

На правах рукописи



СЕРЕБРЯКОВ Евгений Валерьевич

**РАЗРЫВНАЯ СТРУКТУРА КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА
НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ
(на основе трехмерных моделей)**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИЗК СО РАН, г. Иркутск).

Научный руководитель:

Гладков Андрей Станиславович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН.

Официальные оппоненты:

Толстов Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, директор Научно-исследовательского геологического предприятия акционерной компании «АЛРОСА» (ПАО) (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный).

Афанасьев Валентин Петрович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории литосферной мантии и алмазных месторождений Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский национальный исследовательский технический университет (ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск).

Защита состоится « 22 » июня 2018 года в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 003.067.03, созданного на базе ФГБУН Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, в конференц-зале ИГМ СО РАН. Адрес: 630090 г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, д. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (адрес сайта <http://www.igm.nsc.ru>, раздел «Образование»).

Автореферат разослан « 14 » м а я 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геол.-мин. наук



О.М. Туркина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Последние десятилетия в алмазопроисковой геологии ознаменовались резким сокращением количества вновь открываемых коренных месторождений алмазного сырья. Причиной тому является значительное усложнение геологической обстановки на поисковых площадях. Большие мощности перекрывающих отложений, а также широкое развитие трапповых интрузий в пределах исследуемых территорий вводят ограничения на применение стандартного геолого-геофизического комплекса методов опоскования, с помощью которого в 50-60-х годах XX-го столетия был открыт целый ряд кимберлитовых трубок («Зарница», «Мир», «Удачная» и др.). Выходом из сложившейся ситуации является введение в практику геолого-разведочных работ прогнозно-поисковых моделей, базирующихся на предпосылках и признаках, доступных для выявления в условиях «закрытости» территории. К числу таковых относят структурные признаки, как наиболее устойчивые для всех прогнозных таксонов и, в частности, для локальных кимберлитоконтролирующих структур. Их выделение возможно посредством детального изучения конкретных кимберлитовых месторождений, играющих роль эталонных объектов для исследуемой территории. В пределах Накынского кимберлитового поля эталонными объектами являются трубки «Нюрбинская» и «Ботубинская», вовлеченные в настоящее время в промышленную отработку. Это делает возможным сбор необходимого объема информации для разработки качественно новой прогнозно-поисковой модели. Проведенное с ее помощью районирование территории Накынского поля позволит локализовать площади, перспективные на обнаружение коренных месторождений-аналогов эталонных объектов, что в значительной степени снизит трудоемкость и повысит эффективность геологоразведочных работ.

Цель работы заключалась в создании модели кимберлитоконтролирующей структуры Накынского кимберлитового поля для решения задач локального прогноза коренной алмазности.

Согласно поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) Провести детальное изучение разноранговых разрывных нарушений в пределах участков локализации кимберлитовых трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская» с построением схем разломно-блокового строения.
- 2) На основе построенных схем и данных о распределении фазовых составляющих создать трехмерные структурно-вещественные модели для трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская».
- 3) Разработать прогнозно-поисковую модель кимберлитовой трубки Накынского кимберлитового поля.
- 4) Используя приемы структурного дешифрирования уточнить разломную схему Накынского поля и установить главные факторы структурного контроля коренных месторождений алмазов.
- 5) Провести районирование территории Накынского кимберлитового поля с выделением прогнозных участков.

Фактический материал. В основу представляемой диссертационной работы положены результаты полевых и камеральных исследований, выполненные автором и его предшественниками в период с 2005 по 2017 гг. Они включают детальную геолого-структурную документацию стенок карьеров, ведущих промышленную отработку кимберлитовых трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская», тектонофизический анализ полученных данных, а также структурное дешифрирование разномасштабных топографических карт по площади Накынского кимберлитового поля. В работе также использованы фондовые литературные материалы по геологическому строению исследуемой территории, предоставленные геологической службой Ботубинской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО) (далее – БГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)).

Защищаемые положения.

- 1) Локализация дискретных порций кимберлитового расплава многофазных трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская» происходила в структурах присдвигового растяжения, образованных на участках сопряжения Диагонального рудовмещающего разлома север-северо-

восточной ориентировки с частными дислокациями зоны разрывных нарушений восток-северо-восточного и северо-западного направлений.

2) В качестве структурных ловушек на территории Накынского поля выступают узлы разрывных нарушений платформенного чехла север-северо-восточного и восток-северо-восточного направлений, пространственно сопряженные с разломами фундамента.

3) Разработана прогнозно-поисковая модель, с помощью которой оценены остаточные перспективы коренной алмазности Накынского поля и выделены восемь участков перспективных по структурным предпосылкам на обнаружение новых кимберлитовых тел.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1) На основе анализа результатов полевых тектонофизических исследований на действующих карьерах «Нюрбинский» и «Ботубинский» разработаны объемные модели разломно-блокового строения участков их локализации.

2) Применение технологии трехмерного компьютерного моделирования для анализа данных по распределению фазовых комплексов в пределах рудных тел позволило построить вещественные модели исследуемых объектов.

3) С помощью комплексного анализа результатов трехмерного моделирования разрывной структуры и особенностей вещественного строения кимберлитовых трубок созданы структурно-вещественные модели их формирования.

4) Путем обобщения полученной информации по эталонным объектам разработана прогнозно-поисковая модель кимберлитовой трубки Накынского поля.

5) Анализ результатов геофизических исследований в совокупности с результатами структурного дешифрирования топографических материалов позволил уточнить особенности строения сети разрывных нарушений развитых в пределах фундамента и осадочного чехла изучаемой территории.

6) Используя разработанную прогнозно-поисковую модель, проведено районирование площади Накынского поля и прилегающей территории на возможность обнаружения трубок типа «Нюрбинская» и «Ботубинская».

Практическая значимость. Результаты проведенных исследований позволяют решать ряд практических задач. Модели вещественных комплексов, слагающих трубки «Нюрбинская» и «Ботубинская», содержат необходимую информацию о распределении полезного компонента в пределах рудных тел, которая может использоваться при планировании горно-проходческих и добычных работ на месторождениях. Схемы разломно-блокового строения участков локализации указанных трубок, созданные по результатам геолого-структурного картирования, в настоящее время используются специалистами АК «АЛРОСА» (ПАО) при проектировании горных выработок, а также для организации мероприятий по обеспечению безопасного ведения горных работ. Помимо этого, на основе разработанной прогнозно-поисковой модели обосновано выделение локальных участков, перспективных на обнаружение коренных месторождений алмаза.

Публикации. По теме диссертации автором лично и в соавторстве опубликовано 6 работ, в том числе 2 статьи в российских рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации докладывались на XXVI и XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2015, 2017); XX Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2016); V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург, 2017).

Объем и структура работы. Диссертация общим объемом 150 страниц состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 4 таблицы, иллюстрирована 64 рисунками. Список литературы включает 169 наименований.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует как минимум трем пунктам (1, 3, 4) Паспорта специальности:

1) Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых:

-геология и генетические модели, геодинамические и формационно-магматические условия образования и закономерности пространственного размещения эндогенных месторождений.

2) Металлогения и минерагения: общая, региональная и специальная, цели и задачи.

3) Прогнозирование, поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений:

-методология прогнозирования и оценки ресурсов полезных ископаемых;

-современные методы поисков и разведки полезных ископаемых.

Благодарности. За постановку темы исследования, общее научное руководство, предоставленный полевой материал автор выражает глубокую признательность к.г.-м.н. А.С. Гладкову. За ценные советы, своевременные консультации и предоставленный фактический материал автор благодарен к.г.-м.н. Д.А. Кошкарёву. За помощь в организации полевых работ автор признателен сотрудникам геологического отдела Нюрбинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО) М.А. Карпенко, В.Г. Мухоплеву, А.Л. Цвелодубу, а также руководству БГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) В.М. Фомину, М.В. Мальцеву, А.Н. Разумову. За полезные обсуждения, критические замечания автор благодарен сотрудникам лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН д.г.-м.н. К.Ж. Семинскому, к.г.-м.н. А.В. Черемных, к.г.-м.н. И.А. Потехиной, к.г.н. Д.Д. Перевозникову, а также сотруднику Научно-исследовательского геологического предприятия АК «АЛРОСА» (ПАО), д.г.-м.н. К.М. Константинову.

Глава 1. ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе приведены результаты анализа литературных источников по проблеме контроля кимберлитового магматизма на территории Якутской алмазоносной провинции, а также кратко охарактеризована геолого-структурная позиция объекта исследования – Накынского кимберлитового поля.

1.1. Обзор литературных данных по проблеме контроля кимберлитового магматизма

Исследования кимберлитовых трубок взрыва проводятся на протяжении более 100 лет геологами разных стран. Однако за этот период единой точки зрения как на происхождение, так и на факторы локализации алмазных месторождений не выработано. Определены лишь общие закономерности условий их образования, представленные эмпирическим правилом Клиффорда, которое гласит: промышленно-алмазоносные кимберлиты и лампроиты приурочены к кратонам, где развита кора континентального типа с возрастом стабилизации более 2,5 млрд. лет, т.е. областям архейской консолидации. Признавая приуроченность кимберлитового магматизма к древним консолидированным участкам платформ, многие исследователи выдвигают несколько, подчас диаметрально противоположных версий о структурных факторах локализации кимберлитовых тел. К их числу относятся гипотезы о контроле размещения кимберлитов разрывными нарушениями [Одинцов, 1957; Спизарский, 1958; Зведер, Щукин 1960; Арсеньев, 1961, 1963; Харьков и др., 1972; Мокшанцев и др., 1976; Ваганов, 2000; Игнатов, Штейн, 1997; Игнатов и др., 2006; Гладков и др., 2008, 2016 и др.], крупными платформенными структурами [Атласов, 1960; Ковальский, 1963; Страхов, 1971; Никулин, 1989; Фомин, 1992; Барышев, 1998 и др.], тектонической трещиноватостью [Трофимов, 1961, 1967; Щукин и др., 1972; Милашев, 1984 и др.], рифтовыми структурами и авлакогенами [Масайтис и др., 1975; Левашов, 1975; Шпунт, 1991; Францессон, Лутц, 1995; Дукардт, Борис, 1996, 2000; Коробков, 2014 и др.], кольцевыми структурами [Ваганов и др., 1985; Серокуров, 1995; Серокуров и др., 2001 и др.].

Каждая из представленных концепций по своему объясняет закономерности локализации кимберлитовых тел в зависимости от тех или иных факторов контроля, но при этом все они носят вероятностный характер и не могут дать полностью сформулированной геолого-структурной модели алмазоносных таксонов разных порядков и в первую очередь – отдельных кимберлитовых месторождений. При этом общим элементом, используемым во всех рассмотренных гипотезах, является разлом, а точнее область повышенной проницаемости, отождествляемая с ним. Это позволяет выделять разрывные структуры как главный, устойчивый фактор контроля кимберлитового магматизма, а саму гипотезу пространственно-генетической связи кимберлитов и

разломов – как наиболее надежную для решения задач прогнозирования объектов коренной алмазности. Она основывается на представлениях о существовании вертикальных проницаемых областей (каналов) по которым происходило движение кимберлитового расплава от магматической камеры к поверхностным слоям осадочного чехла. С этих же позиций объясняется и сама механика мгновенного подъема расплава с больших глубин (по оценкам О.Г. Сорохтина скорость движения кимберлитовой магмы составляет 180 км/ч [Сорохтин О., Сорохтин Н., 2006]). Необходимым условием для ее проникновения сквозь толщу литосферы, мощность которой в платформенных областях достигает 200-220 км, является наличие «открытой» магмовыводящей трещины [Артюшков, Соболев, 1977], отождествляемой с глубинным разломом.

1.2. Геолого-структурная характеристика Накынского кимберлитового поля

Накынское кимберлитовое поле является составной частью Средне-Мархинского района Якутской алмазодобывающей провинции (ЯАП) и территориально расположено на северо-востоке Сибирской платформы. Общая тектоническая структура рассматриваемой площади представляет собой результат взаимодействия двух крупных разломных зон: Вилуйско-Мархинской и Средне-Мархинской [Масленникова, 2007ф; Колганов и др., 2013]. В узле их пересечения выделяется тектонический блок, к которому приурочено Накынское кимберлитовое поле. Его размеры оцениваются от 15×20 км [Кондратьев, Горев, 2005] до 20×30 км [Харьков и др., 1998].

Вилуйско-Мархинская зона является поверхностным отражением глубинного разлома и представляет собой совокупность разрывов фундамента северо-восточного простирания, протяженностью более 800 км и шириной от 20 до 150 километров [Левашов, 1975; Кондратьев, Горев, 2005; Константинов, 2014]. Средне-Мархинская зона, преимущественно северо-западного направления является ортогональной по отношению к разломам Вилуйско-Мархинской зоны. Азимуты простирания нарушений колеблются в пределах 320-345°, длина достигает первых сотен километров, общая мощность зоны десятки километров. Считается, что разломы северо-западного направления являются более древними по времени заложения, чем северо-восточные. Об этом свидетельствуют зафиксированные случаи смещения осевых линий аномалий гравимагнитного поля северо-западных разрывов, наличие участков раздувов даек основного состава по мере приближения к разрывам северо-восточной ориентировки [Харьков и др., 1998; Кондратьев, Горев, 2005].

Особого внимания среди тектонических нарушений Накынского поля заслуживает Диагональный разлом, признающийся большинством исследователей как главная рудовмещающая структура [Зуев и др., 1998; Кондратьев, Горев, 2005; Игнатов и др., 2006; Килижеков, 2017]. В его строении выделяется три ветви: восточная, центральная и западная (рис. 1).

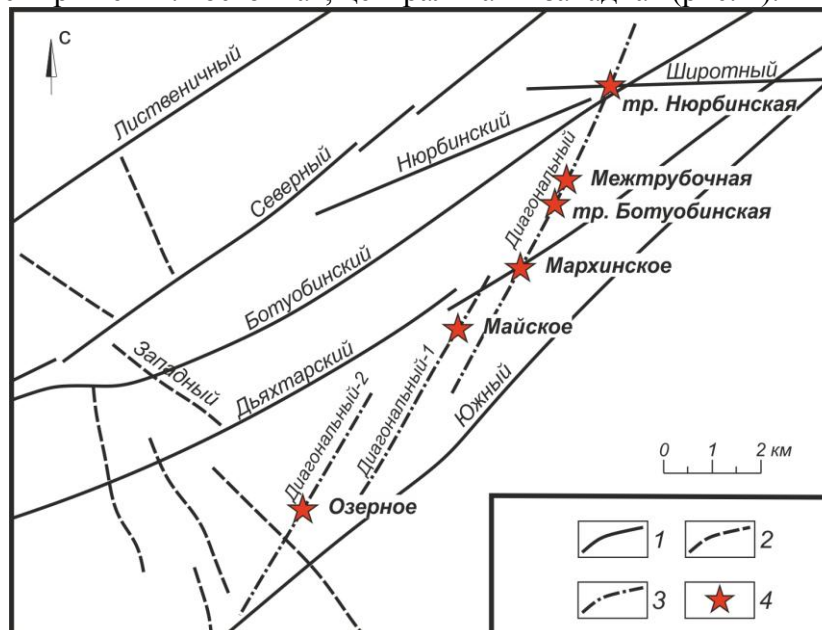


Рисунок 1. Структурный план центральной части Накынского кимберлитового поля (составлен автором по материалам БГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)). 1 – разломы Вилюйско-Мархинской зоны; 2 – разломы Средне-Мархинской зоны; 3 – кимберлитоконтролирующие разломы; 4 – известные кимберлитовые тела.

К первой приурочены трубки «Нюрбинская», «Ботубинская», дайка «Межтрубочная», а также тело «Мархинское». В центральной ветви (разлом «Диагональный-1») локализовано кимберлитовое тело «Майское» [Масленникова, 2007ф¹]. Западная ветвь (разлом «Диагональный-2») контролирует положение кимберлитовой жилы рудопроявления «Озерное».

Из-за слабой проявленности в геофизических полях Диагональный разлом относят к так называемым «скрытым разломам» [Томсон, 1962]. Его пространственное положение установлено преимущественно по косвенным признакам (наличие минерализованных трещин, зеркал скольжения, микросбросов в керне поисковых скважин [Игнатов и др., 2008], линейная ориентировка длинных осей кимберлитовых тел), а также по результатам высокочастотного сейсмического зондирования [Сараев и др., 2003] и детальной магнитометрии.

Изложенная выше геолого-структурная характеристика Накынского кимберлитового поля показала, что разрывная структура, как составляющая всей тектоники площади изучена достаточно детально, с установлением пространственного положения и некоторых параметров разломов. Для целей прогнозирования необходимо, применяя тектонофизический подход, определить условия формирования разломной сети, т.е. восстановить поля напряжений, этапность процессов тектонической активизации, кинематические особенности подвижек по разломам, что в совокупности позволит на качественно новом уровне оценить перспективность данной территории на обнаружение кимберлитовых тел. Учитывая сложные геологические условия решение поставленных задач возможно осуществлять на действующих горных выработках – карьерах, подземных рудниках, где доступными для прямого наблюдения оказываются как кимберлитовые тела, так и вмещающие и перекрывающие их отложения. Такими объектами в представляемой работе стали карьеры трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская», которые в настоящий момент вовлечены в промышленную отработку, что создает уникальные условия для их всестороннего изучения.

Глава 2. КОМПЛЕКС МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

Для получения максимально полной картины распределения структурных элементов в пределах изучаемых объектов использовался комплекс методов, позволяющий нивелировать «закрытость» и сложность геологического строения площади и включающий помимо методов геофизики приемы тектонофизического анализа и структурное дешифрирование топографических материалов.

Тектонофизические методы имеют своей задачей непосредственное картирование разломов, т.е. выявление их пространственной позиции, установление масштабов проявления, морфологических особенностей, механизмов возникновения и истории формирования. Они основаны на планомерном изучении разноранговых разрывных нарушений и тектонической трещиноватости в естественных/искусственных обнажениях. Реализация этих методов заключается в создании на объекте исследования равномерной сети точек, в каждой из которых выполняется единообразный комплекс структурно-геологических наблюдений, направленный на сбор информации об основных параметрах тектонической трещиноватости, ее количественных характеристиках, локальных разрывных нарушениях, пликативных дислокациях и др. [Семинский, 1994; Семинский и др., 2005]. В зависимости от масштаба документируемого структурного элемента определялись следующие параметры. Для тектонической трещиноватости выделялись основные системы, устанавливался их азимут и угол падения, по возможности определялся генетический тип, состояние поверхности скольжения, измерялось среднее расстояние между разрывами соизмеримой длины, а также производилось измерение плотности (N) и густоты трещин (Γ_i). Помимо этого, по разреженной сети точек, располагающихся в разных вещественных

¹ «ф» - ссылка на фоновые материалы.

комплексах, выполнялся массовый замер трещиноватости. Для локальных разрывных нарушений документация осуществлялась с указанием элементов залегания сместителей, мощности, амплитуды смещения, особенностей вещественного заполнения, типа контактов с вмещающей толщей. Их привязка на местности производилась с помощью электронного тахеометра Leica TS 02 plus, что позволило учитывать вариации пространственно-морфологических характеристик разломов при построении трехмерных схем разломно-блокового строения. Для зафиксированных пликативных форм определялись элементы залегания, морфология, размеры, взаимоотношение с разрывными нарушениями, позволяющие подчеркнуть особенности разломной структуры в пределах конкретной точки наблюдения.

Решение задач, связанных с выявлением геодинамических условий и этапности формирования разломной структуры, осуществлялось с помощью анализа массовых замеров трещиноватости. Применялись широко используемые в геологической практике методы М.В. Гзовского [Гзовский, 1975], П.Н. Николаева [Николаев, 1992] и В.Н. Даниловича [Данилович, 1961]. Эффективность применения подобного комплекса методов показана на примере Мало-Ботубинского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей ЯАП [Гладков и др., 2008].

Метод структурного дешифрирования применялся нами при площадных геолого-структурных исследованиях. Данный метод базируется на теоретической концепции о ландшафтах как динамичных природных системах, в которых отражены изменения, вызванные неотектоническими процессами. В качестве исходных данных используются разномасштабные топографические карты. Выделение и интерпретация разрывных нарушений происходит с использованием признаков или индикаторов, косвенным образом указывающих на наличие разломов на исследуемом участке. Главными из них являются гидрогеологические, геоморфологические, и почвенно-геоботанические [Структурное дешифрирование..., 1981].

В целом, охарактеризованный комплекс методов изучения разрывной структуры позволил в необходимом объеме осуществить решение поставленных перед данной работой целевых задач в плане картирования и выявления особенностей строения разрывной сети как на локальном (конкретное месторождение), так и на региональном (кимберлитовое поле) уровнях.

Глава 3. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК НАКЫНСКОГО ПОЛЯ

Моделирование месторождений полезных ископаемых в последнее время становится неотъемлемой частью процесса геологического познания. Необходимость в его проведении «... определяется задачами создания обобщенных образов природных объектов для прогноза, поисков и разведки с целью повышения эффективности геологоразведочных работ на всех стадиях геологоразведочного процесса» [Коробейников, 2009, с. 3]. Объект исследования (в нашем случае – коренное месторождение алмазов) является многоуровневой сложно построенной системой, формирование которой в каждом конкретном случае зависит от набора определенных факторов (формационные, структурные, геофизические, геохимические и др.). Моделирование позволяет выделять среди них те, которые можно выявить доступными методами и средствами и тем самым создать информационный образ (модель) природного объекта для проведения геологоразведочных работ.

Современные модельные представления о внутреннем строении, истории и условиях формирования коренных месторождений алмаза основаны прежде всего на результатах изучения вещественного строения кимберлитовых трубок, а также данных о глубинных включениях в них [Hawthorne, 1975; Mitchell, 1986; Харьков и др., 1998; Hetman et al., 2004; Field et al., 2008; Kurszlaukis, Lorenz, 2008; Первов и др., 2011]. Структурной составляющей, в силу различных причин, уделяется гораздо меньше внимания. Между тем изучение структурных особенностей не менее важно, поскольку именно тектонические нарушения формируют в литосфере первичные каналы проницаемости, которые при наличии благоприятной магматической обстановки обеспечивают возможность внедрения кимберлитовых тел. Отсутствие структурных данных в моделях формирования кимберлитов значительно снижает научную и практическую значимость подобных построений.

В представляемой работе предлагается восполнить этот пробел, используя комплексный подход к анализу вещественных и структурных составных элементов объекта исследования, в качестве которых выступают коренные месторождения алмазов – трубки «Нюрбинская» и «Ботуобинская», являющиеся эталонными объектами для разработки и совершенствования прогнозно-поисковых моделей в пределах Накынского кимберлитового поля.

3.1. Трубка «Нюрбинская»

Вещественные комплексы, развитые в пределах участка локализации трубки «Нюрбинская», представлены осадочными (вмещающие и перекрывающие) и магматическими образованиями. Вмещают трубку терригенно-карбонатные отложения мархинской (C_{3mgh}) и олдондинской (O_{1ol1-2}) свит позднего кембрия – раннего ордовика. С поверхности трубка перекрыта слабосцементированными терригенными образованиями мезо-кайнозойского возраста ($J_{1-2} - Q_4$), мощностью 56-71 м, что позволяет отнести трубку к числу «погребенных» [Харьков и др., 1998; Колганов и др., 2013]. Магматические образования составляют Нижнегерцинский интрузивный мегакомплекс [Матросов, 2006]. В него системно входят две формации: первая – щелочно-ультраосновная, представлена собственно кимберлитовым телом трубки и вторая, базальт-долеритовая, выраженная парой сближенных даек щелочных базальтоидов Вилуйско-Мархинского интрузивного комплекса. Последний состоит из двух разобщенных даек щелочных долеритов, одна из которых (дайка по Ботуобинскому разлому) пространственно сопряжена с телом трубки, а вторая (Дайка по Широтному разлому) находится в 235 метрах на юго-восток от первой.

Вопрос возрастных взаимоотношений базитов и кимберлитов до сих пор остается весьма проблематическим. Особенно остро стоит проблема выявления последовательности формирования пространственно сопряженных магматитов. В литературе встречаются два взаимоисключающих мнения по данной проблеме. Согласно первому внедрение дайки долеритов произошло в уже сформированную диатрему трубки [Харьков и др., 1998; Саблуков и др., 2008; Киселев, 2008; Киселев и др., 2014]. Сторонники второй точки зрения придерживаются мнения о первичности формирования дайки долеритов и внедрения кимберлитов по уже проработанному каналу, заполненному базитовой магмой [Томшин и др., 2004; Игнатов и др., 2010; Константинов и др., 2017]. Неопределенная ситуация в плане последовательности внедрения базитов и кимберлитов была разрешена в 2017 году, когда сначала буровыми, а затем и горными работами в карьере «Нюрбинский» вскрыта зона контакта кимберлитовой трубки и сопряженной с ней долеритовой интрузии. Она представляет собой область развития гибридных долерит-кимберлитовых пород, которые распространены в апикальной части дайки в виде тела, средней мощностью около 10 метров. Сложено тело базальтовой брекчией с кимберлитовым цементом, что указывает на первичность формирования дайки, а также на то, что внедрение кимберлита происходило в уже полностью консолидированные базиты. Что касается дайки долеритов, развитой по Широтному разлому и пространственно не связанной с кимберлитовым телом, то с помощью структурного анализа массовых замеров трещиноватости, проведенного в рамках представляемой работы установлено, что этап ее внедрения соответствует этапу формирования кимберлитовой трубки.

Фактологической базой для разработки объемных моделей вещественных комплексов послужили результаты изучения минералого-петрографических свойств трубки, выполненных Д.А. Кошкаревым с коллегами и отраженных в работе [Гладков и др., 2016], а также нескольких производственных отчетах. На основе этих данных на погоризонтных планах (с горизонта +190 до -125 абс. м) выделены границы распространения генераций кимберлита, слагающих трубку «Нюрбинская». Построение моделей осуществлялось автором с использованием возможностей трехмерного моделирования, реализованного в программе AutoCAD. В результате для каждой из выделенных магматических фаз: 1) порфировый кимберлит (ПК); 2) эруптивная кимберлитовая брекчия (ЭКБ); 3) автолитовая кимберлитовая брекчия (АКБ); 4) автолитовая кимберлитовая брекчия с аномальным содержанием мантийных и коровых включений, построены трехмерные модели геологических тел как в современном срезе, так и на этапе внедрения (рис. 2).

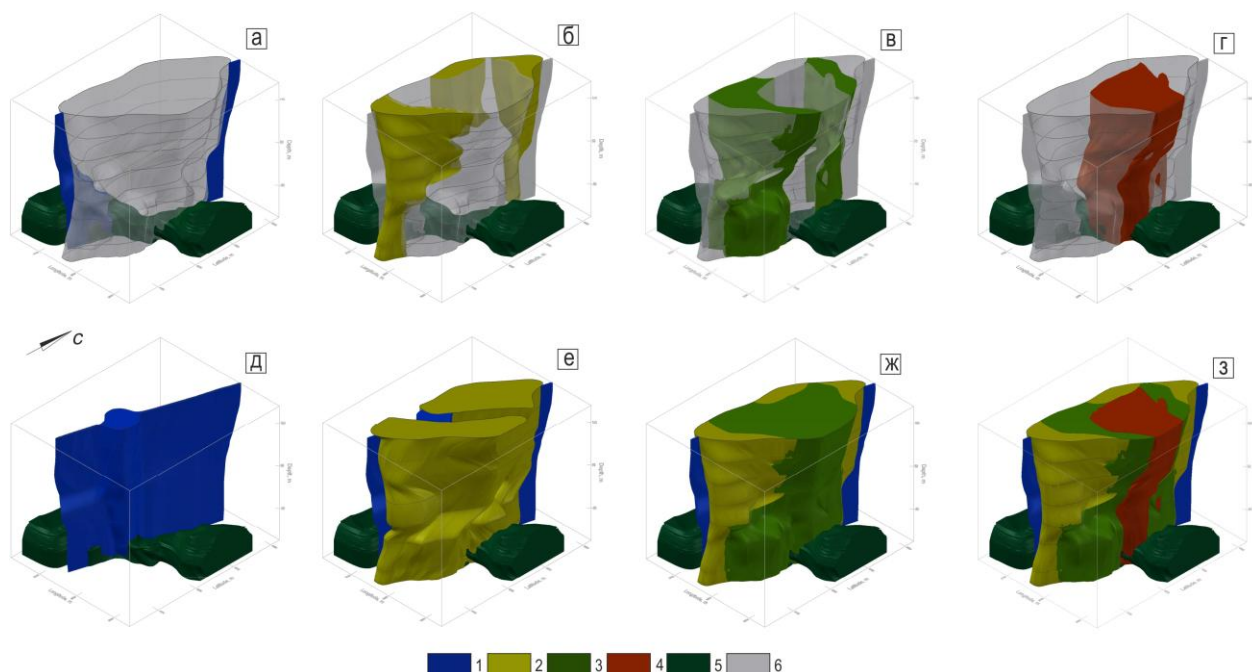


Рисунок 2. Объемные модели вещественных комплексов, составляющих трубку «Нюрбинская» (разработаны автором по материалам Д.А. Кошкарёва и сотрудников Нюрбинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО)). 1 – порфировый кимберлит первой фазы; 2 – эруптивная кимберлитовая брекчия второй фазы; 3 – автолитовая кимберлитовая брекчия третьей фазы; 4 – автолитовая кимберлитовая брекчия четвертой фазы; 5 – дайка долеритов по Ботуобинскому разлому; 6 – современный контур трубки. а – г современное положение; д – з реконструированное положение. Горизонты +190 – -125 абс. м. Вид на модели с юго-востока.

С целью изучения разрывной структуры участка локализации трубки «Нюрбинская» в пределах карьера была создана сеть точек тектонофизических и геолого-структурных наблюдений, общим количеством 852 точки. За период исследования (с 2005 года по настоящее время) автором и его предшественниками было задокументировано более 5500 тектонических трещин, 3 разлома регионального плана – Ботуобинский, Диагональный, Широтный (рис. 1) и около 800 малых разломных зон, большая часть из которых формирует внутреннюю структуру выделенных крупных нарушений. В бортах карьера они выражены зонами повышенной трещиноватости, дробления, брекчирования, рассланцевания, милонитизации различной мощности, от первых десятков сантиметров до 30-40 метров. Руководствуясь принципами, изложенными в [Семинский, 1994], большое внимание при проведении полевых работ было обращено на изучение параметров тектонической трещиноватости, как наиболее универсальной тектонической единицы, характеризующей особенности разломно-блоковой структуры. Анализ параметрических показателей трещиноватости – плотность трещин (N) и густота трещин (Γ_i), свидетельствует о наличии в исследуемом массиве разрывных структур преимущественно северо-восточного, северо-западного и север-северо-западного направления, что подтверждает результаты прямых геолого-структурных наблюдений. Комплексный анализ данных о тектонических элементах, распространенных в пределах карьерного поля трубки «Нюрбинская» с применением технологии трехмерного моделирования, позволил создать объемную модель разломно-блокового строения участка ее локализации (рис. 3). Последняя свидетельствует, что определяющую роль в разрывной структуре месторождения играют разломы северо-восточного (Ботуобинский), север-северо-восточного (Диагональный), восток-северо-восточного (Широтный) и северо-западного направлений, формирующих кимберлитовмещающий узел, а также дизъюнктивы других ориентировок, имеющие подчиненное значение.

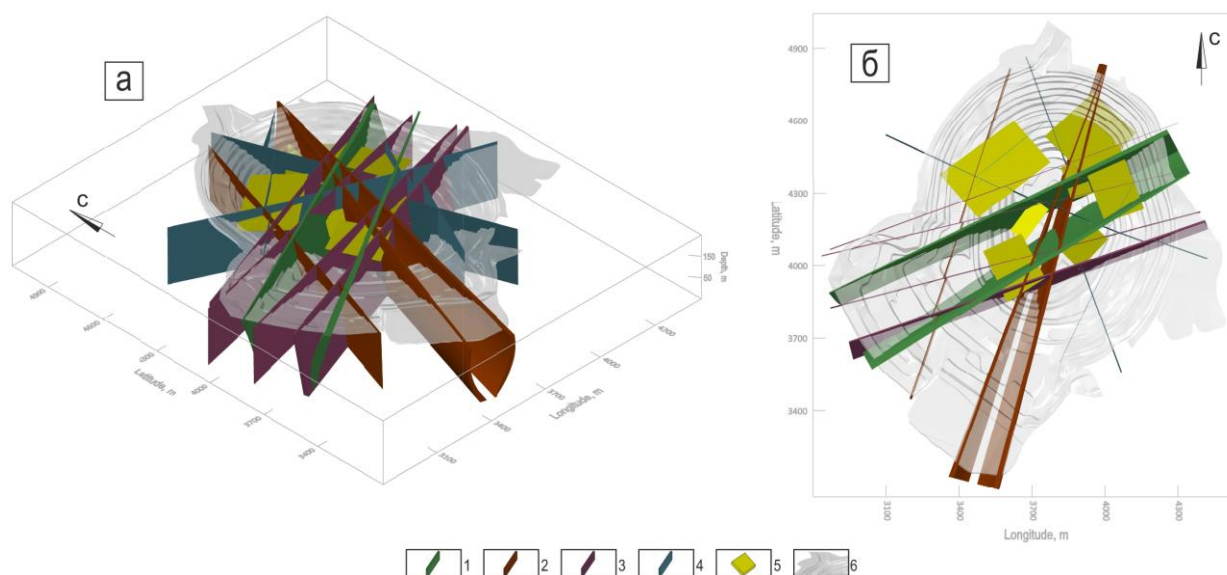


Рисунок 3. Объемная модель разломно-блокового строения участка локализации кимберлитовой трубки «Нюрбинская». 1 – дислокации Ботуобинского разлома; 2 – дислокации Диагонального разлома; 3 – дислокации Широтного разлома; 4 – локальные разломные зоны; 5 – пологие разломные зоны; 6 – контур карьера «Нюрбинский». а – вид на модель с юго-запада; б – вид на модель сверху. Горизонты +250 – -90 абс. м.

Для дополнения/уточнения существующих представлений о распределении полей тектонических напряжений [Гладков и др., 2016] нами в пределах карьера «Нюрбинский» создана сеть точек наблюдения, в которых был выполнен массовый замер тектонических трещин. Точки располагаются области развития перекрывающих (3 замера) и вмещающих отложений (10 замеров на разных гипсометрических уровнях), в дайке по Ботуобинскому разлому (1 замер) и дайке по Широтному разлому (1 замер). Анализ диаграмм трещиноватости показал наличие на большей части из них признаков хаотичной сети [Чернышев, 1983], что указывает на существование нескольких этапов эволюции разрывов, отличающихся главенствующим полем напряжения. Их выявление осуществлялось с применением известных методических приемов реконструкции полей напряжения [Гзовский, 1975; Николаев, 1992]. Подавляющее большинство полученных решений отвечают сдвиговому полю напряжений (27 из 40 решений), менее распространены взбросовые и сбросовые подвижки, соответственно 7 и 6 решений. Следовательно, принципиальным в плане формирования трещиноватости, развитой в пределах участка локализации трубки «Нюрбинская», следует считать сдвиговый характер перемещения по разрывным структурам, что не противоречит результатам ранее проведенных исследований [Божевольный и др., 1998; Игнатов, Штейн, 1997; Игнатов и др., 2008; Серебряков, 2017]. Анализ роз-диаграмм простираций осей сжатия (σ_3) и растяжения (σ_1), полученных по вмещающим отложениям и отвечающих периоду внедрения трубки, показал наличие двух ярко выраженных сдвиговых этапов: один из них характеризуется северо-западной ориентировкой оси σ_1 и северо-восточной – оси σ_3 , а другой – север-северо-западной ориентировкой оси σ_1 и восток-северо-восточной σ_3 . С первым из них мы связываем формирование кимберлитовой трубки «Нюрбинская», что подтверждается результатами анализа кинематических данных и физического моделирования [Гладков и др., 2016]. В его пределах цитируемыми авторами выделено четыре подэтапа, соответствующих четырем фазам внедрения кимберлита. На протяжении первых трех сохранялось поле напряжений с ориентировкой осей σ_1 в северо-западном направлении и осей σ_3 в северо-восточном, а на последнем главенствующее поле изменилось до обратного.

Разработка структурно-вещественной модели для трубки «Нюрбинская» осуществлялась путем синтеза данных о вещественных и структурных особенностях месторождения, полученных в ходе предыдущих этапов исследования. В рамках представляемой модели во временной последовательности рассмотрены процессы взаимодействия разрывных нарушений, формирующих кимберлитовмещающую структуру и вещественных комплексов, слагающих трубку.

Для кимберлитовой трубки «Нюрбинская» рудоконтролирующей структурой является Ботуобинский разлом [Кондратьев, Горев, 2005; Килижеков, 2017], имеющий глубинное происхождение и длительный период развития, сопровождавшийся неоднократным магматизмом, что выражено наличием в его пределах мощной дайки долеритов, пространственно сопряженной с телом кимберлитовой трубки. Учитывая более ранний возраст формирования дайки долеритов, напрашивается вывод, что кимберлитовая магма наследовала пути движения базитов, которые являются индикаторами открытой флюидопроницаемой зоны [Томшин и др., 2004]. Следовательно, к началу процесса кимберлиитообразования в земной коре существовала магмоподводящая структура (канал), по которой происходила доставка порций кимберлитового расплава от глубинного источника через породы консолидированной кристаллической коры к платформенному чехлу.

Далее в области развития терригенно-карбонатных отложений осадочного чехла продвижение магмы осуществлялось по рудовмещающему разрыву, в качестве которого для трубки «Нюрбинская», как и для всех остальных кимберлитовых тел Накынского поля выступает Диагональный разлом [Кондратьев, Горев, 2005; Килижеков, 2017]. В приповерхностных условиях активизированные сегменты указанного нарушения совместно с другими разрывами сформировали структуру растяжения, в которую была внедрена трубка. Принимая во внимание данные о том, что диатрема трубки образована в результате последовательного внедрения четырех фаз кимберлитовой магмы в знакопеременном поле тектонических напряжений, мы предполагаем наличие для каждого тектоно-магматического этапа собственной локальной «ловушки». Для выявления подобных структур проведен анализ пространственно-морфологических параметров реконструированных моделей вещественного строения трубки и их расположения по отношению к закартированным дизъюнктивам, что отражено в структурно-вещественной модели (рис. 4).

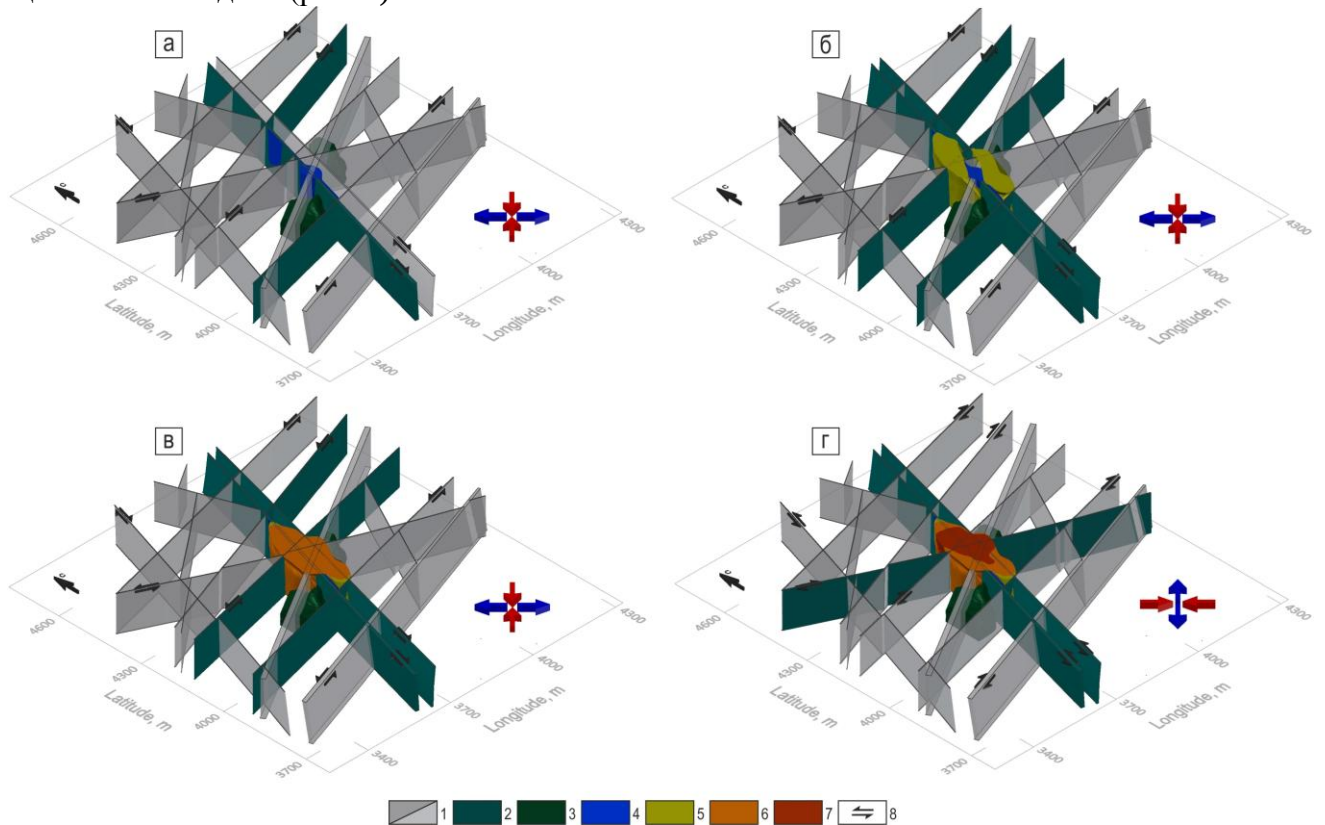


Рисунок 4. Объемные модели: а – первого, б – второго, в – третьего, г – четвертого этапов тектоно-магматической активизации. 1 – не активизированные сегменты разрывных нарушений; 2 – сегменты нарушений, формирующие структуру растяжения; 3 – дайка по Ботуобинскому разлому; 4 – кимберлитовое тело первой магматической фазы; 5 – кимберлитовое тело второй магматической фазы; 6 – кимберлитовое тело третьей магматической фазы; 7 – кимберлитовое тело четвертой магматической фазы; 8 – направление перемещения крыльев разломов. Горизонты 0 – -90 абс. м. Стрелками показано главенствующее поле напряжений на каждом тектоно-магматическом этапе. Вид на модели с юго-запада.

По итогам моделирования выявлены четыре этапа тектоно-магматической активизации, в процессе которых сформирован современный контур трубки «Нюрбинская». Внедрение первых трех фаз происходило в структурах присдвигового локального растяжения, сформированных на участках сопряжения Диагонального рудовмещающего разлома север-северо-восточной ориентировки с частными дислокациями Широтной зоны разрывных нарушений восток-северо-восточного направления (рис. 4, а-в). Завершающая фаза была локализована в узле пересечения двусторонних (сопряженных) сдвигов, образованных Диагональным разломом и локальным нарушением северо-западной ориентировки (рис. 4, г).

3.2. Трубка «Ботуобинская»

Геологическая ситуация на участке локализации трубки «Ботуобинская» аналогична таковой для трубки «Нюрбинская». Отличительной особенностью является увеличенная до 80 метров мощность перекрывающих отложений, а также представленность магматических образований только щелочно-ультраосновной формацией, выраженной собственно кимберлитами трубки.

Вопрос возрастного взаимоотношения кимберлитов трубок до сих пор однозначно не разрешен. Специальных исследований, направленных на его решение, в настоящий момент в литературе не обнаружено. Проведенные палеомагнитные исследования образцов кимберлитов из трубок «Ботуобинская» и «Нюрбинская», для которых установлен близкий вещественный состав, схожие петро- и палеомагнитные характеристики, указывают на единовременность их формирования [Константинов, 2014]. Дополнительными доводами, свидетельствующими в пользу точки зрения цитируемого автора, являются близкое пространственное положение рассматриваемых кимберлитовых трубок и их приуроченность к единой кимберлитовмещающей структуре – Диагональному разлому [Кондратьев, Горев, 2005; Игнатов и др., 2006]. В рамках представляемой работы мы будем считать кимберлиты трубок одновозрастными.

По современным представлениям трубка «Ботуобинская» относится к числу многофазных [Боланев и др., 2000ф; Колганов и др., 2013; Килижеков, 2017]. Как показали результаты минералого-петрографических исследований [Кошкарёв, 2015ф], картина формирования трубки «Ботуобинская» более простая по сравнению с трубкой «Нюрбинская» и включает три последовательных магматических этапа. На первом произошло внедрение протяженной дайки порфировых кимберлитов, ориентированных в север-северо-восточном направлении, совпадающим с простиранием трубки. На втором этапе происходили активные взрывные процессы, которые привели к формированию вулканического аппарата на северо-востоке современного контура трубки, заполненного ЭКБ. Заключительный магматический этап ознаменовался протрузивной инъекцией АКБ, в виде наклонной диатремы, которая частично ассимилировала и дезинтегрировала породы первых двух фаз внедрения. Выделенные особенности нашли отражение в объемной модели вещественного строения трубки.

Изучение разрывной тектоники в пределах карьерного поля трубки «Ботуобинская» началось с момента проведения горно-подготовительных и вскрышных работ (2013 год) и продолжается в настоящее время параллельно с углублением горной выработки. На сегодняшний день в карьере реализована сеть точек геолого-структурных и тектонофизических наблюдений, общим количеством 212. Подавляющее большинство из них расположены в области развития перекрывающих отложений мезо-кайнозойского возраста. Всего за период полевых исследований в бортах карьера задокументировано около 2000 тектонических трещин, более 15 крупных сколов и около 60 выходов разломных зон разного масштаба. Разработка модели разломно-блокового строения производилась по схеме, реализованной в карьере «Нюрбинский». Последовательно были проанализированы выходы разломных зон, зафиксированные в бортах карьера при натурных наблюдениях, затем полученные данные были дополнены результатами анализа количественных параметров тектонической трещиноватости. Результаты выполненных построений отражены в трехмерной модели разломно-блокового строения участка локализации трубки «Ботуобинская», которая свидетельствует, что разрывную структуру исследуемого объекта определяют разломы север-северо-восточного (Диагональный), северо-западного, восток-северо-восточного (Широтный) и северо-восточного направлений.

Как ранее было отмечено сеть точек наблюдения в пределах карьера «Ботуобинский» развита преимущественно в перекрывающих трубку отложениях, а, следовательно, разрывная структура, развитая в этих отложениях отражает главным образом посткимберлитовый этап деформаций. Поэтому для решения задач, связанных с созданием структурно-вещественной модели трубки «Ботуобинская», были использованы результаты реконструкции напряженного состояния в пределах участка локализации трубки «Нюрбинская». Подобное допущение на наш взгляд не является критическим с нескольких позиций: 1) рассматриваемые трубки расположены в пределах единой кимберлитовмещающей структуры, которой является Диагональный разлом [Игнатов и др., 2006, 2008]; 2) разломные узлы, вмещающие кимберлитовые трубки в значительной степени подобны; 3) кимберлитовые трубки имеют близкий возраст, а также некоторое единообразие морфологических параметров тел, слагающих их генераций кимберлита.

Результаты полевых тектонофизических и геолого-структурных исследований вкуче с известными данными о вещественном строении рудного тела [Харьков и др., 1998; Боланев и др., 2000ф; Кошкарев, 2015ф] послужили основой для создания структурно-вещественной модели становления кимберлитовой трубки «Ботуобинская» (рис. 5).

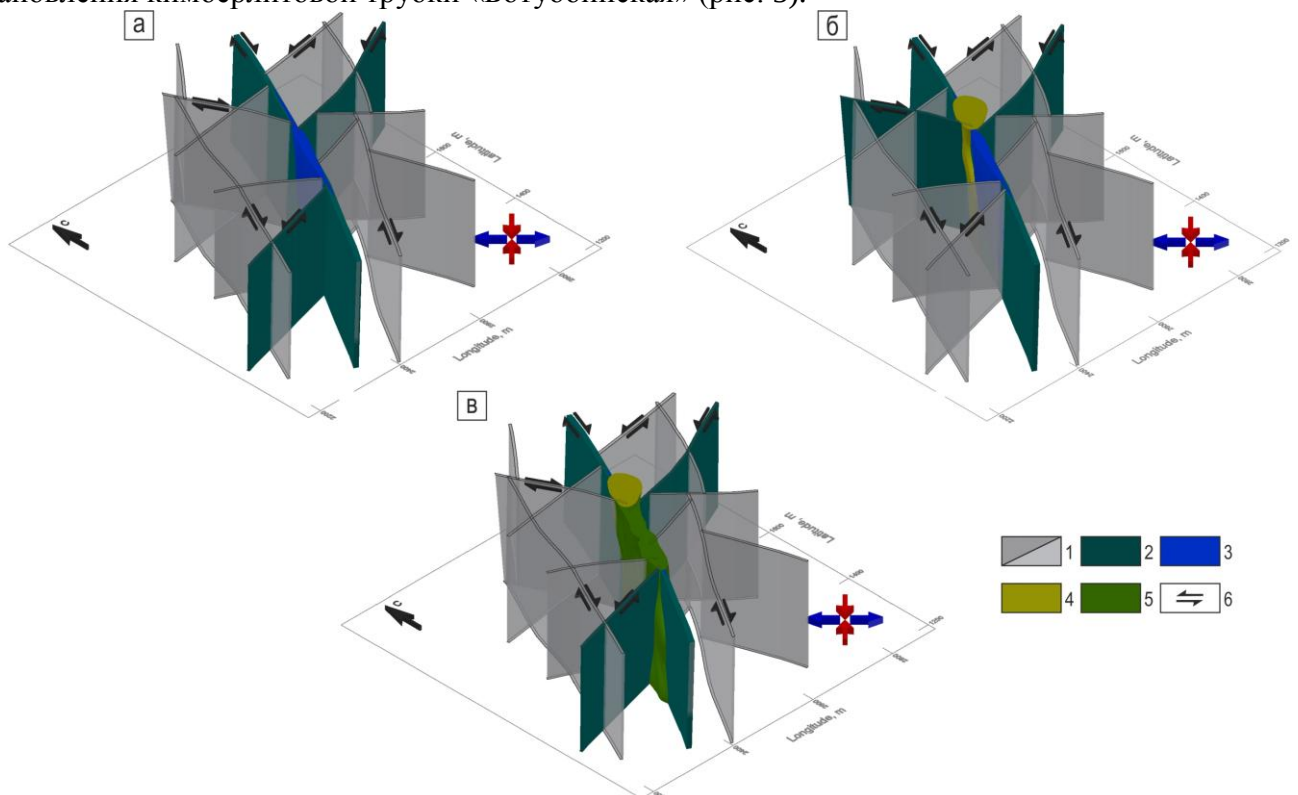


Рисунок 5. Объемные модели: а – первого, б – второго, в – третьего этапов тектоно-магматической активизации. 1 – не активизированные сегменты разрывных нарушений; 2 – сегменты нарушений, формирующие рудовмещающую структуру; 3 – кимберлитовое тело первой магматической фазы; 4 – кимберлитовое тело второй магматической фазы; 5 – кимберлитовое тело третьей магматической фазы; 6 – направление перемещения крыльев разломов. Горизонты 0 – -150 абс. м. Стрелками показано главенствующее поле напряжений на каждом тектоно-магматическом этапе. Вид на модели с юго-запада.

Рудоконтролирующей структурой для рассматриваемой трубки является Дяхтарский разлом [Кондратьев, Горев, 2005; Масленникова, 2007ф; Килижеков, 2017]. Он не находит прямой пространственной сопряженности с телом трубки, а удален от нее на расстояние около 500 метров (рис. 1), что является существенным отличием от ранее рассмотренной трубки «Нюрбинская», для которой установлена прямая пространственная корреляция с рудоконтролирующим Ботуобинским разрывом. По нему происходила доставка дискретных во времени порций кимберлитового расплава от магматических камер к приповерхностным горизонтам земной коры. Здесь локализация кимберлитовых тел происходила в структурах присдвигового растяжения (рис. 5). Для начальной и заключительной фаз внедрения в качестве таковых выступали локальные структуры, сформированные на участке сопряжения Диагонального рудовмещающего разлома север-северо-восточной ориентировки с частными дислокациями разрывных нарушений восток-

северо-восточного направления (рис. 5, а, в). Вторая фаза внедрения была локализована в тройственном узлом пересечения двусторонних сдвигов, образованных Диагональным разломом, а также локальными нарушениями восток-северо-восточной и северо-западной ориентировок (рис. 5, б).

3.3. Прогнозно-поисковая модель кимберлитовой трубки Накынского поля

На сегодняшний момент весь комплекс алмазопроисковых работ базируется на прогнозно-поисковых моделях, разработанных для всей иерархической цепочки алмазных таксонов, от провинции до трубки, с выделением в каждой из них промежуточных поисковых объектов [Ваганов и др., 1995]. Каждая из моделей включает ряд предпосылок или признаков, отражающих кимберлитовосность площади исследования. Это геологические, геофизические, геохимические, структурно-тектонические, минералогические и др. признаки, разрешающая способность и применимость которых сугубо индивидуальна для каждого таксона и зависит от типа поисковой обстановки. Применительно к Накынскому полю, территория которого относится к «закрытым» по степени обнаженности, а сами трубки в его пределах слабо проявлены в геофизических полях и не образуют контрастных поверхностных ореолов рассеяния минералов-спутников алмазов (МСА), наиболее подходящими для целей прогнозирования являются структурно-тектонические предпосылки. Их сущность заключается в приуроченности кимберлитовых тел к разломным зонам либо узлам разрывных нарушений определенных направлений, которые могут быть выделены в качестве поисковых объектов.

Для создания прогнозно-поисковой модели Накынского поля проведен сравнительный анализ структурно-вещественных моделей эталонных объектов – трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская», который показал, что рассматриваемые кимберлитовые трубки характеризуются аналогичным внутренним строением, близки по набору вещественных комплексов, сформированы в пределах схожих по строению разломных узлов, а отдельные фазы внедрения локализованы в пределах единых рудовмещающих структур, коими являются структуры присдвигового растяжения двух типов. Первые представляют собой локальные структуры, образованные на участках сопряжения Диагонального рудовмещающего разлома север-северо-восточной ориентировки с частными дислокациями зоны разрывных нарушений восток-северо-восточного направления, в которых сформированы первые три фазы кимберлитовой трубки «Нюрбинская», а также первая, и заключительная фазы трубки «Ботубинская». Остальные генерации кимберлита рассматриваемых трубок были внедрены на участках пересечения двусторонних сдвигов, одним из которых в обоих случаях являлся Диагональный разлом. Приуроченность большей части фаз внедрения, в том числе и самых ранних, к структурам растяжения первого типа указывает на их определяющую роль в локальном контроле кимберлитового магматизма исследуемого района. Выделенные структуры развиты преимущественно в гипабиссальной зоне и отвечают за непосредственную локализацию порций кимберлитового расплава. Доставка дискретных порций кимберлитового расплава от магматической камеры к местам разгрузки (структурам растяжения) происходила по разломам фундамента, выступающим в качестве каналов повышенной проницаемости. В совокупности рассмотренные дизъюнктивные элементы формируют в земной коре стволы проницаемые зоны, благоприятные для миграции расплавов и локализации кимберлитовых тел, и составляют прогнозно-поисковую модель Накынского кимберлитового поля.

Глава 4. РАЗРЫВНАЯ ТЕКТНИКА И СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Структурной основой для применения разработанной модели является схема разрывных нарушений от полноты которой зависит эффективность прогноза. С этой позиции наиболее кондиционными выглядят схемы, построенные по результатам применения комплекса исследований, включающих разнотипные приемы выделения дизъюнктивов. В представляемой работе используются материалы геофизических исследований, включающие детальную магнито-,

электро- и сейсморазведку, реализованные силами БГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), дополненные результатами структурного дешифрирования, выполненного автором.

За длительный период изучения разрывной структуры Накынского поля с применением геофизических методов выявлены и охарактеризованы многочисленные протяженные разломные зоны, составляющие раму региональных разрывов, входящих в Вилуйско-Мархинскую и Средне-Мархинскую зоны глубинных разломов. Они контрастно проявлены в геофизических полях в виде линейных аномалий, имеют большую протяженность, высокую концентрацию на площади и могут играть роль рудоподводящих структур, о чем свидетельствует их заполненность магматическими образованиями главным образом базитового состава. С целью уточнения разломного строения сети исследуемой площади и картирования разрывных структур, проявленных преимущественно в осадочном чехле, были выполнены работы по структурному дешифрированию топографических карт масштаба 1:100 000, серия Q-50, номера 101, 102, 103, 104, 113, 114, 115, 116. Полученные результаты показали, что в рельефе исследуемой территории наиболее отчетливо отражены линейные элементы северо-восточного и северо-западного простираний, сонаправленные с разрывными структурами фундамента, а также север-северо-восточной и восток-северо-восточной ориентировок, отвечающие структурам второго порядка, но при этом носящие важное прогностическое значение, поскольку к их числу относят Диагональный и Широтный разломы, которые образуют рудоконтролирующие структуры для изученных трубок Накынского поля.

Формирование разрывных структур платформенного чехла происходило в результате движения по разрывам фундамента, входящим в Вилуйско-Мархинскую зону, о чем свидетельствует их значительная протяженность (более 800 км), линейность, высокая концентрация. Кинематика движений отвечала сдвиговым перемещениям, поскольку именно сдвиги обладают максимальной проникающей способностью [Уткин, 1989], что обеспечивает возможность подъема магматических расплавов, в том числе кимберлитовых с больших глубин. Парагенетический анализ [Семинский, 2003, Семинский и др., 2005] совокупности разрывов чехла показал, что их формирование происходило в два этапа, отличающихся направлением движения крыльев разломов. На первом в результате правосдвиговых перемещений по нарушениям фундамента были образованы разрывные структуры восток-северо-восточной и запад-северо-западной ориентировок, отражающие положение сколов Риделя (R' и R), а также ортогональные системы разрывов север-северо-восточного и субширотного простираний, отвечающие t , t' и n , n' разрывам. На втором этапе при смене векторов движения по разломам Вилуйско-Мархинской зоны на противоположное, наряду с формированием нового парагенезиса (север-северо-западные n , n' -разрывы) большую роль сыграла трансформация ранее образованных структур: разрывы t и t' были преобразованы в R -сколовые нарушения. При этом произошла смена кинематики движения со взбросовой, характерной для t -разрывов на сдвиговую, присущую нарушениям R -типа. Кинематические характеристики разрывных нарушений север-северо-восточного, восток-северо-восточного и северо-западного направлений на данном этапе полностью соответствуют таковым, полученным при изучении эталонных объектов (трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская»). То есть именно с этим этапом необходимо связывать формирование структур благоприятных для локализации кимберлитовых тел. Представленная выше интерпретация формирования разрывной сети Накынского поля соответствует результатам физического моделирования на эквивалентных материалах [Черемных и др., 2017].

Несмотря на длительный период проведения геолого-разведочных работ (более 20 лет) и их высокую степень детальности, перспективы коренной алмазности Накынского кимберлитового поля не исчерпаны выявленными к настоящему времени кимберлитовыми телами. Наличие высококонтрастных ореолов индикаторных минералов кимберлитов и аномальных точек, содержащих повышенные концентрации пиропов, хромшпинелидов с высокой степенью сохранности, а также находки микрообломков кимберлитов по отдельным пробам из поисковых скважин указывают на возможность обнаружения в пределах исследуемого района новых коренных месторождений алмазов. Для установления их пространственной позиции в представляемой работе использовалась прогностно-поисковая модель, базирующаяся на структурных предпосылках, а основой для прогнозных построений послужила схема разрывных

нарушений Накынского кимберлитового поля и прилегающих территорий. В качестве структурных ловушек согласно разработанной модели на территории Накынского поля выступают узлы разрывных нарушений платформенного чехла север-северо-восточного и восток-северо-восточного направлений, пространственно коррелирующие с разломами фундамента. На рассматриваемой территории таких узлов – т.е. структур, гипотетически могущих вмещать кимберлитовые трубки, было выделено восемь (рис. 6).

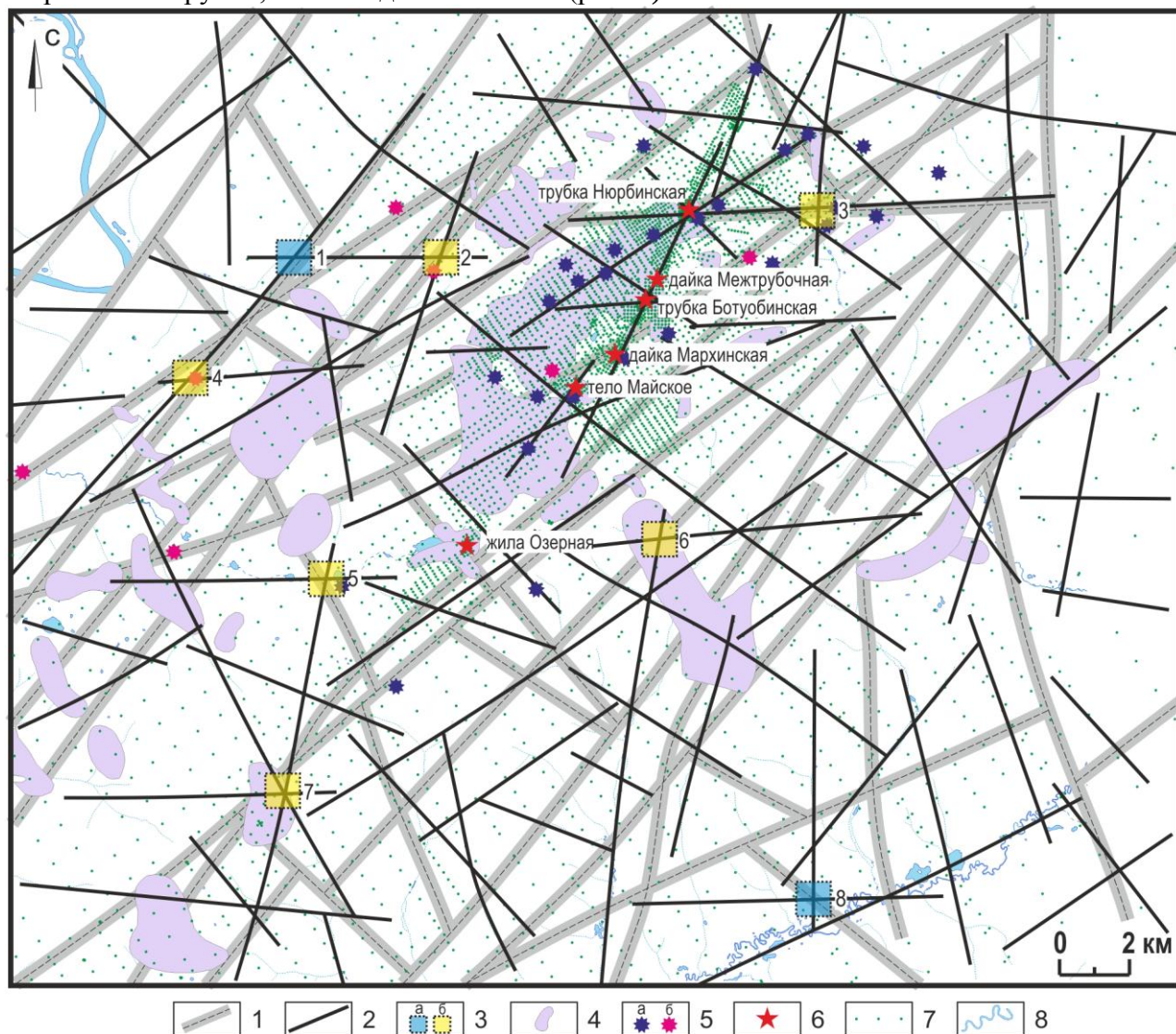


Рисунок 6. Схема разломного строения Накынского кимберлитового поля и прилегающих территорий с прогнозными участками. 1 – разломы фундамента; 2 – разломы осадочного чехла; 3 – прогнозные участки: а - выделенные на основе структурных признаков, б - выделенные по комплексу признаков; 4 – ореолы МСА; 5 – проявления: а - брекчий щелочных базитов [по Игнатов и др., 2010], б - взрывчатых брекчий [по рабочим материалам БГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)]; 6 – известные кимберлитовые тела; 7 – сеть поисковых скважин; 8 – гидросеть.

Степень их перспективности определялась с использованием собственно структурных предпосылок, а также применяя шлихоминералогические (приуроченность прогнозных участков к ореолам МСА) и магматические (нахождение в пределах прогнозных участков проявлений брекчий базитов) признаки. Выполненные прогнозные построения позволили локализовать на площади Накынского кимберлитового поля восемь участков, перспективных на обнаружение коренных месторождений алмаза, четыре из которых - № 7, 6, 5 и 3 (рис. 6) имеют наибольший прогнозный потенциал по комплексу признаков. В качестве рекомендаций по заверке выявленных участков предлагается проведение в их пределах буровых работ по сети 100 x 100 м, что позволит сгладить неравномерную опосредованность площади горнобуровыми работами, а также относительно небольшие линейные размеры наиболее крупных кимберлитовых тел поля (трубка «Нюрбинская» 360 x 175 м, а трубка «Ботубинская» 260 x 70 м).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе нашли отражение результаты комплексного подхода к детальному изучению структурной и вещественной позиции коренных месторождений Накынского кимберлитового поля – трубок «Нюрбинская» и «Ботуобинская». Структурная составляющая изучалась посредством применения геолого-структурных и тектонофизических методов, направленных на выявление особенностей разрывной сети и полей тектонических напряжений в пределах участков локализации кимберлитовых тел. Проведенные исследования показали, что определяющую роль в строении структур, контролирующих кимберлитовые трубки Накынского поля, играют узловые сочленения субвертикальных разрывов платформенного чехла север-северо-восточного, восток-северо-восточного и северо-западного направлений.

Исследования минералого-петрографических особенностей и специфики алмазности различных генераций кимберлита, слагающих трубки «Нюрбинская» и «Ботуобинская», позволили восстановить морфологию и пространственное положение каждого из выделенных комплексов как в современном срезе, так и на этапе внедрения. Комплексный анализ результатов моделирования разрывной структуры и особенностей вещественного строения позволил выявить основные черты структурно-вещественной организации рудоносной системы и определить этапность проявления процессов тектоно-магматической активизации, приведшей к образованию кимберлитовых трубок, что нашло отражение в структурно-вещественных моделях эталонных объектов Накынского поля. Согласно полученным моделям, формирование трубок происходило в приповерхностных структурах присдвигового растяжения, образованных на участках сопряжения разлома север-северо-восточной ориентировки с частными дислокациями зоны разрывных нарушений восток-северо-восточного направления в результате нескольких этапов тектоно-магматической активизации. При этом доставка дискретных порций кимберлитовой расплава от источника происходила по глубинным разломам, выступающим в качестве каналов повышенной проницаемости. В совокупности выделенные дизъюнктивные элементы представляют собой структуры, благоприятные для локализации кимберлитовых тел и составляют прогнозно-поисковую модель Накынского кимберлитового поля.

Анализ результатов геофизических исследований площади Накынского поля в совокупности с данными, полученными по результатам структурного дешифрирования топографических материалов, позволил определить особенности строения сети разрывных нарушений развитых в пределах фундамента и осадочного чехла изучаемой территории, что отражено в схеме разрывных нарушений. Разрывы фундамента представлены дизъюнктивами северо-восточной (Вилуйско-Мархинская зона) и северо-западной (Средне-Мархинская зона) ориентировки. В платформенном чехле к указанным направлениям разрывов добавляются нарушения север-северо-восточного и восток-северо-восточного простираний, имеющие определяющее прогностическое значение для рассматриваемой территории.

Применение разработанной прогнозно-поисковой модели совместно с уточненной схемой разрывных нарушений дало возможность оценить остаточные перспективы коренной алмазности Накынского поля и выделить в его пределах восемь участков, перспективных по структурным предпосылкам на обнаружение новых кимберлитовых тел.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, включенных в «Перечень...» ВАК Минобрнауки России

- 1) Черемных А.В., Гладков А.С., Афонькин А.М., Потехина И.А., **Серебряков Е.В.**, Кузьмин И.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния в окрестностях разломного узла района кимберлитовой трубки «Мир» (Якутская алмазоносная провинция) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2014. № 1 (44). – С. 35-43.
- 2) **Серебряков Е.В.**, Гладков А.С., Кошкарёв Д.А., Потехина И.А. Новые данные о разломно-блоковой структуре участка локализации кимберлитовой трубки Ботуобинская (Якутская алмазоносная провинция) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2016. № 1 (54). – С. 20-32.

Тезисы докладов научных конференций

- 1) **Серебряков Е.В.**, Гладков А.С., Кошкарев Д.А., Потехина И.А. Новые данные о разломно-блоковой структуре участка локализации кимберлитовой трубки Ботуобинская (Якутская алмазоносная провинция) // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. – С. 166-168.
- 2) **Серебряков Е.В.** Детализированная схема разрывной структуры месторождения «Трубка Нюрбинская» по результатам тахеометрической съемки // Материалы XX Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: ТПУ, 2016. – С. 255-256.
- 3) **Серебряков Е.В.** Разломно-блоковая структура месторождения «Трубка Нюрбинская» (Якутская алмазоносная провинция) // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2017. – С. 123-125.
- 4) **Серебряков Е.В.** Трехмерная модель эволюции кимберлитовой трубки Нюрбинская // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. – С. 212-213.