

На правах рукописи

Васильев Иван Дмитриевич

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ
В ОКОЛОТРУБОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
ТРУБКИ АРХАНГЕЛЬСКАЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ДЛЯ ПОИСКОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ
В ЗИМНЕБЕРЕЖНОМ РАЙОНЕ**

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Москва 2010

Работа выполнена в Российском Государственном Геологоразведочном Университете имени Серго Орджоникидзе

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор П.А.Игнатов (РГГРУ)

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор В.И.Пахомов (РГГРУ)

доктор геолого-минералогических наук
В.М.Зуев АК «АЛРОСА»

Ведущее предприятие: Московский Государственный Университет
им. М.В.Ломоносова Геологический факультет

Защита состоится 20 мая 2010 года в 13-00 часов на заседании специализированного совета Д.212.121.04 при Российском Государственном Геологоразведочном Университете по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, ауд. 5-48.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан: _____ 2010 год

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент

А.В. Бобков

Введение

Актуальность проблемы. Алмазоносная кимберлитовая трубка Архангельская входит в состав месторождения им. М.В. Ломоносова, расположенного на северо-востоке Восточно-Европейской платформы. Практически вся территория Архангельской области относится к закрытому типу поисковых территорий с мощностью перекрывающих осадочных отложений до 100 м и более. Отсутствие протяженных естественных обнажений существенно усложняет задачу изучения кимберлитовместящей и перекрывающей толщи. До последнего времени практически единственным источником информации о составе и строении разрезов являются данные изучения керна и каротажа, по которому в основном и проводится сопоставление разрезов, построение палеоповерхностей. В связи с этим карьер трубки Архангельская, глубина которого уже достигает почти 90 м, является уникальным объектом для изучения вмещающих и перекрывающих толщ контактов кимберлитов, выделения околотрубочных изменений и тектонических нарушений.

Проблема выделения рудоконтролирующих разломов в масштабах кимберлитовых полей и кустов является наиболее актуальной, поскольку разломы, связанные с кимберлитами, являются скрытыми. Выделение любых нарушений в районе Зимнего берега осложняется отмеченной закрытостью территории. В толще венда отсутствуют надежные маркеры, следствием чего является неуверенная корреляция, что затрудняет анализ палеотектонических структур и уровней поствендского эрозионного среза. Вмещающая кимберлиты вендская толща сложена вязко-пластичными глинистыми породами и рыхлосвязанными песчаниками, в которых проявления хрупких деформаций сильно затусшеваны.

Перечисленные вопросы многими авторами в той или иной степени решаются. Однако, делается это в основном на основе дистанционных методов или изучения керна скважин. А как показывает сравнение наблюдений в карьере с результатами анализа кернового материала, недостоверность данных, полученных при интерпретации последнего, может быть значительной из-за плохого выхода керна. Таким образом, изучение околотрубочного пространства на наиболее представительном материале карьера, безусловно, должно способствовать более корректному анализу рудовместящей толщи и, как следствие, повышать надежность локального прогноза кимберлитов.

Целью работы являлось выявление в околотрубочном пространстве в карьере трубки Архангельская нарушений и изменений во вмещающих и перекрывающих породах, которые возможно использовать в качестве локальных признаков кимберлитовых тел и структур их вмещающих.

Согласно поставленной цели решались следующие задачи:

1. разработка оптимальной методики изучения околотрубочного пространства;
2. создание достоверной базы данных на основании специальной документации в карьере;
3. изучение контактов тр. Архангельская и вмещающей вендской толщи;
4. выявление зон приконтактных изменений и их описание;
5. изучение структурно-морфологических нарушений вмещающей и пере-

крывающей толщ в околотрубочном пространстве;

6. картирование зон тектонических деформаций на основе анализа базы данных по карьере с использованием ГИС-технологий;

7. изучение состава и ритмичного строения падунской свиты верхнего венда по результатам изучения стенок карьера и документации керна;

8. выделение и картирование в вендской толще в пределах поисковых площадей, примыкающих к тр. Архангельской выделенных ритмопачек;

9. структурные построения по локальным перспективным участкам и оценка их перспектив на обнаружение кимберлитов.

Существо работы отражено в следующих защищаемых положениях:

1. На базе геоинформационных технологий разработана оригинальная методика изучения околотрубочного пространства на примере работ в карьере кимберлитовой трубки Архангельская.

2. Впервые с использованием базы данных для кимберлитовой трубки Архангельская установлены: тектонические и атектонические контакты, мало-мощные зоны приконтактных изменений, структурно-морфологические нарушения вмещающих и перекрывающих толщ.

3. Изучение состава, строения и тектонических нарушений кимберлитов-вмещающей толщи позволяет проследить в падунской свите ряд ритмопачек и выделить структуры перспективные для обнаружения коренных месторождений алмазов.

Фактический материал. Основанием для подготовки диссертации стал фактический материал, накопленный в период с 2005 по 2009 год в результате систематических мониторинговых работ в карьере тр. Архангельская. Было произведено описание 159 точек наблюдения, на которых было снято около 400 фотографий и зафиксировано порядка 650 уникальных фактов. На базе полевого материала была создана электронная база, которая послужила основой для последующего анализа и построений.

В основе глав 4 и 5 лежат данные, полученные по результатам изучения и документации керна поисковых скважин, пройденных в 2004-2009 гг. филиалом АК «АЛРОСА» «АЛРОСА-Поморье» на Кепинской, Верхнекепинской и Товской-2 площадях, всего более 37 000 пог. м. Были проведены рентгенофлюоресцентные, петрохимические, масс-спектрометрические, радиоизотопные, рентгенорадиометрические анализы проб вмещающих и перекрывающих пород, изучена фотолюминесценция кальцита и радиационные дефекты кварца. В работе использован опубликованный и фондовый материал по данному району. Все работы проводились под руководством проф. П.А.Игнатова в рамках хоздоговорных работ с «АЛРОСА-Поморье». В диссертации использовалась документация П.А.Игнатова, А.В. Болонина, К.В. Громцева, М.О. Бандуркина и автора.

Научная новизна. В результате проведенных исследований впервые получены следующие научные результаты:

1. разработана методика экспрессных работ в карьере при изучении околотрубочного пространства;

2. впервые создана оригинальная база данных по околотрубочному пространству в карьере тр. Архангельская;

3. выделены два типа контактов тр. Архангельская: тектонические и атектонические;

4. на основе прямых геологических наблюдений в карьере составлен разрез верхней части падунской свиты;

5. в околотрубочном пространстве во вмещающей и перекрывающей толщах закартированы разрывные (сбросы, взбросы, сдвиги, системы трещин) и пликативные (антиклинали, синклинали и флексуры) деформации;

6. для Кепинской, Верхнекепинской и Товской-2 площадей построена карта стратоизогипис ритмопачек V3, V4, V5 золотицкой подсвиты падунской свиты верхнего венда.

Практическая значимость. Предложена методика оперативного картирования околотрубочного пространства в карьере трубки Архангельская, которая основана на использовании современных программных комплексов и формализации различных геологических признаков. По результатам прямых наблюдений показано наличие и закартированы разрывные и пликативные деформации во вмещающих породах венда, которые необходимо учитывать при оценке структурных позиций перспективных площадей, рекомендованных к бурению по результатам аэрогеофизических и шлихоминералогических исследований. На основе предложенного анализа выделены перспективные участки для обнаружения кимберлитовых тел.

Апробация диссертации. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на IX международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, РГГРУ, 2009), ИПКОН РАН, 2009, на V Межвузовской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» (Москва, РГГРУ, 2010). Все материалы конференций опубликованы в качестве тезисов докладов. Результаты исследований вошли в четыре отчета, выполненные по договорным работам с «Алроса-Поморье» (г. Архангельск) и одну научную статью, опубликованную в рекомендованном ВАК РФ издании.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 5 работах, в том числе в одной статье и 4 тезисах докладов.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 189 страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения и 4 приложений, содержит 142 рисунка, 10 таблиц и список литературы, включающий 89 наименований.

Благодарности. Автор выражает благодарность профессорско-преподавательскому составу РГГРУ (МГРИ), всем, кто оказывал помощь, поддержку и содействие в проведении исследований, подготовке работы и в первую очередь своему руководителю профессору Игнатову П.А а также А.В. Болонину.

Автор признателен руководству и сотрудникам филиала АК АЛРОСА «АЛРОСА-Поморье» и ЗАО «Севералмаз» при поддержке, которых проводились полевые исследования, а также за предоставленную возможность работать с лицензионным программным комплексом фирмы Esri. Создание работы было бы невозможно без конструктивной критики, технической помощи, содействия коллег и друзей, которые внесли существенный вклад в написание диссертации: А.К.Корсакова, К.В.Новикова, М.Е.Морозовой, А.В. и А.А.Фатеевых,

А.А.Шпекторова, А.В.Никитина, А.М.Шмонова, Р.В.Красникова, К.Д.Борисовой, Т. В.Серавиной, Л.Т.Ракова, М.О.Бандуркина, Т.М. и Д.И.Васильевых, Е.Ш.Иширшиновой, А.В.Шмыгиной, Е.В. Горшколеповой.

Глава 1

В настоящее время единственным районом Архангельской алмазоносной провинции (ААП), где установлены промышленные месторождения алмазов (им. Ломоносова и им. Гриба), является Зимнебережный.

Наиболее изученной территорией Зимнего берега является Золотицкое кимберлитовое поле, на котором выявлены трубки Карпинского-1, Карпинского-2, Кольцовская, им. Ломоносова, Первомайская, Пионерская, Поморская, Снегурочка, Белая и Архангельская - единственная в регионе на которой ведется опытно-промышленная эксплуатация [Богатиков и др. 1999; Вагонов, 2000; Вержак и др., 2008; Головин, 2003; Веричев и др., 1985; Кононова и др., 2007; Кутинов, Чистова, 2004; Прусакова, 2004; Третьяченко, 2008; Устинов, 2009; Харьков и др., 1998; Щербакова, 2005, и др.]. Согласно данным этих исследователей ниже приведена краткая геологическая характеристика района.

В разрезе провинции выделяются два структурных этажа, представленных комплексами пород кристаллического фундамента и осадочного чехла.

Архейские образования слагают фундамент. Осадочный чехол сложен терригенными или карбонатно-терригенными породами верхнего протерозоя, палеозоя и кайнозоя. Палеозойские и кайнозойские образования для кимберлитовых тел являются перекрывающими толщами.

Вмещающая кимберлиты песчано-глинистая формация отнесена к верхнему отделу вендской системы. Толща имеет трансгрессивно-регрессивное строение. Породы венда по своим свойствам относительно непрочные и пластичные. В последнее время есть основания отнести верхневендские породы региона к нижнекембрийским [Алексеев и др., 2005]. Палеозойские отложения формируют верхнюю часть осадочного чехла и перекрывают кимберлитовые трубки Зимнебережного района. Породы распространены практически на всей площади работ и сложены терригенными и карбонатными породами девона, карбона и перми. Они повсеместно с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на размытой поверхности венда. Вся территория Зимнего Берега покрыта мощной толщей четвертичных отложений различных генетических типов - моренных, флювиогляциальных, морских и др.

В пределах Зимнего Берега, с одной стороны, отчетливо проявлены черты разломно-блоковой тектоники, характерной для юго-восточной окраины Балтийского щита, а, с другой стороны, пологие флексуры, брахискладки и валы типичные для платформенного чехла. Отмечена тенденция приуроченности проявлений среднепалеозойского щелочно-ультраосновного магматизма к поднятым блокам фундамента.

В настоящий момент в пределах ААП применяется сформировавшийся комплекс поисковых методов, в основе которого лежат геофизические методы (преимущественно, магниторазведка), шлихоминералогия выступает в качестве вспомогательного поискового метода. Из-за снижения эффективности комплекса

происходит переход от заверки наиболее контрастных аномалий к заверке аномалий, по структурно-тектоническому принципу. Большое значение приобретает выделение в разрезах скважин признаков разломной тектоники и околорудных изменений, что достаточно не просто в условиях наличия пластичной рудовмещающей толщи, малоамплитудных тектонических нарушений и «сухих» зон разломов без признаков активной гидротермальной деятельности.

Глава 2

Первое защищаемое положения диссертации: *«На базе геоинформационных технологий разработана оригинальная методика изучения околотрубного пространства на примере работ в карьере кимберлитовой трубки Архангельская».*

Отсутствие протяженных естественных обнажений существенно усложняет задачу изучения вмещающей и перекрывающей толщ в условиях закрытых территорий и, в частности, в Архангельской алмазонасной субпровинции. До последнего времени практически единственным источником информации о составе и строении разрезов являются данные бурения, изучения керна и каротажа. В связи с этим карьер трубки Архангельская, глубина которого уже превышает 80 м, а наибольшая длина равняется 1000 м, является уникальным объектом для изучения вмещающей и перекрывающей толщ, контактов кимберлитов, выделения околотрубных изменений, структурно-тектонических нарушений, вторичной минерализации.

В связи с этим вопрос о методике исследований карьера трубки Архангельская является весьма актуальным. Особенно учитывая тот факт, что у карьерных геологов время для научных исследований кимберлитовой трубки и вмещающих её пород существенно ограничено производственными задачами, связанными с учетом изменений запасов руды и геолого-технологическими задачами. Непосредственного специализированного изучения околотрубного пространства ведется очень мало. Так же нет специальных публикаций на тему методических аспектов данного вопроса.

К 2010 году автор в составе научной группы РГГРУ в течение 4 лет работ произвел мониторинговое описание 159 точек наблюдения в карьере трубки Архангельская, на которых было зафиксировано порядка 650 уникальных геологических фактов и отснято около 400 фотографий. В основе подхода автора к изучению околотрубного пространства положено проведение тщательного геологического изучения и зарисовки техногенных обнажений, их фотографирование, диагностика разностей пород и структурных элементов.

Под околотрубным пространством автор понимает как рудовмещающие, так и непосредственно перекрывающие трубку породы.

Главным направлением работ в карьере тр. Архангельская является геолого-структурное картирование, которое включают в себя:

1. детальное изучение литологического состава вмещающих и перекрывающих пород, стратиграфического расчленения с выделением маркирующих пачек и слоев;
2. отбор проб для минералогического, геохимического анализа с целью идентификации толщ, выявления закономерностей локализации тел, вы-

явления новообразований; 3. детальное изучение и документацию в карьере складчатых и разрывных тектонических нарушений и других структурных элементов всего околотрубочного пространства; 4. анализ и описание контактов кимберлитовой трубки и вмещающих пород; 5. изображение структурных элементов на специальных планах, созданных на основе использования баз данных и ГИС-программ, и разрезах и выявление на этой основе общих закономерностей геологического строения месторождения и его участков.

Перед началом полевых наблюдений в карьере следует подготовительный этап, который включает создание ГИС-проекта в пакете программ ArcGis 9.2 фирмы Esri со следующими необходимыми слоями: геологической картой месторождения, маркшейдерским планом карьера, данными разведки с контуром кимберлитовой трубки. В процессе работ используется портативный GPS-приемник, карманный персональный компьютер (КПК) со встроенным GPS-приемником с установленной на него программой ArcPad 7.0 фирмы Esri, которая позволяет использовать ранее созданный ГИС-проект [Васильев и др., 2009].

При документации обнажений в карьере во всех точках наблюдения осуществляется цветная зарисовка обнажений, на которую выносятся литологические разности пород, особенности структурно-тектонического строения, места отбора проб. В дальнейшем зарисовки позволяют максимально корректно интерпретировать данные фотодокументации.

Современный геологоразведочный процесс невозможен и без фотографий обнажений, керна, горных выработок. При широком развитии цифровых фотоаппаратов это задача решается достаточно успешно. Главным требованием, предъявляемым к фотодокументации, является объективность и исчерпывающая полнота регистрируемых, в нашем случае, на кровле или стенках горных выработок наблюдаемых фактов. Этим качеством даже самая совершенная зарисовка участка горной выработки, обнажения в подавляющем большинстве случаев не соответствует. После переноса фотографий на компьютер возможно, увеличивая определенные детали, получить информацию не заметную при прямых наблюдениях, например, в силу отдаленности или труднодоступности откоса уступа.

При камеральной обработке полученных материалов на геолого-структурные планы наносятся следующие данные:

1. Стратиграфические горизонты, пачки и слои пород и руд с указанием специальными знаками разновидностей по минеральному составу и текстурно-структурным особенностям;
2. Структурные элементы: слоистость, складчатость, разрывные тектонические нарушения; специальными знаками изображаются разрывные тектонические нарушения, системы трещин.
3. Зоны вторичного изменения пород – осветления, окисления, карбонатизации, новообразования т.д.

Результатом работ является оперативное детальное картирование околотрубочного пространства, определение связи нарушений и новообразований с кимберлитами. В практическом плане оказывается существенная помощь карьерным геологам по определению границ кимберлитов, фаз их внедрения, а также инженерно-геологических условий. Все выделяемые в карьере тр. Архангельская околотрубочные особенности и факты условно можно поделить на ряд групп

признаков. Именно их документация является основой оригинальной базы данных, о которой речь пойдет ниже.

Группа 1: структурно-тектонические признаки



Рис. 1. Малоамплитудные (15-20 см) сбросы в венде в 15 м западнее от контакта с кимберлитами, северная стенка центральной части карьера, 2005 г.

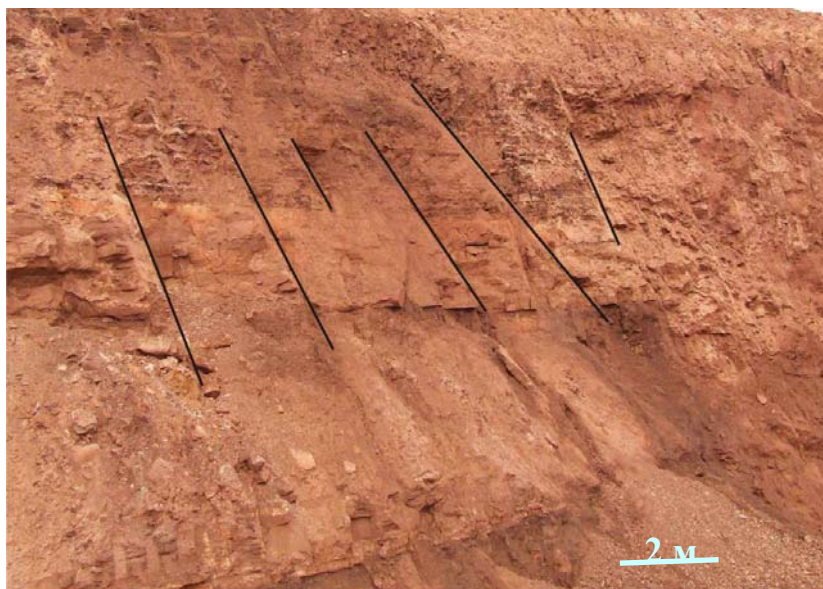


Рис. 2. Система крутопадающих тектонических трещин в венде, т.н. 515, 2008г

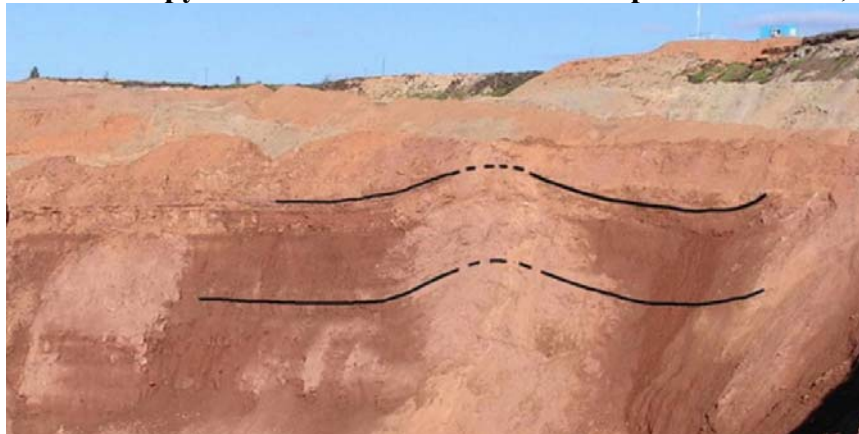


Рис. 3. Панорама ЮВ стенки карьера, в которой вскрыты сближенные неширокие (5-7 м) малоамплитудные (1-1,5 м) симметричные антиклиналь и синклиналь в породах венда, т. н.116, 2006г.

Группа 2: минеральные новообразования



Рис. 4. Оглеение по крутопадающим трещинам в аргиллитах падунской свиты, т.н. 722, 2009г



Рис. 5. Прожилковое осветление в туфопесчаниках, т.н. 8, 2006г
Группа 3: литолого-петрографические разности пород и седиментационные признаки



Рис. 6. Колобки взмучивания в песчаниках венда. Вид сверху, т.н. 702, 2009г.



Рис. 7. Долоклеты в основании урзугской свиты и кровле кратерных туфопесчаников, т.н.14, 2006г

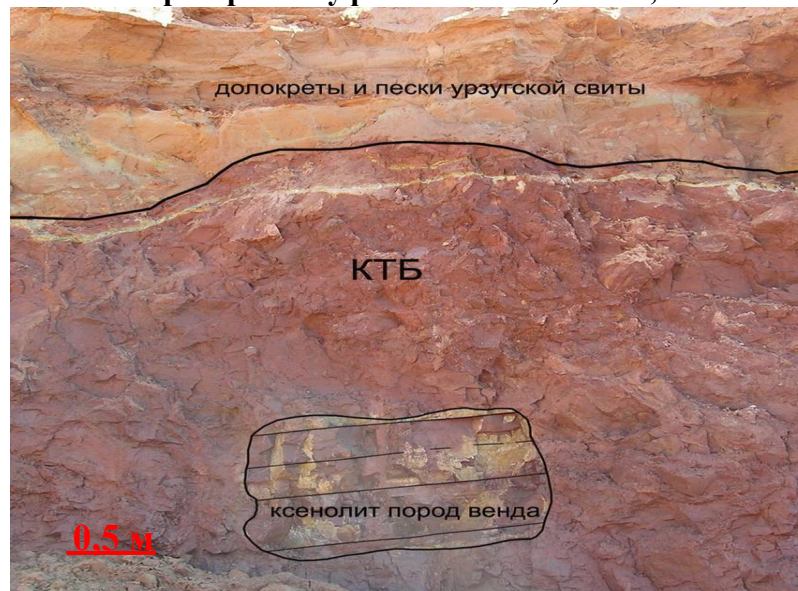


Рис. 8. Песчаники красно-коричневые кварцевые с примесью кимберлитового материала и насыщенные крупными обломками венда, т.н. 16, 2006г.

Для быстрой и удобной обработки материала, полученного при изучении карьера трубки Архангельская, анализа распределения различных признаков на площади была сформирована электронная база данных. База данных проста в обращении, совместима с геоинформационными системами (ГИС), легко редактируема и дополняема. Необходимость ее создания была продиктована достаточно большим количеством точек наблюдения и соответственно большим количеством зафиксированных признаков околотрубочных изменений, литолого-петрографических разностей пород, минеральных новообразований, структурно-тектонических нарушений (всего более 650), которые обработать вручную, без применения специальных средств достаточно сложно. И это при максимальных размерах карьера на июль 2009 года 1000×800 метров и площади около 0,6 км².

Подобная специальная база данных по признакам околотрубочных изменений в карьере трубки Архангельская создана впервые. Она предназначена для

двухмерного (площадного) анализа признаков, наблюдаемых на месторождении, представляет собой одну электронную таблицу с определенным набором полей данных. Поля данных содержат информацию о номере точки наблюдения, ее координатах, абсолютной высоте, наборе признаков, годе исследования, имеющих-ся анализах. Главной особенностью базы данных формализованных признаков в керне является способ записи признаков в базу (табл. 1). Признаки записываются в базу данных в виде специальных кодов (символов), на основании выявленных при геологической съемке признаков и особенностей разреза. Коды представляют собой буквенную запись для качественных признаков, для оценки количественных показателей (например, азимута и угла падения тектонических трещин) служат численные индексы, следующие за и перед символом признака. В дальнейшем, это позволяет визуализировать их в виде карт.

Подобные базы совместимы с большинством современных геоинформационных систем (ГИС), таких как ArcGis, MapInfo и прочие. ГИС-системы позволяют производить автоматическое построение карт распределения признаков.

Таблица 1. Формализованные признаки, выделяемые в карьере тр.Архангельская

Символ	Описание	Группа
	Микросбросы	1
	Микровзбросы	1
	Система микросбросов	1
	Система микровзбросов	1
	Зеркала скольжения с субгоризонтальным расположением борозд	1
	Зеркала скольжения с субвертикальным расположением борозд	1
	Система крутопадающих тектонических трещин	1
	Тектоническая брекчия	1
	Тектонические трещины	1
	Клиновидная антиклиналь	1
	Антиклиналь	1
	Кальцитовые прожилки	2
	Прожилки кальцита в трубке	2
	Пиритовые образования	2
	Милониты	1
	Гляциодислокации	1
	Микроскладки и флексуры	1
	Эрозионные границы	1
	Колобки взмучивания	3
	Экструзивные выделения	3
	Жерловые выделения	3
	Доломитизация	3
	Ходы роющих организмов	3
	Литокласты	3
	Пятна осветления в карбоне	2
	Оглеение по крутопадающим трещинам	2
	Оглеение послойно	2
	Прожилковое осветление в кимберлитах	2
	Крупнопятнистое осветление в кимберлитах	
	Вертикальные трещины и контакты	1
	Аргиллиты венда	3
	Песчаники венда	3

	Вишнево-красные алевролиты карбона	3
	Песчаники карбона	3
	Долоклеты	3
	Доломитистые песчаники	3
	Песчанистые доломиты	3
	Пески косослоистые	3
	Черные глины четвертичные	3
	Моренные гравийно-галечные отложения	3
	Песчаники красно-коричневые кварцевые с примесью кимберлитового материала и насыщенные крупными обломками пород венда (глыбовые ксенотуфобрекчии)	3
	Кварцевые песчаники красно-коричневые с примесью кимберлитовым материалом и небольшими обломками пород венда (туфопесчаники)	3
	Песчаники красно-коричневые кварцевые с примесью кимберлитового материала и глыбами глин	3
	Светло-коричневые, фиолето-розовые кварцевые песчаники с обломками пород венда, кимберлитовым материалом и блоками глауконитовых песчаников	3
	Зеленые кимберлитовые туфы без обломков ксенолитов	3
	Фиолето-коричневые кимберлиты с обломками пород венда (ксенотуфобрекчии, туфы и туффиты)	3
	Порфировые кимберлиты	3
	Прожилки кварца в кимберлитах	2
	S-образные изгибы контактов	1
	Ступенчатые изгибы тектонического контакта	1
	Линзы	3
	Контакт с "задиром"	1

Примечание: 1 – структурно-тектонические признаки, 2 – минеральные новообразования, 3 - литолого-петрографические различия пород и седиментационные признаки

Основной целью создания и обработки базы данных по формализованным признакам является построение карт признаков, наборов признаков или сумм признаков [Новиков, 2009]. В итоге каждый фиксируемый на карьере факт заносится в специализированную базу данных и отображается в ГИС-проекте в виде уникального символа, которых автором насчитывается 52. По всем единичным признакам и группам признаков построены карты.

Развитие мобильных компьютеров внесло кардинальные изменения в область ГИС-технологий. Появилась возможность брать с собой в поле имеющиеся ГИС-данные (контуры трубки, геологическую карту, данные опробования и анализов и т.д.) работать с ними непосредственно на месте наблюдений. Одной из передовых систем для работ в полевых условиях является программа ArcPad фирмы Esri, которая служит для быстрого создания и актуализации пространственных данных, позволяет непосредственно в полевых условиях обновлять существующие ГИС данные, проводить сбор данных, осуществлять навигацию по карте.

В практике работ автора использовался либо КПК, либо коммуникатор Asus со встроенным GPS приемником точностью около 6 метров и установленной программой ArcPad. Опыт применения ноутбуков для вышеописанных це-

лей оказался неудачным из-за их большого веса (2-3 кг), размера и ограниченного ресурса батареи (до трех часов), слабой пыле- и влагозащищенности.

Применение ГИС-технологий на этапе полевых работ может существенно сократить их продолжительность и последующую обработку данных.

Глава 3

Второе защищаемое положение диссертации: *«Впервые с использованием базы данных для кимберлитовой трубки Архангельская установлены: тектонические и атектонические контакты, маломощные зоны приконтактовых изменений, структурно-морфологические нарушения вмещающих и перекрывающих толщ».*

В мелких и средних масштабах зоны нарушений, с которыми связывают положение кимберлитовых районов и полей, достаточно обоснованно выделяются по анализу геолого-геофизических и дистанционных данных, хотя здесь есть много неопределенностей [Милашев, Соколова, 2000; Серокуров и др., 2001 и др.]. В масштабах кимберлитовых полей и кустов проблема выделения рудоконтролирующих разломов далека от решения, поскольку разломы, связанные с кимберлитами, являются скрытыми. Выделение любых нарушений в районе Зимнего берега резко усложняется закрытостью территории, затушёванностью хрупких деформаций в пластичной среде венда, распространением мощного чехла четвертичных отложений, отсутствием в венде надежных маркеров, следствием чего является неуверенная корреляция отложений.

Структурная позиция трубки Архангельская определяется приуроченностью к узлу пересечения субмеридиональной кимберлитоконтролирующей разломной зоны с нарушениями северо-западного и северо-восточного направлений. Куст кимберлитов, включающий трубку, расположен в пределах приподнятого блока фундамента в границах Золотицкой ступени. Возраст формирования трубок Ломоносовского месторождения был определён по палеонтологическим данным как верхнедевонский, 370 млн. лет [Саблуков, 1987]. Формирование тела произошло при участии только одного типа магмы – кимберлитовой [Махоткин и др, 2007].

Кратерная часть представлена тремя пачками вулканогенно-осадочных пород (рис. 9). Верхняя пачка мощностью 25–43 м сложена красно-коричневыми кварцевыми песчаниками с обломками вендских пород и примесью кимберлитового материала (5-10%). Средняя туфогенная пачка средней мощностью 67 м продуктивная и представлена грубофлюидальными фиолетово-коричневыми кимберлитовыми туфами, туффитами и красно-коричневыми туфопесчаниками [Аболтыньш, 1989; Богатиков и др., 1999; Харьков и др., 1998] или вулканокластическими кимберлитами [Махоткин и др., 2007]. Нижняя пачка (около 20 м) представлена светло-коричневыми, фиолетово-розовыми среднезернистыми рыхлосвязанными кварцевыми песчаниками с обломками пород венда и блоков глауконитовых песчаников. Она перекрывает серо-красные брекчиевидные автолитовые кимберлиты.

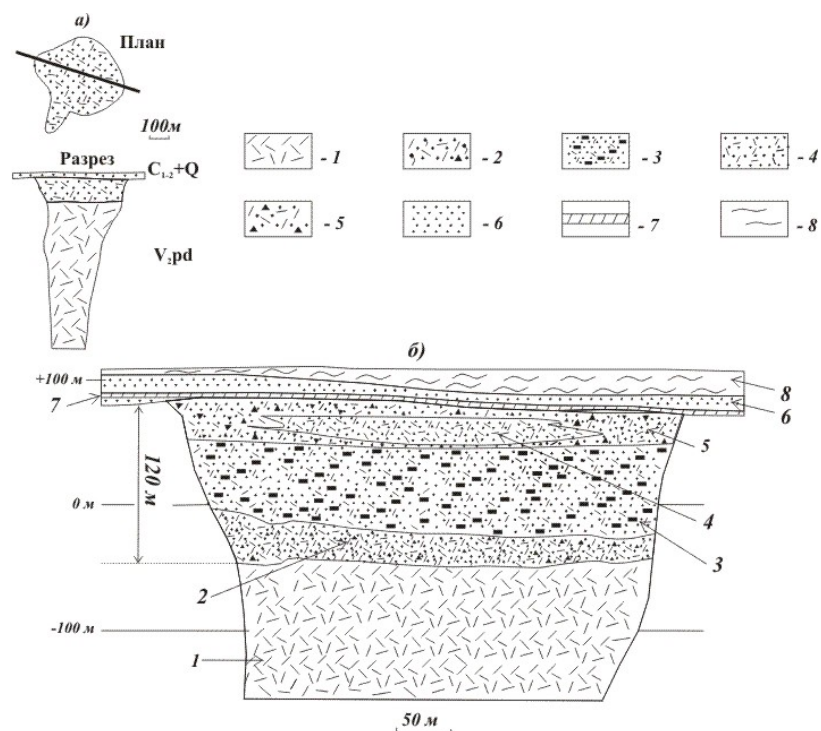


Рис. 9. Строение трубки Архангельская. План (а), детали строения кратерной части и перекрывающих породы (б). Не закрашены – вмещающие породы (V_{2pd}). 1 – кимберлиты, 2 – туфопесчаники нижней пачки, 3 – туфогенные породы средней пачки, 4 – песчаники с кимберлитовым материалом, 5 – песчаники с кимберлитовым материалом и крупными обломками пород венда, 6 – песчаники (C_{1+2}), 7 – доломиты (C_{1+2}), 8 – отложения четвертичной системы.

Песчано-глинистая толща венда, представленная падунской свитой, в пределах контура карьера имеет субгоризонтальное залегание, в западной части карьера заметно ее моноклиальное падение на восток под углом $3-5^\circ$. Вендские вмещающие красноцветные отложения в карьере представлены двумя типами пачек - алевролит-аргиллитовыми и алевролит-песчаниковыми. Перекрывающие тр. Архангельская отложения карбона относятся к урзугской свите и представлены пластами алевролитов, слабосвязанных песчаников и песков, плотных доломитистых песчаников и песчанистых доломитов, линзами долокретов. Пласты залегают горизонтально и выдержаны по простиранию. В гидрогеологических скважинах (А15 и А16), расположенных в 0,8 км к северо-западу и северо-востоку от трубки, общая мощность отложений нижней и средней пачек достигает 12 м. Сокращение мощности этих отложений над трубкой Архангельская фиксирует приуроченное к ней локальное конседиментационное поднятие. Четвертичные отложения с эрозией залегают на толще урзугской свиты. Непосредственное залегание четвертичных мореных галечников на породах венда отмечено на юго-востоке карьера в основании верхнего уступа.

Практически все контакты кимберлитовой диатремы резкие, линейно-тектонические крутопадающие и часто выражены полосами осветления шириной 3–50 см. Встречаются милониты, представленные глинисто-песчаной пластичной породой зеленовато-светло-серой окраски с реликтовыми участками краснокоричневого цвета и часто с наложенной желтой окраской, связанной с лимонитизацией. Отложениям кратерной фации в трубке Архангельская присущи крутые контакты с вмещающей толщей венда. Лишь в самой верхней кромке трубки

на западе карьера зафиксирован переход крутого контакта диатремы в раструб с относительно пологим залеганием контакта. Выделяются три вида контактов трубки по соотношению с залеганием вмещающих пород венда: первый – без видимых нарушений субгоризонтального залегания пород венда (рис. 10а), второй – с "задиrom" слоев (рис. 10б), третий – со сбросами (рис. 10в).

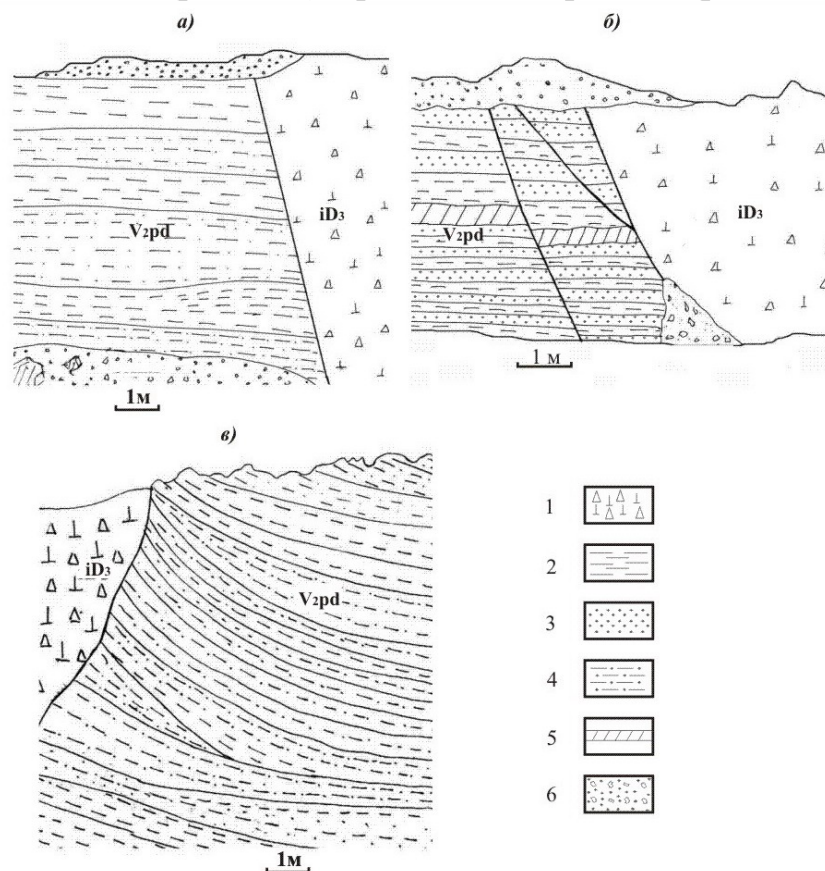


Рис. 10. Зарисовки характерных контактов кимберлитовой трубки (iD_3) с вмещающими песчано-алевролитовыми породами венда (V_{2pd}): *а*) – без видимых изменений субгоризонтального залегания слоев венда, юго-западный уступ на отметке +55 м; *б*) – со сбросами, западный уступ на (+82) м; *в*) – с вертикальным «задиrom» слоев, юго-восточный уступ на (+65) м. 1 – туфопесчаники кратерной фации, 2 – аргиллиты, 3 – песчаники, 4 – алевролиты, 5 – доломиты, 6 – техногенные осыпи.

Ненарушенное залегание слоев венда встречается сравнительно редко. В таких случаях горизонтальное залегание слоев прослеживается вплоть до утыкания в крутопадающий милонитовый шов, либо в массивные породы трубки. Более распространены контакты диатремы, сопровождаемые вертикальным, направленным вверх подгибом слоев венда («задиrom»). Они обнаруживаются в породах венда как в контакте с туфопесчаниками верхней пачки, так и с кимберлитовыми туфами и туффитами средней пачки. Углы приконтактного подгиба слоев от 5–10° до 30–40°. Ширина зоны, в которой фиксируются подгибы слоев, максимально распространяется до 10 м от контакта. Почти непрерывным приконтактным «задиrom» слоев сопровождается дайковидное окончание трубки на юге карьера. Генезис «задиrom» венда не однозначен. Это могут быть докимберлитовые деформации в зонах тектонических нарушений, которые использовались кимберлитовой магмой для внедрения. Это подтверждается присутствием в венде флексур и складок. «Задиrom» слоев венда мог быть и следствием давления

со стороны внедрявшегося вещества. Так же, причиной «задира» могло стать послемагматическое протрузивное выдавливание пород из жерла трубки.

Трещинно-сбросовой тип приконтактных нарушений слоев венда наблюдался на западном фланге трубки. Ширина зоны тектонических трещин достигала 1,5 м, амплитуда вертикальных смещений слоев по трещинам 20–30 см, углы падения сместителя в сторону трубки 70–75°. Рассматриваемые сбросовые нарушения можно связать с просадкой пород кратера, которая фиксируется по периметру трубки в виде увеличения наклона линз туфов и туфопесчаников.

В карбоновой толще на границе средней и нижней пачек в двух противоположных бортах карьера вблизи контактов трубки отмечены линзы прочных песчаных доломитов с узловатыми текстурами, напоминающими биотурбации. Эти образования следует относить к долокретам. В местах локализации долокретов зафиксирована также доломитизация вышележащих песчаников урзугской свиты и нижележащих кратерных туфопесчаников кимберлитовой трубки. Доломитизацию можно интерпретировать как древнюю экзодиагенетическую, связанную с очагом разгрузки древних грунтовых вод в зоне конседиментационных приконтактных нарушений в каменноугольное время.

Деформации пород в основном отмечаются вблизи контакта с отложениями, выполняющими кимберлитовую трубку. Однако они встречаются и вне экзоконтактов трубки, а также в породах урзугской свиты. Во вмещающей и перекрывающей тр. Архангельскую толщах выделяются деформации двух видов: разрывные и пликативные.

Взбросовые тектонические деформации наблюдаются в основном во вмещающих породах венда близ контакта с трубкой. Их амплитуда достигает 20–30 см. Также вблизи контактов в толще венда встречаются сбросовые нарушения с амплитудой до 0,5 м. Угол падения сместителя сбросовых и взбросовых нарушений изменяется в пределах 60° - 70°. Деформации подобного типа отмечены в урзугской толще. Для всех взбросо-сбросовых деформаций в венде характерно расположение в основном близ дайковидной апофизы. Плоскости сместителя освещены, по ним развиты различные новообразования, что указывает на открытый характер первоначальных трещин.

Сдвиговые деформации были зафиксированы в трех точках расположенных в «носике». При этом они отмечены непосредственно на контакте, в зоне эндоконтакта и фиолетово-коричневых туфах. Во вмещающих вендских породах подобные нарушения не зафиксированы. Можно предположить, что впервые в результате прямых визуальных наблюдений в ААП, было зафиксировано разрывное нарушения типа левостороннего сдвига. А характер направленности смещения, расположение точек, пород в которых оно было отмечено позволяет допустить, что дайковидная апофиза была сдвинута в юго-восточном направлении на первые метры.

Зоны трещиноватости одного простирания и падения достаточно распространены и встречаются как в экзоконтакте, так и на определенном удалении в венде. В экзоконтакте диатремы зоны крутопадающих трещин охватывают 5–10 м, а чаще всего первые метры. Углы падения колеблются от 70 до 90 градусов. При этом чаще встречаются системы трещин, хотя присутствуют и одиночные. В

толще урзугской свиты также присутствуют нарушения данного типа. Так, в восточной части карьера отчетливо наблюдались поздние тектонические нарушения в виде серии сближенных вертикальных трещин. Эти тектонические нарушения указывают на проявление молодых (послекарбонных) тектонических подвижек. Встречаются и сопряженные системы тектонических трещин угол между которыми близок к 90° . Большинство трещин минерализованные, с осветлением по плоскости разрыва, хотя встречаются и сухие. Также отмечены зоны трещиноватости, где сочетаются послойные и субвертикальные трещины.

Часть трещин в породах венда, образовалась до кимберлитового этапа. Это подтверждено присутствием в кратерной толще ксенолитов венда с тектоническими нарушениями. Другая же часть образовывалась в синкимберлитовый этап, на что косвенно указывает их характерная приуроченность к контактам трубки. Зоны трещиноватости в падунской свите не корреспондируются с аналогичными структурами в урзугской свите, хотя общая субмеридиональная направленность и сохраняется.

Малоамплитудные флексуры в карьере встречаются в десятках метров от контакта. Складки представлены симметричными и асимметричными малоамплитудными антиклинальными складками с амплитудами в метры. Их ширина составляет десятки метров. Складка шириной более 100м отмечена лишь в западной части карьера. Складки в венде, видимо, имеют приразломное происхождение, так как они асимметричны, их оси продолжают разломы, прослеженные в венде по хрупким деформациям, они пространственно близки к тектоническим зонам трещин в южной части околотрубочного пространства. Абсолютное большинство тектонических нарушений выявлено в ближайшем экзоконтакте трубки и это ограничивает их значение как поисковых признаков кимберлитов.

Макроскопически минеральные новообразования, распространенные в породах венда в экзоконтакте кимберлитовой трубки, выражены объемным (по массе породы) и трещинным осветлением красноцветных отложений. Осветление (наложение светло-серой с зеленоватым оттенком окраски) охватывает милониты тектонического контакта, а также породы эндо- и экзоконтакта трубки. Послойное объемное осветление по пластам проницаемых песчаников распространяется не более чем на 5 м от контакта трубки. Осветленные трещины выглядят прожилковидными глинистыми агрегатами желтовато-светло-зеленого и серовато-зеленого цвета. Крутопадающие и послойные осветленные трещины распространены вдоль тектонических контактов и в ближайшем экзоконтакте кимберлитов. Осветленные трещины наблюдались в кимберлитовых туфах в 1 м от милонитового шва и были субпараллельны ему. Мелкие субвертикальные осветленные трещины отмечаются в породах венда и на более значительном (100-150 м) расстоянии от края трубки. Субвертикальные осветленные трещины могут использоваться в качестве локального признака околотрубочного пространства при оценке перспективности отдельных участков.

Обобщение аналитических данных по результатам рентгеноспектрального (рентгенофлюоресцентного) анализа позволило наметить следующие закономерности: 1. Осветленные песчаники вблизи контакта по сравнению с их неизменными красноцветными разностями на удалении от контакта относительно ус-

тойчиво обогащены: Cr, Co, Ni, V, Zn, Cu, Sr, P. В одном из профилей выявлена концентрация этих элементов в крупной вертикальной трещине с позеленением пород, отстоящей от контакта трубки на 20 м; 2. Туфопесчаники отличаются от вмещающих терригенных пород венда более высоким содержанием MgO, FeO, TiO₂, P₂O₅, а также Sr, Cr, Co, Ni, V, Zn, Cu; 3. Процесс оглеения алевроаргиллитов венда (послойного осветления и позеленения) характеризуется глубоким выносом из пород оксида железа (гематитового пигмента) с незначительным выносом также MnO, Sr и Ba. Преимущественному осветлению подвержены слойки с повышенной алевритистостью (65-79% SiO₂) по сравнению с аргиллитами (58-67% SiO₂); 4. Полученные данные практически исключают возможность применения геохимических методов поисков кимберлитов в АПП из-за небольшой мощности зон аномалий в околотрубочном пространстве, однако позволяют уверенно отделять трубочную часть от вмещающих пород.

Картографический анализ геоинформационной базы данных, составленной по данным наблюдений в карьере, в пакете программ ArcGis 9.2 позволил выявить определенные пространственные закономерности размещения структурно-тектонических деформаций (рис. 11).

Милониты картируются на контактах туфогенно-осадочных и вмещающих пород и в внутри самой трубки. Установленные по ним разрывные нарушения вытянуты в одном северо-западном направлении. Тектонические трещины в условиях вязкой среды песчано-глинистой толщи венда являются достаточно хорошим маркерам тектонических деформаций. Выделяются разрывные нарушения, северо-западного и северо-восточного простирания. Субвертикальные тектонические контакты встречаются практически по всему периметру трубки. Выделяемые по ним разрывные нарушения тоже имеют северо-западное и северо-восточное простирание, можно выделить одну зону субширотной ориентировки. В осевых плоскостях складок отмечаются тектонические трещины. Картируется зона подобных нарушений вытянутая в северо-восточном направлении согласно апофизе и поперечная юго-восточная. Прожилковое оглеение представляет собой минеральные новообразования, развитые по мелким трещинам в венде. Зоны нарушений выделяемые по ним ортогональны друг другу. Прожилковое осветление наблюдается и в нижней пачке кратерных туфогенно-осадочных отложений. По ним картируются разрывные нарушения в основном субмеридионального простирания. Зоны тектонических деформаций, прослеженные по прожилковому осветлению в породах падунской свиты, большей частью коррелируется с прожилковым осветлением в туфогенно-осадочных отложениях, что указывает на синхронность их формирования. Системы неминерализованных и минерализованных (кварц, кальцит) трещин откартированы в автолитовых кимберлитовых брекчиях на глубоких горизонтах в разведочных горных выработках трубки Архангельская **В** процессе ранее проведения разведочных работ. Происхождение большинства трещин тектоническое, но может быть и контракционным.

Таким образом, по данным картирования в карьере прослеживаются разломные зоны северо-западного и юго-восточного простирания, ограничивающие тело кимберлитов и «носик» с запада, а также отделяющие апофизу от основной части трубки. Разрывные нарушения, установленные в карьере по простиранию,

совпадают с разломами, предполагаемыми по линейным перегибам кровли па-
дунской и мезенской свит.

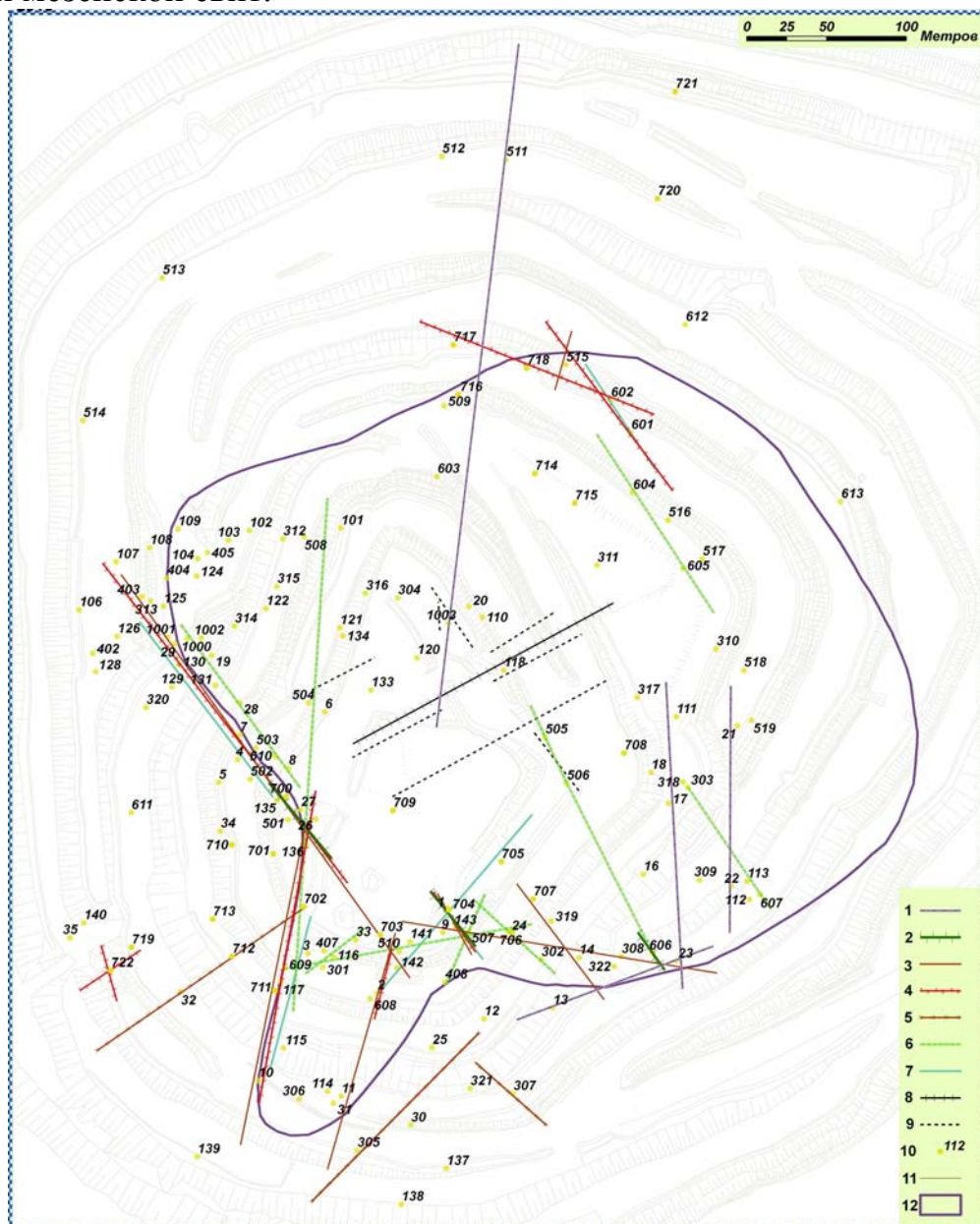


Рис. 11. Структурно-геологическая схема тр. Архангельская: 1 - Разрывные нарушения, установленные по тектоническим трещинам в урзугской свите; 2 - Разрывные нарушения, установленные по зонам милонитизации в падунской свите; 3 - Разрывные нарушения, установленные по субвертикальным тектоническим контактам кимберлитовой трубки; 4 - Разрывные нарушения, установленные по тектоническим трещинам и системам тектонических трещин в падунской свите; 5 - Разрывные нарушения, установленные по осям антиклинальных складок и флексур в падунской свите; 6 - Разрывные нарушения, установленные по прожилковому осветлению в туфоогенно-осадочных отложениях; 7 - Разрывные нарушения, установленные по прожилковому оглеению в породах падунской свиты; 8 - Разрывное нарушение в АКБ, установленное в результате интерпретации данных по подземным горным выработкам; 9 - Разрывные нарушения в АКБ, предполагаемые по тектоническим трещинам в результате интерпретации данных по подземным горным выработкам; 10 - Точки наблюдения и их номера; 11 - Маркшейдерский план карьера на июль 2009г; 12 - Контуры трубки Архангельская

В истории формирования тр. Архангельская можно выделить ряд этапов и стадий. 1 этап – докимберлитовый. В это время в кристаллическом фундаменте

закладывались рудоконтролирующие разломы, прорывающие вендско-кембрийский осадочный чехол. На 2 этапе происходит быстрое формирование кимберлитового очага и собственно трубки взрыва. В нем можно выделить три стадии. 1 стадия. Высокогазированная кимберлитовая магма со «скоростью курьерского поезда» достигла водоносных горизонтов осадочного венд-нижнепалеозойского чехла. В этот момент, согласно представлениям [Махоткин и др, 2007] произошел фреатический взрыв с практически полным выносом вулканокластического материала и образовался флюидоразрывной канал – диатрема и кратер. Затем происходили и другие взрывы, кратер заполнялся красноцветным глинисто-песчаным материалом с обломками вмещающих пород венда и кимберлитов. В эксплозивную стадию формирования трубки происходило полное заполнение верхней части кратера глинисто-песчаным красноцветным материалом, содержащим глыбы полулитифицированных глинистых пород с оплывинной гофрировкой тонкой горизонтальной слоистости. После взрывов, очевидно, происходили просадки пород, следы которых наблюдались в западной части кратера. Во время второй стадии в диатрему и кратер внедрялись продуктивные фиолетово-коричневые туфы (туффизиты). Они в виде субвулканических интрузий и силлов внедрялись в толщу кратерных песчаников, а также выполнили дайковидное южное окончание трубки. После формирования фиолетово-коричневых туфов происходили тектонические подвижки, приведшие к образованию трещин и тектоническим осложнениям многих контактов трубки. В заключительную стадию образования трубки ее диатрема и подводный канал заполнились субвулканическими автолитовыми кимберлитовыми брекчиями.

В посткимберлитовый этап после формирования трубки произошла незначительная эрозия, которая, судя по перепадам мощностей отложений урзугской свиты в районе Золотицкого поля, не превышала 50 м. Затем начала формироваться палеодолина и начался процесс её заполнения дельтовыми и мелководно-морскими отложениями урзугской свиты среднего карбона. В начале осадконакопления небольшие впадины заполнялись озерными и пролювиальными гравелитами, алевролитами и песчаниками. Позже в условиях мелкого моря в сублиторали накапливались доломитистые песчаники, которые являются местным маркером. Тектонические деформации нарушающие песчаники и доломиты урзугской свиты надо связать с триасовым этапом тектонической активизации. Об этом свидетельствуют вулканические покровы данного возраста на Тиманском кряже. Однако наличие переуглубленных четвертичных долин, наличие спрямленных русел рек (р. Падун и др.) могут указывать и на неоген-четвертичный этап тектонической активизации. При этом они унаследовали структуры среднепалеозойского этапа.

Глава 4

В данной главе приведено обоснование третьего защищаемого положения диссертации: *«Изучение состава, строения и тектонических нарушений кимберлитовмещающей толщи позволяет проследить в падунской свите ряд ритмопачек и выделить структуры перспективные для обнаружения коренных месторождений алмазов».*

На территории Зимнего Берега корреляция разрезов кимберлитовмещающей толщи существенно осложнена отсутствием протяженных маркирующих горизонтов и естественных обнажений. Вендские породы в их верхней кромке на уровне массового поискового бурения представлены палеонтологически немymi, монотонно чередующимися красноцветными терригенными отложениями, которые относятся к золотицкой подсвете падунской свиты верхнего венда. В основе подхода всех исследователей к расчленению золотицких отложений лежит ритмостратиграфический анализ разреза терригенных отложений с использованием данных геофизического исследования скважин (ГИС). Но общность методического подхода не означает получение одинаковых результатов в конкретных разрезах и картах стратоизогипс анализируемых поверхностей, на которых отражаются локальные структуры, проявленные в вендских отложениях. Так же приходится придерживаться общих принципов методики документации и расчленения немых терригенных отложений [Игнатов, 2005] и основываться на личной документации кернa совместно со своими более опытными коллегами большинства скважин, пробуренных «АЛРОСА-Поморье» на Кепинской, Верхнекепинской, Оттугской и Товской-2 площадях. Важным подспорьем служат наблюдения, сделанные в карьере трубки Архангельская. В платформенных толщах морфоструктурный анализ поверхностей напластования и разделяющих их мощностей позволяет выявлять разного ранга пликативные и дизъюнктивные структуры. Которые, как правило, весьма малоамплитудны (метры – первые десятки метров) и не имеют отчетливого выражения в геофизических полях.

В процессе работ на Зимнем берегу был изучен стратиграфический интервал верхней части разреза верхнего венда Золотицкой, Товской и Кепинской поисковых площадей. Разрез венда сложен ритмично переслаивающимися тонкозернистыми терригенными красноцветными породами - глинами, аргиллитами, алевролитами и песчаниками. Отдельные типы пород слагают ассоциации литогенетических типов, которые выделил Д.В.Гражданкин для толщ венда [Гражданкин, 2004]. В рассматриваемом интервале разреза вслед за этим автором с некоторой редакцией можно выделить следующие литогентипы: 1) тонкослоистые глины и аргиллиты; 2) тонкое (дециметры и сантиметры) переслаивание алевролитов и глин; 3) мелкозернистые песчаники с тонкой горизонтальной слоистостью; 4) мелкозернистые песчаники с косоволнистой слоистостью; 5) мелко-среднезернистые песчаники со средней и грубой горизонтальной слоистостью; 6) косослоистые песчаники заполнения каналов и русел. В различных породах встречаются текстуры биоглифов, которые часто подчеркиваются пятнами осветления. К биогенным или конкреционно-микробиальным следует относить ряд оригинальных образований небольшого размера и различной формы, встречающихся в песчаниках, алевролитах и песках золотицкой подсветы. Они сложены крепкими породами с поровым доломитовым, реже кальцитовым цементом. Отмеченные образования встречены практически на всех поисковых площадях, т.е. на обширной территории в сотни кв. км. Они распространены примерно в одном стратиграфическом интервале золотицкой подсветы верхнего венда. Петрохимические модули (гидролизатный, алюмокремневый, фемический и титановый) рассчитанные по пробам аргиллитов из скв. 1МЗ, вскрывшей падунскую и час-

точно мезенскую свиты, указывают на более гумидные климатические условия, существовавшие во время накопления падуновской свиты по сравнению с условиями формирования мельской подсвиты мезенской свиты [Васильев и др., 2010].

Опорной поверхностью при расчленении золотицкой подсвиты является ее граница с подстилающей мельской подсвитой мезенской свиты верхнего венда. Мельские отложения представлены чередованием красноцветных песчаников и аргиллитов, которые в гамма-каротаже отражаются в целом повышенным радиоактивным фоном по сравнению с золотицкими отложениями, среди которых преобладают низкорadioактивные песчаники. Кровля мельской подсвиты погружается в восточном направлении в сторону Мезенской синеклизы с градиентом около 6 м на 1 км. Перекрывающие каменноугольные породы погружаются в том же направлении, но с градиентом около 3 м на 1 км. В результате с запада на восток происходит наращивание разреза верхневендских золотицких отложений. Разрезы золотицкой подсвиты дифференцированы за счет чередования песчаных и глинистых слоев, что находит четкое отражение на кривых гамма-каротажа. Различия в радиоактивности связаны, главным образом, с более высоким содержанием калия в глинах (2,4-4,6% K_2O) по сравнению с песчаниками (0,2% K_2O) и алевропесчаниками (0,6-1,7% K_2O) [Игнатов, Болонин, 2006].

По документации керн и кривых ГК отчетливо выражено ритмическое строение золотицкой толщи. Прежде всего, выявляются элементарные седиментационные ритмы, обусловленные однократным чередованием пласта или серии сближенных слоев песчаников (нижний элемент ритма) и пласта, в котором преобладают глинистые породы (верхний элемент ритма). Мощность таких элементарных ритмов варьирует от 2 до 10 м. На кривых гамма- и иногда электро- и магнитного каротажа элементарные ритмы нередко имеют характерное выражение, узнаваемое в соседних скважинах.

В качестве локальных маркеров, прослеживающихся между смежными скважинами на расстоянии в сотни метров (редко до 1-2 км), могут служить также относительно мощные пласты глинистых пород с определенным генетическим типом слоистых текстур, пачки пород с одинаковой цветовой тональностью, горизонты с литокластами и признаками взмучивания мелководноморских отложений. Эти признаки достаточно уверенно выделяются и в карьере тр. Архангельская. При корреляции разрезов венда также принималось во внимание присутствие оригинальных конкреций. Важное значение локальных маркеров состоит в возможности выявления на детальном участке малоамплитудных вертикальных перепадов в залегании вендских пластов.

В полных разрезах золотицкой толщи в чередовании элементарных ритмов периодически проявлены такие их сопряжения, в которых глинистая пачка увеличенной мощности вверх по разрезу сменяется песчаниками повышенной мощности. На кривой ГК они смотрятся резким переходом широкой полосы повышенной радиоактивности в низкорadioактивный фон. Такие контрастные сопряжения ритмов в разрезе золотицкой толщи встречаются на разных уровнях, но чаще всего повторяются примерно каждые 40-65 м, считая от кровли мельской подсвиты. Используя этот гипсометрический критерий, по серии глубоких скважин из разных мест Зимнебережного района произведено расчленение золотицкой

подсветы на ритмопачки, которым, начиная снизу от кровли мельской подсветы, даны условные обозначения: V1, V2, V3, V4, V5, V6 [Игнатов и др., 2009]. Требуется соблюдение параллельности коррелируемых поверхностей, постоянства или постепенного изменения мощности разделяющих их пачек и ритмов. Необходимость такого требования показывает изучение вендских отложений в карьере трубки Архангельская. Там наблюдается практически параллельное залегание слоев и пачек выдержанной мощности, которые протягиваются на сотни метров.

Произведено предварительное картирование ритмопачек V5, V4 и V3. При построении карты учтены скважины, пробуренные вплоть до середины 2009 года. Выделение ритмопачек V4 и V3 во многом основано на гипсометрическом критерии: подошва V4 отстоит на 50 ± 5 м от подошвы V5, подошва V3 примерно с тем же интервалом отстоит от подошвы V4. На карте вендских поверхностей на фоне моноклинали, обнаруживаются мелкие осложнения, отвечающие локальным структурам, выявляемым на участках сгущения скважин. Доминируют небольшие валообразные поднятия с относительным превышением над окружающим фоном до 5 м. К таким структурам обнаруживают приуроченность трубки Архангельская, Рождественская, 478, Горелая, 746б, К-8. На карте стратозипс в условиях нерегулярной сети в форме валообразных структур могут проявить себя ступенчатые перепады слоев вдоль разломных и флексурных нарушений. К локальному поднятию амплитудой до 12 м, выраженному в кровле V4, приурочена тр. Архангельская, что подтверждено наблюдениями в карьере.

В результате прямых геологических наблюдений в карьере трубки Архангельская впервые был составлен полный разрез кимберлитовмещающих пород прикровельной части падунской свиты верхнего венда. При этом здесь выделяются прогрессивные ритмопачки V3, V4. Сопоставление разрезов, вскрывших венд вблизи кимберлитовых трубок, показывает, что фамен-турнейский эрозионный срез вендской толщи, который произошел до накопления визейской перекрывающей толщи урзугской свиты, достигал около 50 м.

Само по себе расчленение и картирование пачек верхнего венда и обнаруживаемые при этом локальные пликативные структуры осадочного чехла не дают определенной картины связи с кимберлитовыми телами. Поэтому важен совместный анализ внутренних поверхностей венда с поверхностями перекрывающих отложений, которые в большинстве случаев в разрезах скважин определяются более однозначно, что более уверенно позволяет выявлять градиентные зоны, которые могут быть следствием разломов, флексур или перегибов брахискладок, а также судить о возрасте этих структур.

Между отдельными скважинами могут быть выявлены вертикальные перепады в положении стратиграфических уровней. Из опыта следует, что амплитуда таких перепадов в районе колеблется от 1-2 до 15 м. Линейные ограничения однородных моноклиналильных площадок кровли венда (блоков) с амплитудами более 5 м приняты в качестве наиболее обоснованных крутопадающих разломов. Такого типа нарушения наблюдались в виде крутопадающих зон тектонической трещиноватости и микросмещений в стенках карьера тр. Архангельская и в виде отдельных трещин, микровзбросов и микросбросов в керне поисковых скважин.

Линеаментный анализ кровли вендской толщи вблизи тр. Белая - показывает наличие структурных линий, разделяющих блоки в виде градиентных выступов, нарушающих ее пологое моноклиальное падение на восток-юго-восток. Такие осложнения не могут быть обусловлены древней эрозией, поскольку находятся на склоне палеодолины и разделяют поднятые участки, расположенные в крест падения поверхности. В пределах рассматриваемой площади эти нарушения протяженностью от нескольких сотен метров до первых километров укладываются в систему субмеридиональных и субширотных зон, совпадающих с разломами выделенными в фундаменте по геофизическим данным. Отмеченная связь нарушений с кимберлитами позволила создать предположительную тектоно-динамическую модель кимберлитового куста тр. Белая. В ее основу положены представления о рудоконтролирующем значении сдвигов [Гладков, 2006, Игнатов и др., 2008, Мишин и др., 2007]. Представляется, что в данном случае можно говорить о модели pull-apart zone правого сдвига. При этом наиболее протяженное нарушение представляется магистральным разломом, север-северо-восточные линеаменты следует считать трещинами отрыва, которые контролируют позицию дайковидных кимберлитов. Данная модель представляется малоили безамплитудной по горизонтальной составляющей, поскольку в осадочном чехле по данным бурения практически невозможно найти факты, по которым ее можно установить. Принципиальное значение сдвиговой модели заключается в появлении локальных ослабленных зон для поступления флюидизированных кимберлитовых магм, которые формировались в условиях регионального сжатия земной коры.

С этих позиций представляют интерес признаки тектонических нарушений, установленные в околотрубном пространстве участка тр. Белая при специальной документации керна параметрических скважин Б-13, Б-14 и Б-15.

Таблица 2. Число интервалов проявления тектонических нарушений в венде по скв. Б-13, Б-14 и Б-15

<i>Признаки</i>	<i>Б-13</i>	<i>Б-15</i>	<i>Б-14</i>
Тектонические брекчии	1	12	1
Микровзбросы и их системы	1	1	-
Микросбросы и их системы	5	1	-
Зеркала скольжения	1	-	-
Тектонические трещины	8	11	13
Углы встречи горизонтальных слоев к оси керна более 65 ⁰	-	3	-

Важно подчеркнуть положение этих разрезов. Б-13 практически находится в оси наиболее протяженного нарушения. Б-14 расположена в ближайшем экзоконтакте с кимберлитом тр. Белая и в оси одного из коротких (оперяющих) разломов, Б-15 - в зоне влияния этого нарушения. Разрез из магистрального разлома (Б-13) отличается заметно увеличенным количеством признаков микросмещений слоев. Разрез из зоны влияния оперяющего отрыва (Б-15) отличается наибольшим числом тектонических брекчий и присутствием наклонно залегающих слоев. Разрез из ближайшего экзоконтакта с кимберлитами и осевой зоны трещин отрыва (Б-14) отличается максимальным числом тектонических трещин. Отмеченные признаки устанавливаются при максимальном выходе керна, что имело

место в представленных скважинах. Они могут быть выявлены при специальной документации, которая предусматривает комплексный анализ керна. Иллюстрациями к признакам нарушений могут служить фото микросбросов и микровзбросов штуфов из скв. Б-13 и Б-15 (рис. 12). Тектонические трещины отчетливо выражены в литифицированных породах (рис. 13).

Тектонические нарушения, выделенные в околотрубочном пространстве тр. Белая по результатам изучения керна, наблюдалось и в стенках карьера тр. Архангельской. Резкие отклонения от субгоризонтального залегания слоев венда глинисто-алевролитового состава, установленные при документации керна, очевидно, связаны со складчатыми тектоническими деформациями. Они в виде мелких антиклиналей и флексур наблюдались в карьере. Вероятно, кимберлиты локализованы в скрытых оперяющих зонах нарушений мелкого порядка.



Рис. 12. Микросбросо-взброс с амплитудой 1 см в осветленных аргиллитах венда. Штуф из скв. Б-15 глубина 80 м.



Рис. 13. Две системы крутопадающих трещин тектонического кливажа в красноцветных алевроаргиллитах лессовидного облика. Штуф из скв. Б13, глубина 211 м.

По сравнению с тектоническими минералого-геохимические признаки выражены относительно локально. Сравнительные данные по новообразованиям в породах венда по трем отмеченным выше параметрическим скважинам суммированы в таблице 3. Полученные результаты, с учетом данных по тр. Архангельская, показывают весьма локальные размеры от первых метров до 100 м минералого-геохимических ореолов, сопровождающих кимберлитовые тела. Их выявление возможно лишь при специальном опробовании секущих прожилков с ос-

ветлением в красноцветных породах венда с последующей дифрактометрией для определения минералогических ареалов сапонита (монтмориллонита).

Таблица 3. Число интервалов проявления новообразований и прочность венда по скв. Б-13, Б-14 и Б-15

Признаки	Б-13	Б-15	Б-14
Плотность песчаников	Рыхло-связанные	Чередование рыхлосвязанных и рыхлых разностей	Рыхлосвязанные и прочные
Трещинное осветление	1	-	1
Кальцитовые прожилки	7	1	1
Гематит-гетитовые прожилки	-	-	1
Гетитизация	3	1	17
Кольца Лизеганга	2	2	-

На основе ритмостратиграфического метода с использованием данных ГИС произведено расчленение, и корреляция кимберлитовмещающих отложенных падунской свиты по скважинам поискового бурения на территории Кепинской, Верхнекепинской и Товской-2 площадей. Из составленной карты распространения и стратоизогипс подошв ритмопачек V3, V4, V5, видно, что часть кимберлитовых трубок обнаруживает тяготение к локальным валлообразным структурам, внутри золотицкой подсвиты.

Глава 5

Наиболее актуальной задачей в Архангельской алмазоносной провинции является разработка эффективных методов обнаружения кимберлитов. Основой современной методики прогноза кимберлитовых тел может, является только комплексный подход, включающий шлихоминералогические, геофизические материалы, изучение керн скважин, каротажных диаграмм, литолого-стратиграфический и структурно-морфологический анализ палеоперехностей.

Главным образом предлагаемый локальный прогноз основан на структурно-морфологическом анализе поверхности кровли венда, захороненной под чехлом каменноугольных отложений. При этом рассматриваются фондовые данные и результаты бурения «АЛРОСА-Поморье», включая 2009 год. Также анализируется поверхность кровли мельской подсвиты венда, подошва олмутской свиты карбона, четвертичной толщи и современный рельеф. Большая часть фактического материала получена при документации керн с учетом каротажных диаграмм и последующего корреляционного анализа. По фундаменту учитываются результаты структурной интерпретации гравитационного и магнитного полей, выполненные Б.А.Калмыковым, В.А.Ларченко, Н.А.Прусаковой и др.

Интересен анализ впервые построенной карты изопакит базальной пачки каменноугольных континентальных терригенных отложений (стратиграфического аналога шочинской свиты), которая является первым коллектором минералов-спутников алмазов и самих кристаллов (рис.14). Она позволяет выделить региональные и локальные палеовозвышенности, служившие областями сноса МСА. Важно отметить, что для верификации структурных и стратиграфических по-

строений учитываются результаты исследования стенок карьера тр. Архангельская.

Структурная интерпретации ряда поверхностей, выполнена по двум разным методикам. Первый подход заключается в выделении максимального количества блоковых ограничений по поверхности венда и подошве олмутской свиты. Выделение наибольшего количества блоков поверхности венда проводится с учетом поверхности подошвы среднекаменноугольной пачки олмутско-окуневских известняков, подошвы четвертичных отложений, рельефа и магнитометрии. Все построения делаются на основе детальной корреляции горизонтов, при которой, прежде всего, анализируется гамма-каротаж. При этом учитывается, что граничные резкие перегибы стратоизогипс кровли венда могут отражать не только тектонические нарушения, но и палеоэрозионные осложнения или оси флексур и других складок. При другом подходе также за основу анализа взята поверхность кровли венда, где выделяются валообразные структуры и предположительные разломы по более протяженным и контрастным перегибам с амплитудами более 5 м. Совместно анализируется поверхность кровли мелеской подсвиты венда. Большая часть выделенных валообразных структур отражается и во внутривендской поверхности, что служит доказательством их тектонического происхождения. Практическими результатами каждого из построений явились локальные участки в виде узлов пересечения нарушений, благоприятные для внедрения магм. Выделяемые в результате структурных построений, разломные нарушения в осадочном вендском чехле анализируются совместно с разломами фундамента.

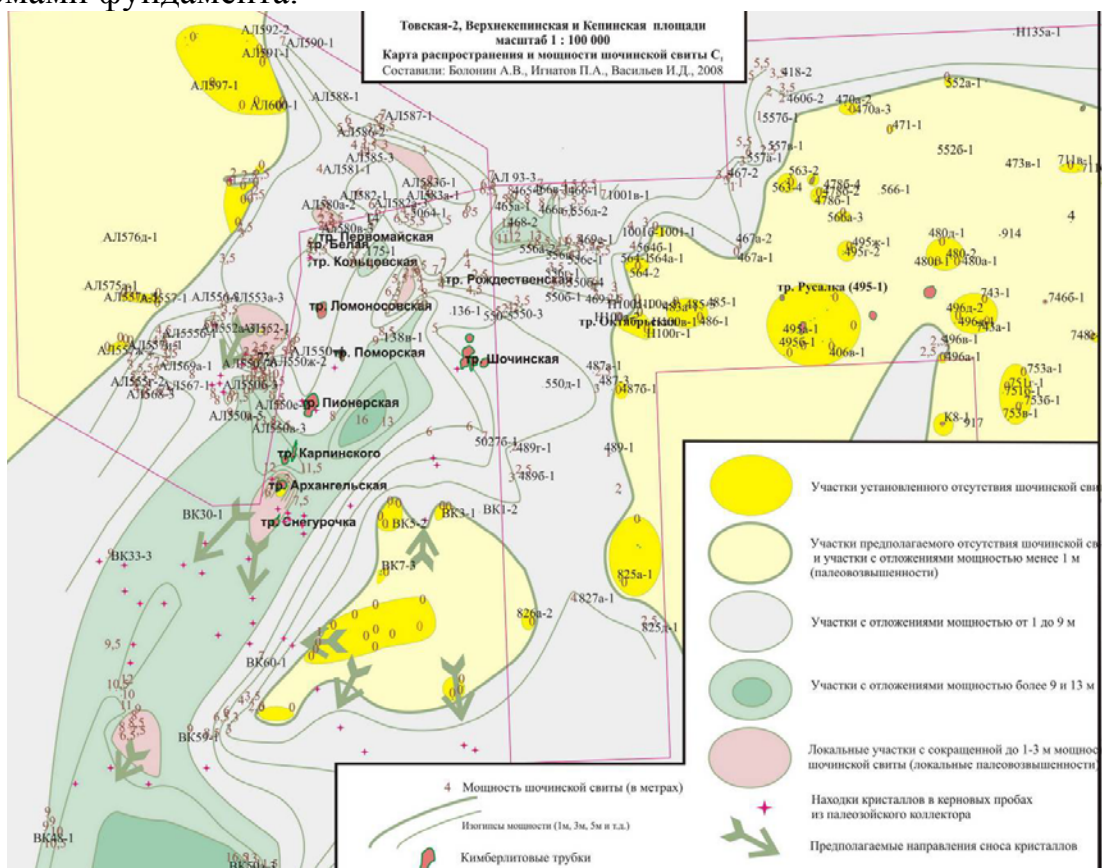


Рис. 14. Палеогеографическая карта времени накопления базальной пачки каменноугольной толщи (шочинская свита) Товской-2 и прилегающих площадей.

Систематическое выделение шочинской свиты в разрезах скважин «АЛ-РОСА-Поморье» позволило откартировать ее распространение на изученной площади.

Мощность свиты колеблется в диапазоне 0 – 16 м. Карта изопахит может служить по существу палеогеографической основой. В центре площади шочинская свита трассирует широкую палеодолину. Ее контуры совпадают с таковой, откартированной по суммарной мощности шочинско-урзугской толщи [Третьченко и др., 2008; Игнатов и др., 2008]. Внутри рассматриваемой палеодолины шочинского времени выделены локальные поднятия (палеохолмы). В них мощность шочинской свиты сокращена до 1–3 м, а в одном из них и до нуля (скв. АЛ550р-1 и АЛ550р-2). Внутридолинные палеоподнятия пространственно совмещены с показанными выше валообразными структурами.

Практически все находки кристаллов алмазов из керновых проб располагаются внутри палеодолины. Помимо находок в непосредственной близости от известных кимберлитовых трубок с расстоянием до 1 км, наблюдается протяженный шлейф находок вдоль шочинской палеодолины к югу от тр. Снегурочка. Очевидна связь ореола алмазов с известными трубками Золотицкого куста. С южных флангов древних поднятий алмазы могли поступать из еще неизвестных коренных источников, расположенных внутри этих поднятий. Теоретически источником алмазов мог быть и некий более древний промежуточный коллектор дошочинского времени. Однако, его наличие весьма мало вероятно.

Как показано выше, результаты изучения минералого-геохимических особенностей приконтактных изменений и новообразований в карьере тр. Архангельская с использованием различных методов (рентгенофлюоресцентного, масс-спектрометрического, радиоизотопного, рентгенрадиометрического и др.) показывают локальный характер их распространения (первые десятки метров), что резко ограничивает использование этих признаков при поисках.

Поисковое значение имеет вся совокупность тектонических нарушений пород венда, отмеченная за пределами экзоконтакта трубки. Прежде всего, это зоны крутопадающих трещин и складок. При этом каждый признак имеет свой ранг. Наибольший практический интерес на поисковых площадях представляет выявление пликативных и разрывных деформаций по результатам изучения керн-скважин и структурным построениям.

Как показано выше, пликативные деформации, отмеченные в падунской свите в карьере тр. Архангельская, представлены антиклинальными складками и флексурами, которые, очевидно, имеют приразломное происхождение. На это указывает их морфология, наличие в осях систем тектонических трещин и позиция на продолжении зон тектонической трещиноватости. Складки представляются линейными, соответственно длина их осей как минимум в три раза больше ширины. Протяженность осей складок выделенных в карьере тр. Архангельская составляет более 150 м.

С валообразным поднятием в кровле венда, отраженным в кровле мезенской свиты, внутри падунской свиты, связана тр. Архангельская. Наверное, такие валы представляют собой генерализованную модель сближенных антиклинальных складок различной ширины. В керне пликативные деформации могут

находить отражение в виде нарушений горизонтального залегания слоев с горизонтальной слоистостью. Структурные построения по ряду сближенных скважин с подобными и иными признаками позволяют подтвердить наличие валов.

Разрывные тектонические деформации со смещением, представленные в карьере тр. Архангельская малоамплитудными взбросами, сбросами, сдвигами отмечаются лишь в зоне экзоконтакта на удалении в первые десятки метров. Микровзбросы и микросбросы, установленные вблизи тр. Белая, отмечены на удалении до 150 м. Разрывные нарушения фундамента отражаются в осадочном чехле зачастую в виде зон тектонических трещин и являются унаследованными [Кутинов, Чистова 2004]. Ширина данных разрывных нарушений в падунской свите в карьере тр. Архангельская может достигать 10 метров при протяженности более 350 метров. Максимальное расстояние, на котором трещины отмечаются от контакта с трубкой, равно 300 м. По ним картируются зоны разломов субмеридионального простирания. В урузгской свите по тектоническим трещинам выделяется зона разломов субмеридионального простирания. Тектонические трещины встречаются в вендских породах и в керне поисковых скважин. Также как и в карьере с тр. Архангельской, выделяются сухие и осветленные трещины.

Наличие тектонической трещиноватости в совокупности с установлением нарушений залегания местных маркеров в падунской свите позволяет выделять в конкретных разрезах разломно-блоковые структуры и в некоторых случаях определять их возраст.

Кимберлитовые тела, вероятно, локализируются не в зонах протяженных разрывов, а в мелких скрытых разломах [Зуев и др., 1998]. Для выявления зон трещиноватости осадочного чехла необходимо тщательно анализировать разломы, выделяемые в фундаменте. Анализ поверхностей венда, ритмостратиграфический анализ позволяет выявлять пликативные структуры, с которыми могут быть связаны кимберлитовые тела.

На основе изучения керна сотен поисковых скважин, каротажных диаграмм, структурно-морфологического анализа внутривендской поверхности мезенской подсвиты, структурно-стратиграфического докаменноугольного несогласия, изопакит базального горизонта карбона и геофизических материалов обоснованы следующие критерии и признаки выделения локальных участков, благоприятных для обнаружения кимберлитов [Игнатов и др., 2009]:

1. Валообразные осложнения кровли венда, имеющие отражение в поверхности кровли мельской подсвиты. Достоверность их выделения во многом определяется буровой изученностью, корректными определениями стратиграфических границ и надежной корреляцией разрезов. Многие, но далеко не все известные кимберлитовые тела Зимнебережного района локализованы в таких структурах.

2. Предполагаемые разломные ограничения блоков и узлы их пересечения, установленные по резким перегибам кровли венда и поверхности мельской подсвиты и совпадающие с разломами в фундаменте, выделенными по геофизическим данным. Нарушения, установленные по кровле венда более достоверны из-за более плотной сети наблюдений, однако они могут иметь древнее эрозионное нетектоническое происхождение.

3. Внутренние холмообразные поднятия, осложняющие крупную палеодолину времени накопления шочинской свиты. Палеоподнятия являются конседиментационными, поскольку совпадают с указанными выше валлообразными структурами.

4. Находки алмазов в каменноугольном коллекторе. Наиболее интересны находки алмазов, имеющиеся на южных склонах палеохолмов, расположенных южнее широты тр. Ломоносовская.

5. Тектонические трещины и микронарушения слоистости в породах венда и карбона, выявленные при изучении керн поисковых скважин и маркирующие структурные осложнения. Эти признаки принимались в расчет при дополнительной оценке локальных участков.

7. Прожилковое осветление и кальцитовые прожилки в породах венда. Эти минеральные новообразования распространены чрезвычайно редко и учитывались при анализе конкретных скважин. Заметим, что они отмечены в ближайшем экзоконтакте кимберлитов.

Совокупность и пространственная совмещенность перечисленных предпосылок послужила основанием для выделения локальных участков перспективных на обнаружение кимберлитов. Все данные по выделяемым перспективным участкам переданы в филиал АК АЛРОСА «АЛРОСА-Поморье» и учтены при постановке поисковых работ.

Заключение

В настоящей работе приведены результаты исследования околотрубного пространства в карьере трубки Архангельская с использованием авторской методики. По их итогам выделены: тектонические деформации различной морфологии и генезиса, распространенные, как в зоне контакта, так и на существенном удалении; маломощные зоны приконтактных изменений; проведено расчленение и выделены локальные маркеры в падунской свите. Приведены результат изучения состава и строения рудовмещающей толщи в сопредельных к трубке площадях на основе изучения керн поисковых скважин, выделены и прослежены отдельные ритмопачки в падунской свите. Показано значение расчленения и корреляции пачек венда при структурных построениях и локальном прогнозе кимберлитовых тел.

Автор видит ряд направлений по продолжению начатых им работ. Прежде всего, это создание максимально полной базы данных по признакам околотрубного пространства, выделенным при документации керн поисковых скважин в Зимнебережном районе, и её последующий анализ. Фундамент для подобных исследований уже есть, но требует дальнейшего наращивания объем фактического материала. Интересно провести геостатистический анализ для выявления структур, к которым тяготеют кимберлитовые тела.

Список публикаций по теме диссертации

1. *Васильев И.Д., Игнатов П.А.* Опыт изучения околотрубного пространства в карьере кимберлитовой трубки Архангельской с использованием современного компьютерного оборудования и технологий.// Доклады 6-й Международную школу молодых ученых. Москва, ИПКОН РАН, 2009

2. *Васильев И.Д.*, Игнатов П.А., Основы методики изучения околотрубного пространства в карьере кимберлитовой трубки Архангельская. Молодые науки о Земле. Материалы конференции. Москва, 2010
3. *Васильев И.Д.*, Игнатов П.А., Болонин А.В., Шмонов А.М., Сопоставление разрезов и петрохимические данные по кимберлитовмещающей толще месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. Молодые науки о Земле. Материалы конференции. Москва, 2010
4. Игнатов П.А., Болонин А.В., *Васильев И.Д.*, В.Н. Ушаков. Критерии и признаки выделения локальных участков при поисках коренных алмазных месторождений на Товской-2 площади в Архангельской области. Тезисы доклада. IX международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Т.1. стр. 320. Москва, 2009.
5. Игнатов П.А., Болонин А.В., *Васильев И.Д.*, Фомин А.А., Ким В. Контакты кимберлитовой трубки Архангельская и деформации вмещающих и перекрывающих пород М.: Геология и Разведка. 2009, №5.

Список приложений

1. Особенности строения падунской свиты (золотицкой подсвиты) верхнего отдела вендской системы на примере разреза в карьере тр.Архангельская.
2. Корреляционный профиль: скв.Б15-скв.1mz-тр.Архангельская.
3. Карта стратоизогипс оснований ритмопачек V3,V4,V5 золотицкой подсвиты падунской свиты верхнего венда Зимнебережного района (Кепинская, Верхнекепинская и Товская-2 площади). Масштаб 1:100 000.
4. Корреляционный профиль: скв.А15 - тр.Архангельская - тр.А13