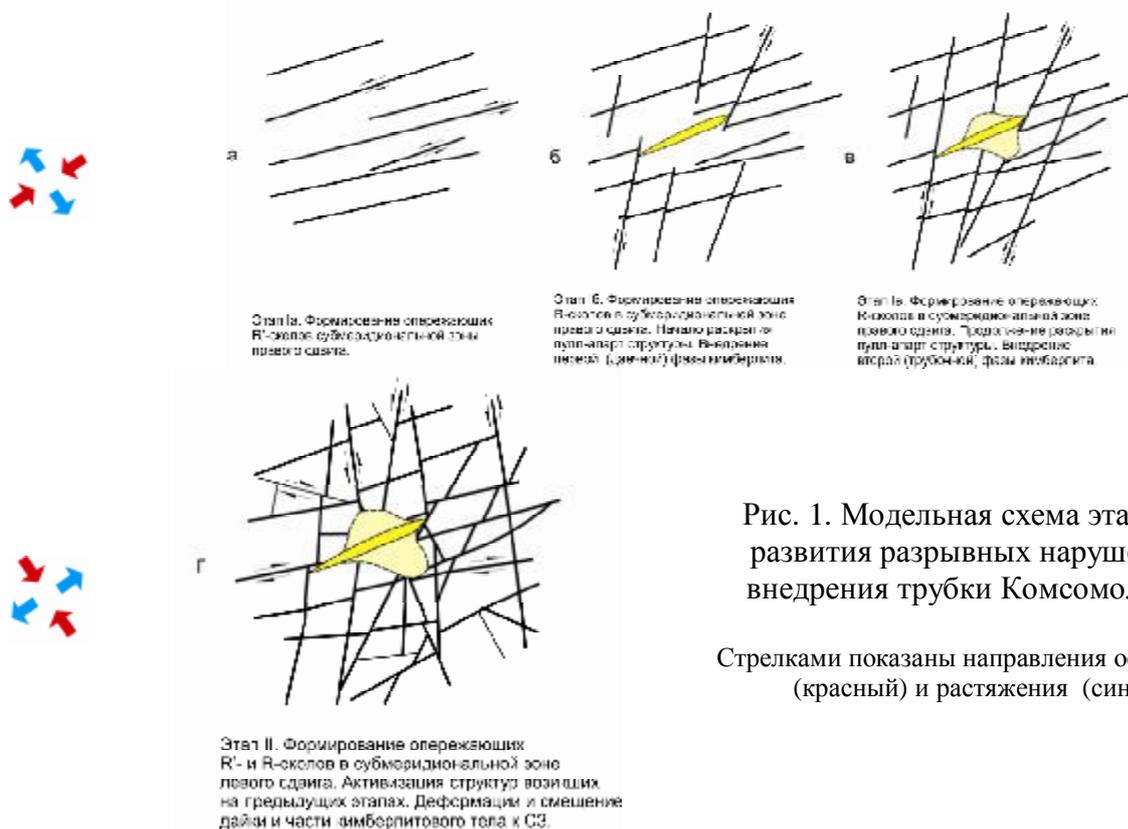


Рис. 1. Модельная схема этапности развития разрывных нарушений и внедрения трубки Комсомольская.

Стрелками показаны направления осей сжатия (красный) и растяжения (синий).

Существенное отличие в направлении осей главных нормальных напряжений на последующем этапе (третья группа полей) обуславливает, прежде всего, активизацию существующих и формирование новых диагональных дизъюнктивов, работающих как сопряженные пары. Разломы северо-восточной ориентировки проявляются как левые, а северо-западной – как правые сдвиги. Для разломов ортогональной ориентировки на этом этапе характерны вертикальные смещения, образуются участки растяжения (раскрытия для субмеридиональных структур) и скупивания (для субширотных).

На четвертом этапе, в условиях субширотного положения оси сжатия и субмеридионального – растяжения также наблюдается преобладание сдвигового типа поля. Кинематика смещений для всех составляющих разрывной сети – прямо противоположная той, которая была характерна для третьего этапа. Северо-восточные и северо-западные нарушения при этом образуют сопряженную пару. Первые из них срабатывают как правые, а вторые – как левые сдвиги. Кроме того, на фоне вертикальных смещений по ортогональным разломам можно ожидать участки раскрытия (для субширотных) и скупивания (для субмеридиональных).

Результаты представленные в главе позволили сделать следующие выводы:

1) Разломно-блоковое строение Алакит-Мархинского кимберлитового поля определяется разломами субмеридионального и субширотного направлений. Северо-западные и северо-восточные нарушения проявлены преимущественно в породах, перекрывающих кимберлитовмещающие отложения. В пределах последних они представлены фрагментарно и, в большинстве своем являются внутриблоковыми структурами.

2) В платформенном чехле ортогональные разломы проявились в виде широких зон сдвиговых деформаций, формирование которых происходило как минимум в четыре этапа. Первый из них характеризовался СВ ориентировкой сжатия и СЗ растяжения; второй – СВ растяжения и СЗ сжатия; третий – субмеридиональным направлением сжатия и субширотным растяжения; четвертый – субширотным сжатием и субмеридиональным растяжением.

Таким образом, можно констатировать, что установленные особенности разломно-блокового строения Алакит-Мархинского поля не согласуются с представлениями о наличии мощной зоны глубинного разлома северо-восточного направления (Далдыно-Оленекской зоны). Наши данные свидетельствуют, что разрывные и пликативные структуры северо-восточной ориентировки, скорее всего, являются производными движений по разломным зонам субширотной и субмеридиональной ориентировки. В процессе дальнейших исследований данное заключение было подвергнуто проверке методами физического моделирования.

#### **Глава 4. Результаты физического моделирования кимберлитоконтролирующих разломных зон**

Тектонофизический анализ данных, собранных в результате полевого изучения разрывных нарушений Алакит-Мархинского поля, позволяет утверждать, что на всех структурных схемах они представлены парагенезисами, характерными для сдвиговых зон. При этом основными структурами, контролирующими кимберлитовые тела на изученных участках, являются узлы пересечения сдвиговых разломов и пулл-апарт структуры. Именно они и послужили объектами моделирования.

***Пулл-апарт структуры.*** При общем воспроизведении процесса формирования зон сдвиговых разломов локальные структуры пулл-апарт получают достаточно редко. Это происходит при значительных величинах амплитуд смещения, в течение второй и третьей стадий развития деформационного процесса, когда плоскости активных разрывов имеют извилистую морфологию сместителей и на отдельных участках их отклонение от основного простирания создает условия, благоприятные для локального растяжения. Такие условия не совсем соответствуют особенностям проявления природных разломов на платформе, где нет высоких скоростей и амплитуд перемещения по разломам и процесс разрывообразования редко выходит за рамки первой стадии.

Поэтому нами моделировались пулл-апарт структуры, пространственно связанные с участками чехла, в основании которых присутствует разлом фундамента с характерной морфологией сместителя. Были изготовлены

специальные штампы, имитирующие необходимый изгиб сместителя. Угол изгиба по отношению к общему направлению сместителя задавался равным  $30^\circ$ . Модель из глинистой пасты мощностью 2 см деформировалась при смещениях соответствующих левому сдвигу. На (рис.2) представлены фрагмент модели (А) и соответствующая ему структурная схема (Б). В результате смещений штампов, над участком изгиба сместителя сформировалась структура локального растяжения. Ее образование сопровождалось утонением деформируемого слоя на 10-20% с образованием линейно-вытянутых грабенов, ограниченных сбросами. По периферии структуры наблюдались зияющие раскрытые трещины. Их латеральные ограничения образуются системами сближенных сдвигов, имеющих заметную сбросовую компоненту. В пересчете через коэффициенты подобия, амплитуда вертикального смещения на них может достигать первых сотен метров. Ширина региональных пулл-апартов по экспериментальным оценкам может составлять от 1.5 Н до 2.5 Н, где Н - мощность осадочного чеха. Данная ситуация соответствует наблюдаемой в Алакит-Мрахинском поле закономерности, заключающейся в том, что линейные кусты кимберлитовых тел приурочены к бортам или центральным частям малоамплитудных грабенообразных структур северо-восточного направления.

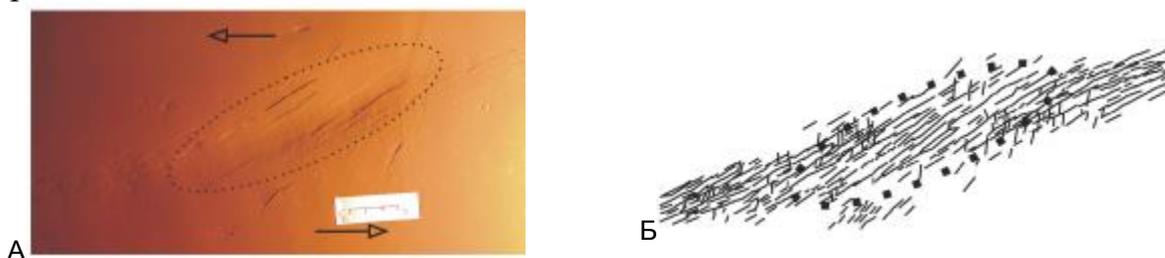


Рис. 2. Пулл-апарт структура в модели (оконалирована пунктирной линией) (А) и её структурная схема (Б).

Следует отметить, что раскрытие участков в пределах разломных узлов, имеет механизм близкий к раскрытию пулл-апарт структур приуроченных к изгибам разломных сместителей. Однако они различаются формами образуемых структур. В первом случае образуются линейные удлиненные объекты. Во втором - структуры более изометричные, они вписываются в ромбовидные, иногда даже квадратные блоки, приуроченные к центральной части разломного узла. Отмечено, что в моделях фиксируется меньше приизгибовых пулл-апарт структур, чем структур раскрытия, связанных с разрывными узлами. По-видимому, эта же закономерность работает и в природе, что приводит к более частому формированию изометричных по форме трубок.

**Структуры растяжения в узлах пересечения разломов.** В эксперименте была реализована ситуация взаимодействия двух разломных зон на протяжении двух этапов деформирования, которые обеспечивались прямым и реверсным движениями штампов. Модель соответствовала тектонической активизации пересекающихся сдвиговых разломов в фундаменте. В процессе деформирования были сформированы зоны в пределах которых проявились два

парагенезиса разрывов (R- и R'-сколы), направления которых отклоняются от осевой линии разлома в разные стороны (рис.3). При этом в узле пересечения разломов формируется изометричная овальная или кольцевая структура выпирания или опускания и наблюдается усложнение сети разрывов.

Полученные в результате моделирования геометрические сочетания разрывной сети имеют много общего с природными структурами различных рангов. Для локального уровня примером может служить фрагмент структуры полученной во время эксперимента соответствующий по визуальным параметрам строению разломной сети на участке локализации трубки Комсомольская (рис.4). Рассматривая модели сдвигов условно субмеридионального и субширотного направлений, можно констатировать, что в их зонах и узлах пересечений за счет наложения разных парагенезисов структур формируется разрывная сеть, в строении которой наряду с ортогональными разрывными нарушениями проявлены разрывы северо-восточного и северо-западного направлений, что согласуется с полевыми наблюдениями. При этом в пределах узла и, в прилегающих к нему участках пересекающихся зон на определенных этапах наблюдаются участки локального раскрытия.

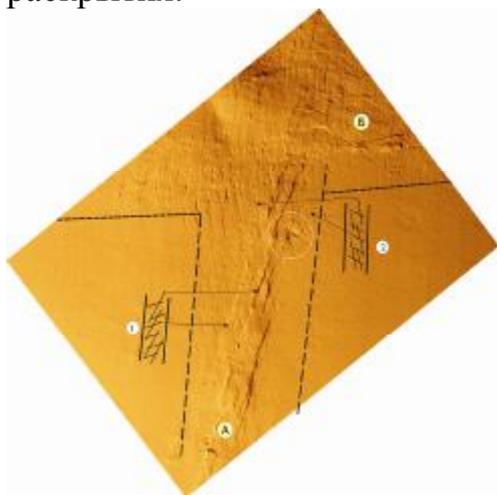


Рис.3. Фрагмент узлового сочленения субмеридионального (А) и субширотного (Б) разломов фундамента над которыми в результате двух этапов разнонаправленных смещений сформировались зоны, внутреннее строение которых определяется сочетанием разрывов разных парагенезисов (1) и (2)

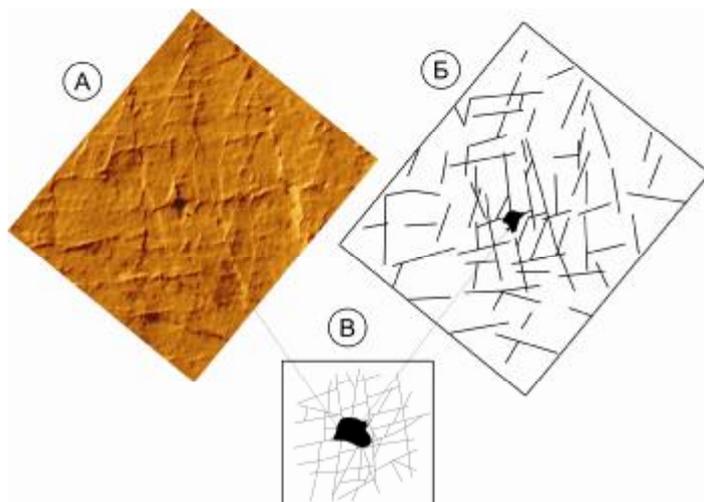


Рис.4. Локальный участок раскрытия в узле пересечения модельных разломов субширотного и субмеридионального направлений.

А и Б – фотография и рисунок разрывов на модели, В – разломная сеть и кимберлитовое тело в карьере трубки Комсомольская

При рассмотрении общей картины распределения структур раскрытия в узле сдвиговых зон как аналога проявления трубок в пределах природного кимберлитового поля было отмечено, что большая часть из них развивается непосредственно в разломном узле и только некоторая - в одном из сегментов взаимодействующих зон. Также можно было ожидать, что большинство структур раскрытия должно выстраиваться в линии, субперпендикулярные направлению растягивающих усилий. Такие цепочки действительно

"выстраиваются". Однако, предполагаемые "трубки" могут быть также "уложены" в другие линии, направление которых во многих случаях отличается от теоретического. Это наглядно иллюстрирует, что цепочки трубок в природе не всегда соответствуют линиям разломов, и во многом объясняет тот факт, что все известные попытки анализа цепочечного выстраивания кимберлитовых тел для реальных полей так и не привели к выявлению закономерностей в их распределении.

Выполненное моделирование позволило воспроизвести сочетание многих структурных элементов, наблюдаемых в природных объектах. Оно показало, что развитие сдвиговых узлов для разломов широтной и меридиональной ориентировки всегда сопровождается формированием структур северо-восточной и северо-западной ориентировки. Эти структуры в зависимости от скорости деформирования и вязкости модельного материала (в "фундаменте" и "чехле") могут быть представлены как сочетанием пликативных и дизъюнктивных деформаций, так и существенно разрывными деформациями с элементами раскрытия.

В целом результаты экспериментальных работ позволяют сделать вывод о многоэтапном формировании основных систем разрывных нарушений осадочного чехла в пределах Алаakit-Мархинского кимберлитового поля, а также высокой вероятности приуроченности кимберлитовых тел к локальным структурам растяжения в сдвиговых зонах.

## **Глава 5. Закономерности структурного контроля кимберлитовых тел Алаakit-Мархинского поля: практические следствия**

Приведенные в диссертации материалы, характеризующие разломную тектонику Алаakit-Мархинского алмазоносного поля, свидетельствуют, что становление кимберлитовых тел и кустов, а также их последующая деформация связаны со знакопеременными сдвиговыми движениями по разломам в фундаменте и нижней части платформенного чехла. Подобные выводы являются новыми для Якутской алмазоносной провинции и имеют научное и прикладное значение. В научном плане, они позволяют получить ответы на ряд принципиальных вопросов, в частности, объяснить отсутствие значительных вертикальных смещений в кимберлитоконтролирующих разломных зонах. Наличие же малоамплитудных "рифтоподобных" или "грабенообразных" структур [Горев и др., 1994, и др.] не противоречит теоретическим и экспериментальным представлениям о строении зон сдвига [Sylvester, 1998; Шерман и др., 1991,1992]. Кроме того, становятся понятны многие черты строения известных кимберлитовых полей (приуроченность к куполовидным поднятиям изометричной формы, линейно-цепочечное расположение и т.д.), а также отсутствие прямой связи с известными на Сибирской платформе крупнейшими структурами растяжения – авлакогенами [Дукардт, Борис, 2000].

Функционирование на Сибирской платформе в момент внедрения среднепалеозойских кимберлитовых тел крупных сдвиговых зон требует уточнения существующих геодинамических построений для данного этапа. В

настоящий момент довольно сложно сказать, какие процессы или их сочетания являются определяющими для масштабного проявления сдвиговых движений и связанных с ними проявлений кимберлитового магматизма в зонах ортогональных разломов (и их узлах) платформы. Для этого необходим дальнейший углубленный анализ с привлечением данных по другим кимберлитовым районам и полям, а также изучение проявлений синхронных деформаций в сопредельных с платформой складчатых областях.

Прикладная сторона полученных результатов определяется, с одной стороны, получением производственными подразделениями, проводящими поисково-оценочные и разведочные работы на территории Алакит-Мархинского поля, структурных данных позволяющих уточнить результаты геофизических работ. С другой – возможностью прогноза перспективных участков на основе установленных структурных факторов. При использовании факторов структурного контроля для прогноза и оценки перспективных участков желательно исходить из установленных особенностей разломно-блокового строения территории, последовательности и типов проявления в ее пределах сдвиговых полей тектонических напряжений, а также результатов физического моделирования. На основании выявленных закономерностей предложен ряд структурных “эталонов”, которые представляют собой парагенезисы разрывов, которые под воздействием полей тектонических напряжений того или иного этапа, могут приводить к формированию структур раскрытия (рис. 5).

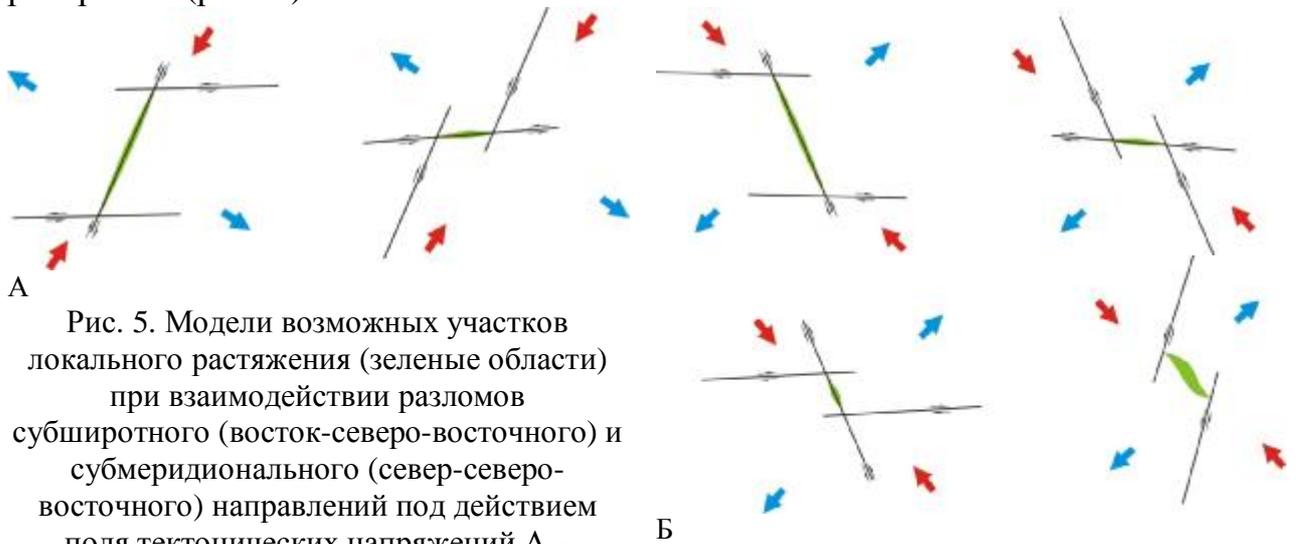


Рис. 5. Модели возможных участков локального растяжения (зеленые области) при взаимодействии разломов субширотного (восток-северо-восточного) и субмеридионального (север-северо-восточного) направлений под действием поля тектонических напряжений А – первого этапа, Б – второго этапа.

Для прогнозных построений была использована схема разломной тектоники Алакит-Мархинского поля, построенная в 2008 г. по геофизическим данным [Салихов и др., 2008] (рис.6Б). Перспективные участки на ней выделены исходя из представленных выше структурных эталонов. Пример выделения участков соответствующих эталонным структурам приведен на (рис. 6 А). Синим цветом показаны широтные и меридиональные сдвиги, смещения по которым делают возможным раскрытие нарушений северо-восточного простирания. Соответственно, в пределах последних могут локализоваться дайки и трубки кимберлитов. Красным цветом обозначены северо-восточные

структуры растяжения, образуемые в результате взаимодействия широтных сдвигов. Желтым – в результате взаимодействия меридиональных сдвигов.

Таким образом, использование эталонных моделей, отражающих парагенезис и взаимоотношения северо-восточных и ортогональных нарушений, позволяет выделить потенциально перспективные участки структур и, как следствие, избежать дорогостоящих буровых работ на менее перспективных отрезках северо-восточных разломов.

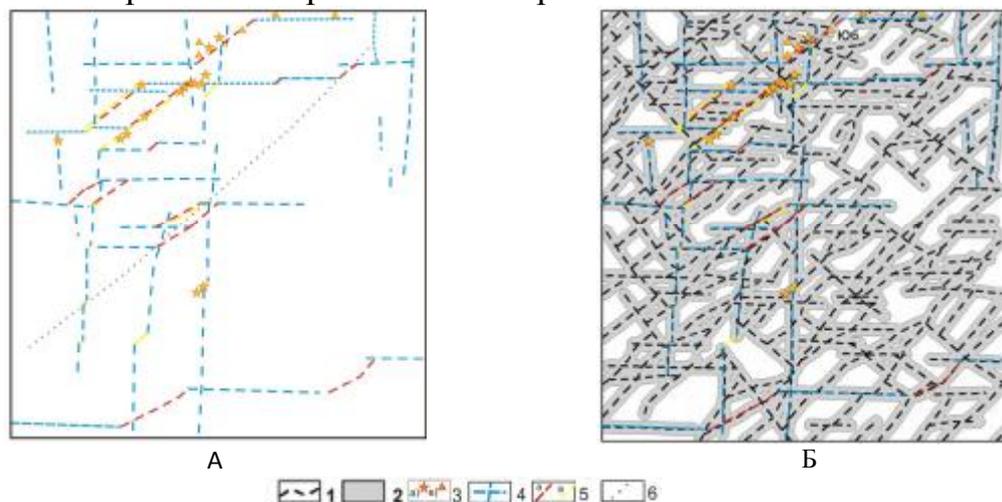


Рис.6. Пример выделения участков соответствующих эталонным структурам (А), выделенные на схеме ЗДКВ разрывных нарушений в карбонатном цоколе по гравиметрическим данным Салихова Р.Ф. (Б)

1 – разрывные нарушения по гравиметрическим данным (линейные градиентные зоны по среднечастотной составляющей гравитационного поля и зоны потери их корреляции); 2 – зоны динамического влияния разрывных нарушений в карбонатном цоколе по гравиметрическим данным по 300 м от оси; 3 – кимберлитовые тела а) трубки, в) жилы; 4 – структуры благоприятные для формирования локальных участков растяжения; 5 – а) северо-восточные структуры растяжения, образуемые в результате взаимодействия широтных сдвигов, б) результате взаимодействия меридиональных сдвигов; б) выстраивание перспективных участков в “единую” зону северо-восточного направления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный тектонофизический анализ позволил детально охарактеризовать особенности проявления тектонической трещиноватости и разноранговых разрывных нарушений в пределах выбранных объектов: трубка Комсомольская, участок Полигон и Алакит-Мархинское поле. Данные геологоструктурного и тектонофизического анализов показали, что, во-первых, разломно-блоковое строение территории определяется разломами субмеридионального и субширотного направлений. Северо-западные и северо-восточные нарушения проявлены преимущественно в породах, перекрывающих кимберлитовмещающие отложения, они представлены фрагментарно и, в большинстве своем являются внутриблоковыми структурами.

В результате восстановления осей главных нормальных напряжений установлено, что в платформенном чехле ортогональные разломы проявились в виде широких зон сдвиговых деформаций, формирование которых происходило как минимум в четыре этапа.

В региональном плане, известные кусты кимберлитовых тел на площади Алакит-Мархинского поля приурочены к узлам ортогональных разломов различного ранга, а конкретные тела в их пределах локализируются в пределах

участков взаимодействия сближенных разломов одного направления. При этом, отличия ориентировок длинных осей кимберлитовых тел или направлений их цепочек от простираний кимберлитолокализующих разломов определяются закономерностями формирования участков и областей растяжения в сдвиговых зонах и узлах их пересечений.

Представленные данные, позволяют выделить на всех масштабных уровнях в качестве главных факторов структурного контроля кимберлитовых тел в пределах Алакит-Мархинского поля следующие элементы разрывной тектоники:

- 1) узлы сочленения разломов субширотного и субмеридионального направлений;
- 2) участки взаимодействия вблизи окончаний сближенных разломов одного направления (субширотного или субмеридионального);
- 3) собственно зона субширотного или субмеридионального направления.

Практически все перечисленные элементы разрывной сети зафиксированные в природе нашли подтверждение на моделях. Кроме того, результаты экспериментов позволили охарактеризовать отдельные участки локального раскрытия в узлах сдвиговых структур, которые могут являться аналогами кимберлитовмещающих природных структур.

Структурные схемы, полученные с использованием тектонофизических методов, могут быть использованы в комплексе с геофизическими и геолого-минералогическими данными как дополнительный критерий для прогноза и поиска новых месторождений.

#### **Список основных публикаций по теме диссертации**

1. Потехина И.А., Маковчук И.В., Гладков А.С. Разрывная тектоника месторождения трубка комсомольская. Вестник ИрГТУ.- 2008. - № 4.- С.
2. Гладков А.С., Зинчук Н.Н., Борняков С.А., Шерман С.И., Манаков А.В., Матросов В.А., Гарат М.Н., Дзюба (Потехина) И.А. Новые данные о внутреннем строении и механизме образования зон кимберлитовмещающих разломов Мало-Ботуобинского района (Якутская алмазонасная провинция) // ДАН, 2005, т.402, №3, с.366-369.
3. Гладков А.С. Маковчук И.В., Лунина О.В. Борняков С.А., Потехина И.А. Трехмерная модель разломно-блоковой структуры участка локализации кимберлитовой трубки Юбилейная. Геология рудных месторождений, 2010, т.52, №3, с.260-279.
4. Гладков А.С., Зинчук Н.Н., Шерман С.И., Манаков А.В., Гарат М.Н., Борняков С.А., Матросов В.А., Дзюба (Потехина) И.А. Тектонофизический подход к анализу разломов Мало-Ботуобинского кимберлитового района // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании "АЛРОСА": современное состояние, перспективы, решения. – Мирный. 2003 г., с.266-272.
5. Гладков А.С., Матросов В.А., Борняков С.А., Дзюба (Потехина) И.А. Новые данные по разломной тектонике Мало-Ботуобинского кимберлитового района // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Материалы XXXVII Тектонического совещания, Новосибирск, 10-13 февр. 2004 г. Том 1. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2004, с.96-99.
6. Гладков А.С., Зинчук Н.Н., Шерман С.И., Манаков А.В., Борняков С.А., Матросов В.А., Дзюба (Потехина) И.А., Гарат М.Н. Структурный контроль кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского района // Геология алмаза – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г.Мирный и алмазодобывающей промышленности России). –Воронеж:

Воронежский государственный университет, 2005, с.49-63

**7.** Борняков С.А., Шерман С.И., Гладков А.С., Черемных А.В., Дзюба (**Потехина**) И.А., Савитский В.А., Татарников А.С. Диссипативные структуры деструктивных зон литосферы (по результатам физического моделирования) // материалы XXXIV Тектонического совещания «тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых» 1-4 февраля 2005 г. М.: «ГЕО». 2005. Выпуск 3. С.65-67/

**8.** Борняков С.А., Шерман С.И., Черемных А.В., Дзюба (**Потехина**) И.А., Савитский В.А., Татарников А.С. Критические состояния разрывных систем в диссипативных структурах зон крупных разломов и критерии их диагностики // Материалы Всероссийского совещания «Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты». Иркутск. 20-23 сентября 2005г. Иркутск. 2005. Выпуск 3. С.267-270.

**9. Потехина. И. А.** Разломно-блоковое строение Алаakitского кимберлитового поля // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 2-й региональной конференции молодых ученых, Владивосток, 28 августа – 4 сентября 2008 г. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 22 – 25

**10. Потехина И.А.,** Маковчук И.В. Тектонофизический анализ разломной сети месторождения «трубка Юбилейная» // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40 – летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Тезисы докладов Всероссийской конференции. В 2 – х томах. Т. 2. – М.: ИФЗ, 2008. С. 171 – 173

**11. Потехина И.А.** Тектонофизический анализ разрывной тектоники Алаakit-Мархинского кимберлитового поля. Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы первой молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2009. 172-178 с.

**12. Потехина И.А.** Тектонофизический анализ разрывной сети центральной части Алаakit - Мархинского кимберлитового поля (Якутская алмазоносная провинция). Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции (Иркутск, 21 – 26 апреля 2009 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. 43 – 45 с.

**13. Дзюба (Потехина) И.А.** Разрывная тектоника среднего течения р. Оленек (Якутская алмазоносная провинция) Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXII Всероссийской молодежной конференции (Иркутск, 24-29 апреля 2007 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН 2007. – 31-32

**14. Gladkov, A.S.,** Makovchuk, I.V., Lunina, O.V., Dzuba (**Потехина**) I.A. The three-dimensional model of the fault network for the Jubilee pipe site // Evolution of Continental Lithosphere, Origin of Diamonds and Diamond Deposits: Abstracts of International Symposium dedicated to the 70<sup>th</sup> birthday of Academician N.V.Sobolev, Novosibirsk, June 3-5, 2005, P.107.

**15. Borneyakov, S.A.,** Zinchuk, N.N., Gladkov, A.S., Matrosov V.A., Manakov, A.V., Garat, I.A., Dzhyuba (**Потехина**), New theoretical basis for prediction for kimberlitic bodies // Evolution of Continental Lithosphere, Origin of Diamonds and Diamond Deposits: Abstracts of International Symposium dedicated to the 70<sup>th</sup> birthday of Academician N.V.Sobolev, Novosibirsk, June 3-5, 2005, P.97.

**16. Потехина. И. А.** Разломно-блоковое строение кимберлитовой трубки Комсомольская и структурная модель ее формирования// Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 3-й региональной конференции молодых ученых, Владивосток, 28 августа – 4 сентября 2008 г. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 36 – 39.

Подписано в печать 12.10. 2010 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать Riso  
Уч.-изд. Л. 1,25. Усл. печ. л. 1,33  
Тираж 100 экз. Заказ 711.  
Отпечатано в типографии Института земной коры СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова,128