

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ
МГРИ-РГГРУ

Геологоразведочный факультет

Кафедра геологии месторождений полезных ископаемых

На правах рукописи

Зарипов Наиль Ринатович

**ОСВЕТЛЕНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО
АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ И НАКЫНСКОГО
АЛМАЗОНОСНОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ ПРОВИНЦИИ, ЕГО СВЯЗЬ С
КИМБЕРЛИТОКОНТРОЛИРУЮЩИМИ СТРУКТУРАМИ**

Специальность: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,
минералогия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

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

Москва – 2017

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ.....	8
1.1. Границы изученной территории	8
1.2. Минерагения	8
1.3. Стратиграфия.....	9
1.4. Тектоника	14
1.5. Магматизм	15
1.6. Проблемы поисковых работ	15
ГЛАВА 2. ОСВЕТЛЕНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД ВЕНДА ИЗУЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ.....	17
2.1. Методика сбора и обработки фактического материала.....	17
2.2. Морфология, распространенность и типы осветления.....	18
2.3. Минералого-геохимические особенности осветления	33
ГЛАВА 3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ	48
3.1. Минерагения	48
3.2. Стратиграфия.....	49
3.3. Тектоника	53
3.4. Магматизм	56
ГЛАВА 4. ОСВЕТЛЕНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД КЕМБРИЯ НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ	58
4.1. Морфологические типы осветления	58
4.2. Формирование вышеперечисленных морфологических типов осветления	63
4.3. Минеральный и химический состав.....	68
ГЛАВА 5. ПРИРОДА ПРОЖИЛКОВО-ПОСЛОЙНОГО ЭНДОГЕННОГО ОСВЕТЛЕНИЯ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО КЕМБРИЯ НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ.....	82
ГЛАВА 6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ.....	99
6.1 Пример выделения перспективного участка в Накынском поле	99
6.3. Прожилковое осветление в экзоконтактах кимберлитового тела Озерного	101
6.4. Особенности документации прожилкового осветления керна наклонных скважин	102

6.2 Пример выделения перспективного участка в Зимнебережном районе.....	105
6.5. Перспективы и дальнейшее изучение.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
ЛИТЕРАТУРА	113

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Алмазоносные кимберлиты Архангельской (ААП) и Накынского поля Якутской алмазоносных провинций (ЯАП) по условиям залегания относятся к типу перекрытых месторождений с мощностью покрывающих отложений от десятков до 100 и более метров. Кроме того, многие, включая алмазоносные, кимберлитовые тела слабо выделяются в геофизических полях, а в Накынском поле широко распространен трапповый магматизм, что обуславливает определенные трудности в применении геофизических методов. В ААП кимберлиты слабо эродированы, поэтому шлихо-минералогические методы не так эффективны как в ЯАП. Таким образом, поисковые работы на данных площадях затруднены. Для повышения эффективности поисков коренных алмазных месторождений необходимо разработать новые поисковые предпосылки и признаки кимберлитов и вмещающих их локальных структур. Их геологическая основа должна базироваться на результатах изучения керна поисковых и разведочных скважин. Одним из таких перспективных косвенных поисковых признаков является рассматриваемое в данной работе прожилковое осветление красноцветных толщ.

В предлагаемой работе представлены материалы геологического, геохимического, рентгенофазового, газогеохимического, структурно-картировочного исследований объекта изучения - вторичного осветления красноцветных пород.

Цель работы заключалась в установлении связи прожилково-послойного осветления, распространенного в красноцветных породах, с рудоконтролирующими структурами и кимберлитами.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- Специальная документация керна поисковых и разведочных скважин, а также стенок карьеров с выявлением и диагностикой морфологии и других характеристик вторичного осветления красноцветных осадочных пород в Зимнебережном районе Архангельской области и в центральной части Накынского поля Якутии. Отбор проб для аналитических работ в указанных районах.

- Определение и сравнительная характеристика химического и минерального состава прожилкового и послойного осветления, в том числе контактирующего с кимберлитами, а также неизмененных красноцветных пород венда Зимнебережного района Архангельской области и кембрия Накынского поля Якутии.

- Проведение газогеохимических исследований прожилкового и послойного осветления, в том числе контактирующего с кимберлитами, а также красноцветных пород кембрия и покрывающих сероцветных карбонатных пород ордовика по пробам, отобраным в разрезах Накынского алмазоносного поля Якутии.

- Дополнение базы данных и создание геоинформационного проекта с привязкой проявлений вторичного осветления по площади Зимнебережного района и карьере тр. Архангельская и центральной части Накынского поля.

- Анализ пространственного распространения вторичного осветления с использованием геоинформационной среды, взаимоотношений осветления с магматическими образованиями, тектоническими нарушениями, в том числе вмещающими алмазоносные кимберлиты.

Существо работы отражено в следующих защищаемых положениях:

1. В Зимнебережном районе Архангельской алмазоносной провинции выделено три метасоматических типа осветления красноцветных пород венда: диагенетическое, катагенетическое и постмагматическое эндогенное, связанное с кимберлитами.

2. В Накынском поле Якутской алмазоносной провинции в красноцветных породах верхнего кембрия установлено три метасоматических типа осветления: диагенетическое, катагенетическое элизионное и эндогенное, связанное с телами алмазоносных кимберлитов, среднепалеозойских траппов и тектоническими нарушениями.

3. Прожилково-послойное осветление красноцветных пород, установленное на контакте с магматическими телами и в тектонических нарушениях, образовалось в результате воздействия восстановительных флюидов.

Фактический материал. Фактический материал диссертации основан на документации десятков тысяч погонных метров керна поисковых, разведочных, гидрогеологических скважин, накопленных в многолетних трудах группы под руководством проф. П.А. Игнатова, а также из многочисленных наблюдений в карьерах кимберлитовых трубок двух алмазоносных провинций.

Всего были использованы результаты документации порядка 2700 скважин и порядка 350 точек наблюдений, изученных П.А. Игнатовым, Я.И. Штейном, К.Ю. Бушковым, К.В. Новиковым, А.В. Болониным, И.Д. Васильевым, А.М. Шмоновым (МГРИ-РГГРУ), Р.В. Еремеевым (ЯНИГП ЦНИГРИ) и автором.

Непосредственно автор задокументировал керна порядка 230 скважин по Накынскому полю, 60 скважин и 175 точек наблюдений в ААП. Работы с участием автора проводились на поисковых площадях и карьерах ААП и в Накынском кимберлитовом поле Якутии под руководством проф. П.А. Игнатова в рамках хоздоговорных работ с БГРЭ и НИГП АК «АЛРОСА» и ПАО «Севералмаз» в период с 2012 по 2016 гг.

Кроме того, по Накынскому полю выполнено 75 анализов газогеохимических исследований, 68 – рентгенофлюоресцентных, 18 – рентгенофазовых, 10 – методом ICP-MS, 6 – пиролизом и изучены десятки прозрачных шлифов. Для изучения осветления по Юго-

Восточному Беломорью выполнено 47 рентгенофлуоресцентных анализов, 22 – рентгенофазовых, 12 – методом ICP-MS и серия прозрачных шлифов.

Использованы фондовые и опубликованные материалы, включающие описание геологического строения, вторичной минерализации, геолого-структурных и других данных по Накынскому полю и Архангельской алмазонасной провинции.

Анализ, обработка данных и построение картографического материала проводились с использованием современных геоинформационных программных продуктов, таких как QGIS, Esri ArcGIS 10.0 и других.

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

Выделено прожилковое эндогенное осветление в околосимбиритовом пространстве и рудоконтролирующих структурах Зимнебережного района Архангельской алмазонасной провинции

Выделено прожилково-послойное эндогенное осветление, связанное со среднепалеозойскими алмазонасными кимберлитами, интрузиями и эруптивными образованиями траппов и тектоническими нарушениями в Накынском поле Якутской алмазонасной провинции.

Получены новые данные по элементному, минеральному и газогеохимическому составу прожилкового и послойного осветления.

Впервые выполнено сравнение прожилкового и субпослойного осветления и красноцветных пород методом ICP-MS, газогеохимическими, рентгенофазовыми, рентгенофлуоресцентными и пиролитическими анализами.

Обоснован различный генезис осветления, обусловленного диффузионно- и инфильтрационно-метасоматическими процессами диагенеза, катагенеза и поступления эндогенных флюидов по трещинным зонам проницания.

Практическая значимость работы заключается в следующих основных положениях.

- установлено интенсивное проявление прожилково-послойного осветления на контакте с кимберлитами, которое может быть локальным признаком кимберлитов;

- выделение прожилкового осветления в красноцветных породах служит дополнительным признаком картирования тектонических нарушений, в том числе контролирующих тела алмазонасных кимберлитов.

Апробация диссертации. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 11 Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», посвященной 150-летию академика Вернадского Владимира Ивановича (Москва, МГРИ-РГГРУ, 2013), на 12 Международной научно-практической конференции «Новые идеи в

науках о Земле», посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (Москва, МГРИ-РГГРУ, 2015), на Шестой международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Москва, ВИМС, 2015 г.), на Третьей Российской молодежной Школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, ИГЕМ РАН, 2013 г.), на Четвертой молодежной научно-практической Школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, ИГЕМ РАН, 2014 г.), на Десятой международной молодежной Школе «Проблемы освоения недр в 21 веке глазами молодых» (Москва, ИПКОН РАН, 2013), на Шестой Российской молодежной научно-практической школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, ИГЕМ РАН, 2016). Все материалы конференций опубликованы в качестве тезисов докладов.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 18 работах, в том числе в 3 статьях из перечня реферируемых журналов, рекомендованных ВАК РФ, и 15 тезисах докладов.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 126 страниц состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 64 рисунка, 13 таблиц и список литературы, включающий 152 наименования.

Благодарности. Автор выражает благодарность профессорско-преподавательскому составу МГРИ-РГГРУ и, в первую очередь, своему научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук Игнатову Петру Алексеевичу, без активного участия которого невозможно представить подготовку работы.

Неоценимую поддержку и помощь в работе оказали К.В. Новиков, А.М. Шмонов, М.С. Ходня и Р.В. Красников, за что автор им искренне благодарен.

Автор признателен руководству и сотрудникам ПАО АК «АЛРОСА» и ПАО «Севералмаз» за предоставленную возможность работать с материалами поисковых, разведочных и эксплуатационных работ, помощь и общее их обеспечение, и лично А.П. Гунину, Е.Н. Герасимову, А.Н. Гудину, В. Киму, О.К. Килижекову, О.Е. Ковальчуку, С.В. Кожевникову., Л.В. Лисковой, В.И. Поповскому, А.Н. Разумову, В.М. Фомину, А.А. Фомину, Ю.В. Щеголеву и другим.

Автор также благодарен руководству и сотрудникам ФГБУ «Гидроспецгеология» за всестороннюю поддержку при подготовке работы.

Автор благодарен С.Г. Кряжеву, Н.Н. Акинфиеву, Я.В. Бычковой, М.Ю. Гурвичу, Е.Ю. Горюнову, О.В. Владимирцевой и другим за помощь в выполнении анализов и расчетов.

ГЛАВА 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

1.1. Границы изученной территории

Изученная территория расположена в пределах Зимнебережного района Архангельской алмазонасной провинции на поисковых площадях ПАО «Севералмаз» – Верхнекепинской, Кепинской, Олмугской, Отугской, Товской и месторождения им. Ломоносова (рис. 1.1).

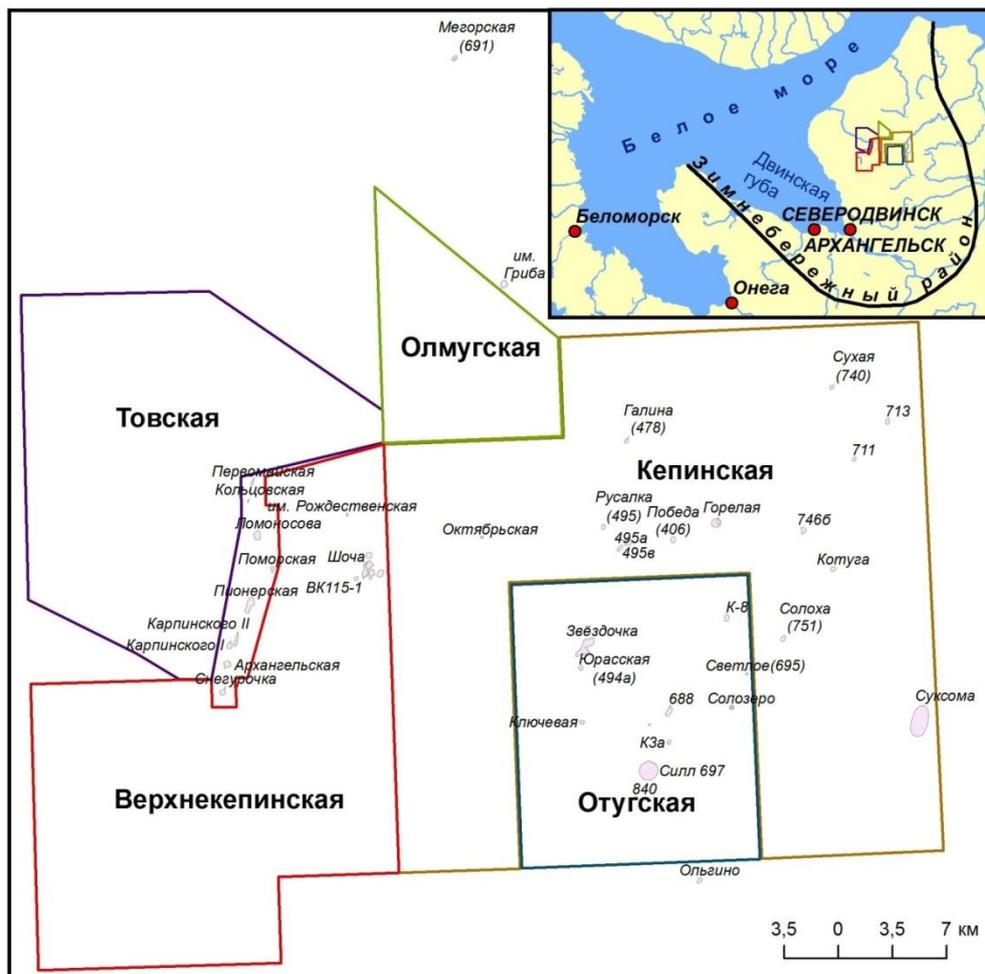


Рис. 1.1. Поисковые площади ПАО «Севералмаз».

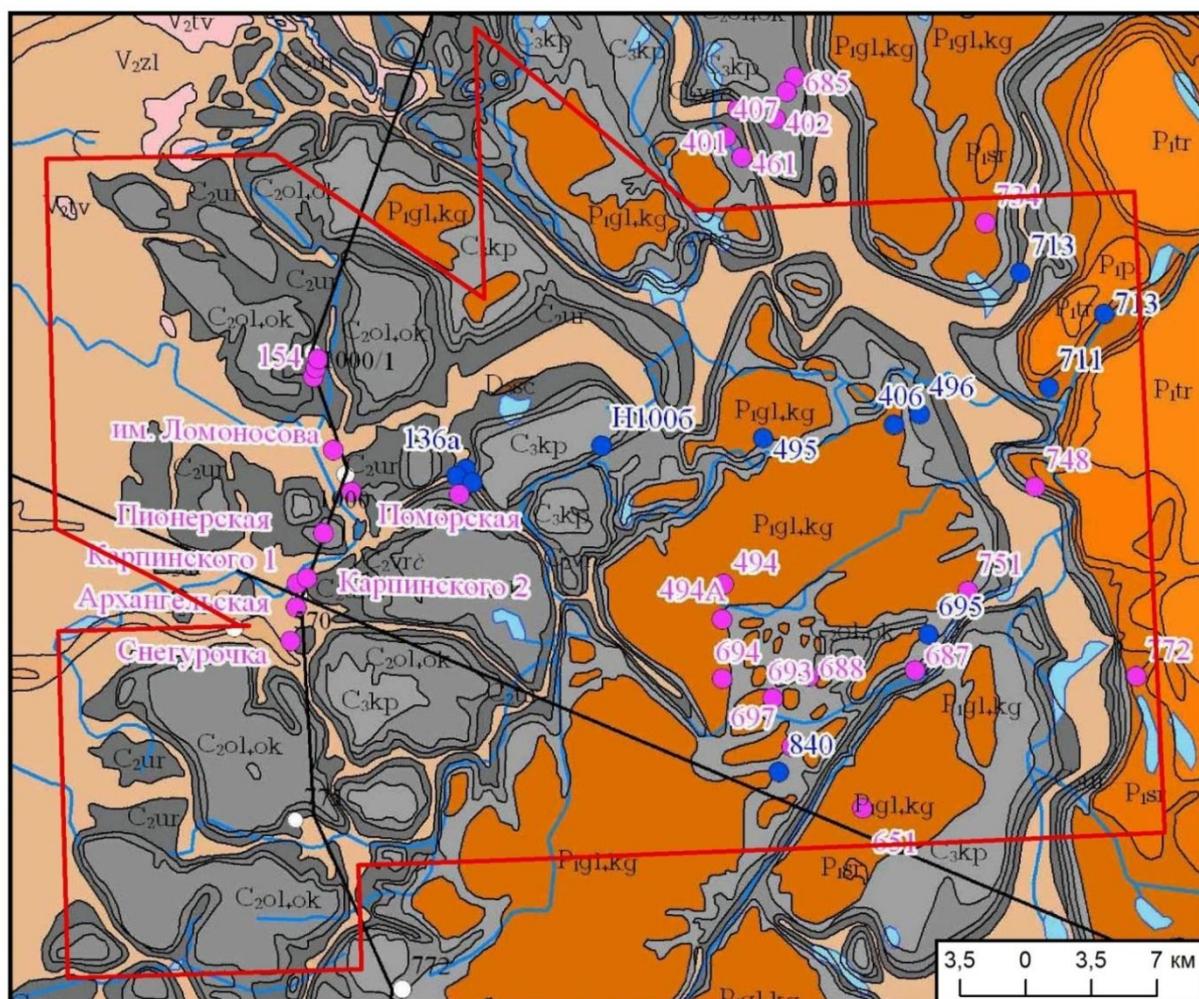
Краткий очерк геологического строения территории Зимнебережного района приведен по известным публикациям и отчетам ряда авторов [Андросов и др., 2004, Астафьев и др., 2012, Богатиков и др., 1999, Гаранин и др., 2011, Головин, 2004, Гуляева и др., 1991, Кутинов и др., 2004, Ларченко и др., 2005, Махоткин, 2007, Рождественская и др., 1991, Соболев, 1991, Третьяченко, 2008, Ширококов, 1997, Веричев и др., 1985ф, Голубев и др., 2007ф, Рожин и др., 2011ф и др.].

1.2. Минерагеня

Архангельская алмазоносная провинция (субпровинция) географически протягивается от Тиманского кряжа на северо-востоке до оз. Лача на юго-западе и от Терского берега Белого моря на северо-западе до слияния рек Северная Двина и Вычегда на юго-востоке. На территории Архангельской алмазоносной провинции выделяется четыре алмазоносных района – Зимнебережный, Онежский, Канино-Тиманский и Двинский. Зимнебережный район – единственный в Архангельской провинции, в котором выявлены коренные месторождения алмазов. Зимнебережный алмазоносный район расположен на северо-западе Архангельской области. Его граница [Головин, 2004] огибает Двинский залив и включает Летний берег и Зимний берег Белого моря (рис. 1.1). Районирование Зимнебережного района выполнено по приуроченности магматических тел к выступам фундамента. По такому принципу на территории Зимнебережного района выделяется 8 полей щелочно-ультраосновных пород: Верхотинское, Золотицко-Кепинское, Чидвийское, Пинежское, Ижмозерское, Ненокское, Полтозерское и Ручьевское [Головин, 2004]. Изученная территория относится к Золотицко-Кепинскому полю и частично к Верхотинскому.

1.3. Стратиграфия.

Стратифицированные образования изученной площади представлены терригенными верхнерифейскими образованиями, глинисто-терригенными отложениями верхнего венда, терригенными и туфогенными верхнедевонско-нижнекаменноугольными образованиями, терригенными, карбонатными породами среднего и верхнего карбона, преимущественно карбонатными породами нижнего отдела пермской системы и четвертичными отложениями (рис. 1.2).



- P_{1tr} Турьинская свита. Аркозовые песчаники сероцветные
- P_{1pl} Полтинская свита. Доломитизированные известняки светло-серые
- P_{1sr} Серпинская свита. Доломитизированные известняки желтовато-серые
- P_{1gl-kg} Глазанско-красногорская свита. Доломитизированные органогенные известняки с кремнями
- C_{3kp} Кепинская свита. Доломитизированные известняки с конкрециями кремней
- C_{2ol-ok} Олмугско-окуневская свита. Зернистые и органогенные известняки
- C_{2vrc} Воереченская свита. Зеленоцветные и сероцветные песчаники
- C_{2ur} Урзугская свита. Пестроцветные песчаники
- D_{3-C}_{1sc} Шочинская свита. Песчаники мелкозернистые серые различных оттенков
- V_{2tv} Товская подсвита. Пестроцветные песчаники
- V_{2zl} Золотицкая подсвита. Красноцветные алевролиты и песчаники
- V_{2ml} Мельская подсвита. Песчаники и алевролиты красные и красно-коричневые

Рис. 1.2. Геологическая карта изученной территории (в пределах поисковых площадей ПАО «Севералмаз»). Составлена геологами ПАО «Севералмаз». 2003 г.

По результатам бурения глубоких скважин и анализа геофизических полей, кристаллический фундамент изученной территории представлен гранито-гнейсами,

биотитовыми гнейсами и биотит-амфиболовыми гнейсами керетьской толщи беломорской серии нижнего архея. Мощность толщи более 3000 метров.

Терригенные отложения верхнепротерозойского возраста, сплошным чехлом перекрывающие образования кристаллического фундамента вскрыты рядом скважин. По литологическому составу выделяются две толщи: нижняя – верхнерифейская алевролитовая и алевропесчаниковая, выполняющая грабены и впадины, и верхняя - верхневендская более глинистая в виде сплошного покрова покрывающая породы рифея и архея.

На изученной площади разрез верхнерифейских отложений представлен бурями, а также серыми и зелеными аргиллитами и алевролитами тучкинской свиты (R_{3tc}). Вскрытая мощность свиты от 162 до 293,5 м.

На исследованной территории верхний венд, с глубоким размывом и несогласием перекрывающий породы рифея и кристаллического фундамента, представлен валдайской серией (V_{2vd}). Породы валдайской серии слагают единый трансгрессивно-регрессивный цикл осадконакопления. В составе серии выделяется два горизонта – редкинский (V_{2rd}), слагающий трансгрессивный цикл и котлинский (V_{2kt}), образующий регрессивный цикл. Для отложений редкинского горизонта характерно доминирование аргиллитовых разностей над алевропсамитовыми с преобладающей зелено-сероцветной окраской пород. В составе котлинского горизонта соотношение пелитовых и алевропсамитовых разностей пород обратное. Преобладают красноцветные разности.

Редкинский горизонт представлен усть-пинежской свитой (V_{2up}), в составе которого выделяется базальная тамицкая (V_{2tm}) подсвита конгломерат-гравелит-песчаникового состава, красноцветная лямицкая (V_{2lm}) с характерными тонкими прослоями пелитовых туфов монтмориллонитового состава и подчиненными прослоями зеленоцветных аргиллитов и алевролитов, преимущественно сероцветная архангельская (V_{2ar}) с наличием псамито-псефитовых разностей, верховская (V_{2vr}), аналогичная лямицкой подсвите, сюзьминская (V_{2sz}), аналогичная архангельской, вайзицкая (V_{2vz}), подобная лямицкой и верховской подсвитам, преимущественно зеленоцветная зимнегорская подсвита. Общая мощность усть-пинежской свиты составляет от 310 до 795 м.

Котлинский горизонт со стратиграфическим несогласием повсеместно залегает на размывтой поверхности усть-пинежской свиты. В составе котлинского горизонта выделяются мезенская (V_{2mz}) и падунская свиты (V_{2pd}). Вскрытая мощность горизонта до 550 м.

Отложения мезенской свиты характеризуются преобладанием глинистых разностей пород и пестроцветной окраской с увеличением красноцветности вверх по разрезу, расчленяются (снизу-вверх) на ергинскую (V_{2er}) и мельскую (V_{2ml}) подсвиты.

Повсеместно развитая ергинская подсвита представлена пестроцветной толщей переслаивания песчаников, алевролитов. Зеленоцветная окраска превалирует над буроцветной. Мощность подсвиты 100-120 м.

Мельская подсвита с размывом залегает на отложениях ергинской подсвиты. Разрез подсвиты представлен переслаиванием песчаников с глинистыми породами. Песчаная толща отмечается в подошве разреза и ближе к кровле. Отложения толщи представлены песчаниками красными, преимущественно массивными, реже тонко горизонтально- и волнистослоистыми. Глинистая толща отмечается в центральной части разреза и его кровле. Представлена буроватыми и бордово-красными аргиллитами с прослоями алевролита, реже песчаника. Граница между мельскими и перекрывающими их отложениями уверенно проводится по резкой смене аргиллито-алевролитовой пачки на песчаную с резким снижением гамма-активности пород с 20-25 до 10-15 мкр/ч. Мощность подсвиты от 161,1 до 200 м.

Падунская свита на изучаемой территории представлена золотицкой подсвитой (V_{2zl}) и товской (V_{2tv}). Золотицкая подсвита повсеместно распространена на изучаемой площади. Отложения золотицкой подсвиты представлены красноцветной толщей преимущественно мелкозернистых песчаников, алевропесчаников и алевролитов с прослоями аргиллитов, которые со следами размыва залегают на мельских отложениях. Песчаники кварц-полевошпатовые, мелко-тонкозернистые до алевропесчаников, массивные, прослоями отмечается параллельная тонкая субгоризонтальная и косая волнистая слоистость, полосчатость Лизеганга, часто присутствуют прослойки, линзы гематитизации. Мощность отложений до 211 м.

В большинстве случаев именно в золотицкой подсвите, как наиболее изученной, фиксируются рассматриваемые в диссертации прожилки и субпослойные проявления осветления.

Товская подсвита распространена фрагментарно. Отложения представлены мелко-среднезернистыми кварцевыми песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов. Подсвита залегает на золотицких отложениях. Мощность достигает 50 м.

В последние годы в верхней части рассмотренного разреза выделяются отложения кембрийского системы [Алексеев и др., 2005]. Однако в рамках рассматриваемой проблемы эпигенетических образований целесообразно сохранять отмеченное стратиграфическое подразделение - венд.

Палеозойские и четвертичные отложения с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на размытой поверхности венда. Палеозой представлен верхнедевонско-

нижнекаменноугольными, среднекаменноугольными, средне-верхнекаменноугольными и пермскими отложениями.

Палеозой представлен верхнедевонско-нижнекаменноугольными отложениями (шочинской свитой (D_3-C_{1sc}) и туфогенно-осадочной толщей (D_3-C_1)), урзугской свитой (C_{2ur}), воереченской свитой (C_{2vrc}), олмугско-окуневской (C_{2ol-ok}) и кепинской (C_{3kr}) свитами.

В составе верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений выделяются терригенная шочинская свита (D_3-C_{1sc}) и туфогенно-осадочная толща (D_3-C_1). Шочинская свита представлена зеленовато-серыми мелкозернистыми глинистыми песчаниками мощностью до 25 м, залегающими на размытой поверхности вендских отложений.

Туфогенно-осадочная толща пространственно тяготеет к трубкам взрыва ультраосновных щелочных пород. Она образована мелкообломочными туфами, туфопесчаниками, содержит прослои песчаников, алевролитов и аргиллитов.

Отложения урзугской свиты имеют широкое распространение и картируются практически повсеместно. Толща представлена, главным образом, слабо литифицированными хорошо сортированными песчаниками оранжево-красного, желтовато-красного, светло-коричневого цветов. Мощность отложений урзугской свиты достигает 48 м.

Воереченская свита вскрыта в виде разобщенных останцов со следами карста. Представлена зеленоцветными глинами и кварцевыми песчаниками с прослоями, линзами и стяжениями карбонатных пород. Свита залегают на отложениях урзугской свиты, ее максимальная мощность 17 м.

Олмугско-окуневская свита широко распространена и представлена органогенными известняками, доломитами, доломитизированными известняками. Для разреза характерны прослои с желваками кремней мощностью до первых метров. Мощность колеблется от первых метров до первых десятков метров.

Кепинская свита образована доломитами, известковистыми доломитами, доломитистыми известняками с конкрециями и линзами кремней. Отложения согласно залегают на образованиях олмугско-окуневской свиты. Мощность свиты колеблется от первых метров до первых десятков метров.

Пермские отложения представлены известняками и доломитами глазанско-красногорской свиты (P_{1gl-kg}), серпинской (P_{1sr}) и полтинской (P_{1pl}) свитами, а также сероцветными аркозовыми песчаниками турьинской свиты (P_{1tr}). Общая мощность пермских отложений на изученной площади достигает 47 м.

Четвертичные отложения образуют сплошной покров на эродированной поверхности пород венда и палеозоя. Амплитуда колебаний абсолютных отметок подошвы кайнозойских

образований составляет более 225 м. Соответственно рельефу изменяется и мощность осадков от 170 м и более в древних долинах, до долей метра на водораздельных плато. В составе четвертичных отложений выделяются образования неоген-нижнеоплейстоценового, среднеоплейстоценового, верхнеоплейстоценового и современного звеньев. Неоген-нижнеоплейстоценовые, среднеоплейстоценовые отложения представлены комплексом аллювиальных, озерных, морских, ледниковых осадков. Верхнеоплейстоценовые отложения представлены морскими и озерно-аллювиальными осадками микулинского межледниковья и ледниковыми образованиями валдайского надгоризонта. В составе современного звена выделяются аллювиальные, озерно-аллювиальные, озерные, озерно-болотные и биогенные образования, представленные песками, супесями, глинами, алевритами, суглинками и торфом.

1.4. Тектоника

Тектоническое строение Зимнебережного района определяется его расположением на стыке двух региональных платформенных структур: Балтийского щита и Русской плиты. На рассматриваемой территории выделяются два геолого-структурных этажа: нижний – кристаллический фундамент и верхний – осадочный чехол.

На территории Зимнебережного района по геофизическим данным и результатам глубокого бурения в кристаллическом фундаменте отчетливо выделяются следующие структуры: Зимнебережное поднятие, Керецкий грабен, Лешуконский прогиб. Структуры кристаллического фундамента вытянуты в северо-западном направлении, за исключением Лешуконской впадины, которая имеет северо-восточное простирание. Глубина залегания фундамента составляет от 0,85 км до 4,45 км. Непосредственно изученная территория охватывает Керецкий грабен и Зимнебережное поднятие, в составе которого выделяются Товский выступ, Падунский грабен, Верхотинский выступ и Белозерская ступень.

В верхнем геолого-структурном этаже выделяются три структурных яруса: Архангельский, Ленинградский и Вологодский. Архангельский структурный ярус, представленный рифейскими отложениями развит в пределах отрицательных структур кристаллического фундамента. Ленинградский структурный ярус, представленный отложениями верхнего отдела венда, распространен повсеместно, несогласно полого залегая либо на отложениях рифея, либо на кристаллическом фундаменте, выполняя понижения довендского рельефа. Мощность яруса от 530 м до 1200 м. Вологодский структурный ярус распространен практически на всей площади работ и представлен отложениями палеозоя очень пологого моноклинального залегания с хорошо выраженным падением на восток. Мощность яруса от первых метров на западе и до 120 м на востоке изученной территории.

На территории Зимнебережного района по геофизическим данным и материалам космодешифрирования установлены разломы северо-западного простирания, разграничивающие блоковые структуры, и северо-восточного простирания, которые отделяют Лешуконскую впадину и осложняют тектоническое строение остальных структур. Возраст северо-западных разломов считается раннепротерозойским. К рудоконтролирующим разломам позднедевонского возраста отнесены нарушения субмеридионального направления более высоких порядков [Андросов и др., 2004].

1.5. Магматизм

Золотицко-Кепинское поле, занимающее около 90% изученной территории, включает 37 магматических тел, в том числе 30 трубок кимберлитов, два оливиновых мелилитита и пять кимберлитовых силлов [Головин, 2004; Копчиков и др., 2009], включая открытый в 2013 году. В западной части изученной территории положение кимберлитовых тел связано с линейными структурами, тогда как в восточной этого не наблюдается и предположена их приуроченность к структурам центрального типа [Игнатов и др., 2012, 2013].

На территории Золотицко-Кепинского поля расположено месторождение им. Ломоносова, включающее 6 кимберлитовых трубок: Архангельская, им. Карпинского-I, им. Карпинского-II, им. Ломоносова, Пионерская, Поморская.

Возраст вулканитов всех типов (и пород обеих кимберлитовых серий и базальтов) определён по фрагментам разнообразной палеофлоры, обнаруженным в ксенолитах жерловых и кратерных частей трубок (*Callixylon* sp., *Arhaeopteris* sibirica Zal., *Xenocladia* cf. *medullosina* Arnold., *Leptophleum* sp.) как поздний девон, то есть с максимальной реально достижимой точностью: 367 +/- 7 млн. лет. Вмещающими породами магматических тел являются рифейские и вендские отложения (в составе Архангельского и Ленинградского структурного ярусов), а перекрывающими – палеозойские и четвертичные образования.

На Зимнем Берегу присутствуют две контрастные группы (серии) кимберлитовых пород, различающиеся, прежде всего, по присутствию ильменита: глиноземистая и железотитанистая. Из наиболее алмазоносных тел к первой группе относятся трубки из месторождения им. Ломоносова, ко второй – им. Гриба. Распределение вулканических тел разнообразного состава по площади Зимнебережного поля имеет закономерный характер. В центральной части района развиты породы железотитанистой серии, а по периферии – породы глиноземистой серии и базальты.

1.6. Проблемы поисковых работ

Основной проблемой поисковых работ на коренные месторождения алмазов на территории Зимнебережного района является их перекрытие чехлом палеозойских и четвертичных отложений мощностью порядка 80-100 м.

Большинство магматических тел, в том числе коренных месторождений алмазов, выявлены в результате заверок магнитных аномалий, выделенных по материалам аэромагнитной съемки масштаба 1:10000, а также 1:5000, 1:25000. Выявленный этим методом фонд перспективных геофизических участков (ПГУ) 1, 2 и 3-й очереди был по большей части к 2000 г. исчерпан, оставался лишь остаточный фонд. Эффективность поисков по остаточному фонду очень низкая [Вержак и др., 2008], кроме того, высока вероятность наличия алмазоносных слабо- и немагнитных кимберлитовых тел.

Слабая эрозия магматических тел и низкие концентрации минералов-индикаторов в них обуславливают недостаточную эффективность шлихо-минералогических методов по разным эрозионным уровням [Вержак и др., 2008].

В независимости от текущих проблем поисковых работ и отсутствия за последние два десятилетия информации об открытии нового коренного месторождения алмазов перспективы Зимнебережного района сохраняются [Третьяченко, 2008; Вержак, 2008, Копчиков и др., 2009].

Таким образом, для более эффективных поисков коренных месторождений алмазов на перспективных площадях необходимо разрабатывать новые критерии, признаки и использовать их в комплексе с существующими. Одними из таких критериев и признаков, относящихся к геолого-минералогическим методам (Каждан, 1985), могут являться новообразования во вмещающих кимберлиты породах венда, указывающие на околорудное пространство и маркирующие рудоконтролирующие структуры [Игнатов, 2010, Игнатов и др., 2006, 2001; Вержак и др., 2008].

ГЛАВА 2. ОСВЕТЛЕНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД ВЕНДА ИЗУЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Начиная с 2004 г. исследования проф. П.А. Игнатова в области околотрубочных вещественных изменений в Зимнебережном районе привели к выделению ряда геолого-минералогических новообразований во вмещающих породах венда [Игнатов и др., 2006ф, 2007ф, 2008ф] и созданию базы данных по ним для использования в геоинформационной среде [Новиков и др., 2009; Васильев, 2010]. В число этих новообразований, как перспективных поисковых критериев и признаков, входит прожилковое и послойное осветление красноцветных пород венда Зимнебережного алмазоносного района Архангельской провинции.

2.1. Методика сбора и обработки фактического материала

Методика документации, составления базы данных по результатам изучения керна скважин и стенок карьеров сформирована в процессе многолетних работ под руководством П.А. Игнатова [Игнатов и др. 2001, 2006, Штейн, 1997; Бушков, 2006, Новиков и др., 2009, Васильев, 2010 и др.]. Задokumentированные по керну и стенкам карьера новообразования и другие признаки вносятся в базу данных, которая используется для составления соответствующих карт в геоинформационной среде. На основании такого подхода была построена схема распространения прожилкового и послойного осветления на изученной территории (рис. 2.1)

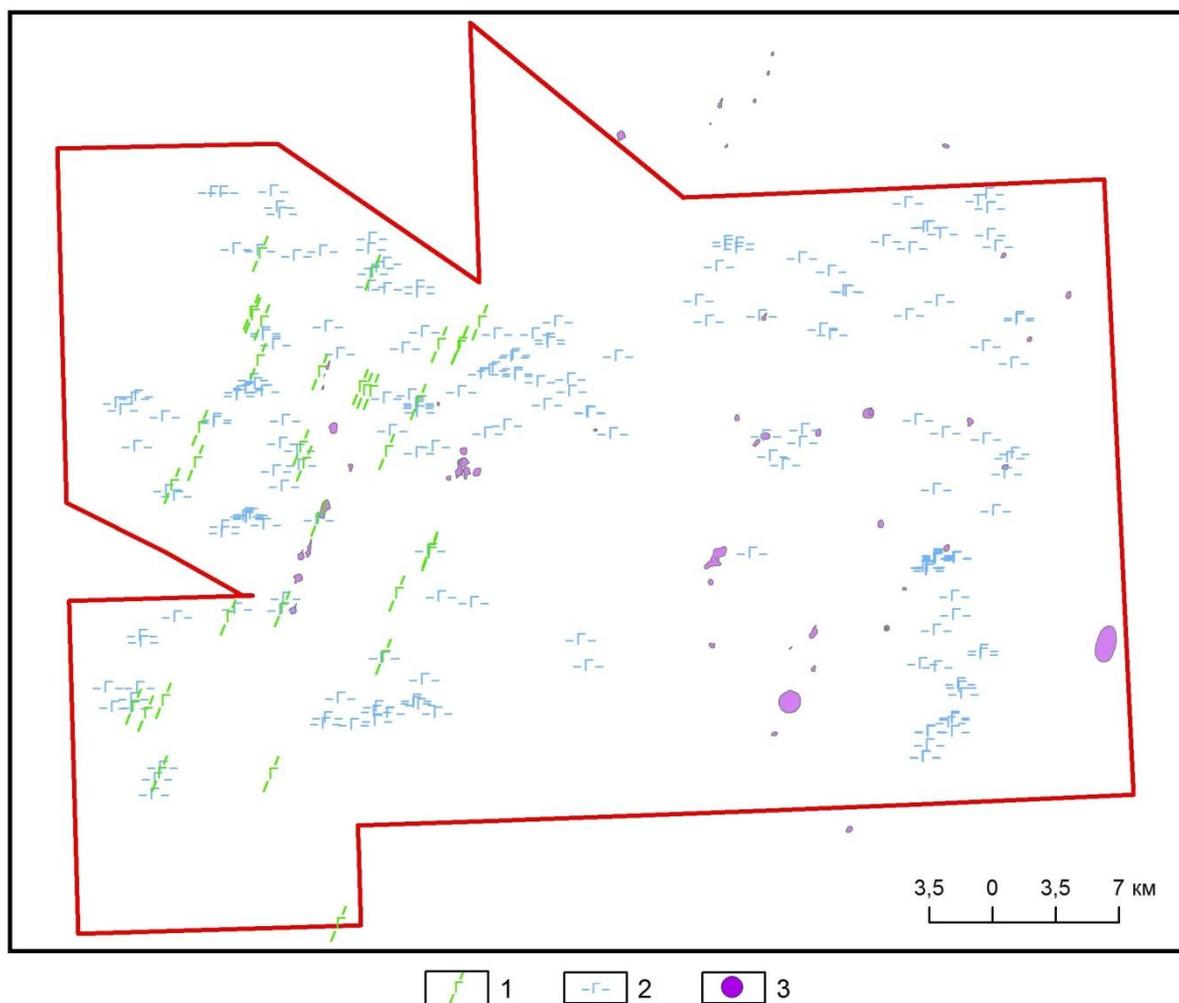


Рис. 2.1. Распространение послойного и прожилкового осветления.

1 – прожилковое осветление; 2 – послойное осветление; 3 – магматические образования

Так, из восьмисот скважин, которые внесены в базу данных, по результатам документации керна прожилковое осветление установлено только в 34, а субпослойное – в 208.

2.2. Морфология, распространенность и типы осветления

Минеральный и элементный состав и структура осветленных пород диагностировались в прозрачных шлифах, а также с применением рентгенофазового, рентгенофлуоресцентного и ICP-MS рентгеноспектрального анализов.

На основе изучения сотен образцов выделено три типа осветления красноцветных пород венда: диагенетическое, катагенетическое и эндогенное. Они соответствуют трем разновидностям осветления, отличающимся формой выделений и взаимоотношению с вмещающими породами венда: послойное мелкопятнистое и мелко-линзовидное, относительно крупное субпластовое и мелкое секущее прожилковое. Первый и второй типы широко распространены, третий встречается редко.

Мелкопятнистое осветление встречается в виде мелких (первые сантиметры) гнезд и пятен неправильной формы, напоминающих биотурбации (рис. 2.2) или относительно простых микроформ, напоминающих остатки цианобионтов (рис. 2.3).



Рис. 2.2. Пятнистое осветление алевролитов венда, напоминающее текстуры ходов роющих организмов. Фото керна скв. 774е-1, глубина 77м. 2012 г.

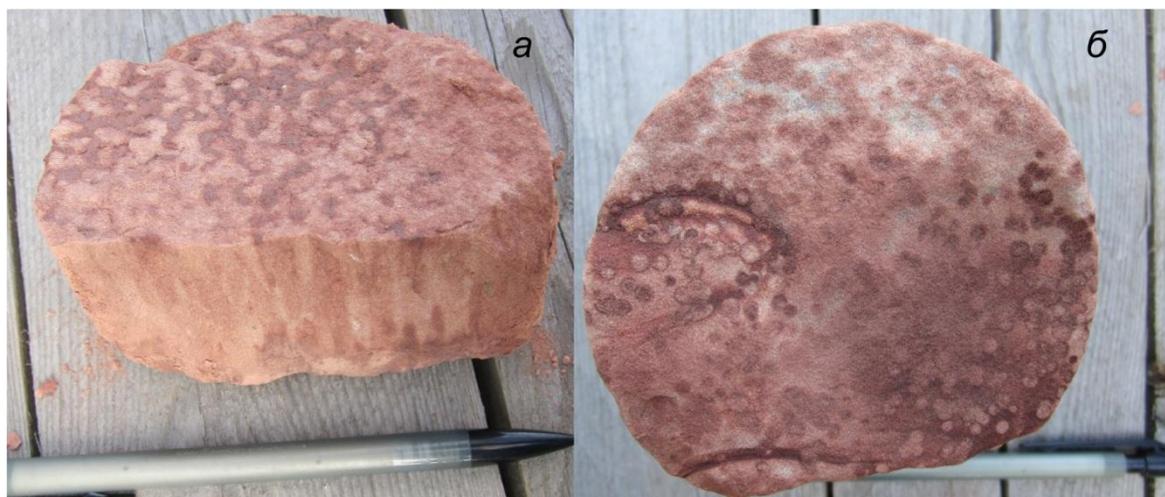


Рис. 2.3. Осветление в алевропесчанике по следам роющих организмов: а – фото керна скв. 774б-3, глубина 115м. 2012 г.; б – скв. 774б-3, гл. 119. 2012 г.

Текстуры, подобные рисунку 2.3, приведены в Атласе текстур и структур осадочных пород [Дмитриева, 1962] и определяются как следы жизнедеятельности червей *Scolithus linearis* Haldeman (рис. 2.4). Следует отметить, что в атласе следы организмов в виде вертикальных трубок в профиле и округлых образований в плане также осветлены.

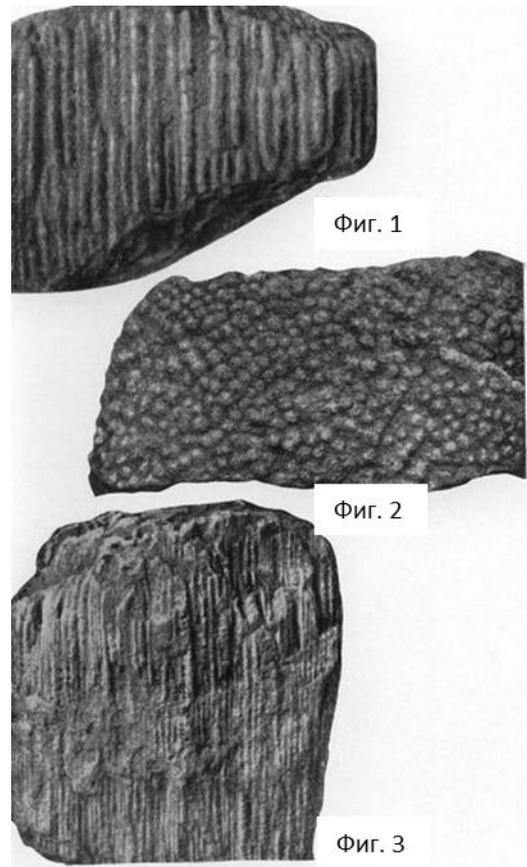


Рис. 2.4. Следы жизнедеятельности червей *Scolithus linearis* Haldeman.

1 – поверхность, перпендикулярная к плоскости напластования. Разновидность *Scolithus* с очень широкими, плотно сидящими трубками ($d=4$ мм, иногда 6-7 мм). Валун серовато-белого песчаника. Нижний кембрий. Морбюлонга, о-в Эланд. Швеция. Из А. Вестергорда, 1931. 3/5нат. вел. 2 – поверхность напластования того же образца, что и на фиг. 1.1/2 нат. вел. 3 – выветрелый валун серовато-белого песчаника с тесно скученными

трубками шириной 1-2 мм. Нижний кембрий. Блекинге. Швеция. Из А. Вестергорда, 1931 .

1/3нат. вел. [Дмитриева, 1962]

Мелкослойчатое линзовидное осветление в песчаниках сопровождается косые серии тяжелой фракции шлиха, сложенные магнетитом (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Осветление в красноцветном среднезернистом песчанике, связанное с распределением по слоям косых серий минералов тяжелой фракции естественного шлиха.
 а – фото керн скважины (скв.) 774д-3, глубина 88 м (2012 г.); б – фото керн из скв. 478б-2 с глубины 47 м [Игнатов и др., 2007].

Проявления пятнистого и мелкослойчатого осветления не выходят за пределы отдельных слоев вендской толщи и связаны с местами локальных восстановительных по железу обстановок в виде вероятных скоплений органического вещества, либо минералов закисного железа. По этим признакам такое осветление отнесено к диагенетическому, что подтверждается находками мелких с сечениями в первые сантиметры карбонатных конкреций зеленовато-серого цвета.

Особое пятнистое осветление сосредоточено в прикровельной части разреза венда (30-50 см), несогласно перекрытого каменноугольными отложениями. Здесь в кровле горизонта отмечены послойные и соединяющиеся с ними ветвящиеся червеобразные и септарияльные осветления (рис. 2.6, а, б).



Рис. 2.6. Экзогенное осветление, связанное с древней корой выветривания в прикровельном горизонте золотицкой подсвиты падунской свиты.

а – точка наблюдения (т.н.) 310. Юго-западный борт карьера тр. Архангельской [Игнатов и др., 2007]; б – фото септариальных осветленных пятен. Скв. 5055-2, глубина 71,5 м. Диаметр керна 110 мм. [Игнатов и др., 2005].

По облику осветление напоминает почвенные образования, которые можно связать с процессами формирования глеевых подзон в древних корках выветривания, формировавшихся во время перерыва в осадконакоплении (силур-ранний карбон). Соответственно пятна осветления следует считать древними экзодиагенетическими образованиями.

При детальном рассмотрении рис. 2.6, б можно заметить кайму желтоватого цвета по контуру осветления. Вероятно, это гидроокислы железа, которые образовались до оглеения в условиях кислородного обмена в более проницаемой породе. А осветление могло формироваться при последующем захоронении осадка в бескислородной обстановке.

Второй тип осветления выражен главным образом протяженными на десятки метров субпластовыми линзами, охватывающими пачки в десятки метров мощности (рис. 2.7).

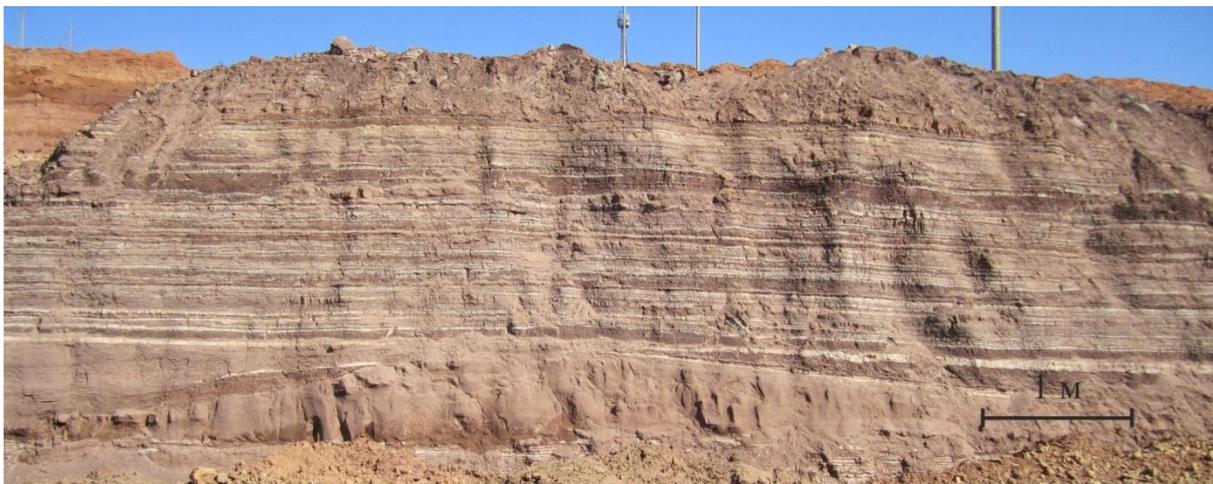


Рис. 2.7. Проявления субпластового катагенетического осветления.

Северный борт. Отметка (отм.) 61 м. Т.н. А-16-13.

Мощность линз составляет от долей см до нескольких метров. Это осветление преимущественно развито по периметру линз и слоев песчаников на контакте с глинистыми алевролитами или аргиллитами. В однородных толщах осветления не отмечено (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Однородные по составу отложения золотицкой подсвиты венда.
Западный борт карьера трубки Архангельской. В верхних горизонтах стенки уступа
отсвечивают подтеки воды. Отм. 41м. Т.н. А-60-13

Вместе с послойным часто отмечается и пятнистое осветление, которое также связано с более проницаемыми песчаными образованиями. Последние могут иметь биотурбационное происхождение. В характерных случаях видно, как осветление в песчаном пятне расщепляются по проницаемым слойкам и не затрагивает глинистый материал (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Осветление, распространенное по песчаному материалу, выполняющему крупное пятно (текстуру биотурбации) и мелкие линзовидные слойки в красноцветном аргиллите венда.

Фото керна скв. ВК-42-1, глубина 91,5 м. Диаметр керна 110 мм. 2006 г.

Данный тип осветления имеет много общего с описанными в красноцветных терригенных формациях явлениями катагенетического оглеения [Борисенко, 1980] (рис. 2.10).

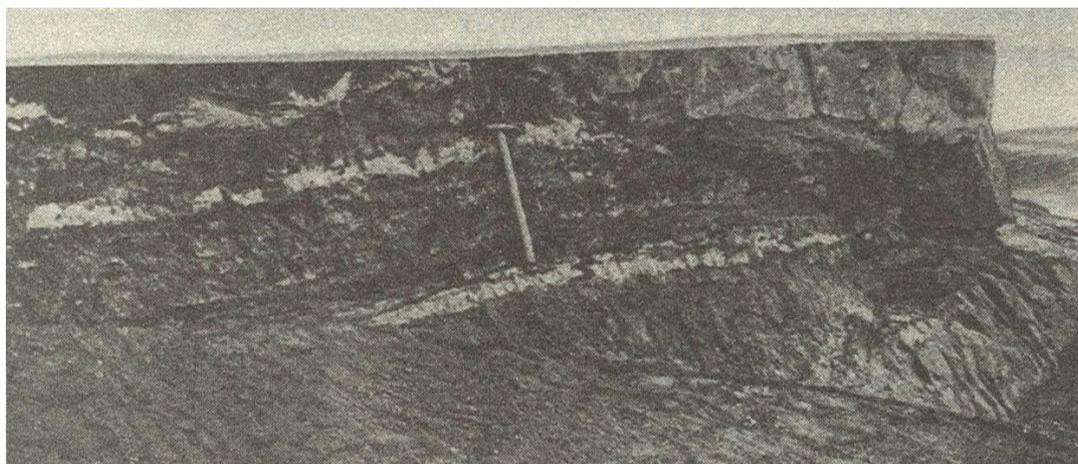


Рис. 2.10. Приконтактовое оглеение прослоев песчаников и глинистых алевролитов в отложениях муянской свиты Южной Ферганы [Борисенко, 1980].

Считается, что при увеличении пластового давления из глинистых пластов, как относительно более пластичных, в обладающие жестким каркасом песчаные, насыщенные водой слои выжимались растворенные органические вещества, которые, окисляясь, способствовали сокращению свободного кислорода. В образовавшейся бескислородной обстановке создавались благоприятные условия для развития анаэробных микроорганизмов. Продуктом их жизнедеятельности являлась углекислота, которая растворяла карбонаты, образуя карбонат-ион HCO_3^- и подвижный кальций:



Данные компоненты в воде способствовали восстановлению железа и его выносу диффузным путем, в виде органо-минеральных комплексов и в бикарбонатной форме $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. [Борисенко, 1980, Япаскерт, 2013]. Проведенные исследования подтверждают эти данные. Так, при сравнении минерального состава осветленных пород и неизмененных красноцветных наблюдается их уверенная дифференциация по присутствию в последних гематита, как основного минерала, содержащего железо (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Различие красноцветных пород венда и послойного катагенетического осветления (оглеения) по данным рентгенофазового анализа [Игнатов и др., 2006]

№ п.п.	Номер пробы (номер скважины и глубина)	Полевое определение	Результаты анализа
1	155-19-52	белый аргиллит	кварц, слюда, каолинит
2	155-19-52	красный аргиллит	кварц, слюда, каолинит, гематит, полевой шпат
3	155-19-68,6	белый аргиллит	кварц, каолинит, слюда, полевой шпат
4	155-19-68,6	красный аргиллит	кварц, каолинит, слюда, гематит

5	155-20-71,5	белый аргиллит	кварц, каолинит, слюда, полевой шпат
6	155-20-71,5	красный аргиллит	кварц, каолинит, слюда, гематит, полевой шпат
7	АЛ81-3-96	вторично зеленый аргиллит	кварц, каолинит, слюда, полевой шпат
8	АЛ81-3-96	красный аргиллит	кварц, каолинит, слюда, гематит, полевой шпат

Примечание: анализы выполнены на приборе ДРОН-2 в лаборатории МГРИ-РГГРУ
(зав лаб. к. т. н. М.Ю.Гурвич)

По данным рентгеноспектрального анализа в осветленных породах наблюдаются в несколько раз пониженные содержания Fe_2O_3 , MnO , пониженные - Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , CaO , TiO_2 , Sr , Ba и заметно повышенные содержания SiO_2 относительно красноцветных пород (табл. 2.2). В связи с приведенными изменениями химического состава катагенетического осветления относительно красноцветных пород, процесс его образования можно отнести к экзогенному метасоматозу.

Таблица 2.2

Результаты рентгеноспектрального анализа (вес. %)

№ п.п.	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3 вал.	CaO	MgO	MnO	TiO_2	Sr	Ba	сумма
1	78,6	11,1	1,43	0,055	0,52	0,14	0,48	0,0045	0,53	0,006	0,02	92,886
2	67	15,8	2,43	0,11	4,82	0,37	0,66	0,013	0,83	0,013	0,029	92,075
3	70	16,3	1,96	0,066	0,68	0,17	0,53	0,005	0,74	0,011	0,024	90,486
4	64,4	18,3	2,41	0,08	5,25	0,22	0,53	0,015	0,94	0,014	0,028	92,187
5	72,3	14,9	1,77	0,067	0,57	0,14	0,5	0,004	0,7	0,01	0,024	90,985
6	61,4	19,3	2,56	0,17	7,03	0,32	0,73	0,019	0,93	0,016	0,032	92,507
7	65,4	17,6	3,4	0,073	2,66	0,14	1,1	0,012	0,7	0,009	0,029	91,123
8	58,5	19,4	3,66	0,085	8,7	0,16	1,12	0,036	0,78	0,011	0,03	92,482

Примечание: анализы выполнены в аналитическом центре ВИМС (Шевченко Е.П.), номер по порядку соответствует таблице 2.1.

Вынос железа, марганца из осветленных пород, очевидно, связан с увеличением их миграционных свойств в восстановительных условиях. Алюминий, калий, вероятно, мигрируют под воздействием органических веществ, присутствующих в зоне оглеения. Натрий хорошо растворяется в подземных водах. Кальций и его аналог в геохимических процессах стронций становились подвижными в результате растворения карбонатов микробальной углекислотой [Борисенко, 1980]. Титан мог мигрировать в коллоидной форме. Накопление кремния в осветленной зоне, предположительно, связано с новообразованиями каолинита.

Достаточно масштабный вынос железа при субпластовом осветлении, вероятно, находит подтверждение в его последующем осаждении на окислительном барьере в виде

часто встречающихся в красноцветных песчанках скоплений гидрооксидов железа в текстурах колец Лизеганга.



Текстура колец Лизеганга разных порядков в мелкозернистом песчанике венда.

Скв. 474а-2. Гл. 67,5. 2012 г.

Не редко осветление наблюдается и в приконтактной зоне водоупорных пород (рис. 2.11). Генезис такого оглеения Е.Н. Борисенко связывает с теми же процессами, что и в более грубозернистом материале, при этом железо восстанавливалось и могло мигрировать диффузным путем из водоупорного горизонта в водоносный и далее за его пределы.

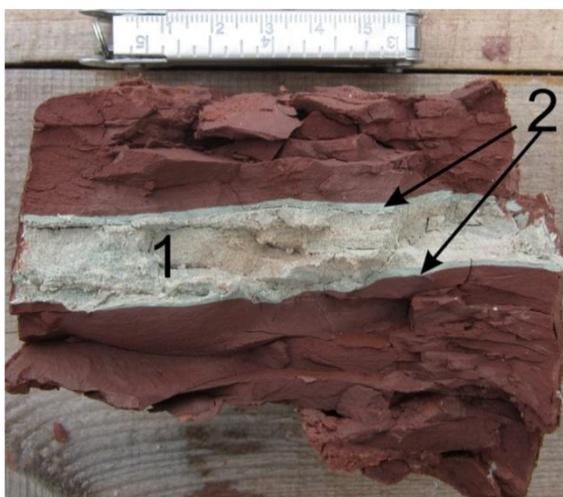


Рис. 2.11. Катагенетическое осветление в прослое осветленного мелкозернистого песчаника (1) и приконтактной зоне вмещающих его алевроаргиллитов (2).

Скв. 7356-2. Гл. 122,5 м. 2012 г.

Если толща сложена однородной песчаной породой мощностью от десятков метров, то оглеение не образуется, поскольку проявлен кислородный обмен в водоносных горизонтах, препятствующий развитию осветляющих породу бактерий [Борисенко, 1980] (см. рис. 2.8).

К *третьему типу* относится прожилковое осветление в кратерной фации трубки и во вмещающих породах венда на различном удалении от магматических тел, а также осветление на контакте с вулканогенно-осадочными породами.

В кратерной фации в туфовых отложениях в карьере тр. Архангельская проявления осветления, как правило, представлены протяженными до нескольких метров прожилками (рис. 2.12), образуют системы прожилков, в том числе разно ориентированных (рис. 2.12 а).

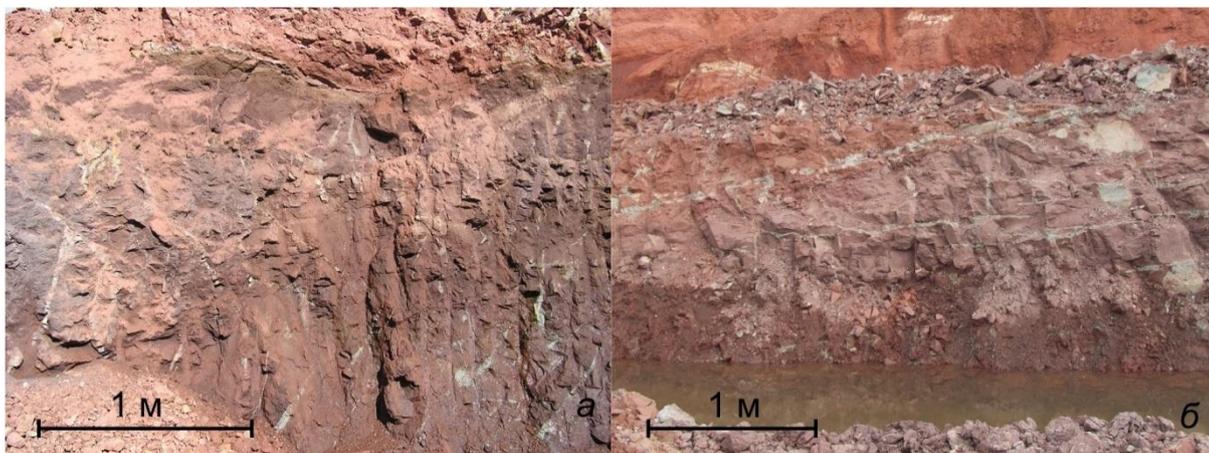


Рис. 2.12. Прожилковое осветление в продуктивных туфогенно-осадочных породах карьера тр. Архангельская

а – т.н. 8. Юго-западная стенка карьера. Абс. отм. 80м. 2006г. б – т.н. 506-2. Абс. отм. 32 м. 2008 г.

Таким образом, осветление маркирует тектонические нарушения в уже сформированной толще туфовых отложений. Так на рис. 2.13 наблюдается смещение прожилкового осветления, обусловленное сдвиговыми деформациями у дайковидной апофизы тр. Архангельская [Васильев, 2010].



Рис. 2.13. Однонаправленное затухающее верх малоамплитудное ($n \approx 10$ см) смещение крутопадающей трещины освещения по субгоризонтальным плоскостям сместителей в фиолетовых туфах кимберлитов. Т.н. 33. 2006 г.

Кроме того, прожилковое осветление установлено в убого алмазоносном кимберлите трубок Рождественская (рис. 2.14), Галина и, вероятно, присутствует в других магматических телах изученной площади.



Рис. 2.14. Осветление в ксенотуфобрекчии (КТБ) трубки Рождественская. Скв. 162-5. Гл. 172,5.

Приконтактовое осветление фиксируется в экзоконтактовой зоне (рис. 2.15, 2.16 б) и непосредственно в зоне милонитизации (рис. 2.16, а) на тр. Архангельская.

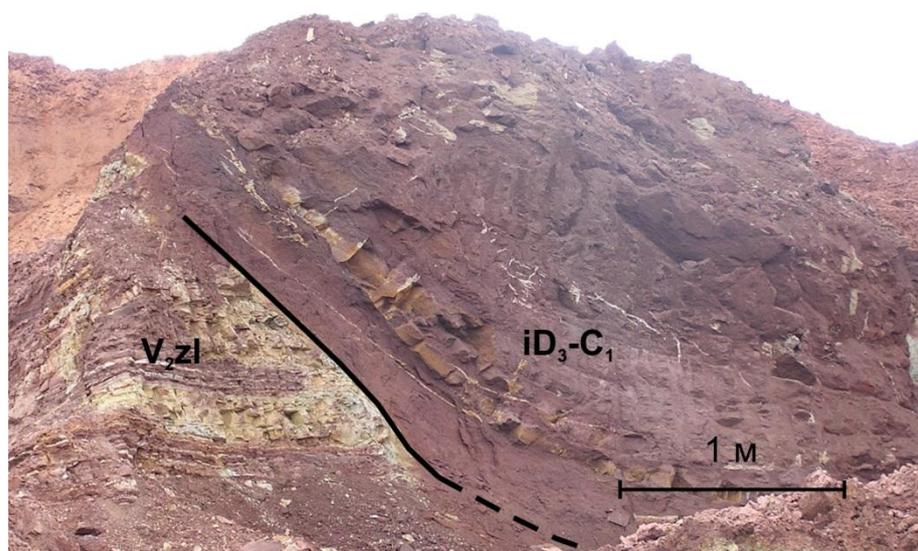


Рис. 2.15. Осветленный крутопадающий на ЮЗ контакт кимберлитовых туфов трубки Архангельская и пород венда. 2006 г.

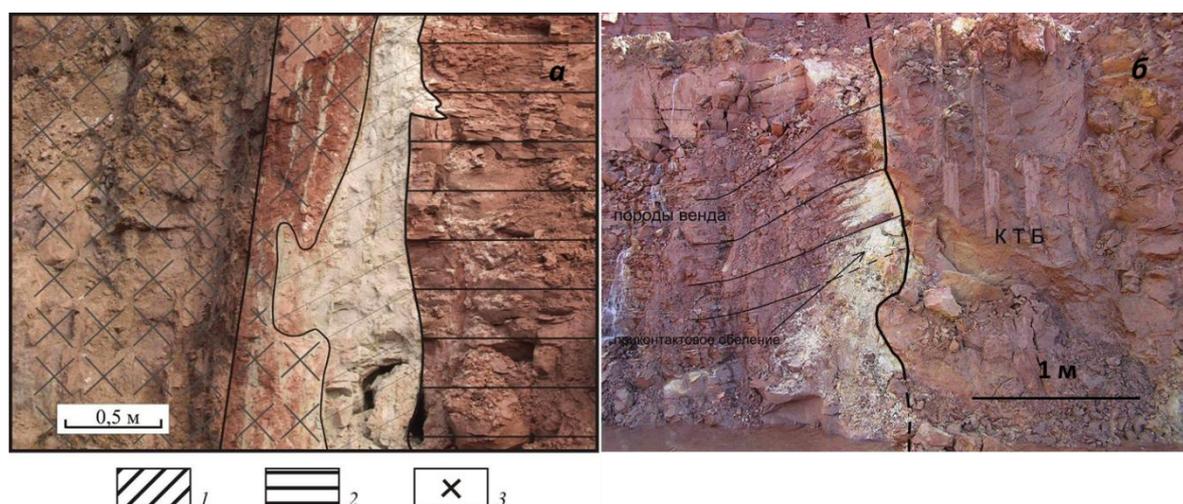


Рис. 2.16. Контакты туфов и вмещающих пород венда [Васильев, 2010].

а – тектонический с осветлением контакт (до 0,7 м) кимберлитовых туфов (iD_3) и вмещающих пород венда (V_{2pd}) тр. Архангельской. 1 – осветленные и милонитизированные туфы (iD_3), 2 – алевролиты и песчаники (V_{2pd}), 3 – кимберлитовые туфы (iD_3). б – тектонический контакт туфопесчаников (КТБ) и осветленных нарушенных слоев венда, т.н. 142, 2006 г.

Выполнено картирование осветления, связанного с контактами туфогенно-осадочных пород (рис. 2.17). Также вынесены на схему все отмеченные контакты кимберлитовых туфов и вмещающих пород.

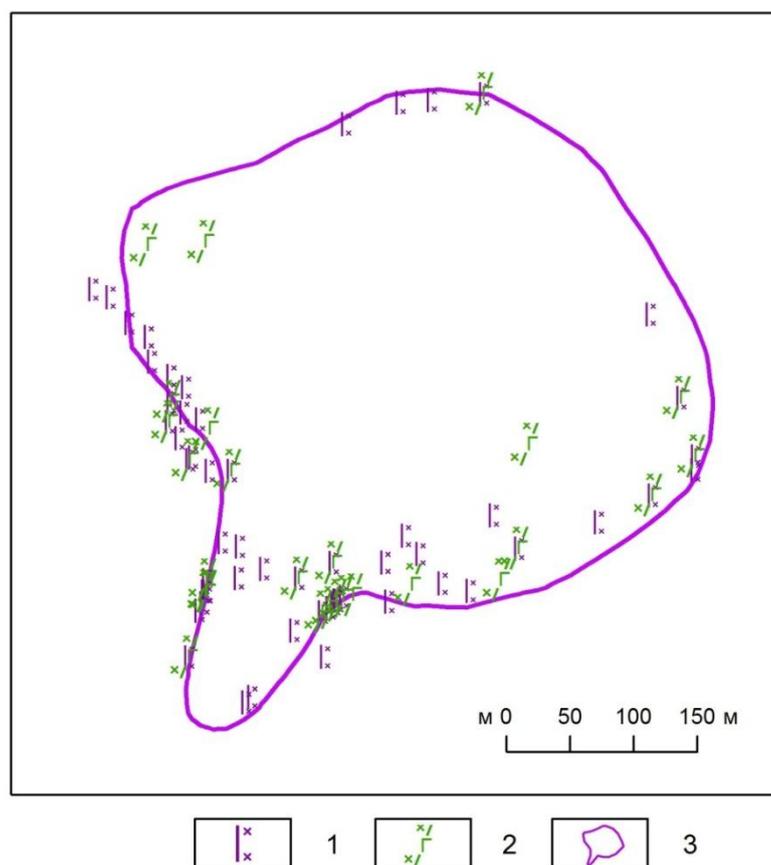


Рис. 2.17. Контакты кратерной фации и вмещающих пород, зафиксированные П.А. Игнатовым и др., включая автора в период с 2004 по 2014 г. в карьере трубки Архангельской.

1 – контакты без осветления; 2 – контакты с осветлением; 3 – контур трубки Архангельской под чехлом перекрывающих отложений

По схеме видно, что значительная часть задокументированных контактов туфогенно-осадочных и вмещающих пород осветлена. Так, примерно из 52 зафиксированных контактов (факт контакта без осветления и осветленного в одной т.н. на схеме приравнялся к осветленному), порядка 26 осветлены. В данном случае осветление, вероятно, связано с термическим воздействием остывающих кимберлитов и их туфов.

В связи с тем, что осветление установлено внутри туфогенных пород и на контакте с ними предположено, что прожилковое осветление имеет эндогенное постмагматическое происхождение [Игнатов и др., 2012]. Поэтому особое внимание уделено прожилковому осветлению, установленному непосредственно во вмещающих породах.

Самостоятельно прожилковое осветление фиксируется в керне скважин, а также в карьерах на различном удалении от магматических тел. Прожилковое осветление во вмещающих красноцветных терригенных породах венда зафиксировано и закартировано в околотрубочном пространстве кимберлитовых тел Архангельская, Белая, Карпинского-1, Пионерская, Первомайская, Рождественская и Снегурочка. В типичных случаях оно представлено светло-зелеными или белыми полосами и прожилками в красноцветных породах мощностью от долей до 20 см, распространяющимся вдоль плоскостей секущих трещин.

На рис. 2.18 показаны примеры прожилкового осветления, документируемые по керну скважин.



Рис. 2.18. Прожилковое осветление в керне поисковых скважин.

а – скв. 5-mz, гл. 111 м, 2012 г.; б – скв. 171-3, гл. 65,8 м. 2005г.; в – скв. 5mz, гл. 134 м, 2012г.; г – скв. 175-1, гл. 129 м, 2005 г.

Наиболее представительные примеры прожилкового осветления обнаружены в карьере тр. Архангельская.(рис. 2.19).

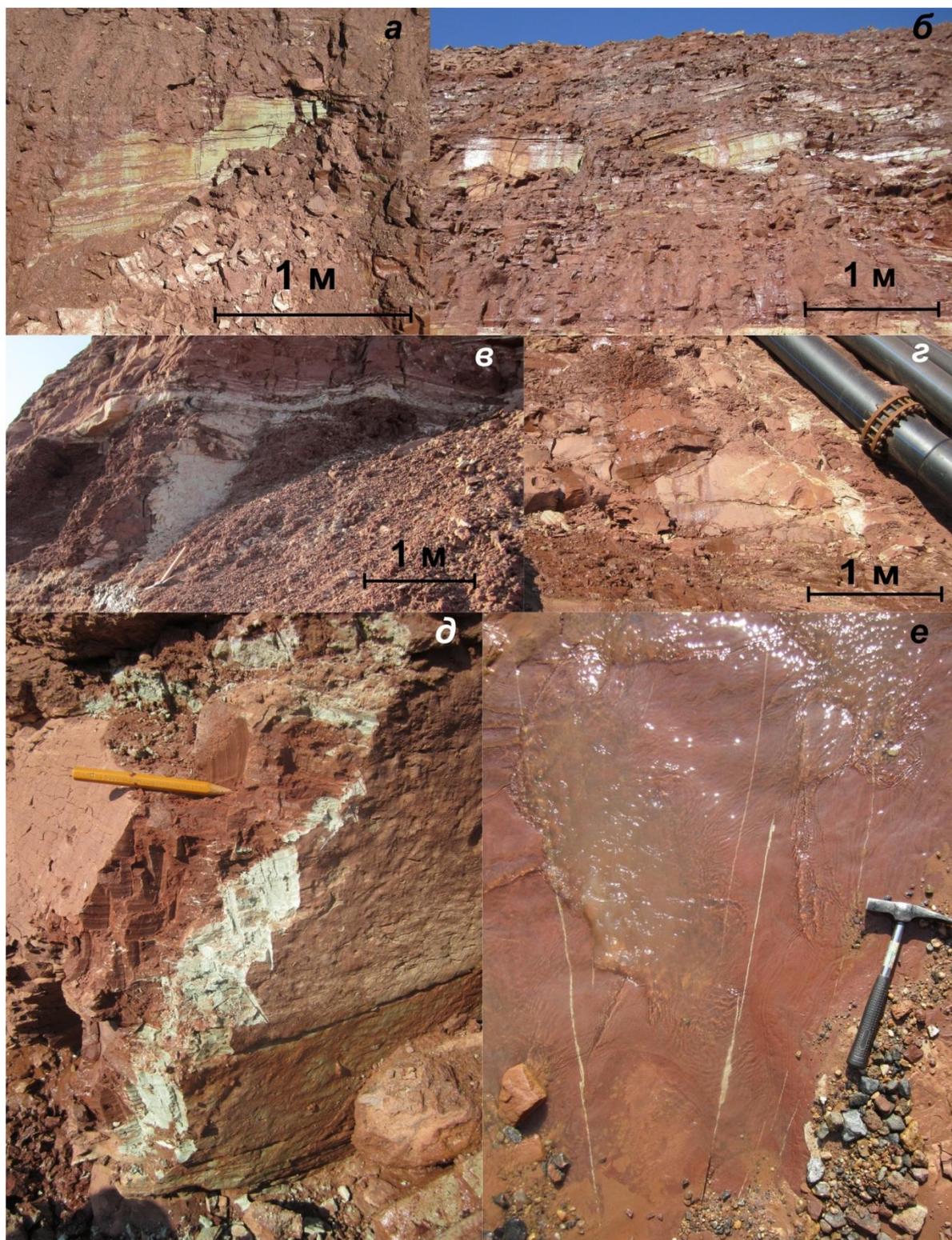


Рис. 2.19. Прожилковое осветление в карьере тр. Архангельская.

а – т.н. А-17-13, уг. пад. 0° , аз. прост. 30° ; б – т.н. А-19-13, уг. пад 0° , аз. прост. 20° и 60° ; в – т.н. А-54-13, абс. отм. 53 м Аз. прост. 30° ; г – интенсивное прожилково-сетчатое осветление, площадь 1 x 2 м, т.н. А-53-13, абс. отм. 50 м; д – прожилковое осветление с раздувом, т.н. А-14-17, абс. отм. 55 м, уг. пад. 0° , аз. прост. 20° ; е – система нитевидных прожилков с осветлением на дне канавы, т.н. А-14-20, абс. отм. 64 м, аз. прост. 20° , 40° .

Следует отметить, что большая часть прожилков имеет простирание параллельное и субпараллельное азимуту удлинения тр. Архангельская, который составляет 20° [Гаранин и др., 2011].

Околотрубочное пространство кимберлитов Карпинская-I, карьер которого на момент изучения вскрывший только верхние горизонты тела, также вмещает прожилковое осветление (рис. 2.20). В данном случае наблюдается субпараллельное контакту туфогенно-осадочной толщи с вендскими отложениями падение прожилков с осветлением.

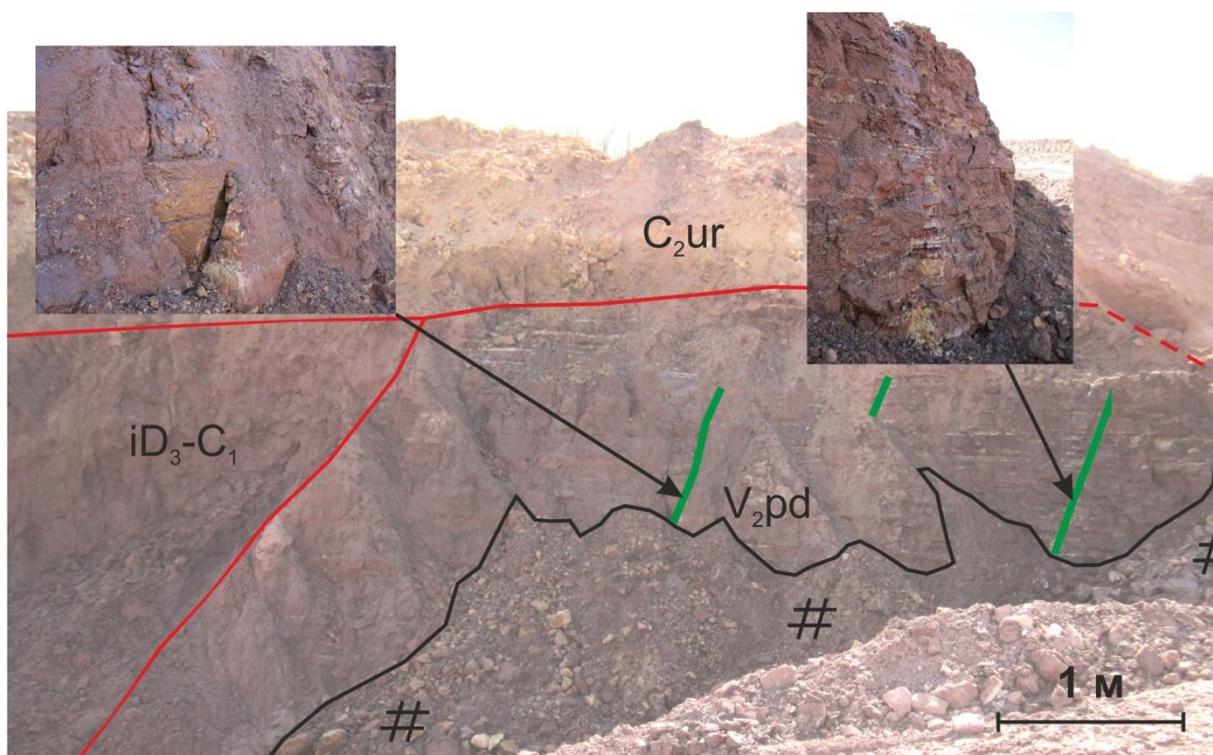


Рис. 2.20. Прожилковое осветление у контакта туфогенной пачки трубки Карпинского-I с породами венда. Т.н.К-15-13. Абс. отм. 87 м. Аз. прост. прожилков 100° .

2.3. Минералого-геохимические особенности осветления

Помимо форм выделения и взаимоотношения с кимберлитами, в целях обоснования выделения прожилкового осветления как эндогенного выполнено минералогическое и геохимическое изучение прожилкового, субпослойного осветления и неизмененных красноцветных пород.

Одним из наиболее достоверных отличительных признаков минеральных новообразований во вмещающих породах венда может служить минерал группы смектитов сапонит, являющийся индикатором околотрубочного пространства, как вторичный минерал по оливину [Соболев и др., 2003]. При изучении ряда проб рентгенофазовым методом сапонит установлен лишь в одной пробе – А-44-13 (табл. 2.3). При этом практически во всех

остальных присутствуют другие близкие по своим свойствам глинистые минералы группы смектитов – нонтронит и монтмориллонит.

Таблица 2.3.

Минеральный состав прожилков с осветлением

№№ п/п	Номер пробы	Условные концентрации, %													Описание образца
		Диоктаэдрический вид (нонтропит, монгмориллонит и др.)	Триоктаэдрический вид (сапонит, соконит и др.)	Гидрослода	Каолинит	Кальцит	Доломит	Пироксены	Кварц	Полевые шпаты	Пирит, гематит, перовскит	Гипс	Апатит, галит, сидерит, родохрозит	Анаказ, ангидрит	
1	П-2mz-189.5	-	-	2	1	39	сл	-	57	сл	-	-	-	1	секущее прожилковое осветление
2	А-11-13	10	-	8	-	-	-	1	80	1	-	-	-	-	позеленение с лимонитом в трещине
3	К-15-13а	1	-	-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	осветление по системе трещин
4	К-15-13б	6	-	сл	-	14	сл	-	79	сл	-	сл	-	1	секущее прожилковое оглеение
5	А-17-13	7	-	2	-	5	-	5	73	2	2	-	1	3	крупное прожилковое позеленение
6	А-41-13	-	-	<1	2	-	-	-	96	-	-	-	1	1	прожилок с лимонитизацией и осветлением
7	А-44-13	8	7	-	-	49	6	-	28	1	-	-	-	1	осветление в вертикальных трещинах
8	Ал 599-2-56	5	-	5	5	-	-	1	78	3	сл	-	сл	3	прожилок зелёный глинистого минерала
9	А-53-13	9	-	2	-	-	-	-	86	-	-	-	-	3	трещинно-прожилковое осветление с темной полосой
10	А-50-13-3	6	-	1	сл	7	-	-	85	-	-	-	-	1	осветление в крутопадающей трещине
11	5mz-111-1	9	-	1	-	34	-	-	56	-	-	-	-	сл	прожилок розовато-бежевого цвета с зеленым микро/з материалом (силл?)

Примечание: анализы выполнены канд геол.-мин. наук Л.В.Лисковой на рентгеновском дифрактометре ARLX`TRA-155,

Thermoscientific, (Швейцария) в лаборатории НИГП АК АЛРОСА

Любое осветление (прожилковое, предположительно, эндогенное, либо субпослойное и другие типы) красноцветных пород связано с переходом трехвалентного железа в двухвалентное в процессе окислительно-восстановительных реакций. В биосфере, при наличии органических веществ и бескислородной обстановки, трехвалентное железо восстанавливается до двухвалентного и легко мигрирует, а при встрече с кислородом двухвалентное железо окисляется, образуя скопления гидроксидов трехвалентного железа [Перельман, 1989, Портнов, 2014]. Окислительно-восстановительные реакции с переходом железа в двухвалентное состояние обусловлены в большинстве случаев биохимическим процессом и иногда физико-химическим. Обеление красноцветных пород с переходом железа в двухвалентную форму при биохимическом процессе связано с жизнедеятельностью анаэробных микроорганизмов [Борисенко, 1980; Перельман, 1989]. Механизм образования прожилкового, предположительно эндогенного осветления, видимо, связан с физико-химическим процессом. В этом случае окислы и гидроксиды железа восстанавливаются, вероятно, под воздействием восстановительных газов (в первую очередь водородом) или насыщенных газами растворов.

При этом следует отметить, что оглеение при сероводородном восстановлении не образуется, поскольку металлы (например, железо), не мигрируют, а начинают осаждаться в виде сульфидов [Перельман, 1961; Борисенко, 1980]. Ярким подтверждением этого являются находки прожилково-вкрапленных выделений пирита, развитых как по осветленным, так и по красноцветным песчаникам (рис. 2.21).

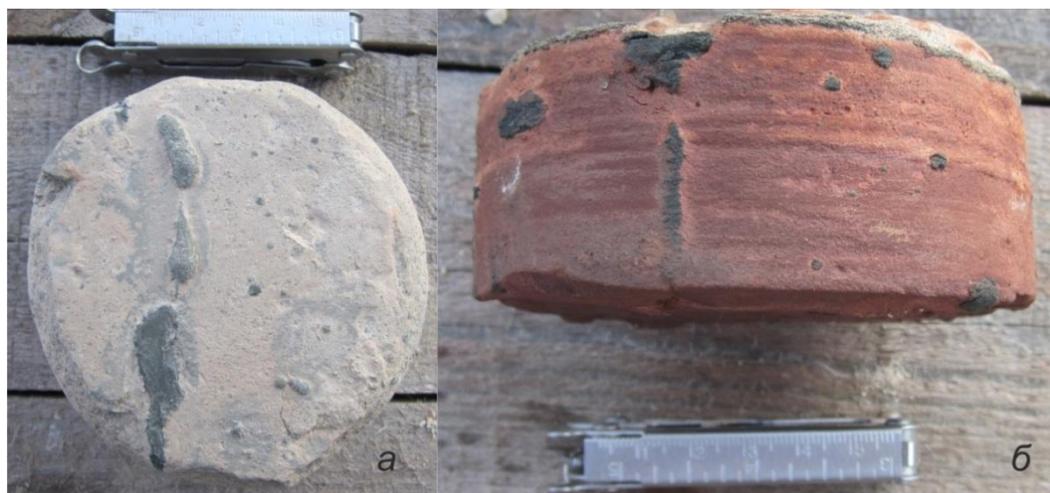


Рис. 2.21. Прожилково-метазернистые выделения пирита в обеленном (а) и красноцветном (б) алевролите. Скв. 774в-1, гл. 92,5 м.

В целях выявления геохимических особенностей прожилкового осветления относительно других типов и красноцветных пород проанализировано 46 соответствующих проб (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

№ п/п	№ образца	Характеристика	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cr	Ni
1	A-14-12-2a	Субпослойное освещение	1,43	4,87	0,32	0,023	0,357	0,002	0,0029	0,0071	0,0027	0,0291	0,001	0,002	0,0005
2	A-14-12-a1	Красноцветный алевролит	2,7	0,17	0,48	0,014	1,14	0,0048	0,0103	0,0113	0,0033	0,0281	0,0021	0,003	<0,0006
3	A-14-12-a2	Субпослойное освещение	1,58	0,1	0,39	<0,0036	0,598	0,0041	0,0093	0,0102	0,0045	0,0339	0,0019	<0,001	0,002
4	A-14-12-a3	Субпослойное освещение	1,28	3,58	0,28	0,0216	0,551	0,0023	0,0022	0,0064	0,0028	0,0385	0,0012	0,002	0,0009
5	A-14-12в	Субпослойное освещение	0,86	1,77	0,29	0,0166	0,27	0,0026	0,0029	0,0042	0,002	0,0304	0,0009	<0,001	0,001
6	A-14-12-в1	Красноцветный алевролит	2,08	2,22	0,39	0,167	1,18	0,0036	0,0102	0,012	0,0041	0,0278	0,0017	0,005	0,0106
7	A-14-12-в2	Субпослойное освещение	2,05	0,11	0,33	0,0153	0,628	0,0047	0,01	0,0104	0,004	0,0299	0,0019	0,003	0,0008
8	A-14-12-в3	Субпослойное освещение	0,98	3,61	0,26	0,0187	0,267	0,0025	0,0022	0,0103	0,0031	0,0248	0,0008	<0,001	0,001
9	A-14-12б	Субпослойное освещение	0,71	5,77	0,12	0,0222	0,235	0,001	0,0026	0,0105	0,0035	0,0188	0,0007	<0,001	0,0006
10	A-14-14-2	Прожилковое освещение	0,96	4,02	0,15	0,0249	0,402	0,0023	0,0021	0,0032	0,0015	0,0099	0,0005	<0,001	0,0006
11	A-14-14-a	Красноцветный алевролит	3,54	0,42	0,66	0,044	4,94	0,007	0,0125	0,0118	0,0039	0,0186	0,0021	0,007	0,0013
12	A-14-14-б	Субпослойное освещение	2,8	0,26	0,42	0,0121	1,01	0,0089	0,0131	0,0126	0,0036	0,0233	0,0017	0,002	0,0049
13	A-14-14-в	Субпослойное освещение	0,62	0,1	0,19	0,0093	0,36	0,0035	0,0036	0,0029	0,0019	0,0181	0,0009	<0,001	0,0014
14	A-14-14-г	Прожилковое освещение	0,76	0,23	0,13	<0,0031	0,344	0,003	0,0034	0,004	0,0018	0,0146	0,0006	<0,001	0,0015
15	A-14-15-a	Прожилковое освещение	2,95	0,21	0,48	0,0082	1,45	0,0082	0,0118	0,0094	0,004	0,0204	0,0015	0,005	0,0031
16	A-14-15-б	Красноцветный песчаник	2,75	0,16	0,6	0,071	4,33	0,0081	0,0119	0,0095	0,0044	0,0221	0,0015	0,006	0,0017

17	A-14-16-a	Прожилковое освещение	2,51	0,11	0,44	0,02	1,14	0,012	0,0156	0,0089	0,0034	0,0274	0,0036	0,005	0,0171
18	A-14-16-б	Прожилковое освещение	2,03	0,09	0,37	0,0075	0,871	0,0095	0,0104	0,0079	0,0033	0,0239	0,0014	<0,001	0,0012
19	A-14-17a	Прожилковое освещение	2,07	0,1	0,38	0,0145	0,834	0,009	0,0102	0,0072	0,0031	0,0232	0,0015	0,003	0,0073
20	A-14-17б	Красноцветная порода	3,3	2,3	0,47	0,0378	2,97	0,0068	0,0104	0,0093	0,0034	0,0228	0,0019	<0,002	<0,0008
21	A-14-18-a	Прожилковое освещение	2,02	0,15	0,3	0,0112	0,923	0,0064	0,0094	0,0069	0,0036	0,0331	0,001	0,002	<0,0006
22	A-14-18-б	Субпослойное освещение	1,56	3,4	0,4	0,0348	0,54	0,0038	0,0036	0,003	0,0016	0,0141	0,0003	<0,001	0,0023
23	A-14-18-в	Красноцветный алевролит	2,83	0,13	0,55	0,0701	3,38	0,0071	0,0112	0,0076	0,0034	0,0296	0,0011	<0,002	<0,0008
24	A-14-19-a	Субпослойное освещение	0,97	0,35	0,48	0,0115	0,35	0,0027	0,0036	0,0029	0,0031	0,0541	0,0014	0,004	0,0009
25	A-14-19-б	Красноцветный алевролит	1,29	0,46	0,33	0,0204	1,5	0,0053	0,007	0,0167	0,003	0,0237	0,0014	0,003	<0,0005
26	A-14-19-в	Прожилковое освещение	1,67	0,13	0,38	0,0061	0,766	0,0067	0,0082	0,0065	0,003	0,0337	0,0009	0,002	0,007
27	A-14-20-a	Красноцветный алевролит	1,96	0,26	0,46	0,0365	2,38	0,0038	0,0079	0,0056	0,0035	0,024	0,0015	0,007	<0,0007
28	A-14-20-б	Субпослойное освещение	0,31	0,18	0,26	0,0055	0,122	0,0015	0,0013	0,0011	0,0029	0,0859	0,0007	<0,001	<0,0003
29	A-14-20-в	Прожилковое освещение	1,6	0,19	0,32	0,0086	0,474	0,0031	0,0055	0,0039	0,0027	0,0195	0,0017	<0,001	0,0012
30	A-14-22-a	Красноцветный алевролит	3,92	0,25	1,04	0,0613	4,71	0,0055	0,0137	0,0198	0,0042	0,0185	0,0026	<0,003	0,0043
31	A-14-22-б	Субпослойноеосветление	1,62	1,07	0,3	0,0118	1,01	0,0045	0,0071	0,0083	0,003	0,0349	0,0014	<0,001	<0,0006
32	A-14-22-в	Прожилковое освещение	3,46	0,54	0,49	0,0267	1,11	0,0072	0,0158	0,0101	0,0048	0,0213	0,0021	0,004	<0,0006
33	A-14-23	Прожилковое освещение	2,72	0,38	0,4	0,0103	0,928	0,0051	0,0129	0,0126	0,0041	0,021	0,0016	0,002	<0,0005
34	A-14-24-a	Прожилковое освещение	1,51	0,12	0,34	0,0057	0,562	0,0051	0,0067	0,0043	0,0028	0,0314	0,0013	<0,001	0,0023
35	A-14-24-б	Субпослойноеосветление	1	1,91	0,26	0,0306	0,371	0,0033	0,0034	0,0041	0,0024	0,019	0,0013	<0,001	0,0044
36	A-14-24-в	Красноцветный алевролит	2,22	0,13	0,49	0,0332	2,81	0,0071	0,0094	0,0068	0,0036	0,0295	0,002	0,003	0,0269

37	A-14-25-a	Красноцветный алеврит	3,61	0,4	0,62	0,0797	4,55	0,0087	0,0119	0,0104	0,004	0,0199	0,0015	0,005	0,0018
38	A-14-25-б	Субпослойноеосветление	1,55	1,26	0,32	0,0233	0,471	0,0055	0,0045	0,0042	0,0031	0,0372	0,0013	0,003	0,0014
39	A-14-25-в	Прожилковоеосвещение	1,95	0,11	0,4	0,0242	0,713	0,0094	0,0084	0,005	0,004	0,0413	0,0017	0,002	0,0028
40	К-14-8а	Красноцветный песчаник	0,7	0,26	0,37	0,0108	0,979	<0,0004	0,0013	0,0014	0,0019	0,0436	<0,0003	0,003	<0,0004
41	К-14-8б	Красноцветный песчаник	0,36	0,44	0,32	<0,0026	0,136	0,0014	0,0013	0,0022	0,0021	0,0353	0,0009	<0,001	0,0003
42	К-14-17б	Субпослойноеосветление	2,88	<0,05	0,31	0,0164	0,665	0,002	0,0049	0,0016	0,0021	0,024	0,0012	0,002	<0,0004
43	К-14-17а	Красноцветный алеврит	3,71	0,1	0,39	0,0162	2,59	0,0037	0,0071	0,0022	0,0032	0,0281	0,0008	0,005	0,0156
44	A-50-13	Прожилковоеосвещение	1,8876	0,13898	0,45138		0,78484	0,00831	0,00857	0,007	0,00396	0,03119	0,00141		0,00754
45	A-50-13-2	Красноцветный песчаник	1,0736		0,33263		1,22249	0,001509	0,004333	0,005	0,002794	0,036759	0,000925		
46	П-2mz-189,5	Прожилковоеосвещение	1,1677	14,4922	0,143	0,0545	0,149		0,0012	0,003	0,0033	0,0511			

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории МГРИ-РГГРУ (зав. лаб. к. т. н. М.Ю.Гурвич)

По подсчитанным средним содержаниям по результатам рентгенофлуоресцентного анализа прожилковое осветление отличается от оглеения повышенными содержаниями калия, железа, цинка, рубидия, ниобия, хрома, никеля, пониженными - только кальция (рис. 2.22). Примерно одинаковые содержания наблюдаются у титана, марганца, стронция и иттрия.

В связи с изменением химического состава прожилкового осветления относительно неизменных красноцветных пород (прежде всего выносом железа, марганца) его образование можно отнести к инфильтрационно-метасоматическому процессу.

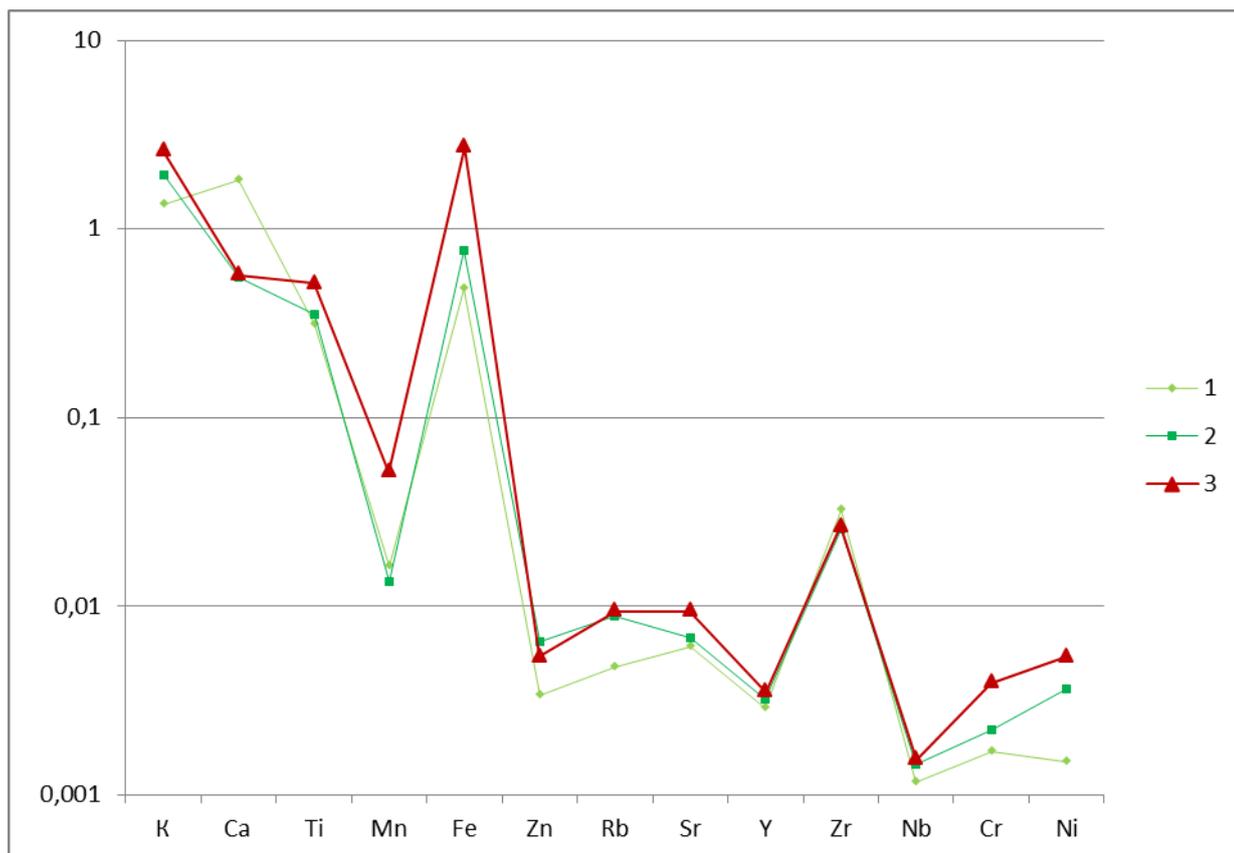


Рис. 2.22. Средние содержания химических элементов по результатам рентгенофлуоресцентного анализа во вмещающих кимберлиты породах венда.

1 – субслоиное осветление, 2 – прожилковое осветление, 3 – неизменные красноцветные образования.

Относительно большой вынос калия, железа при катагенетическом оглеении, по сравнению с прожилковым предположительно эндогенным осветлением, видимо, связан с продолжительным воздействием восстановительных подземных вод и жизнедеятельностью анаэробных бактерий. Повышенные содержания цинка в эндогенном осветлении, вероятно, обусловлены его привносом и выпадением в щелочных и нейтральных по кислотности условиях. Концентрация рубидия также, вероятно, связана с эндогенными процессами,

поскольку «биологические процессы не благоприятствуют его накоплению» [Перельман, 1989].

Кроме того выполнен анализ прозрачных шлифов, один из которых отобран из контактовой зоны прожилкового осветления и красноцветных пород (рис. 2.23).

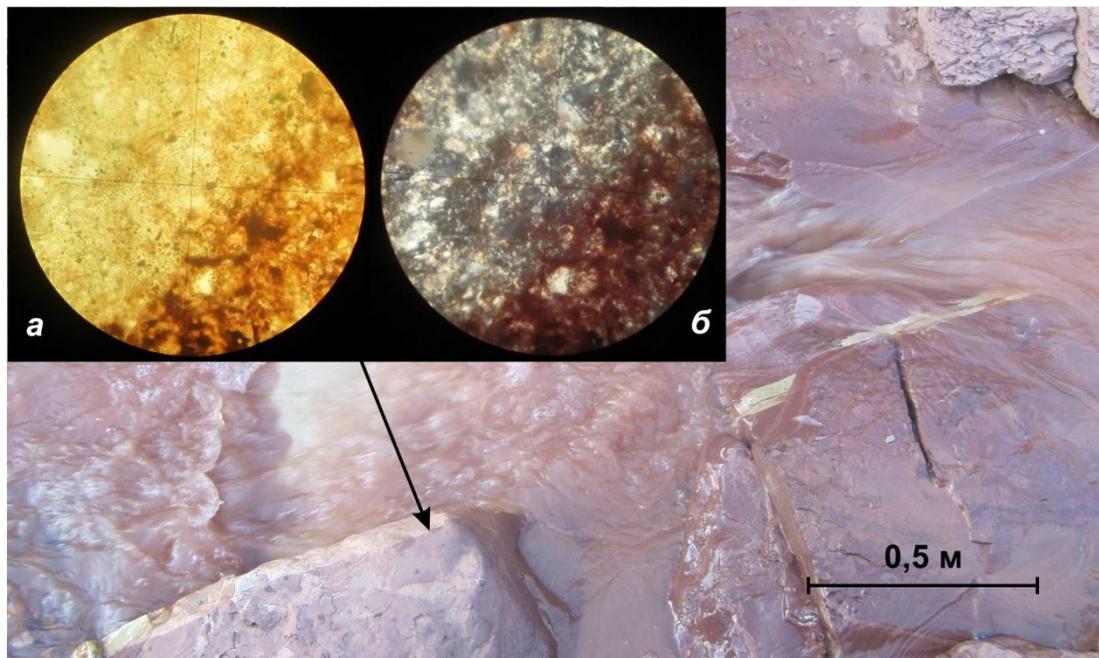


Рис. 2.23. Прозрачный шлиф, выполненный по контактовой зоне прожилкового осветления с красноцветными алевролитами.

Т.н. А-14-12. Увел. 40х. а – николи параллельны; б – николи скрещены

В прозрачных шлифах в красноцветных образованиях наблюдаются «тонко диспергированные окислы и гидроокислы железа, обволакивающие и цементирующие терригенные частицы» [Борисенко, 1980], тогда как в осветленных образованиях они отсутствуют. При этом контакт довольно четкий даже при увеличении 40х. Следует отметить отсутствие новообразований или каких-либо изменений минерального состава в осветлении.

Также по 12 образцам (по шести парным – осветлению и красноцветным образованиям) выполнена масс-спектрометрия с использованием индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS). Из них 6 проанализированных проб отобрано из красноцветных образований, 5 – из прожилкового осветления, один образец – из послойного осветления (табл. 2.5).

Таблица 2.5.

Результаты анализов методом масс-спектрометрии с использованием индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS)

ppm	а 14-12-1	а 14-12 в1	а 14-17 а	а 14-17 б	а 14-19 б	а 14-19 в	а 14-20 а	а 14-20 в	а 14-22 а	а 14-22 в	а 14-25 а	а 14-25 б
Описание пробы	Прожилковое освещение	Красноцветный алевролит	Прожилковое освещение	Красноцветный алевролит	Красноцветный алевролит	Прожилковое освещение	Красноцветный алевролит	Прожилковое освещение	Красноцветный алевролит	Прожилковое освещение	Красноцветный алевролит	Субпослойное освещение
Li	21,8097	22,2352	17,0511	19,4443	21,5995	22,2360	20,8373	16,1976	28,6029	30,1629	25,6941	24,1809
Be	2,0718	3,0570	2,6390	2,4995	2,4424	2,2599	2,6510	1,1888	4,5964	3,5204	3,5343	2,1123
Sc	9,7139	11,6646	6,3253	8,3409	10,2188	9,6927	10,7114	6,4138	14,2021	13,3682	12,5788	10,4576
Ti	4841,6635	5399,6443	4862,2495	4648,2538	4462,7428	4323,5089	4492,4562	3403,7127	5582,0510	5829,4909	4561,0931	4833,5512
V	59,2237	68,9352	64,4120	67,7117	61,6698	52,8564	54,6715	53,7251	98,7569	142,4390	70,9248	51,2244
Cr	43,9400	73,5387	45,2751	44,6221	35,4743	31,1155	44,9649	9,1774	79,6591	88,5447	44,0257	32,3139
Mn	93,0955	542,3380	75,7475	216,1569	323,0272	92,0573	406,1612	51,3292	520,2380	99,4340	365,4510	145,4858
Co	6,7327	50,9753	9,3144	10,2739	11,0904	20,2529	6,3995	34,4370	7,3372	8,2875	10,3002	26,6773
Ni	21,0658	52,2118	67,0066	67,1609	54,7358	72,8629	27,5200	31,8017	53,3597	59,4737	103,7423	112,4322
Cu	6,0575	13,7077	30,5232	16,9745	5,6851	5,1219	2,6566	1,6268	31,7955	15,6819	12,3918	29,8174
Zn	73,0537	80,2668	79,9068	98,6706	97,2102	95,2899	79,0624	68,4610	95,3061	78,5506	124,6435	101,2657
Rb	70,9187	16,7813	13,3810	16,8749	92,0597	86,7203	82,2673	50,4158	110,0873	93,5827	108,2807	94,3149
Sr	100,0974	81,5769	49,0441	64,6339	184,3928	89,1129	72,6289	51,6370	151,7481	139,8222	124,0853	91,3495
Y	23,5848	5,9356	5,8588	9,9253	24,1112	22,2507	22,6435	16,2976	15,6241	12,1625	29,0956	29,6084
Zr	371,2677	263,8308	239,6716	236,4591	254,1263	317,0501	231,7395	181,4426	187,0852	182,7859	217,7961	370,1692
Nb	16,1691	18,2298	16,1525	15,6099	14,8112	14,3562	15,1099	10,7957	18,5404	19,5162	15,4362	15,3788
Mo	0,2084	0,5563	<ПО	0,5094	0,1623	0,1331	0,2595	<ПО	0,8854	0,5041	0,7460	<ПО
Ag	1,6446	21,7611	1,0724	1,1418	1,1930	1,4634	0,9778	0,7345	1,0755	0,9034	1,0423	1,8127
Cd	0,4157	0,2927	0,3032	0,2168	0,2090	0,3350	0,2102	0,0796	0,2799	0,1790	0,2445	0,4064
Cs	2,4947	1,0928	2,1336	1,7454	3,2209	2,9900	2,2403	1,1837	4,1237	4,2568	4,1499	3,2723
Ba	259,1980	285,6578	148,5250	233,1652	317,4545	256,7502	250,3195	167,5829	336,3053	293,3007	403,7140	280,7951
La	32,8613	4,2199	6,2420	8,9384	35,0201	27,1860	28,7703	20,8086	28,6066	22,6402	32,5387	32,0219
Ce	78,7732	12,1689	15,9891	23,4581	78,1752	61,6618	56,7807	40,6433	56,7205	44,5559	69,2507	70,0792
Pr	8,5305	1,2934	2,0892	2,8744	8,8973	6,6252	6,8365	5,3462	7,0702	5,6814	8,2152	8,0887
Nd	33,6075	5,1628	8,3394	11,9427	35,1396	25,5862	25,6444	21,1370	28,0368	22,6493	32,4489	31,9089
Sm	6,8917	1,2587	1,8469	2,6093	6,7869	4,9069	4,9697	4,2127	5,2273	4,1219	6,1727	6,6466
Eu	1,1624	0,2724	0,3508	0,5468	1,3100	0,9568	0,9437	0,7358	0,9510	0,7921	1,2531	1,2285
Gd	6,5515	1,2248	1,7319	2,4791	6,8598	4,9786	5,1079	4,1077	4,9650	3,8230	6,4449	6,5878

Tb	0,8407	0,1843	0,2334	0,3586	0,8397	0,6511	0,6674	0,5169	0,5573	0,4514	0,8766	0,8736
Dy	4,4049	1,4446	1,4797	2,3461	4,5274	3,8657	3,7561	2,8030	2,9413	2,3362	5,1331	4,9752
Ho	0,8950	0,3264	0,3117	0,4943	0,9259	0,7850	0,7740	0,5787	0,6223	0,4941	1,0447	1,1187
Er	2,6735	1,0556	0,9360	1,5568	2,4920	2,4184	2,3314	1,7524	1,7942	1,5789	3,0959	3,2381
Tm	0,4226	0,1889	0,1756	0,2651	0,4044	0,3896	0,3944	0,2495	0,3050	0,2660	0,4633	0,5092
Yb	2,8256	1,3861	1,1119	1,7738	2,4563	2,5149	2,4132	1,6141	1,9967	1,7076	2,9607	3,3715
Lu	0,4513	0,1826	0,1626	0,2682	0,4266	0,4022	0,3864	0,2502	0,3189	0,2885	0,4862	0,5205
Hf	10,4370	7,6707	6,8143	6,7039	7,3341	8,5720	6,7535	5,0561	5,4027	5,2866	6,1853	10,1106
Ta	1,0500	1,1673	1,0003	0,9721	0,8816	0,8431	0,8749	0,6648	1,2231	1,2672	0,9633	1,0207
W	2,1527	1,8338	1,5580	1,4876	1,5498	2,5373	1,6018	1,0211	2,2266	1,5949	1,3885	16,0861
Pb	2,7972	4,0874	2,8934	5,9379	7,1084	6,4915	7,2092	4,6746	10,9390	2,9906	8,4299	2,9253
Bi	0,0803	0,1107	0,1111	0,0999	0,1019	0,0619	0,1103	0,0279	0,2317	0,0599	0,1350	0,0242
Th	11,9227	3,2861	2,9961	4,4732	9,7952	8,9218	8,7868	5,1226	8,8624	6,6576	11,3139	11,0976
U	2,5532	1,4760	1,4260	1,4161	2,0033	3,5043	1,4412	2,4116	1,3868	2,3487	1,7084	3,3775

Уверенно по всем имеющимся красноцветным пробам наблюдаются повышенные содержания Sc, Mn, Zn, Mo, Ba, Pb, а по осветленным породам – U (табл. 2.5). В этой связи, следует отметить накопление естественных радиоактивных элементов U, Th, K в околотрубочном пространстве тр. Архангельской [Яковлев, 2016]. А также в несколько раз относительно фона повышенные мощности экспозиционной дозы радиоактивности во вмещающих кимберлиты породах [Игнатов и др., 2014] и повышенные концентрации радиационных дефектов в экзоконтактах кимберлитов (Зарипов, 2014).

Помимо морфологии, минерального и элементного состава прожилкового осветления на данный момент исследований геологическим доказательством его эндогенного происхождения являются результаты картирования. Так, установлено, что распространенность секущего осветления от края трубки достигает 200 м (рис. 2.24). Кроме того, наблюдается приуроченность массива осветления к субмеридиональному простиранию, поскольку на западе и востоке карьера трубки Архангельская фактов осветления меньше всего. Надо отметить, что все факты прожилкового осветления в карьере тр. Карпинского-I расположены в южной его зоне.

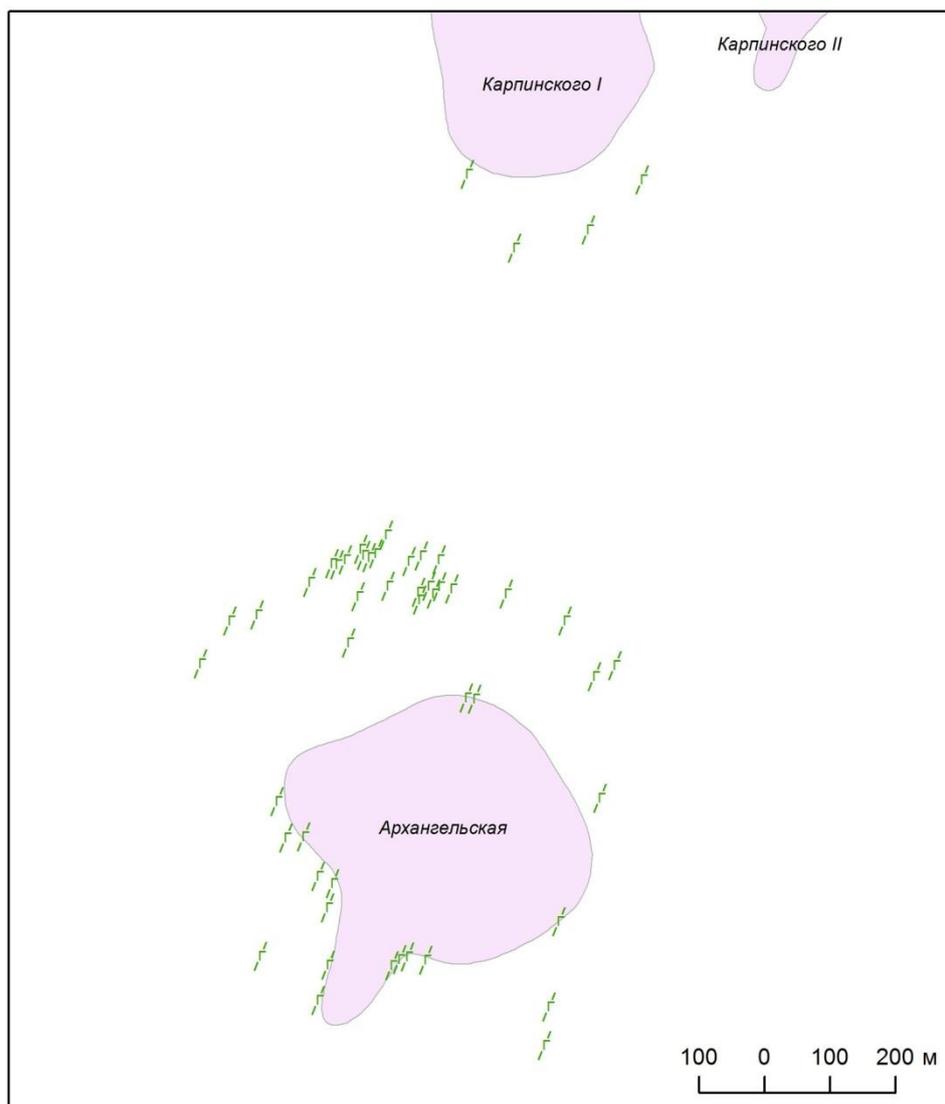


Рис. 2.24. Распространение прожилкового осветления, установленное по результатам изучения карьеров трубок Архангельская, Карпинского-I П.А. Игнатовым с коллегами, включая автора, с 2004 г. Прожилки показаны условным значком.

В масштабе поисковых площадей также установлена закономерность распространения прожилкового осветления. Так, прожилки установлены только в районе Золотицкого поля, тогда как проявления субпослойного осветления наблюдаются практически повсеместно (см. рис. 2.1).

В карьере трубки Архангельская помимо присутствия, вероятно, эндогенного прожилкового осветления, есть основания выделять субпослойное осветление также связанное с магматизмом. Например, на рис. 2.25 наблюдаются затухающие в связи с удалением от кимберлита прослойки послойного осветления.



Рис. 2.25. Послойное осветление во вмещающих породах венда на контакте с туфовой пачкой трубки Архангельская.

Кроме того, следует отметить в некоторых случаях ассоциацию прожилкового и субпослойного осветления (рис. 2.26).

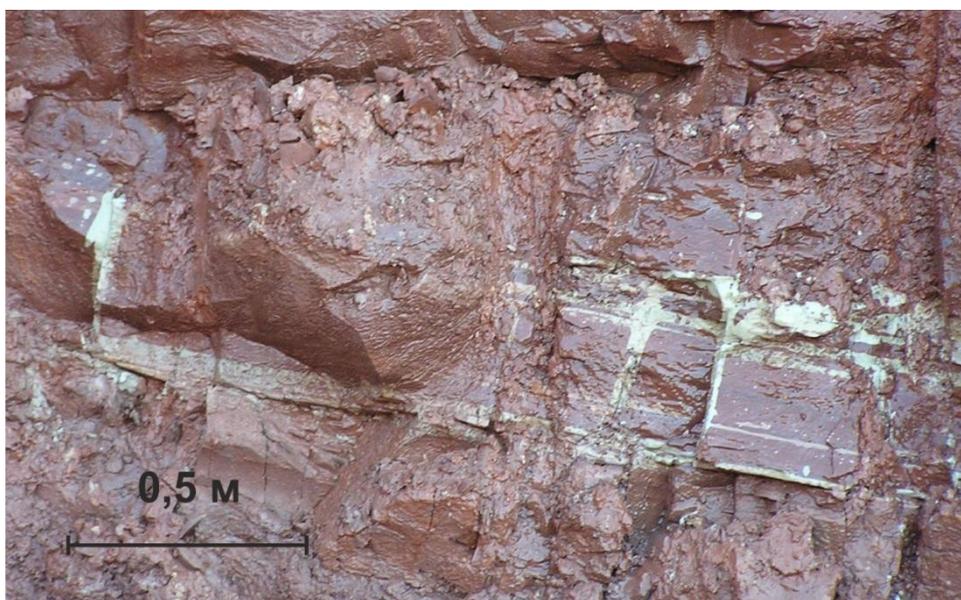


Рис. 2.26. Ассоциация прожилкового и субпослойного осветления в породах венда в 10 м от контакта с туфами. Т.н. 118. 2006 г.

Таким образом, в Зимнебережном районе в красноцветных породах венда установлены морфологические, минералогические и геохимические признаки и данные геологического

картирования по осветлению разного происхождения. При этом перемена окраски (любой тип осветления) красноцветных пород связана, в первую очередь, переходом железа из трехвалентной формы в двухвалентную и частичным его выносом под воздействием восстановительной бессероводородной (глеевой) обстановки. При этом допускается отсутствие выноса железа [Перельман, 1961]. Выделение прожилкового осветления, как проявления, связанного с магматизмом обосновано следующими фактами: 1), характерными формами с четкими границами и развивающимися вдоль тектонических трещин; 2) данными картирования в масштабе рудного тела и месторождения; 3) присутствию прожилкового осветления в туфогенно-осадочных породах; 4) частично по средним содержаниям ряда элементов удалось выделить особенности прожилкового и послойного осветления; 5) косвенным подтверждением эндогенной природы осветления являются результаты рентгенофазового анализа; 6) развитием идеи флюидизитового происхождения кимберлитовых трубок и образованием алмазов водородно-метановым способом, что объясняет присутствие восстановительной среды в околотрубочном пространстве [Портнов, 2012, Иванников, 2011]

Таким образом, изложенный материал лежит в обосновании первого защищаемого положения: *«В Зимнебережном районе Архангельской алмазонасной провинции выделено три метасоматических типа осветления красноцветных пород венда: диагенетическое, катагенетическое и постмагматическое эндогенное, связанное с кимберлитами.*

ГЛАВА 3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Прожилково-послойное осветление также установлено в Накынском поле Якутской алмазонасной провинции, в том числе в околокимберлитовом пространстве месторождений трубок Нюрбинская и Ботуобинская, Майское и других алмазонасных тел.

3.1. Минерогения

Накынское кимберлитовое поле расположено в 300 км к северо-востоку от г. Мирного в районе среднего течения реки Мархи (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Схема расположения кимберлитовых полей южной части Якутской провинции [по Костровицкому и др., 2015].

Цвет поля отражает возраст его формирования (в млн. лет): красный – 380-347.

Границы Якутской алмазонасной провинции (ЯАП) во врезке приведены по данным А.Д. Харькива и др. [Харькив и др., 1998]

Накынское поле входит в состав Средне-Мархинского алмазонасного района Якутской алмазонасной провинции (рис. 3.2).

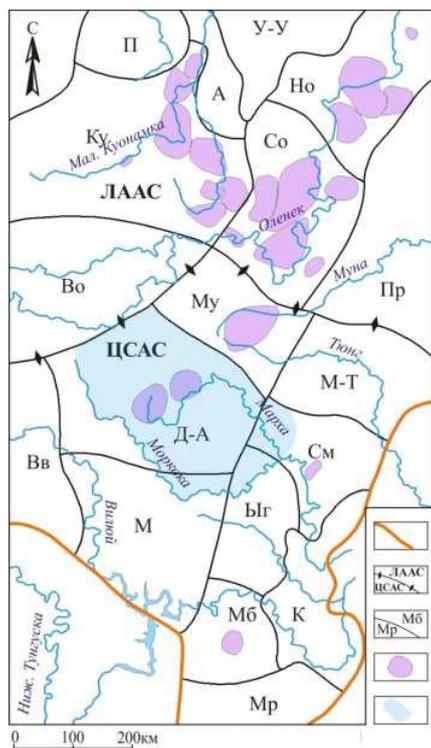


Рис. 3.2. Схема минерагенического районирования Якутской алмазоносной провинции (по материалам Н.И. Горева) [Евстратов, 2015].

1 – граница ЯАП; 2 – граница между алмазоносными субпровинциями: ЦСАС – Центрально-Сибирская алмазоносная субпровинция; ЛААС – Лено-Анабарская алмазоносная субпровинция; 3 – границы алмазоносных районов: Мр – Мурбайский; Мб – Малоботуобинский; К – Крестяхский; Вв – Верхневиллюйский; М – Моркокинский; Ыг – Ыгыаттинский; См – Средне-Мархинский; Д-А – Далдыно-Алакитский; Му – Мунский; М-Т – Муно-Тюнгский; Во – Верхнеоленёкский; Со – Среднеоленёкский; Пр – Приленский; Ку – Куонамский; А – Анабарский; Но – Нижнеоленёкский; П – Попигаийский; У-У – Уэлюджинский; 4 – кимберлитовые поля; 5 – площадь исследуемой территории

Алмазоносные районы в Якутской провинции выделены по наличию типоморфных характеристик россыпной алмазоносности и ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза на площадях развития кимберлитов [Евстратов, 2015].

3.2. Стратиграфия

На изученной территории выделяется два геолого-структурных этажа: кристаллический фундамент и платформенный чехол. Кристаллический фундамент по данным нефтепоисковых скважин, пройденных вблизи объекта, представлен древними метаморфическими образованиями архея и протерозоя — гранито-гнейсами с интервалами биотитовых гнейсов и амфиболитов [Никулин, 2006]. По геолого-геофизическим данным фундамент в Накынском поле залегает на глубине 3,7-4 км [Харькив и др., 1998].

Платформенный чехол представлен рифейскими, кембрийскими, ордовикскими, силурийскими, триас-юрскими, юрскими и четвертичными отложениями (рис. 3.3). Кембрийские, ордовикские и силурийские отложения выделяются в венд-нижнепалеозойский рудовмещающий структурный ярус, а триасовые и юрские образования – в перекрывающий мезозойский [Никулин, 2006].

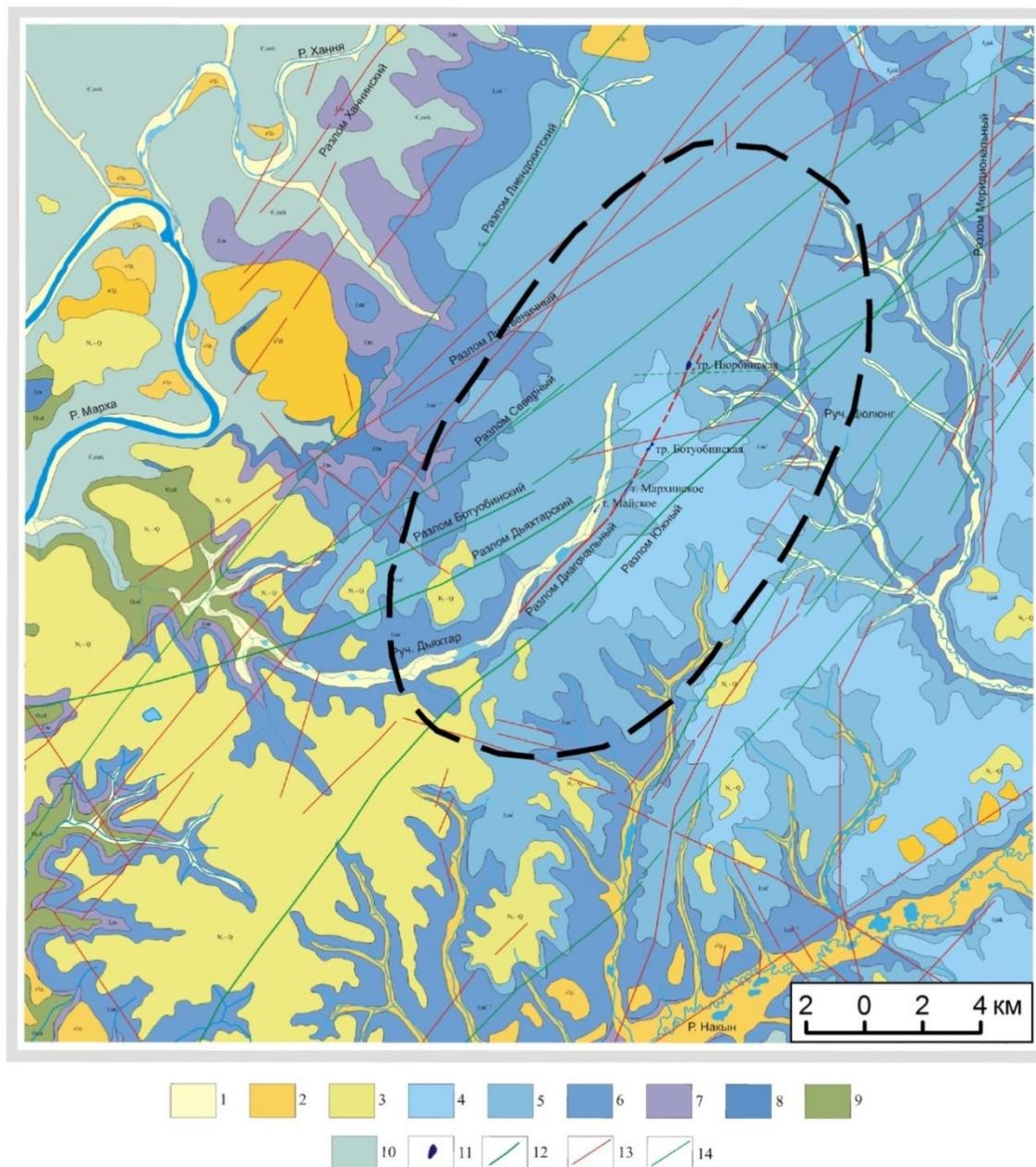


Рис. 3.3. Геологическая карта Накынского поля [Никулин и др., 2009].

1 - четвертичные отложения (Q_{IV}); 2 - аллювиальные четвертичные (a_2Q_{II} и a_3Q_I); 3 - неоген-четвертичные (N_2-Q); 4 - якутская свита (J_2jak); 5 - сунтарская свита, верхняя пачка (J_1sn4); 6 - сунтарская свита, нижние пачки (J_1sn_{1-3}); 7 - тюнгская свита (J_1tn); 8 - укугутская свита (J_1uk); 9 - олондинская свита (O_{1ol}); 10 - мархинская свита (C_3mrh).

Среднепалеозойские интрузивные образования: 11 - кимберлитовые тела (iPZ_2); 12 -

дайковые тела основного состава ($v\beta PZ_2$); 13 – разрывные нарушения; 14 - разломы, выполненные дайками основных пород. Пунктиром показан контур Накынского поля [Костровицкий и др., 2015]

Рифейские отложения представлены конгломератовой и доломитовой пачками мощностью соответственно 20 и 6 м. По сейсморазведочным данным, зоны развития рифейских отложений контролируются тектоническими нарушениями значительной амплитуды [Никулин, 2009].

В основании разреза осадочного чехла залегают терригенные отложения венда, представленные переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. На рассматриваемой территории породы венда залегают на размытой поверхности кристаллического фундамента, частично на рифейских образованиях и имеют повсеместное распространение. Карбонатная толща венда повсеместно залегает на разновозрастных породах терригенного венда и корях выветривания кристаллического фундамента. Мощность вендских отложений составляет порядка 550 м [Никулин, 2006].

Кембрийская система на площади представлена всеми тремя отделами. Нижний отдел включает билирскую свиту; нижний-средний отделы – куонамскую свиту; средний – силигирскую; средний-верхний отделы представлены бордонской свитой; верхний - джуктинской и мархинской свитами. Суммарная мощность кембрийских отложений достигает 2200 м [Сыромолотова, 2010ф].

Изученная толща верхнего отдела кембрийской системы представлена пестроцветной мархинской свитой. Мархинская свита сложена пестроцветными алевролитами, аргиллитами, известняками, доломитами и от нижележащих пород отличается повышенной гипсоносностью. Общая мощность мархинской свиты 780-840 м [Масленникова и др., 2007ф, 2013ф; Сыромолотова, 2010ф]. Осветление наиболее ярко проявлено и максимально изучено в красноцветных породах мархинской свиты.

Ордовикские отложения, на площади объекта, представлены нижним и средним отделами. Нижний отдел включает олдондинскую свиту, которая согласно залегает на подстилающих породах мархинской свиты. Свита сложена преимущественно сероцветными известняками общей мощностью около 470 м. Среднеордовикские отложения, сохранившиеся в узких грабенах, представлены пестроцветными, сероцветными глинисто-карбонатными и глинисто-терригенными породами станской свиты мощностью около 50 м. На породах олдондинской свиты она залегает с размывом [Сыромолотова, 2010ф].

Силур представлен известняками глинистыми, органогенно-обломочными, доломитами глинистыми с прослоями мергелей и алевролитов, мощностью до 120 м [Никулин, 2006].

Мезозойский структурно-литологический ярус на данной площади сложен терригенными юрскими отложениями, которые с резким стратиграфическим несогласием залегают на различных горизонтах нижнего ордовика, перекрывая их в виде плаща различной мощности. Мезозойская терригенная формация в районе представлена делювиально-карстовыми образованиями дяхтарской толщи (T_3 - J_1dh), континентальными отложениями укугутской свиты (J_1uk), морскими и дельтовыми осадками тюнгской (J_1tn), сунтарской (J_1sn), и якутской (J_2jak) свит общей мощностью около 200 м [Сыромолотова и др., 2010ф; Никулин, 2006].

Дяхтарская свита сложена продуктами кор выветривания: пестроцветными алевритово-глинистыми породами, выполняющими карстовые и эрозионно-карстовые депрессии и образующими элювиально-делювиальные и делювиально-пролювиальные шлейфы. Отложения дяхтарской толщи залегают на нижнепалеозойских осадочных и среднепалеозойских интрузивных образованиях. Мощность отложений дяхтарской толщи варьирует от первых метров до 65 м. Вблизи кимберлитовых трубок отложения вмещают промышленные россыпи алмазов [Граханов, 2010; Масленникова, 2013ф и др.].

Породы укугутской свиты с размывом перекрывают образования дяхтарской толщи, осадочные и интрузивные породы нижнего-среднего палеозоя. Представлена она континентальными отложениями: алевритами, песчаниками, аргиллитами и конгломератами. Для пород свиты характерна высокая насыщенность разноразмерными углефицированными остатками, сидеритовыми и пиритовыми конкрециями. В районе известных кимберлитовых трубок базальный горизонт свиты вмещает промышленную россыпь алмазов, многочисленные алмазопоявления, сопровождающиеся высокими концентрациями минералов-спутников алмаза. Максимальная мощность свиты – 50,0 м [Граханов, 2010; Масленникова, 2013ф и др.].

Отложения тюнгской свиты залегают на породах укугутской свиты, на породах нижнего палеозоя и траптовых интрузиях. Свита сложена однотонной пачкой тонкозернистых песчаников (алевропесчаников) с рассеянной галькой и крупными (до 7 см) раковинами пелеципод. Мощность 5–7 м. Минералы-индикаторы кимберлитов в тюнгских отложениях приурочены к базальному горизонту, представлены единичными, мелкими гипергенно измененными зернами пироба красного цвета и пикроильменитами [Граханов, 2010; Масленникова, 2013ф и др.].

Отложения сунтарской свиты представлены глинисто-терригенными породами, которые согласно залегают на породах тюнгской свиты и перекрываются кайнозойскими образованиями. Общая мощность свиты достигает 85,0 м.

Отложения якутской свиты пользуются ограниченным распространением на изученной территории. Они представлены песками, слабо литифицированными песчаниками. Максимальная мощность свиты – 16 м

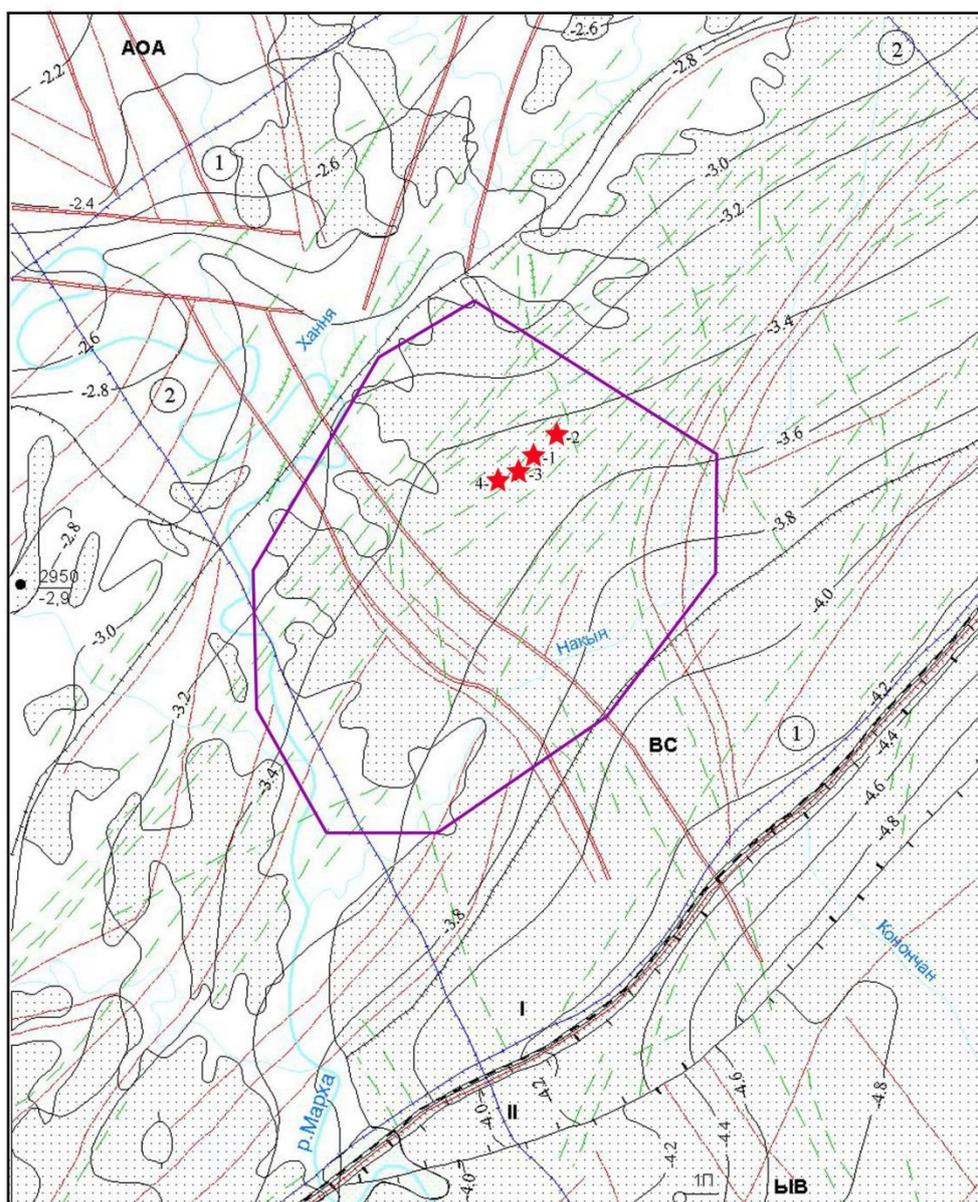
Породы четвертичной системы в районе работ представлены отложениями среднего звена, IV надпойменной террасы, а также верхнего и современного звеньев: пролювиально-делювиальные, озерно-болотные и современные аллювиальные. Образования четвертичной системы повсеместно распространены на изученной площади [Никитин и др., 2011ф].

3.3. Тектоника

В структурно-тектоническом плане участок работ располагается на юго-восточном склоне Анабарской антеклизы в северо-западном борту Вилюйской синеклизы, представляющую собой надпорядковую верхнепалеозойско-мезозойскую структуру, наложенную на сформировавшуюся в среднем палеозое тектоническую основу [Сыромолотова и др., 2010ф и др.].

На изученной площади, как и на всей Сибирской платформе, выделяется четыре тектоно-магматических этапа формирования осадочного чехла: байкальский (PR_2^{1-3}), каледонский (PR_2^4-S), раннегерцинский (D-C₁) и альпийский (J-Q). В байкальский этап сформировались рифейские отложения, в каледонский – венд-нижнепалеозойские отложения, включающие осадочные толщи от венда до силура. В раннегерцинский тектономагматический этап сформировался магматический комплекс пород. Это магматические породы базальт-долеритовой формации и кимберлитовые тела Накынского поля. Альпийский этап включает триас-юрские и неоген-четвертичные отложения [Никулин, 2006].

В пределах Нижне-Накынской площади прослеживаются две зоны глубинных разломов: Вилюйско-Мархинская тектоническая зона северо-восточного простирания; Средне-Мархинская тектоническая зона, ортогональная к Вилюйско-Мархинской (рис. 3.4). Эти зоны разломов сопровождаются и маркируются крутопадающими сериями и зонами дайкообразных тел долеритов [Сыромолотова и др., 2010ф и др.].



Условные обозначения:

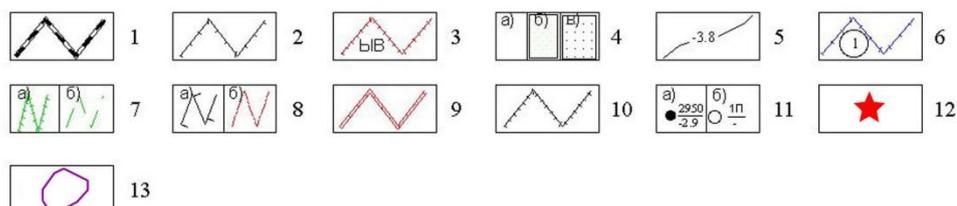


Рис 3.4. Структурно-тектоническая схема (по материалам Молчанова Ю.Д., Дукарта Ю.А.) [Сыромотова и др., 2010ф]

1 – граница кратонной (I) и депрессионно-деструктивной (II) областей; 2 – границы надпорядковых структур: Анабаро-Оленёкской антеклизы (АОА), Виллойской наложенной синеклизы (BC); 3 – граница Ыгытинской впадины (ЫВ) – структуры первого порядка депрессионно-деструктивной области; 4 – структурно-формационные комплексы: а) венд - нижнепалеозойский (терригенно-карбонатный кимберлитовмещающий); б)

среднепалеозойский (терригенно-карбонатно-вулканогенный); в) мезозойский (терригенно-алмазонасный); 5 – стратоизогипсы отражающего сейсмического горизонта КВ (глубина залегания кровли харыстангского горизонта венда в километрах); 6 – зоны глубинных разломов: Вилуйско-Мархинская (1), Средне-Мархинская (2); 7 – дайки долеритов среднепалеозойского возраста, выполняющие разломы Вилуйско-Мархинской зоны: а) выходящие на поверхность, б) не выходящие на поверхность; 8 – разломы, выраженные на уровне горизонта КВ: а) глубинные амплитудные на границе кратонной и депрессионно-деструктивной областей, б) глубокого заложения малоамплитудные; 9 – грабенообразные структуры на уровне горизонта КВ; 10 – погребённый флексуорообразный перегиб нижнепалеозойского кимберлитовмещающего цоколя; 11 – нефтегазопромысловые скважины: а) вскрывшие породы фундамента (в числителе – номера скважин, в знаменателе – абсолютная отметка кровли фундамента в километрах), б) не вскрывшие пород фундамента, их номера; 12 – кимберлитовые трубки и дайкообразные тела среднепалеозойского возраста, погребённые мезозойскими отложениями (1 - Ботуобинская, 2 - Нюрбинская, 3 - Мархинское, 4 - Майское); 13 – лицензионная площадь поискового Нижне-Накынского объекта.

Особого внимания в качестве потенциально рудовмещающих заслуживают слабо-проявленные малоамплитудные тектонические нарушения. В настоящий момент таких структур в пределах Накынского поля выявлено две, к ним приурочены все известные тела кимберлитов: к разлому Диагональный кимберлитовые трубки Нюрбинская, Ботуобинская, тело Мархинское, жила Д-96; к разлому Диагональный-1 – тело Майское (рис. 3.5). Они считаются сколовыми трещинами [Сыромолотова и др., 2010ф и др.].

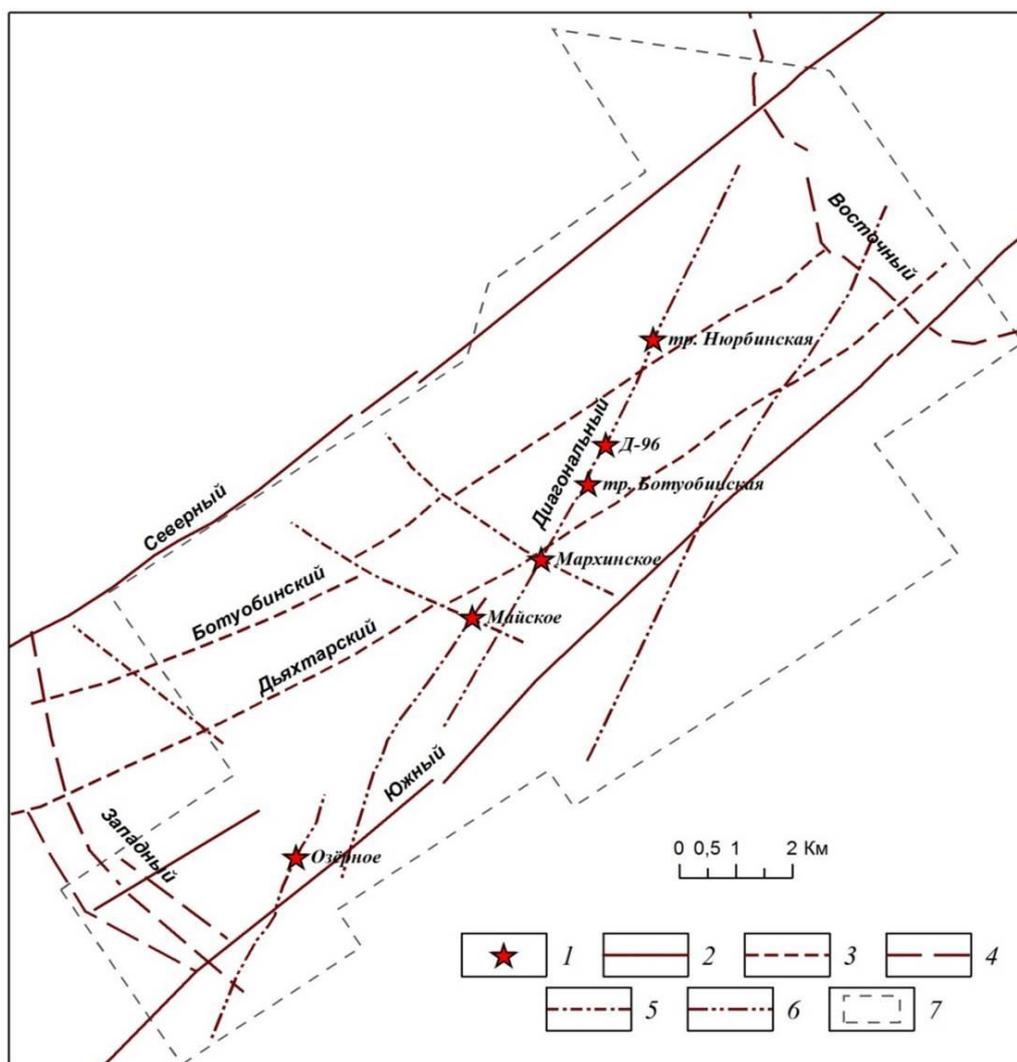


Рис. 3.5. Структурный план центральной части Накынского кимберлитового поля (по Игнатову и др.) [Шмонов, 2014].

1 – известные кимберлитовые тела; 2-7 – осевые зоны разрывных нарушений, выделенные по данным магниторазведки, сейсморазведки и картирования микротектонических нарушений: Вилуйско-Мархинской зоны низкого порядка, 3 – Вилуйско-Мархинской зоны высокого порядка, 4 – Средне-Мархинской зоны низкого порядка, 5 – Средне-Мархинской зоны высокого порядка (поперечные), 6 – рудоконтролирующий Диагональный; 7 – граница исследуемой площади.

3.4. Магматизм

Магматические образования Накынской площади, сформировавшиеся в среднепалеозойский цикл тектоно-магматической активизации, приурочены к осевой части Вилуйско-Мархинской зоны. На территории Накынского поля распространены долериты, габбро-долериты, кимберлиты, щелочные базиты и взрывные брекчии.

Среди докимберлитовых базитов выделяются силлы и хорошо выделяющиеся в магнитном поле в виде линейных аномалий секущие интрузии – дайки. Основная часть

интрузий сложена средне- и крупнозернистыми габбро-долеритами. Они выполняют разломы Северный, Ботуобинский, Дяхтарский, Южный, Западный и другие.

Кимберлитовый магматизм Накынского поля представлен двумя сложно построенными кимберлитовыми телами: трубками «Ботуобинская», «Нюрбинская» и дайково-жильными телами «Майское», «Мархинское», «Озерное», «Д-96» (рис. 3.5). Трубки прорывают терригенно-карбонатные, карбонатные породы кембрия, ордовика и перекрыты толщей рыхлых и слабосцементированных мезозойских отложений, сложенных песчано-алевритисто-глинистыми породами, и современными элювиально-делювиальными образованиями. Суммарная мощность перекрывающих пород варьирует от 56 до 110 м. Поверхность цоколя над трубками проработана процессами гипергенеза и карстообразования [Никитин и др., 2011 и др.].

Посткимберлитовый магматизм представлен щелочными базитами, которые включают эксплозивные брекчии базитов и интрузии щелочных базитов [Никитин и др., 2011, Игнатов и др., 2010, и др.].

Следует отметить, что брекчии базитов являются одним из важных признаков флюидного магматизма. В большинстве случаев брекчии базитов приурочены к приконтактовым частям даек долеритов. Но некоторые из этих тел не связаны с дайками долеритов и пространственно ассоциируют с кимберлитовыми телами (на контакте Нюрбинской трубки, около Майского и Мархинского месторождений). В общем брекчии базитов образуют ареал, внутри которого расположены трубки Ботуобинская и Нюрбинская, дайково-жильные тела Майское, Мархинское и Д-96. Таким образом, кимберлиты и брекчии базитов формируют своеобразную структуру центрального типа [Игнатов и др., 2010].

По геологическим данным и изотопному датированию для магматитов Средне-Мархинского района устанавливаются следующие временные рубежи формирования: 1) базиты Вилюйско-Мархинского дайкового пояса, 387-362 млн лет (докимберлитовые); 2) кимберлиты – 369-346 млн лет; 3) щелочные базиты – 340-321 млн лет; 4) эксплозивные брекчии – 312-306 млн лет [Томшин и др., 2007].

ГЛАВА 4. ОСВЕТЛЕНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД КЕМБРИЯ НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

В рамках работ по выделению новообразований, связанных с околомимберлитовым пространством, в пределах Накынского поля Якутской провинции группой под руководством П.А. Игнатова установлен ряд тектонических, минералогических, собственно магматических и флюидомагматических (флюидизитовых) признаков. А также создана методика их документации, ведения базы данных и картирования [Игнатов и др., 1995, 2008, 2013, 2016; Новиков, 2010; Штейн, 1997; Бушков, 2006; Шмонов, 2014]. К числу этих новообразований отнесено прожилковое осветление и, в некоторых случаях, субпослойное осветление красноцветных терригенно-карбонатных пород мархинской свиты верхнего кембрия.

Кроме того, осветление ранее рассмотрено в ряде научных отчетов [Красинец и др., 1987, Рождественская, 1991, Ягнышев и др., 1985, Зинчук и др., 1985, Цыганов и др., 1985] и отмечалось при разведке трубок Мир и Интернациональная [Судаков и др., 1983; Тараховский и др., 1983 и др.]

Осветление фиксируется в красноцветных породах верхнего кембрия, во вскрытой глубокими (180-600 м) скважинами верхней части мархинской свиты. Мощность задокументированной красноцветной толщи по отдельным скважинам достигает 320 м. Общий объем разрезов, включающих данные образования, составил около 7000 пог. м. керна поискового и разведочного бурения. Помимо этого, изучены стенки карьера трубки Нюрбинская. Осветление установлено на месторождениях алмазов Ботуобинская, Нюрбинская, Майское, рудопроявлениях Мархинское, Озерное.

4.1. Морфологические типы осветления

Осветление в красноцветных породах представлено линзами, пятнами и прожилками салатно-зеленого, голубовато-светло-серо-зеленого и белого цвета. Макроскопически границы осветления отчетливые, но при кратном увеличении на протяжении в несколько миллиметров наблюдаются постепенные мелкопятнистые контакты.

Послойное осветление охватывает весь разрез пестроцветной толщи кембрия во многие десятки метров. В большинстве случаев оно фиксируется в приконтактных частях пластов красноцветных пород, граничащих с серо-зеленоцветными слоями известняков и доломитов. При этом, как правило, мощность осветления подстилающих красноцветных пород в несколько раз больше, чем перекрывающих (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Субслойное осветление красноцветных пород.

а – скв. Р-6/2, инт. 287-292 м, 2012 г.; б – скв. ПР-7-1, инт. 443,3-441,5 м, 2015 г.; в – скв. Р-7/4, инт. 473-474 м. Забой скважин со стороны этикетки

В красноцветных породах кембрия также установлено пятнистое осветление (см. рис. 4.1, б, инт. 440,5-441,5 м; рис. 4.2, в), а также осветление, распространяющееся по ходам роющих организмов (рис. 4.2, б), трещинам усыхания (рис. 4.2, б), контурам глиптоморфов (рис. 4.2, а).



Рис. 4.2. Осветление по контурам глиптоморфоз и трещинам усыхания.
 а – скважина ПР 7-2, глубина 203,5 м; б – осветление по ходам роющих организмов,
 скважина ПР-3, глубина 247 м; в – пятнистое, скважина 520-Н1, глубина 335 м.

В красноцветных породах кембрия во всех изученных глубоких наклонных скважинах установлено пятнистое и субслоистое осветления.

Прожилковое осветление представлено единичными маломощными (от мм до первых и более см) крутопадающими прожилками (рис. 4.3, а, б, в, д), параллельными сериями (рис. 4.3, е). Прожилки имеют прямолинейные контакты, реже встречаются волнообразные с раздувами и ответвлениями согласными со слоистой неоднородностью (рис. 4.3, г).



Рис. 4.3. Прожилковое осветление в красноцветных породах мархинской свиты верхнего кембрия.

а – скв. Р-6/2-297,3; б – прожилок в 80 м от эруптивной брекчии, скважина 508-2, глубина 464,5 м; в – скв. Р-1/2, гл. 242,5, г – скв. ПР-7/1, инт. 430-434; д – скв. Р-1/2, инт. 226-229; е – серия параллельных прожилков в 15 м от контакта с кимберлитом Майского месторождения, скважина Р 8-6, глубина 415,5 м.

Установлено интенсивное прожилковое и сетчатое осветление (рис. 4.4).

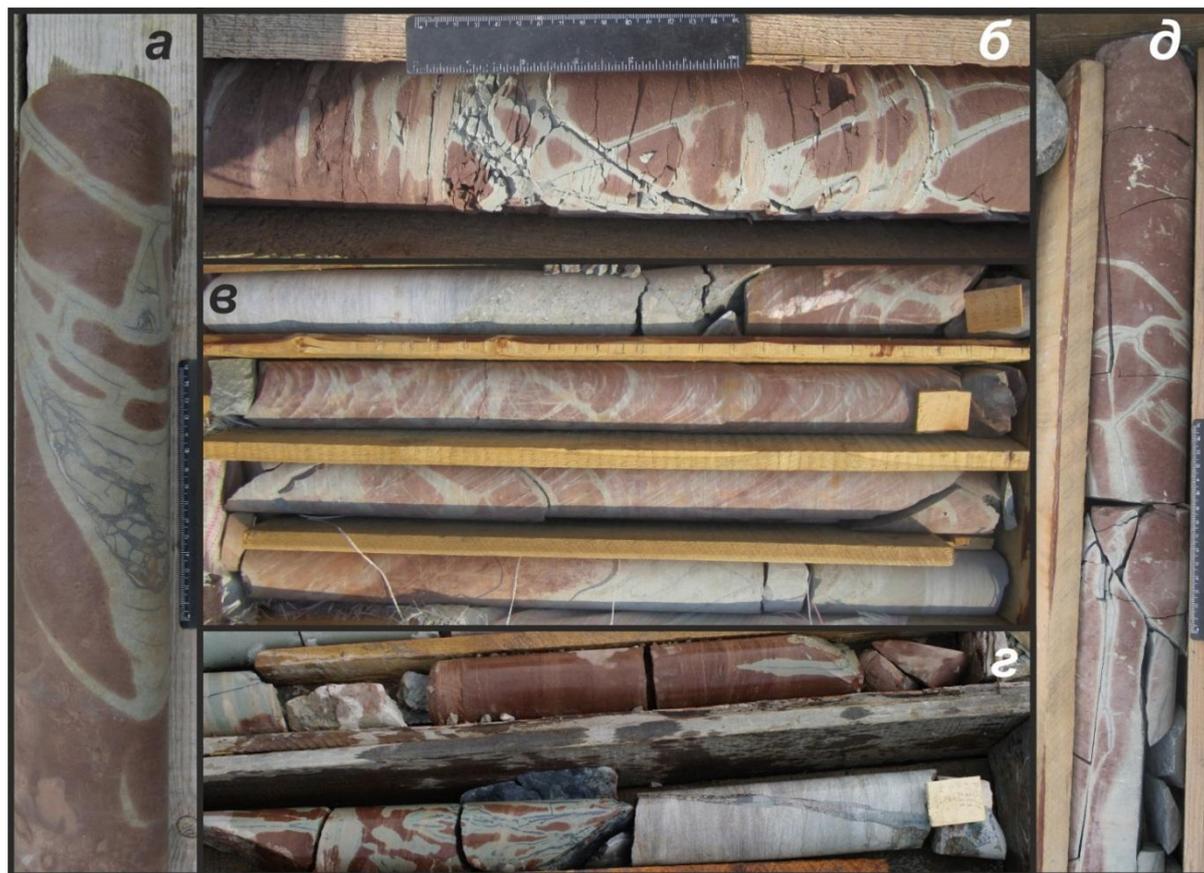


Рис. 4.4. Интенсивное прожилковое осветление красноцветных пород кембрия
а – скв. Р-8/6, гл. 421,5 м; б – скв. Р-2/3, гл. 311,5 м; в – скв. Р-6/3, инт. 392-396 м; г – скв. Р-5/1, инт. 260-262 м; д – скв. Р-8/6, гл. 433 м

Характерной особенностью секущего осветления является присутствие в их осевой части трещин, что подчеркивает ключевую роль тектоники в формировании данных образований.

В плоскости таких трещин в некоторых прожилках с осветлением установлены нитевидные выделения темно-синевато-серого глинистого материала (рис. 4.3, а, е; рис. 4.4, а, г, д). Такие микропрожилки в подавляющем числе случаев были обнаружены лишь в экзоконтактах кимберлитов. Есть основания полагать, что это в основном гипс. Так по

восьми пробам из таких нитевидных прожилков (напр., рис. 4.3, е) в пяти диагностирован гипс, а в одном ангидрит и примесь других минералов (табл. 4.1).

Таблица 4.1.

Рентгенофазовый анализ материала темного цвета из осевой части прожилкового
осветления

№пп	№ пробы (скважина- глубина, м)	Условные содержания, %														
		Кальцит	Доломит	Слюда	Хлорит	Каолинит, серпентин	Смектиты	Тальк	Кварц	Полевые шпаты	Гипс	Пирит	Пирит, халькопирит	Пироксены	Ангидрит	Рентгеноаморфные фазы
1	P8/6-415,5		36	3	3	сл.			44	5	-		-			<9
2	P6/3-441,5		23	-	-	-	-		48	5	24		-			не опр.
3	P8/6-432,5		13	-	-	-	-		69	6	2		4			<6
4	P8/6-445,5		7	-	-	-	-		65	14	11		3			?
5	CP-46-331,5-2	5	13	7	7	5	-	-	35	4	-	сл		4	4	16
6	ПР-1-246	-	33	4	2	3	-	-	22	4	2	<1		1	3	26
7	M-22/2-272	3	2	4	10	4	-	4	-	12	49	-		6	-	?

Примечание. Анализы выполнены кандидатом геол.-мин. наук Л.В.Лисковой на рентгеновском дифрактометре ARLX`TRA-155, Thermoscientific, (Швейцария) в лаборатории НИГП АК АЛРОСА.

В осевой части прожилкового осветления в разведочной скважине месторождения Майского был обнаружен прожилок черного цвета мощностью до 2 см (рис. 4.5)



Рис. 4.5. Прожилок черного цвета в секущем освещении большой мощности. Скв. Р-5/1. гл. 259,9

По рентгенофазовому анализу из подобного прожилка (рис. 4.6), отобранного из другой разведочной скважины месторождения Майского установлено, что это гипс на 100% (выполнено кандидатом геол.-мин. наук Л.В.Лисковой на рентгеновском дифрактометре ARLX`TRA-155, Thermoscientific, (Швейцария) в лаборатории НИГП АК АЛРОСА).



Рис. 4.6. Черный гипс, выполняющий трещину. Скв. Р-6/2; гл. 211м; 2013 г.

Вероятнее всего, черный цвет гипса обусловлен примесью органического вещества.

4.2. Формирование вышеперечисленных морфологических типов осветления

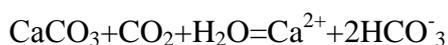
Широкое распространение послойного и пятнистого осветления, большее осветление от подошвы сероцветных слоев, чем от их кровли, осветление диагенетических трещин, тектонические микросмещения пятен и слоев осветления (рис. 4.7) следует объяснить воздействием на первично красноцветные породы восстановительных по железу вод, которые отжимались из сероцветных отложений на этапе катагенеза.



Рис. 4.7. Микросброс со смещением послойного осветления. Скв. ПР-3; гл. 283 м.

Пятнистое и послойное осветление красноцветных пород, названное оглеением, изучено А. И. Перельманом, Е. Н. Борисенко и другими исследователями [Перельман, 1965, Борисенко, 1980 и др.]. По их мнению оно обусловлено эпигенетическими процессами восстановительного глеевого ряда. Оглеением А.И.Перельман назвал восстановительные процессы, протекающие без сероводорода и приводящие к образованию пород, илов, почв сизой, зеленой, голубоватой и пятнистой окрасок.

В данном случае процесс образования экзогенного осветления, вероятно, сводился к следующему. Переслаивающиеся известняки, доломиты и глинистые алевролиты, служили источниками седиментогенных вод и, соответственно, средой, в которые они отжимались. В сероцветных разностях отложений была бескислородная обстановка, в которой развивались анаэробные бактерии. Красноцветные алевролиты являлись средой для поступления воды, т.к. они имеют каркас в виде кварцевых зерен, тогда как глинистые известняки и известковистые аргиллиты склонны к уплотнению («известняки отличаются от других пород более высокой степенью уплотнения» [Прошляков и др., 1991]). В результате деятельности анаэробных бактерий образовывалась углекислота, которая растворяла карбонаты из цемента алевролитов. Образовывались ионы кальция и гидрокарбоната [Борисенко, 1980]:



При этом железо из гидроксидов, обволакивающих терригенные частицы («железистая рубашка»), переходило в раствор и выносилось в форме $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, что обуславливает обеление пород. Также подвижными должны были быть калий, кальций, рубидий и стронций, что находит подтверждение по приведенным ниже геохимическим данным.

Восстановлению железа и переходу его в подвижное состояние мог способствовать и микробный водород [Борисенко, 1980], формирующийся по приведенной ниже реакции.



Отмеченные процессы, вероятно, происходили на этапе катагенеза до полной литификации глинистых пород.

Прожилки осветления распространены ограниченно. Так, например, осветление не установлено в керне скважин ПР-4, ПР-2/2, ПР-7/2 (рис. 4.8) и других. Они встречаются в разрезах, в которых явно выражены признаки хрупких тектонических деформаций в виде микровзбросов и микросбросов. Кроме того, сближенные серии прожилков и их сетчатые образования наиболее часто сопровождают экзоконтакты кимберлитов и встречены вблизи эруптивных брекчий базитов.

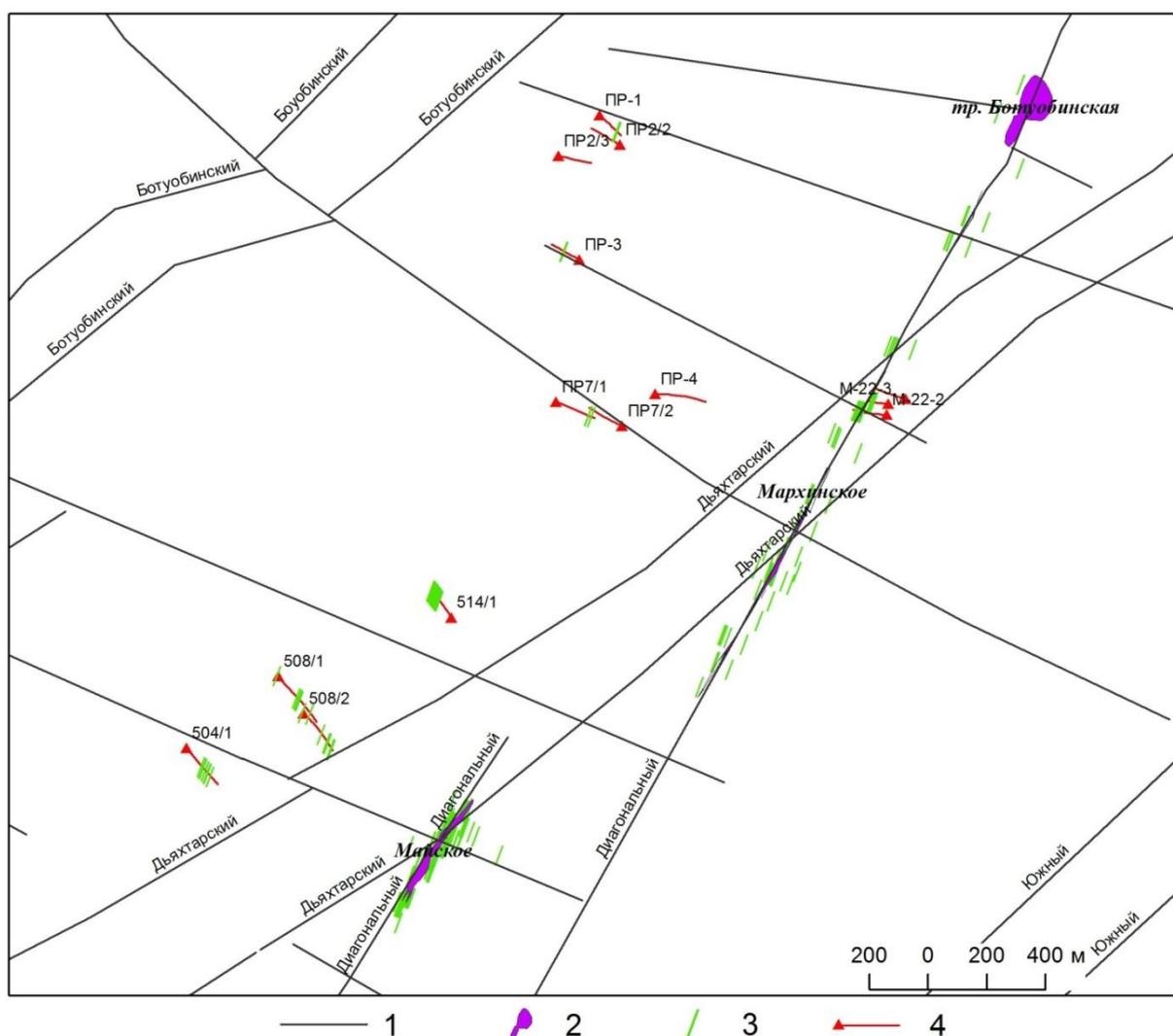


Рис. 4.8. Распространение прожилкового осветления и некоторые наклонные скважины пробуренные в пределах Накынского поля.

1 – разломы, 2 – кимберлитовые тела, 3 – прожилковое осветление, 4 – проекции наклонных скважин.

Пространственная связь прожилкового осветления с проявлениями глубинного эруптивного магматизма, разломами и кимберлитами (рис. 4.8) указывает на его формирование в связи с высокотемпературными глубинными флюидами, вероятно, газового состава, содержащими водород.

В ряде случаев зафиксирована пространственная ассоциация послойного и прожилкового осветления (рис. 4.9). При этом отчетливо наблюдается экранирование слоями и слойками известняков и доломитов распространения послойного осветления от подводящего снизу канала прожилково-трещинного осветления.

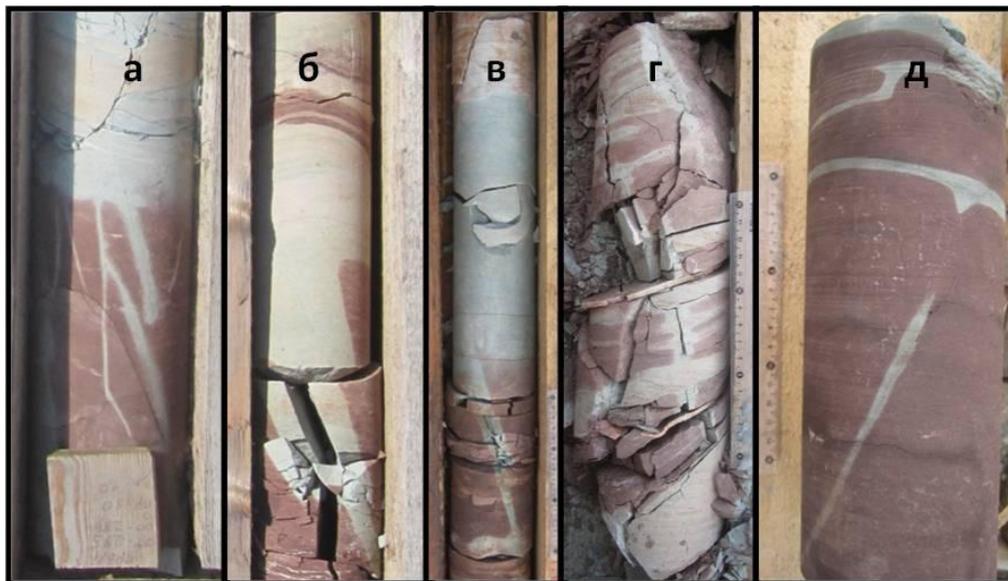


Рис. 4.9. Ассоциация прожилкового и субпластового осветления.

а – скв. ПР-8-1, гл. 286; б – скв. ПР-8-1, гл. 266; в – скв. ПР-1, гл. 212,5; скв. М-22-2, гл. 275; скв. СР-46-3, гл. 349. Диаметр керна 10 см.

В некоторых случаях возможно элизионное отжатие восстановительных вод из вышележащих карбонатных вод в тектонические нарушения красноцветных пород.

Ассоциация субпослойного и прожилкового осветления наблюдалась в обнажении в стенке карьера по тр. Нюрбинская. Здесь секущие прожилки и послойное осветление распространяются непосредственно от крутопадающей жилы (дайки), сложенной кимберлитовыми брекчиями (рис. 4.10, а) и дайки долеритов (рис. 4.10, б).

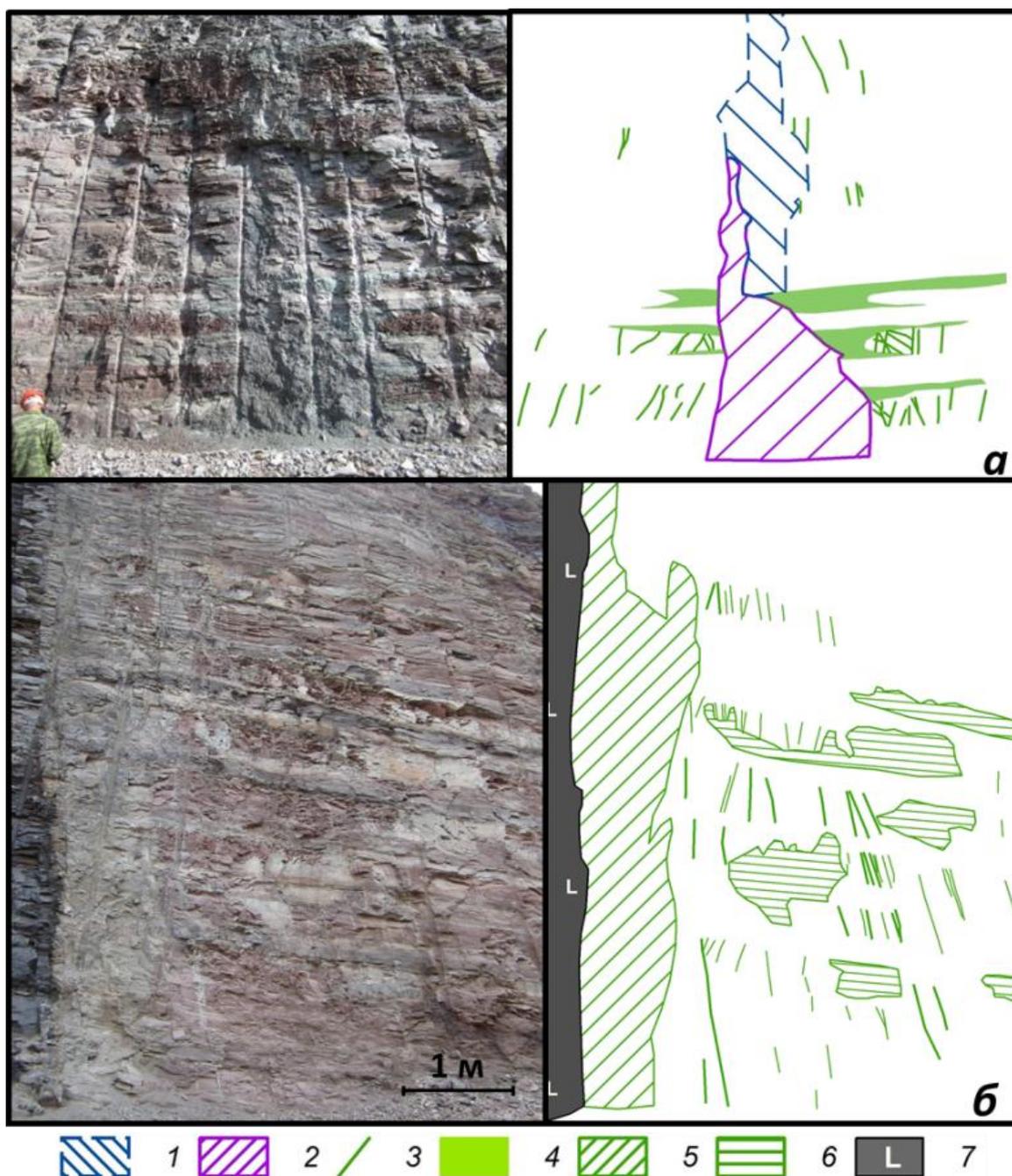


Рис. 4.10. Осветление около кимберлитовой жилы в северном борту карьера тр. Нюрбинская в основании нижнего подступа с отметкой 47,5 м (а) и дайки долерита в северо-восточной стенке карьера тр. Нюрбинская в основании нижнего уступа с отметкой 43,5 м (б).

1 – осветленная и тектонически нарушенная зона над кимберлитовой дайкой; 2 – кимберлитовая дайка; 3 – проявления прожилкового осветления с плоскостью, перпендикулярной стенке карьера; 4 – субслоистое осветление; 5 – осветленная зона около дайки долеритов; 6 – проявления прожилкового осветления с плоскостью, параллельной стенке карьера; 7 – дайка долерита.

В обоих случаях осветление непосредственно контактирует с жилой (дайкой) кимберлитов и дайкой долеритов. Фиксируются вертикальные субпараллельные дайкам прожилки, которые отходят от контактов на несколько десятков метров. Необходимо отметить, что в сечении дайки долеритов имеет место и вторая система прожилков с осветлением другого простирания – вдоль контролирующего кимберлиты Диагонального разлома. Их плоскости параллельны стенке карьера. Кроме того осветление у контакта с базальтом [Захаров и др., 2016] установлено в скважине 514/1 (рис. 4.11)



Рис. 4.11. Осветление на контакте с базальтом. Скважина 514/1, глубина, 282,7 и 283,7

Отмеченные факты указывают на существование единой палеогидродинамической системы трещинно-пластовых коллекторов, по которым двигались растворы глеевого геохимического типа и восстановительные газы.

4.3. Минеральный и химический состав

По минеральному составу материал осветленных новообразований почти не отличается от красноцветных пород (табл. 4.2).

Таблица 4.2.

Результаты рентгенофазового анализа

№п п	Характеристика	Условные содержания, %															
		Кальцит	Доломит	Слюда	Хлорит	Каолинит, серпентин	Смектиты	Тальк	Кварц	Полевые шпаты	Гипс	Пирит	Пирит, халькопирит	Магнетит	Пироксены	Ангидрит	Рентгеноаморфные фазы
1	Красноцветный алевролит	4	21	12	5	-	12		31	5	-		4	-			<12
2	Красноцветный алевролит	8	16	3	3	2	-	-	31	6	-	2		-	-	3	26
3	Послойное осветление	3	19	5	5	3			42	3	-		-	сл			<20
4	Прожилковое осветление	16			1	3			44		1			сл			

5	То же			3	1	3			38								
6	То же	2	3	21	5			14	34								<21
7	То же	8	10	4	4	5	-	-	33	10	-	сл		-	5	4	17
8	То же	32	2	-	-	-	-	-	19	-	-	-		3	7	-	37

Примечание. Анализы выполнены канд. геол.-мин. наук Л.В.Лисковой на рентгеновском дифрактометре ARLX`TRA-155, Thermoscientific, (Швейцария) в лаборатории НИГП АК АЛРОСА.

Также не обнаружено характерных для железа минералов в красноцветных и осветленных породах, кроме следов магнетита в трех образцах осветленного алевролита. При этом содержание железа по данным рентгенофлуоресцентного анализа в красноцветных породах в несколько раз выше. Также закономерно отмечаются повышенные содержания калия в красноцветных образованиях (рис. 4.12).

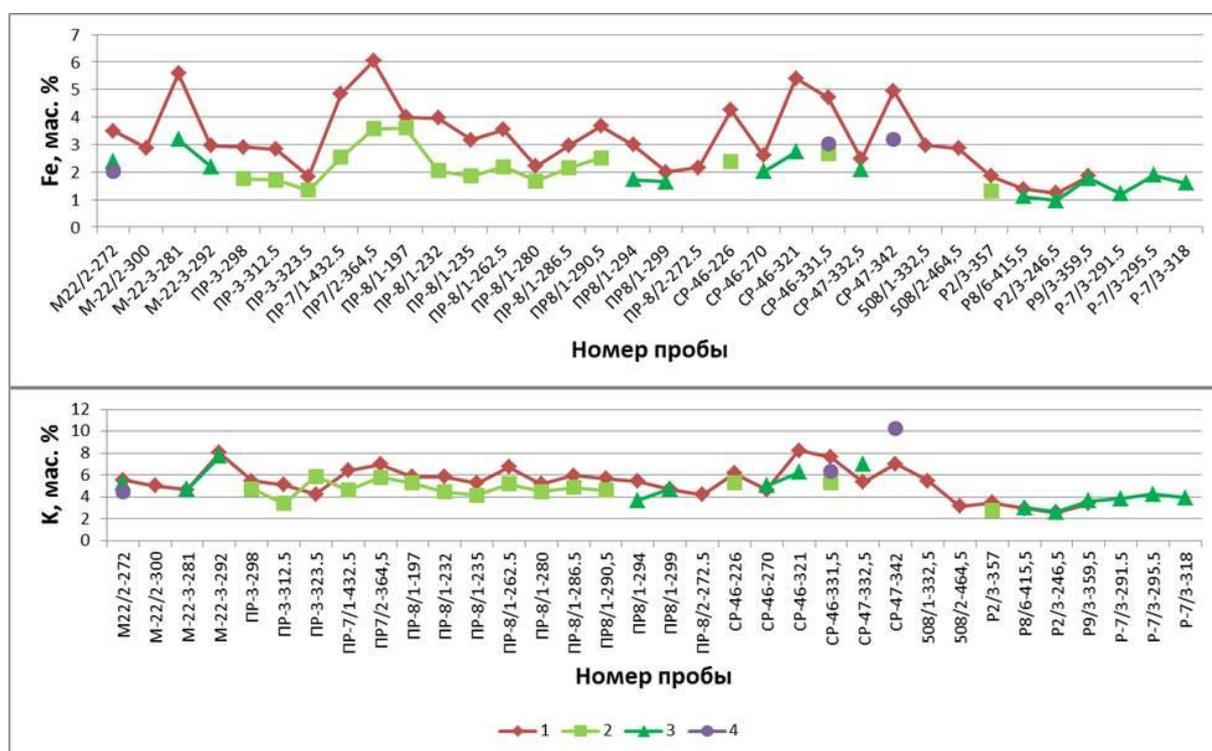


Рис. 4.12. Распределение железа и калия (мас. %) в осветленных и красноцветных породах по данным рентген-флуоресцентного анализа.

1 – красноцветные породы, 2 – субпослойное осветление, 3 – прожилковое осветление, 4 – темноцветный материал из плоскости трещины.

Результаты анализов свидетельствуют о том, что окраску красноцветным породам придают тонко диспергированные окислы и гидроокислы железа, которые могут быть определены как рентгеноаморфные фазы. В осветленных породах железо может восстанавливаться, оставаясь в данной форме.

Изучение прозрачных шлифов осветленных и красноцветных пород также указывают на присутствие железа в виде аморфных фаз и почти полное отсутствие сульфидов. Песчаные и алевритовые зерна кварца и других минералов, зерна и агрегаты кальцита обволакиваются и цементируются тонко диспергированными оксидами и гидроксидами железа (рис. 4.13).

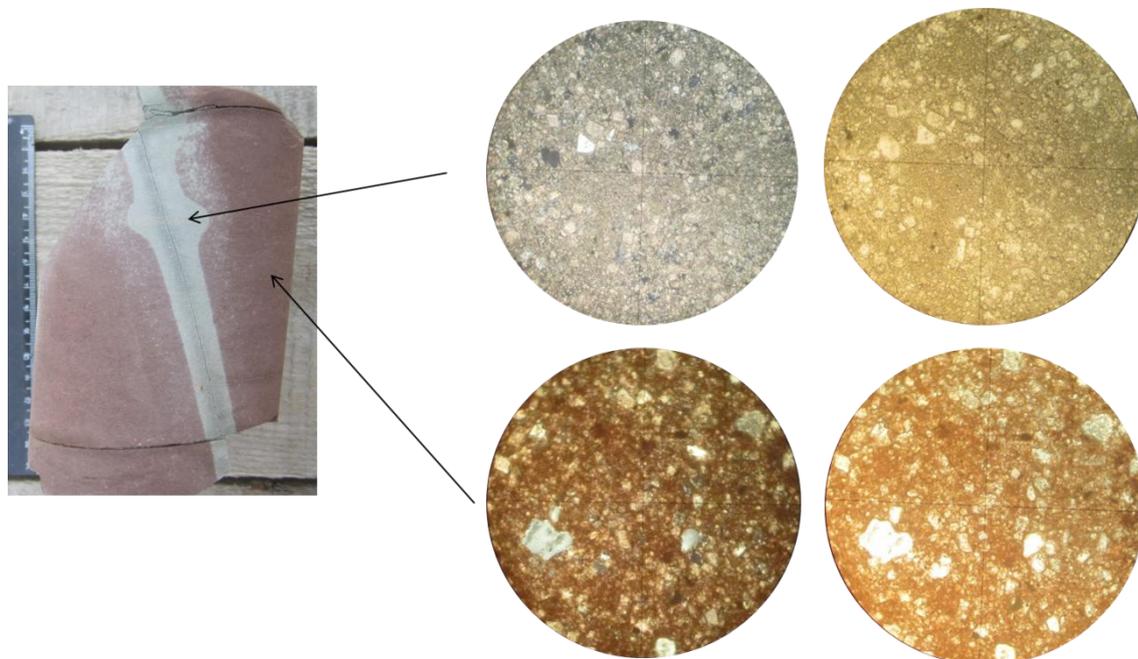


Рис. 4.13. Прозрачный шлиф из красноцветной породы и сероцветного прожилка.
Скважина Р-1/2. Глубина 242,5 м.

Для изучения геохимических характеристик обработаны результаты рентген-флюоресцентного анализа 71 проб, из которых 34 отобрано по красноцветным породам, 24 по прожилковому осветлению, 10 по послойному, 3 пробы по темному материалу (вероятно, гипсу – см. выше) из плоскости трещин в прожилковом осветлении. Анализы выполнены на приборе РЕСПЕКТ в лаборатории МГРИ-РГГРУ канд. тех. наук М.Ю. Гурвичем. Получены содержания К, Са, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y и Zr. Наиболее представительные результаты получились по Fe, К и Ti. Из одной глубины в целях сравнения могло быть отобрано до трех образцов, включая красноцветную, осветленную породу и темный материал из плоскости трещины в прожилковом осветлении, но преимущественно по два образца.

Наиболее ярко отличаются красноцветные и осветленные породы по содержанию железа (см. рис. 4.12, табл. 4.2). При этом отличий между послойным и прожилковым осветлением не наблюдается, что подтверждает вывод о единстве палеогидродинамической трещинно-пластовой системы. Кроме железа, относительно остальных элементов заметно распределение калия и его геохимического аналога рубидия (см. рис. 4.12, табл. 4.3). В

большинстве случаев содержание калия ниже в осветленной породе. При этом в прожилковом осветлении концентрация калия сопоставима с его содержанием в красноцветных породах, тогда как в послойном – ниже.

Таблица. 4.3

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Описание	№ пробы	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr
алевролит красноцветный	M22/2-272-1	5,5700	9,3400	0,2520	0,0480	3,4900	0,0010	0,0050	<0,001	0,0067	0,0067	0,0023	0,0089
алевролит осветленный прожилковый	M22/2-272-2	5,2800	9,1300	0,3180	0,0640	2,3920	0,0010	0,0050	0,0020	0,0072	0,0070	0,0019	0,0138
темный налет в прожилке с осветлением	M22/2-272-3	4,4500	10,4700	0,3900	0,0400	2,0240	0,0020	0,0050	0,0040	0,0038	0,0074	0,0020	0,0105
алевролит красноцветный	M-22/2-300-1	5,0300	8,1100	0,4280	0,0710	2,8820	<0,001	0,0040	0,0010	0,0083	0,0087	0,0022	0,0123
алевролит осветлённый	M-22/2-300-2	4,6500	9,7900	0,3090	0,0610	2,4960	0,0010	0,0040	0,0010	0,0073	0,0116	0,0017	0,0129
осветленный прожилковый алевролит	M-22-3-273	3,2700	16,1800	0,1510	0,0610	1,5180	<0,001	0,0020	0,0010	0,0037	0,0161	0,0014	0,0055
алевролит красноцветный	M-22-3-281-1	4,6700	2,9200	0,4540	0,1210	5,5860	<0,001	0,0060	<0,001	0,0077	0,0051	0,0019	0,0088
осветленный прожилковый алевролит	M-22-3-281-2	4,6900	6,1300	0,4890	0,0550	3,1890	<0,001	0,0060	0,0010	0,0074	0,0062	0,0024	0,0088
алевролит красноцветный	M-22-3-292-1	8,0200	7,9900	0,4480	0,0300	2,9560	0,0030	0,0010	0,0010	0,0093	0,0466	0,0022	0,0141
осветленный прожилковый алевролит с темным материалом	M-22-3-292-2	7,7000	2,8800	0,3390	0,0260	2,2020	<0,001	0,0010	0,0020	0,0091	0,0753	0,0019	0,0140
послойное осветление	ПР-3-298-1	4,7600	14,5700	0,2840	0,0410	1,7570	<0,001	0,0030	0,0020	0,0076	0,0158	0,0013	0,0084
красноцветный алевролит	ПР-3-298-2	5,4600	12,7100	0,2620	0,0540	2,9020	0,0020	0,0040	0,0010	0,0080	0,0132	0,0016	0,0102
алевролит красноцветный	ПР-3-312.5-1	5,1000	13,1000	0,3030	0,0450	2,8260	0,0010	0,0040	0,0010	0,0082	0,0109	0,0018	0,0102
послойное осветление	ПР-3-312.5-2	3,3800	12,4500	0,1980	0,0560	1,7080	0,0020	0,0050	0,0010	0,0074	0,0123	0,0018	0,0108
алевролит красноцветный	ПР-3-323.5-1	4,2400	15,9400	0,1820	0,0600	1,8460	<0,001	0,0040	0,0010	0,0063	0,0117	0,0016	0,0100
послойное осветление	ПР-3-323.5-2	5,8800	15,2000	0,2680	0,0420	1,3400	0,0010	0,0030	0,0010	0,0060	0,0141	0,0017	0,0106
алевролит красноцветный	ПР-7/1-432.5-1	6,4200	8,1100	0,3340	0,0770	4,8320	0,0010	0,0070	0,0010	0,0115	0,0156	0,0025	0,0120
прожилковое осветление	ПР-7/1-432.5-2	4,6200	10,1200	0,2720	0,0610	2,5390	<0,001	0,0040	0,0010	0,0094	0,0166	0,0017	0,0104
послойное осветление	ПР7/2-363,3-	5,8200	6,4500	0,5020	0,0660	3,5800	0,0030	0,0080	0,0010	0,0084	0,0439	0,0023	0,0100

	2												
аргиллит красноцветный	ПР7/2-364,5-1	6,9700	5,1500	0,5860	0,0640	6,0380	0,0030	0,0090	0,0010	0,0109	0,0074	0,0026	0,0089
алевролит красноцветный	ПР-8/1-197-1	5,8400	9,1000	0,4910	0,0540	4,0000	<0,001	0,0050	<0,001	0,0101	0,0075	0,0022	0,0105
прожилковое осветление	ПР-8/1-197-2	5,2900	6,9700	0,4690	0,0530	3,6060	<0,001	0,0060	<0,001	0,0121	0,0082	0,0022	0,0110
алевролит красноцветный	ПР-8/1-232-1	5,84	9,1200	0,2480	0,0510	3,966	0,0010	0,0060	0,0010	0,0104	0,0686	0,0022	0,0128
алевролит осветлённый	ПР-8/1-232-2	4,4700	10,8800	0,1840	0,0390	2,0460	<0,001	0,0030	0,0010	0,0075	0,0264	0,0016	0,0103
алевролит красноцветный	ПР-8/1-235-1	5,2900	11,0700	0,4100	0,0510	3,1720	<0,001	0,0030	0,0010	0,0086	0,0090	0,0022	0,0122
алевролит осветлённый	ПР-8/1-235-2	4,1700	9,8400	0,2690	0,0640	1,8610	0,0010	0,0030	0,0010	0,0074	0,0203	0,0015	0,0104
алевролит красноцветный	ПР-8/1-262.5-1	6,7500	12,6200	0,3820	0,0670	3,5400	<0,001	0,0040	0,0010	0,0085	0,0121	0,0022	0,0124
прожилковое осветление	ПР-8/1-262.5-2	5,2000	10,6300	0,3560	0,0420	2,1990	<0,001	0,0040	0,0010	0,0080	0,0113	0,0021	0,0121
алевролит красноцветный	ПР-8/1-280-1	5,1700	11,2400	0,3620	0,0490	2,2170	0,0020	0,0030	0,0010	0,0061	0,0072	0,0022	0,0113
прожилковое осветление	ПР-8/1-280-2	4,5100	11,3900	0,3100	0,0500	1,6710	<0,001	0,0020	0,0010	0,0072	0,0088	0,0020	0,0111
алевролит красноцветный	ПР-8/1-286.5-1	5,9500	11,4700	0,4450	0,0620	2,9550	0,0010	0,0030	0,0010	0,0089	0,0105	0,0024	0,0105
прожилковое осветление	ПР-8/1-286.5-2	4,8600	10,5600	0,3390	0,0540	2,1480	0,0010	0,0030	0,0010	0,0074	0,0102	0,0017	0,0135
алевролит красноцветный	ПР8/1-290,5-1	5,6900	9,5600	0,3180	0,0560	3,6710	<0,001	0,0040	<0,001	0,0099	0,0143	0,0022	0,0110
прожилковое осветление	ПР8/1-290,5-2	4,6100	8,4100	0,3960	0,0550	2,5230	<0,001	0,0040	<0,001	0,0111	0,0182	0,0020	0,0122
алевролит красноцветный	ПР8/1-294-1	5,4200	12,8300	0,3320	0,0790	2,9850	<0,001	0,0030	0,0010	0,0076	0,0092	0,0020	0,0101
прожилковое осветление	ПР8/1-294-2	3,6900	12,0100	0,2430	0,0460	1,7300	0,0020	0,0030	0,0020	0,0079	0,0105	0,0013	0,0110
алевролит красноцветный	ПР8/1-299-1	4,7100	12,6200	0,3820	0,0590	2,0000	<0,001	0,0040	0,0010	0,0072	0,0138	0,0017	0,0103
прожилковое осветление	ПР8/1-299-2	4,7300	14,0700	0,2820	0,0500	1,6450	<0,001	0,0030	0,0010	0,0066	0,0149	0,0019	0,0108
алевролит красноцветный	ПР-8/2-272.5-1	4,2000	15,6100	0,2870	0,0420	2,1580	0,0010	0,0020	0,0010	0,0059	0,3315	0,0018	0,0233
алевролит осветлённый	ПР-8/2-272.5-2	4,8400	16,93	0,3140	0,0690	1,5530	<0,001	0,0040	0,0010	0,0073	0,3594	0,0020	0,0166
алевролит красноцветный кимберлитовой брекчии (КБ)	В Р-7/3-291.5-1	2,1400	17,0800	0,1740	0,0570	1,3300	<0,001	0,0020	<0,001	0,0034	0,0087	0,0015	0,0064
прожилковое осветление в КБ	Р-7/3-291.5-2	3,8500	12,4500	0,2390	0,0400	1,2080	<0,001	0,0020	<0,001	0,0049	0,0815	0,0011	0,0094

алевролит красноцветный в КБ	P-7/3-295.5-1	4,9600	10,6600	0,2720	0,0520	3,0580	<0,001	0,0050	0,0010	0,0080	0,0092	0,0022	0,0085
алевролит осветлённый прожилковый в КБ	P-7/3-295.5-2	4,2400	14,2700	0,2410	0,0480	1,8900	<0,001	0,0030	0,0010	0,0063	0,0078	0,0013	0,0088
алевролит красноцветный в КБ	P-7/3-318-1	4,8800	15,6800	0,2370	0,0420	2,0010	0,0060	0,0030	0,0010	0,0063	0,0171	0,0013	0,0091
прожилковое осветление в КБ	P-7/3-318-2	3,9300	14,8200	0,2040	0,0450	1,6040	<0,001	0,0020	<0,001	0,0067	0,2237	0,0022	0,0150
алевролит красноцветный	CP-46-226-1	6,1700	8,9000	0,5120	0,0650	4,2620	0,0010	0,0050	0,0010	0,0104	0,0087	0,0015	0,0111
алевролит осветленный	CP-46-226-2	5,2900	10,3000	0,3010	0,0510	2,3960	<0,001	0,0040	<0,001	0,0087	0,0064	0,0023	0,0099
алевролит красноцветный	CP-46-270-3	4,6400	12,0400	0,2490	0,0470	2,6060	0,0010	0,0030	<0,001	0,0054	0,2403	0,0015	0,0169
алевролит осветленный	CP-46-270-4	5,0200	12,3900	0,3420	0,0560	2,0160	0,0030	0,0050	<0,001	0,0056	0,0081	0,0022	0,0142
алевролит красноцветный	CP-46-321-3	8,2300	7,5400	0,6540	0,0690	5,4090	0,0010	0,0070	0,0010	0,0084	0,0102	0,0027	0,0163
алевролит осветленный	CP-46-321-4	6,2300	10,5700	0,4340	0,0550	2,7320	0,0010	0,0070	0,0030	0,0074	0,0138	0,0021	0,0121
алевролит красноцветный	CP-46-331,5-1	7,6200	10,7600	0,3320	0,0660	4,7130	0,0030	0,0050	0,0010	0,0089	0,0227	0,0026	0,0098
темный налет в трещине	CP-46-331,5-2	6,3300	10,2200	0,4600	0,0670	3,0190	0,0020	0,0060	0,0110	0,0092	0,0198	0,0030	0,0125
алевролит осветленный	CP-46-331,5-3	5,2600	8,7400	0,4230	0,1120	2,6800	0,0010	0,0050	<0,001	0,0078	0,0131	0,0023	0,0092
алевролит красноцветный	CP-47-332,5-3	5,3600	19,0900	0,2130	0,0360	2,4790	<0,001	0,0030	<0,001	0,0069	0,0209	0,0016	0,0089
алевролит осветлённый	CP-47-333,5-4	7,0000	21,6700	0,2670	0,0450	2,0850	<0,001	0,0030	<0,001	0,0073	0,0242	0,0017	0,0072
алевролит красноцветный	CP-47-342-1	7,0200	6,1100	0,583	0,0630	4,9540	0,0010	0,0050	0,0010	0,0109	0,0115	0,0021	0,0123
тёмный налёт в слабом освещении	CP-47-342-2	10,2800	22,5500	0,5250	0,0540	3,1820	0,0010	0,0060	0,0010	0,0105	0,0602	0,0033	0,0148
алевролит красноцветный	508/1-332,5a	5,46	3,8	0,43	0,046	2,98		0,004		0,009	0,01	0,0022	0,01
прожилковое осветление	508/1-332,5б	3,92	4,41	0,33	0,035	1,67		0,005		0,007	0,007	0,0022	0,009
алевролит красноцветный	508/2-464,5a	3,15	2,85	0,21	0,047	2,86		0,003		0,009	0,01	0,002	0,011
прожилковое осветление	508/2-464,5б	2,56	2,7	0,28	0,05	1,96		0,001		0,01	0,007	0,0021	0,011
алевролит красноцветный	P2/3-357a	3,49	7,21	0,18	0,028	1,85		0,003		0,007	0,014	0,0018	0,01
осветление послойное	P2/3-357б	2,79	7,12	0,13	0,035	1,32		0,003		0,006	0,011	0,0015	0,01
алевролит красноцветный	P8/6-415,5a	2,96	7,14	0,07	0,04	1,39		0,003		0,005	0,008	0,0015	0,008
прожилковое осветление	P8/6-415,5б	3,03	7,69	0,17	0,024	1,11		0,003		0,005	0,008	0,0015	0,007

алевролит красноцветный	P2/3-246,5a	2,57	9	0,11	0,033	1,24		0,003		0,005	0,006	0,0015	0,006
прожилковое осветление	P2/3-246,5б	2,61	8,35	0,08	0,022	0,961		0,002		0,005	0,005	0,0012	0,005
прожилковое осветление	P9/3-359,5a	3,65	7,18	0,19	0,041	1,77		0,004		0,007	0,014	0,0013	0,008
алевролит красноцветный	P9/3-359,5б	3,38	7,68	0,17	0,04	1,86		0,003		0,006	0,015	0,0016	0,006

Рассчитаны средние содержания элементов по данным образованиям (рис. 4.14), которые почти не отличают красноцветные и осветленные породы.

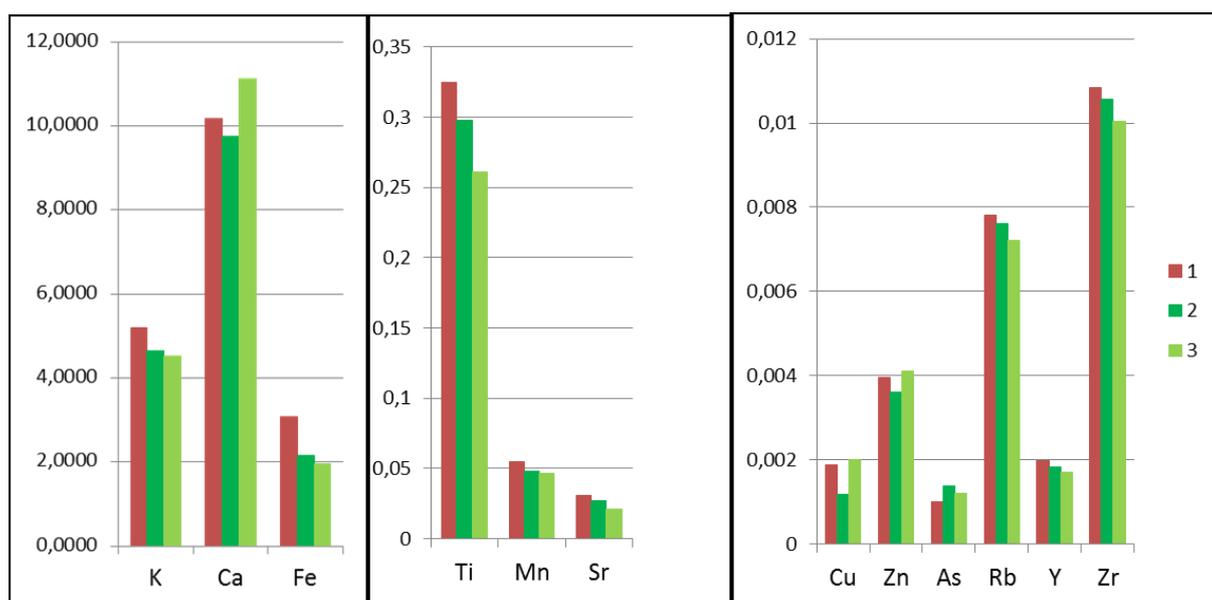


Рис. 4.14. Средние содержания химических элементов по результатам рентгенофлуоресцентного анализа: 1 – по красноцветным породам, 2 – по прожилковому осветлению, 3 – по субпослойному осветлению.

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа наблюдаются дифференциация содержания некоторых химических элементов по различным породам. Так, например, повышены содержания в первую очередь калия, железа, титана, марганца, а также рубидия, циркония в красноцветных породах. Повышены содержания кальция в субпослойном осветлении, что вероятно, подтверждает отжатие восстановительных вод из карбонатных слоев. Наибольшее содержание титана наблюдается в красноцветных образцах, минимальное – в субпослойном осветлении.

Так как в осветлении наблюдается закономерное изменение химического состава (прежде всего понижение содержания железа, калия), то процесс образования любого его типа можно отнести к метасоматическим преобразованиям.

Впервые методом ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) по пяти парным пробам (красноцветным образованиям и прожилковому осветлению), выполненным Я.В. Бычковой в лаборатории ИГЕМ РАН, получены субкларковые содержания микроэлементов от Li до U (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Результаты анализа красноцветных и осветленных образований методом ICP-MS

ppm	Номер пробы; глубина									
	508/1; 332,5a	508/1; 332,56	508/2; 464,5a	508/2; 464,56	P2/3; 357a	P2/3; 3576	P8/6; 415,5a	P8/6; 415,56	P9/3; 359,5a	P9/3; 359,56
Описание	красноцветный алевролит	секущее осветление	красноцветный алевролит	секущее осветление	красноцветный алевролит	послойное осветление	красноцветный алевролит	секущее осветление	секущее осветление	красноцветный алевролит
Li	100	95	272	295	146	127	82	89	154	145
Be	1,3	1,4	1,6	1,9	1,4	1,4	0,73	0,86	1,1	1,5
Sc	15	15	14	14	13	10	8,1	9,2	10	9,7
Ti	3378	3344	3235	3187	2625	2552	1942	2068	2454	2402
V	115	100	105	103	88	84	60	62	75	76
Cr	80	74	90	84	60	58	40	46	56	57
Mn	463	460	428	366	424	434	364	367	429	422
Co	15	14	12	12	12	11	7,0	8,2	11	11
Ni	65	61	59	59	52	47	39	40	48	48
Cu	6	16	0		92	9	3,7	0,82	4,6	9,1
Zn	87	75	70	73	69	85	60	60	79	67
Rb	101	87	90	92	76	70	57	57	72	74
Sr	119	117	124	119	180	185	104	105	191	184
Y	17	17	17	16	14	15	14	15	14	13
Zr	105	101	114	112	89	90	78	109	115	87
Nb	7,3	7,4	7,2	7,0	5,6	5,4	4,2	4,4	5,1	5,2
Mo	0,34	0,21	1,17	0,05	0,17	0,031	0,11	0,039	<ПО	0,23
Ag	0,43	0,45	0,64	1,04	0,50	0,72	0,55	0,82	0,84	0,43
Cd	0,066	0,009	0,16	0,079	0,038	0,07	0,12	0,11	0,10	0,032
Cs	3,0	2,8	2,7	2,6	1,9	1,7	0,56	0,74	1,3	1,5
Ba	298	275	486	391	214	205	169	175	205	205
La	17	17	14	11	13	13	11	12	14	13
Ce	36	35	30	26	27	27	24	27	30	27
Pr	4,1	4,1	3,8	3,2	3,1	3,3	3,1	3,5	3,6	3,2
Nd	17	16	15	13	13	14	13	14	14	13
Sm	3,3	3,4	3,1	2,9	2,8	3,0	2,9	3,1	2,9	2,6
Eu	0,76	0,80	0,84	0,77	0,60	0,70	0,74	0,74	0,65	0,63

Gd	3,4	3,5	3,2	3,1	2,9	3,2	2,8	3,1	2,8	2,8
Tb	0,45	0,48	0,44	0,44	0,39	0,42	0,40	0,44	0,37	0,36
Dy	2,8	2,7	2,7	2,7	2,3	2,4	2,3	2,5	2,3	2,1
Ho	0,62	0,61	0,59	0,59	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,47
Er	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4
Tm	0,29	0,28	0,29	0,27	0,21	0,26	0,21	0,22	0,21	0,20
Yb	1,7	1,8	1,9	1,7	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4
Lu	0,27	0,27	0,27	0,26	0,22	0,22	0,18	0,22	0,22	0,20
Hf	2,7	2,6	2,9	2,8	2,2	2,4	1,9	2,6	2,9	2,1
Ta	0,42	0,45	0,38	0,41	0,34	0,32	0,23	0,26	0,28	0,31
W	1,0	0,86	2,2	0,99	1,5	0,79	0,59	1,7	0,70	0,70
Pb	4,1	2,9	3,0	2,2	3,6	2,8	5,4	3,0	3,4	3,5
Bi	0,14	0,068	0,078	0,061	0,037	0,005	0,04	0,12	0,52	0,06
Th	6,9	5,6	5,9	5,7	5,2	5,0	3,8	4,5	5,0	4,7
U	2,5	2,5	2,3	3,7	2,6	2,3	1,6	3,5	5,1	2,8

Установлено, что в осветленных породах серебра во всех пробах больше, чем в красноцветных породах. Обратная картина наблюдается с молибденом. Содержание висмута относительно красноцветных пород выше в прожилковом освещении, задокументированном у контакта с кимберлитами (пробы P8/6, P9/6), а его содержание в прожилковом освещении у контакта с эруптивными брекчиями базитов (пробы 508/1, 508/2) и послойном освещении ниже (проба P2/3), чем в красноцветных породах. В этой связи отметим, что в кимберлитах установлены повышенные содержания висмута [Дунин-Барковская, Уханов, 1974]. Примерно также ведет себя гафний. В трех из образцах, отобранных из прожилкового освещения наблюдаются повышенные содержания урана относительно красноцветных образований, в одном образце – наоборот, незначительно пониженное. В пробе из субпослойного освещения концентрация урана в освещении понижена. Концентрация других микроэлементов, включая иттрий и редкие земли, практически не изменяется в первичных и осветленных разностях пород (табл. 4.4, рис. 4.15).

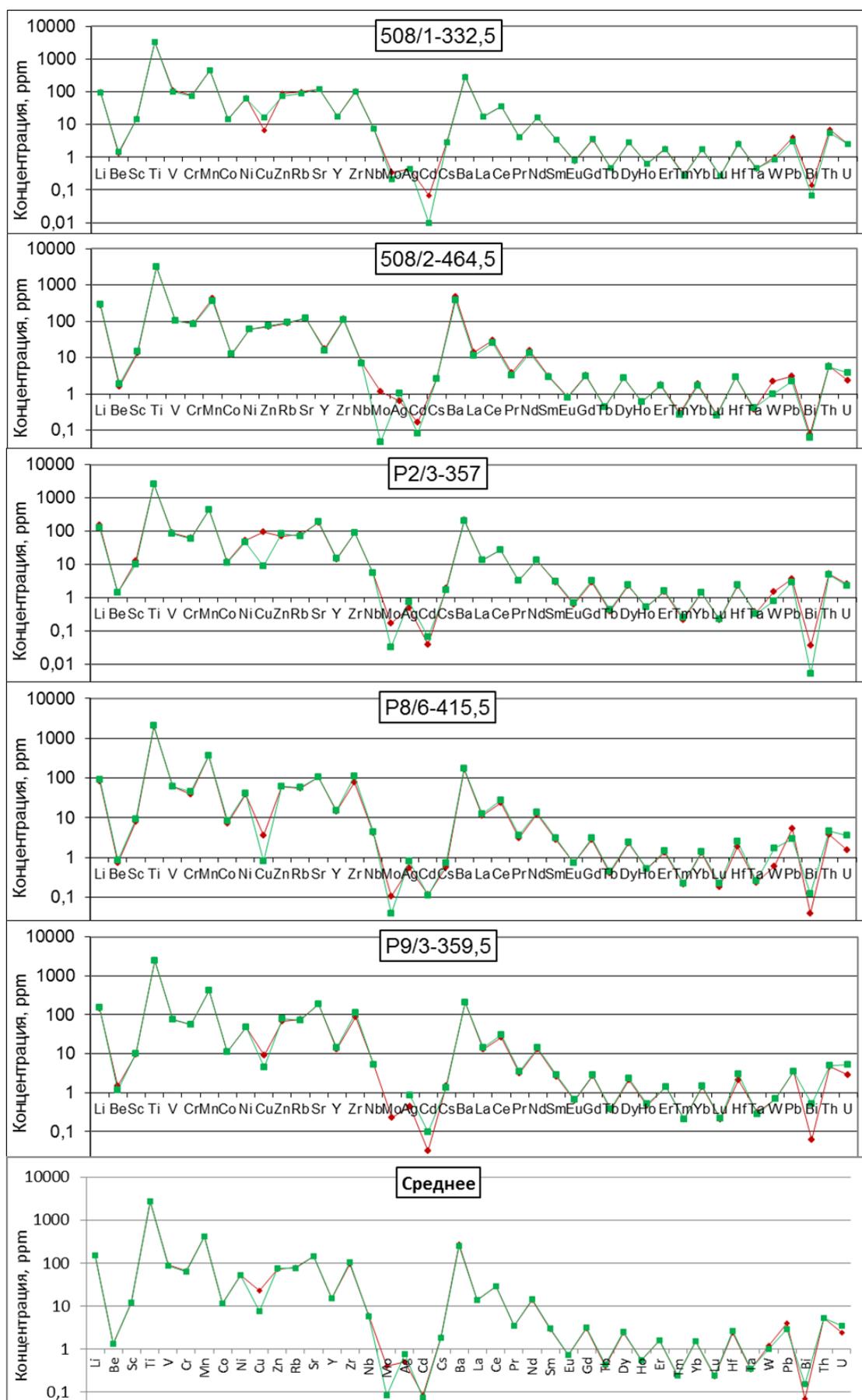


Рис. 4.15 Результаты анализов, выполненных методом ICP-MS парных проб (по красноцветным породам и осветлению)

Приведенные геохимические данные указывают на малые отличия процессов послонного и прожилкового осветления, обусловивших вынос при осветлении железа и в меньшей мере калия, рубидия, марганца и др. Также незначительно отличаются прожилковое осветление, связанное с кимберлитами, что требует дальнейших исследований. Кроме того, следует отметить, что перемена окраски красноцветных пород при любом типе осветления, также как и на изученной площади Архангельской алмазодной провинции, обусловлено переходом железа из окисной формы в закисную, что подтверждается геохимическими данными.

В целом, приведенные геологические наблюдения и минералогическо-геохимические данные по осветлению кембрийских красноцветных пород Накынского алмазодного поля позволяют утверждать, что эруптивный магматизм в виде кимберлитов и брекчий базитов сопровождался активизацией трещинно-пластовой системы восстановительных газодных систем глеевого типа.

Часть пластового и пятнистого осветления (оглеения), вероятно, возникла в катагенезе при участии микробияльного водорода и гидрокарбонат-иона в условиях элизионного режима древнего артезианского бассейна. Прожилковое осветление и часть пластового осветления, вероятно, связана с поступлением глубинных восстановительных флюидов.

Таким образом, можно сформулировать второе защищаемое положение: *В Накыском поле Якутской алмазодной провинции в красноцветных породах верхнего кембрия установлено три метасоматических типа осветления: диагенетическое, катагенетическое элизионное и эндогенное, связанное с телами алмазодных кимберлитов, среднепалеозойских траппов и тектоническими нарушениями..*

ГЛАВА 5. ПРИРОДА ПРОЖИЛКОВО-ПОСЛОЙНОГО ЭНДОГЕННОГО ОСВЕТЛЕНИЯ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО КЕМБРИЯ НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

В связи с тем, что прожилковое осветление и интенсивное сетчатое осветление с осевой минерализованной зоной темного цвета часто наблюдается непосредственно с кимберлитами, а также фиксируется в зонах разломов, предположена их связь с восстановительными эндогенными флюидами. Для изучения природы этого осветления изучено околосимбирлитовое пространство дайковидного тела Майского, выполнены газогеохимические анализы по ряду проб, а также пиролитические исследования некоторых образцов.

Майское месторождение представлено дайкой алмазоносных кимберлитов [Толстов и др., 2009]. Здесь прожилковое осветление обнаружено во вмещающих красноцветных породах кембрия вблизи и вдоль контактов кимберлитовой дайки (рис. 4.4, а, б, г, д; рис. 5.1), а также в ксенолитах этих пород в кимберлитовых брекчиях внутри контура тела (рис. 4.4, в).



Рис. 5.1. Осветление вдоль кимберлитовой дайки Майское.

- а – приконтактовое с раздувами осветление, скважина Р-6/2, глубина 307,8 м. 2012 год;
б – сетчатое осветление на контакте с кимберлитовой брекчией Майского месторождения алмазов, скважина Р 7-3, глубина 318 м, диаметр керна 10 мм.

В разрезах наклонных скважин истинная мощность интервалов с осветлением (зон осветления) колеблется от десятков до 75 м. В целом расположение зон осветления маркирует рудовмещающий Диагональный разлом. Мощность зон осветления увеличивается с глубиной (рис. 5.2).

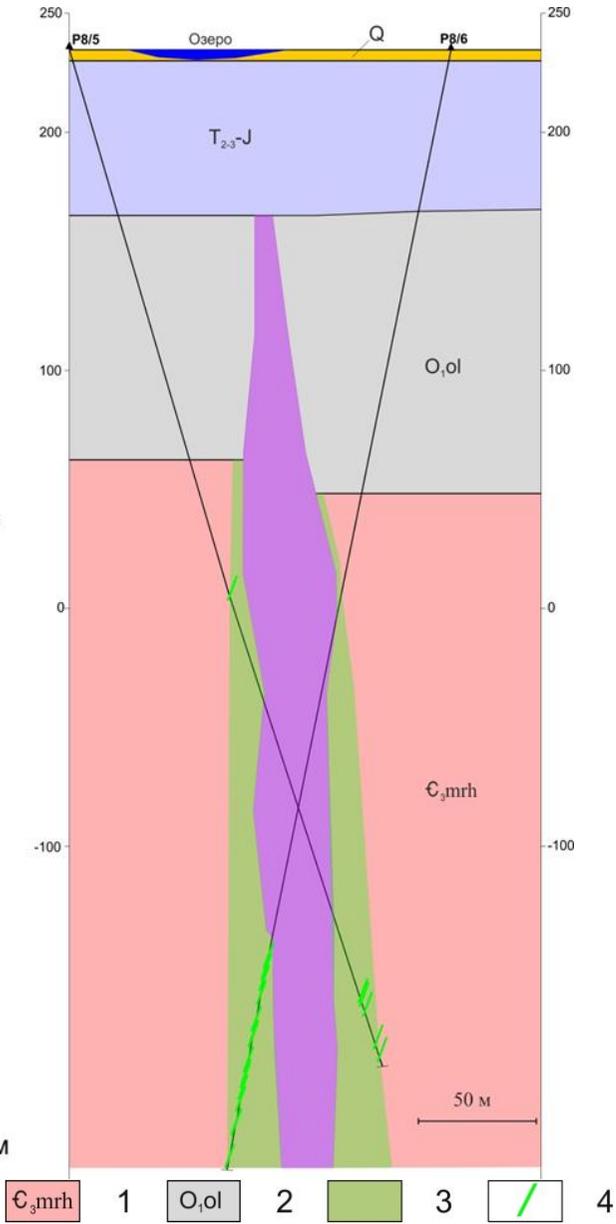
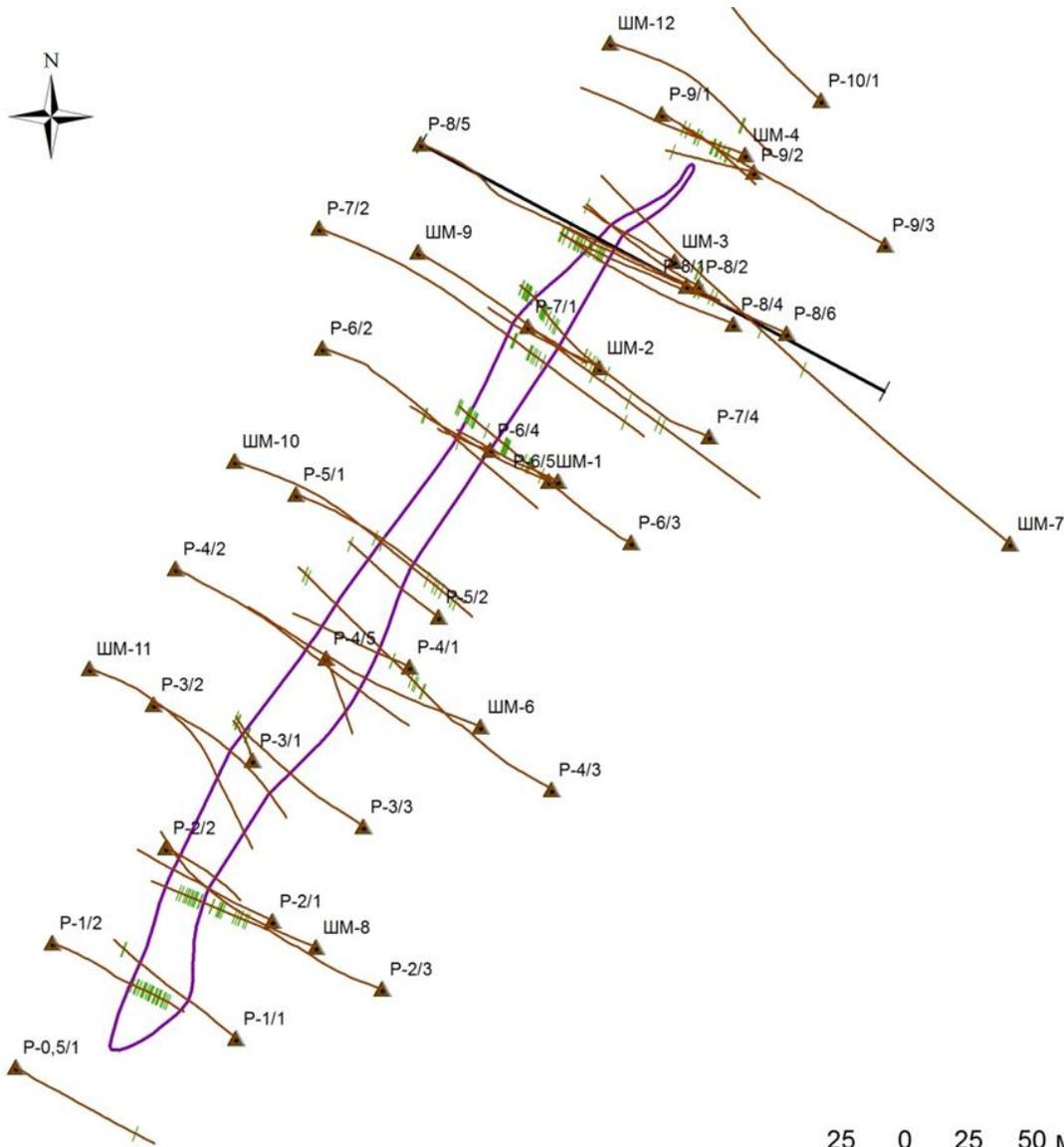


Рис.5.2. Распространение прожилкового осветления в красноцветных породах мархинской свиты верхнего кембрия вдоль контактов кимберлитов и на продолжении рудовмещающего разлома в участке выклинивания кимберлитовой дайки Майского месторождения алмазов.

План: 1 – прожилки с осветлением; 2 – проекции наклонных разведочных скважин; 3 – контур тела Майское под чехлом перекрывающих отложений; 4 – линия разреза.

Разрез: 1 – красноцветные терригенно-карбонатные породы мархинской свиты; 2 – сероцветные карбонатные породы олдондинской свиты; 3 – ореол распространения прожилкового осветления вдоль месторождения Майского; 4 – факты прожилкового осветления, установленные при документации керна

Для проверки гипотезы об участии в осветлении восстановительных газов выполнены газохроматографические анализы импрегнированных газов [термин по Кудряшов, 1991] по неизменным красноцветным и непосредственно примыкающим к ним осветленным породам (табл. 5.1). А именно измерено содержание углекислого газа (CO_2), метана (CH_4), этана (C_2H_6), этилена (C_2H_4), пропана (C_3H_8), пропилена (C_3H_6), изобутана ($i\text{C}_4\text{H}_{10}$), бутана ($n\text{C}_4\text{H}_{10}$), бутилена (C_4H_8), воды.

Таблица 5.1.

Результаты газохроматографических анализов импрегнированных газов красноцветных и осветленных пород (мл/кг)

№ пробы	Описание	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_3H_6	$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	C_4H_8	H_2O
М-22/2-272-1	алевролит красноцветный	125	2,55	0,16	1,20	0,14	3,85	0,36	0,19	5,30	5359
М-22/2-272-2	алевролит осветлённый	126	2,23	0,16	1,21	0,20	3,99	0,34	0,18	4,52	5116
М-22/2-300-1	алевролит красноцветный	163	6,74	0,99	3,27	1,01	11,49	1,06	0,71	18,50	7090
М-22/2-300-2	алевролит осветлённый	210	1,77	0,07	0,41	0,06	1,66	0,05	0,10	2,23	5460
М-22-3-281-1	алевролит красноцветный	133	2,46	0,08	2,16	0,17	2,65	0,24	0,22	2,70	6665
М-22-3-281-2	алевролит осветлённый	135	4,47	0,21	3,01	0,42	4,97	0,82	0,44	4,88	4778
ПР-3-298-2	алевролит красноцветный	215	1,18	0,05	0,64	0,05	3,43	0,11	0,12	3,83	5228
ПР-3-298-1	алевролит осветлённый	221	2,02	0,16	1,08	0,14	4,70	0,25	0,21	8,20	6350
ПР-3-312.5-1	алевролит красноцветный	167	0,80	0,07	0,67	0,07	2,28	0,18	0,13	6,73	5735
ПР-3-312.5-2	алевролит осветлённый	509	8,38	1,16	5,09	0,59	11,77	0,16	0,23	11,84	5384
ПР-7/1-432.5-1	алевролит красноцветный	138	2,66	0,07	0,95	0,06	2,25	0,04	0,03	2,13	9603

ПР-7/1-432.5-2	алевролит осветлённый	137	2,11	0,10	1,03	0,09	2,90	0,08	0,07	3,22	7574
ПР-8/1-262.5-1	алевролит красноцветный	220	2,31	0,10	0,89	0,13	2,87	0,00	0,00	2,60	16875
ПР-8/1-262.5-2	алевролит осветлённый	145	2,36	0,19	1,30	0,17	4,24	0,22	0,13	8,09	7582
ПР-8/1-280-1	алевролит красноцветный	124	2,04	0,09	0,92	0,11	2,95	0,10	0,07	3,90	7951
ПР-8/1-280-2	алевролит осветлённый	167	2,40	0,34	1,74	0,31	8,16	0,67	0,22	10,36	9649
Р-7/3-291.5-1	алевролит красноцветный КБ	105	2,06	0,13	1,10	0,16	3,41	0,32	0,11	3,82	3857
Р-7/3-291.5-2	алевролит осветлённый прожилковый КБ	153	2,32	0,19	1,78	0,22	5,53	0,65	0,31	8,44	4850
Р-7/3-295.5-1	алевролит красноцветный КБ	221	4,27	0,12	1,22	0,09	4,14	0,08	0,07	5,06	5811
Р-7/3-295.5-2	алевролит осветлённый прожилковый КБ	155	2,58	0,13	1,10	0,13	3,51	0,22	0,18	5,59	4870
Р-7/3-318-1	алевролит красноцветный КБ	226	2,47	0,10	0,97	0,09	2,57	0,09	0,10	2,74	4503
Р-7/3-318-2	алевролит осветлённый прожилковый КБ	230	2,82	0,12	1,15	0,12	2,97	0,16	0,14	3,51	5282

Примечание. КБ – кимберлитовая брекчия. № пробы состоит из номера скважины и глубины.

Газохроматографический анализ проводился в лаборатории ЦНИГРИ Ю.В. Васютой при температуре 450°С на хроматографе Agilent 6890 (США). Содержание водорода не определялось. Ранее было установлено, что при температуре выше 350°С как в кимберлитах, так и вмещающих их осадочных породах нижнего палеозоя отмечается скачкообразный рост газовыделения (рис. 5.3) [Кряжев и др., 2013].

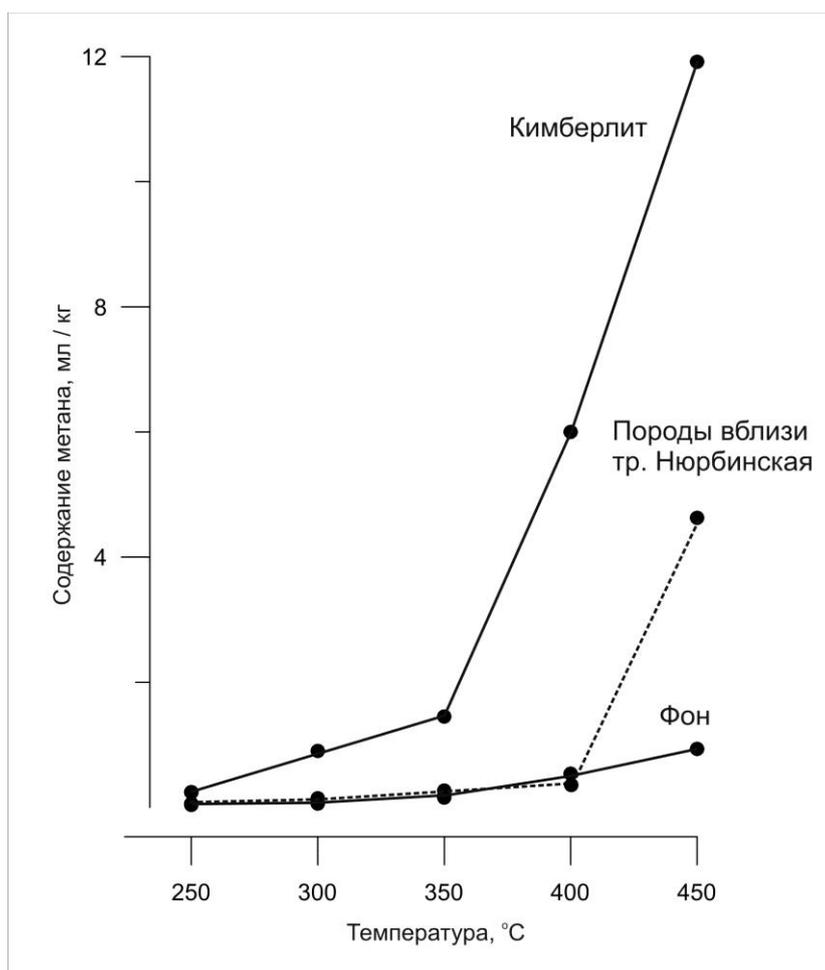


Рис. 5. Динамика выделения метана из пород в зависимости от температуры [Кряжев и др., 2013].

Такой режим газоотдачи пород указывает на то, что газы выделяются в результате вскрытия закрытых пор, т.е. декрепитации флюидных микровключений [Кряжев и др., 2013].

Выявлено, что в освещении повышены содержания этана, пропана, бутана, изобутана, бутилена. При этом установлена закономерность: чем тяжелее углеводород, тем контрастнее концентрация между исходной красноцветной и освещенной породой в независимости от типа освещения (послойное или прожилковое) (рис. 5.3).

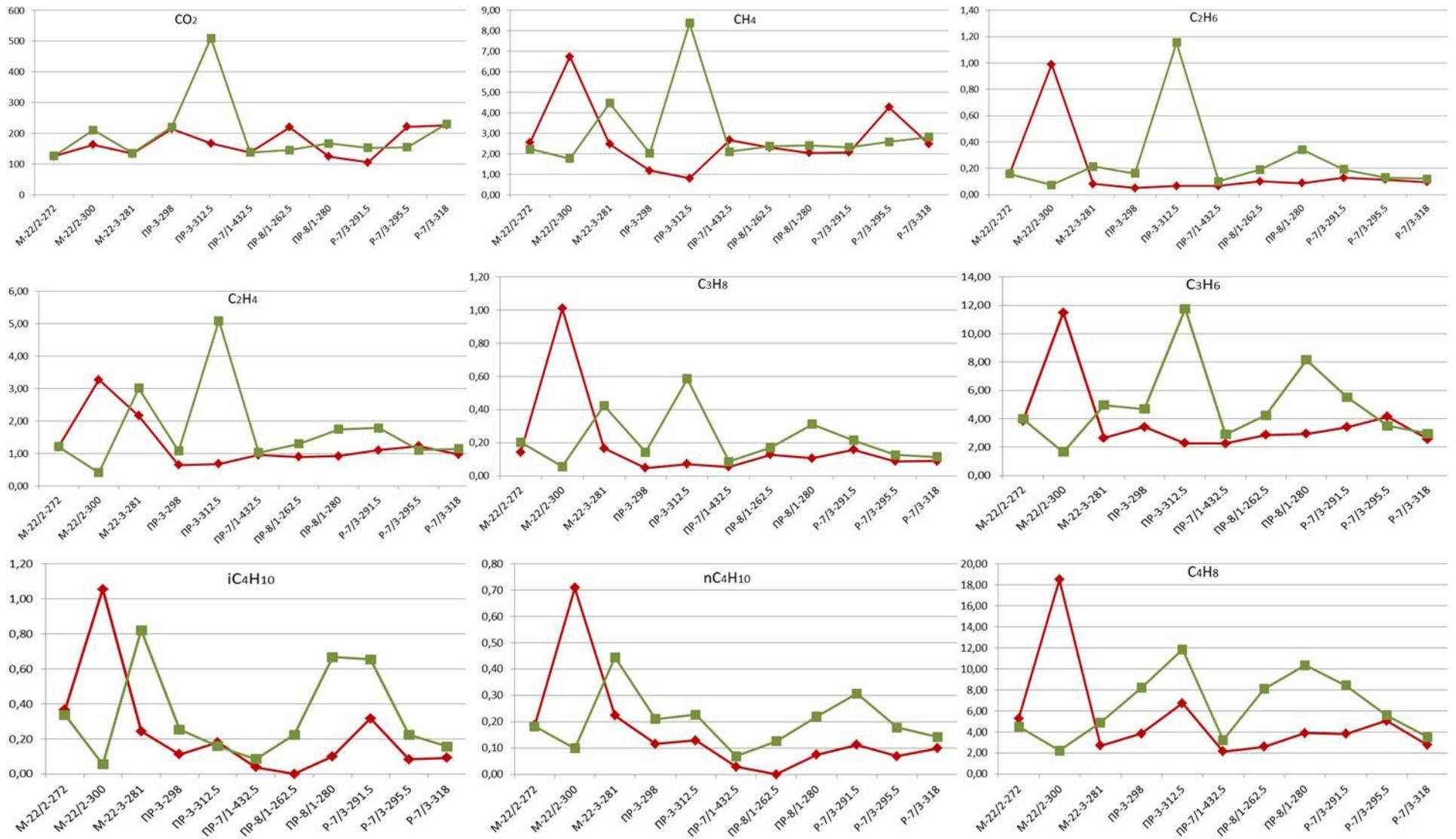


Рис. 5.3. Диаграммы результатов газохроматографических анализов проб красноцветных (красные точки и линия) и осветленных пород (зеленые точки и линия). Ось X – номер керновой пробы, где последнее число – глубина, м; ось Y – концентрация газа, мг/кг

Наблюдается прямая корреляция между концентрациями газов в красноцветных и осветленных породах (см. рис. 5.4).

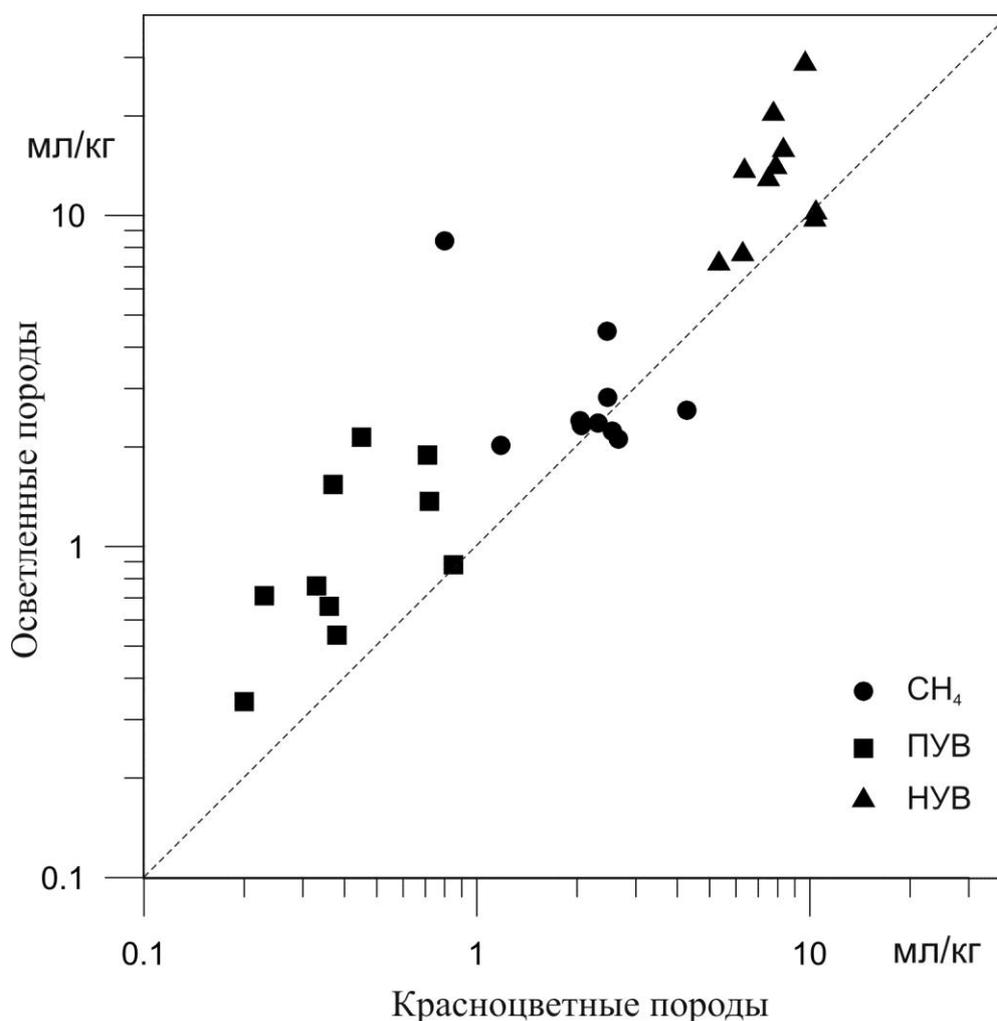


Рис. 5.4. Соотношение концентраций метана, предельных (ПУВ) и непредельных (НУВ) углеводородов в красноцветных и осветленных породах.

Прямая корреляция свидетельствует о том, что зоны осветления являются внутренней частью более обширных газогеохимических ореолов. По диаграмме (рис. 5.4) также наблюдается, что осветленные участки породы закономерно обогащены метаном и выше перечисленными углеводородами.

Кроме того, надо отметить низкие содержания импрегнированных углеводородных (ИУВ) газов в красноцветных породах около послойного осветления относительно прожилкового (рис. 5.5). Причиной этого может быть удаленность от прожилков с осветлением (крутопадающих каналов их поступления).

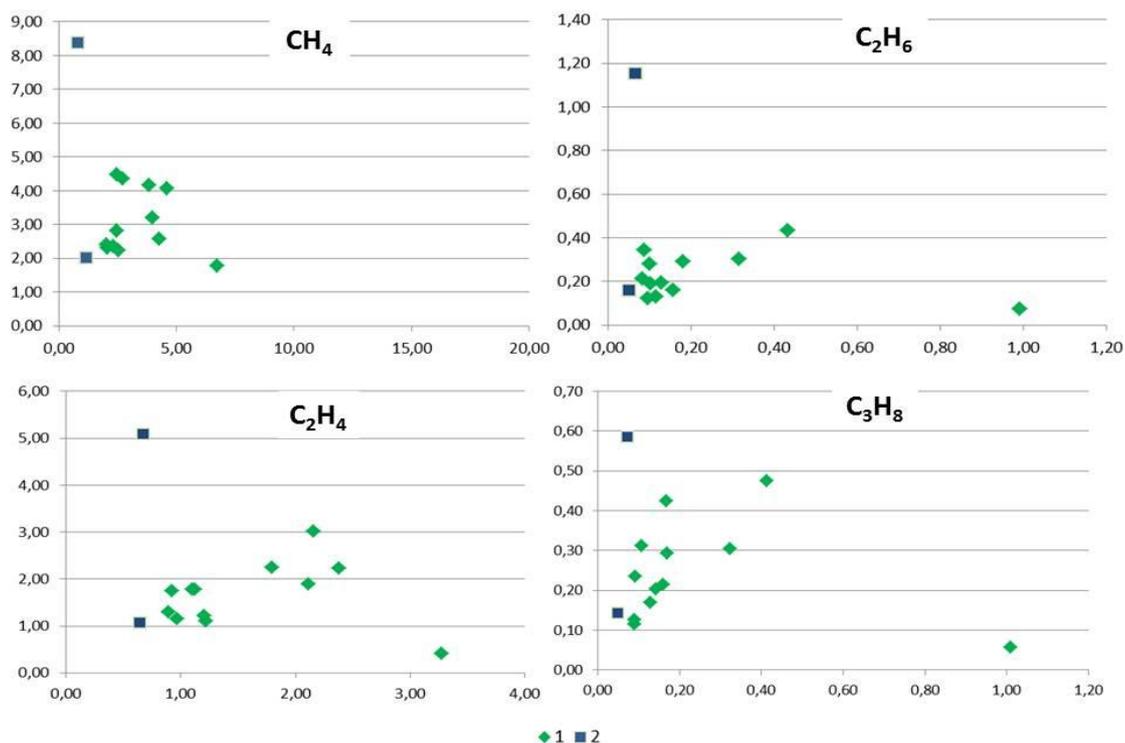


Рис. 5.5. Графики отношений содержаний газов в прожилковом и послойном освещении к их содержаниям в красноцветных породах.

1 – отношение проб из красноцветных проб к пробам из проявлений прожилкового освещения; 2 – отношение проб из красноцветных пород к пробам из проявлений послойного освещения. Ось Y - концентрация газа в освещении (мл/кг). Ось X - концентрация газа в красноцветных породах (мл/кг).

По этой же методике выполнены анализы газов как в терригенных и терригенно-карбонатных породах кембрия, так и карбонатных породах ордовика [Ковальчук и др., 2015, Шмонов, 2014]. Выявлена пространственная ассоциация углекислого газа с кимберлитами и, возможно, другими эндогенными образованиями [Игнатов и др., 2014].

В связи с установленными повышенными содержаниями ИУВ в прожилках освещения относительно красноцветных пород кембрия также выполнено сравнение их с газогеохимическими данными по залегающей выше сероцветной толще ордовика. Для этого рассчитаны средние содержания газов по 89 пробам из сероцветных карбонатных пород, по 39 пробам из красноцветных алевролитов и 26 пробам из осветленных алевролитов (табл. 5.2, рис. 5.6).

Средние содержания ИУВ газов (мл/кг)

Породы	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	CO ₂
Карбонатные породы олдондинской свиты	0,38	0,07	0,13	0,05	0,50	0,13	0,04	0,79	126,79
Красноцветные алевролиты мархинской свиты	2,924	0,166	1,398	0,186	3,77	0,308	0,177	5,74	178
Осветленные породы мархинской свиты	3,22	0,28	1,79	0,26	5,50	0,43	0,26	9,03	199,6

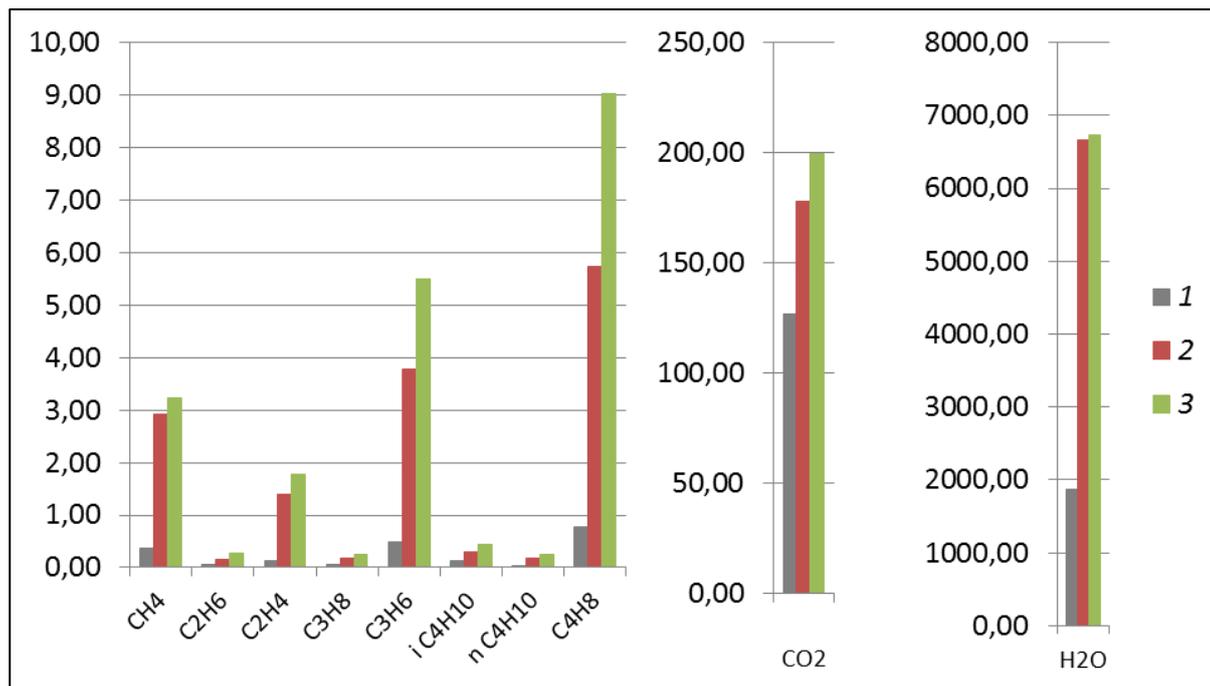


Рис. 5.6. График средних содержаний ИУВ газов, углекислого газа, воды в породах нижнего палеозоя. 1 – карбонатные породы ордовика; 2 – красноцветные породы кембрия; 3 – осветленные породы кембрия

Установлены повышенные от полутора до восьми раз содержания УВ газов и CO_2 в красноцветных терригенно-карбонатных породах относительно карбонатных пород. Наиболее высокие содержания этих газов имеются в осветленных образованиях. Эти данные с одной стороны указывают на поток газов с глубины, а с другой на вероятное экранирующее значение плотных известняков и доломитов олдондинской свиты ордовика. Последнее по принципу скейлинга хорошо согласуется с расширением прожилков в контакте с субслоистым осветлением под подошвой карбонатных слоев, установленное в образцах (см. рис. 4.9).

Заметные концентрации ИУВ газов по относительно полно опробованным разрезам осадочных толщ, вскрытых глубоким бурением, встречаются редко и распределены дискретно. Они отмечаются по всем разновидностям ИУВ газов и в сумме превышают 10 мг/кг при фоне ниже этого значения. Такие аномальные значения ИУВ газов в ряде случаев совпадают с концентрациями углекислого газа, скопления которого встречаются и самостоятельно. Предполагается, что природа концентраций ИУВ газов в осадочных породах аналогична их скоплениям в прожилковом осветлении.

Следует отметить, что по единичным пробам в породах ордовика установлены концентрации не только высокотемпературных углеводородов и CO_2 , но также и водорода (табл. 5.3). При этом концентрации газов, включая водород, также скачкообразно возрастают при температуре выше 400°C .

Таблица 5.3.

Результаты термогазохроматографического анализа, выполненного из навески $\sim 1 \text{ см}^3$ породы. Концентрации газов даны в $\text{п} \times 10^{-3} \text{ см}^3 / \text{кг}$.

№ скв., гл., м	T, C°	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_3H_6	$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{C}_4\text{H}_8 \text{ I}$	$\text{C}_4\text{H}_8 \text{ II}$	H_2	CO_2
16-138, 518	100	617,2	53,8	0,7	2,0	0,7	0,5	1,5	0	0,6	0	7,3
	200	5840,7	573,4	4,3	7,8	16,7	1,5	5,1	4,6	11,7	0,1	31,0
	300	4630,5	532,5	290,8	42,0	255,9	112,2	60,5	208,0	94,7	0,7	26,1
	400	4630,5	1208,3	760,3	238,1	574,4	74,2	144,5	122,9	102,4	4,4	59,6
	500	8171,5	1925,2	489,6	347,5	500	48,8	169,8	75,5	64	8,5	244,8
	600	10350,6	1024	25344	87,8	180,1	6,3	36,1	36,5	29,4	22	913,9
564-437, 433	100	4,8	0,4	0,2	1,9	0,2	0,16	0,4	0,0	0,4	0,1	4,4
	200	54,72	6,5	1,8	8,6	6,1	1,8	3	2,3	4,4	0,6	44
	300	106,6	13,7	21,2	5,8	23,5	2,9	4,6	79,4	16,4	0,7	48,4
	400	936,3	156,2	218,9	78,1	214,3	9,8	19,5	58,9	38,4	5,6	391,7

Примечание. Анализы выполнены по образцам керна карбонатных пород, отобранного из разведочных скважин Нюрбинского месторождения, под руководством д. т. н. Лебедева В.С. в лаборатории ВНИИгеосистем (зав. лаб. Муронова Р.Н.) аналитиком Белкиной Е.А.

Кроме того, выполнены пиролитические исследования небольшого количества проб из осветления, темноцветного минерала из осевой части прожилкового осветления и красноцветных пород (табл. 5.4). Анализы выполнены на пиролизаторе Rock-Eval 6 Standard.

Таблица 5.4

Результаты пиролитических исследований

№	Sample	Описание образца	Qty(mg)	S1(mg/g)	S2(mg/g)	Tmax(° C)	PC(%)	RC(%)	TOC (%)	MINC (%)	HI	OI CO	OI	PI	S3CO(mg/g)	S3(mg/g)	S3'(mg/g)	S4CO(mg/g)	S4CO ₂ (mg/g)
1	514/1-233	Темный материал	61.2	0.04	0.04	330	0.03	0.06	0.09	5.39	44	133	656	0.47	0.12	0.59	26.1	0.1	2.27
2	514/1 - 233k	Красный алевролит	61.8	0.01	0.02	311	0.02	0.01	0.03	5.06	67	67	2100	0.36	0.02	0.63	34.5	0.04	0.38
3	P7/3-318-1	Алевролит краснокветный в КБ	61.4	0.11	0.14	382	0.04	0.03	0.07	6.49	200	43	814	0.43	0.03	0.57	30.5	0.11	1.03
4	P7/3-318-2	Алевролит осветленный прожилковый в КБ	61.6	0.09	0.13	377	0.03	0.16	0.19	6.45	68	16	195	0.4	0.03	0.37	20	0.13	5.33
5	M22/2-272-3	Темный материал в прожилковом осветлении	60.9	0.06	0.08	376	0.02	0.03	0.05	2.8	160	80	220	0.42	0.04	0.11	11.3	0.11	1.02
6	M22/2-272-1	Алевролит краснокветный	61.5	0.08	0.11	377	0.02	0.14	0.16	3.64	69	19	144	0.42	0.03	0.23	21.4	0.13	4.77

Примечание: анализы выполнены в лаборатории ВНИГНИ

Следует отметить неоднозначность полученных результатов, вероятно, в связи с непредставительным количеством проб. По полученным данным установлено, что в прожилковом освещении в КБ относительно красноцветных пород повышены содержания CO_2 из органического источника (S4CO_2), CO из органического источника (S4CO), общее содержание органического углерода (ТОС). В темном материале относительно красноцветных образований по двум пробам наблюдаются повышенные значения кислородного индекса (ОІСО), пониженные CO_2 из органического источника (S3) и CO_2 из минерального источника (S3').

Наличие широко распространенного послойного освещения и его пространственной связи с прожилковым, а также преимущественное присутствие субпослойного приподошвенного освещения над пластами известняков и доломитов указывают на возможное микробиальное происхождение освещения в катагенезе. В бедные органическим веществом красноцветные алевролиты могла отжиматься вода с органическим веществом, необходимая для жизнедеятельности анаэробных бактерий, в свою очередь, восстанавливающих железо (см. гл. 4).

Вторичное прожилковое и ассоциирующее с ним субпослойное освещение, а также интенсивное сетчатое освещение, наблюдаемое у контактов с магматическими породами могло быть обусловлено восстановительными по железу гидротермальными растворами или газами. Последнее также вероятно, поскольку в осветленных породах по сравнению с красноцветными разностями не обнаруживаются существенных изменений минерального состава (табл. 4.2). Кроме того, как показано выше, в них установлено большое выделение газов при высоких, близких к критическим температурах.

Еще одним фактом, обосновывающим газовую природу освещения является встреченное в разрезе по скв. 50-47-Н-1 шаровидное крупное освещение (рис. 5.7). Надо отметить и "проводник" для этих газов в виде двух кулисных трещин - прожилков. Они выклиниваются в другой части керна, т. е. на протяжении менее 10 см.



Рис. 5.7. Шаровидное пятно освещения диаметром 10 см в трещиноватом алевролите. Скв. 50-47-Н-1, глубина 353 м.

Установлено, что в зонах разломов наблюдается тенденция увеличения содержания водорода с глубиной. Так, наблюдаются ураганные содержания водорода вблизи трубки Удачная. В зонах разломов его содержание возрастает до 0,03-1,13%, а в тектонически мало нарушенных участках водород зачастую не устанавливается. [Зорькин и др., 1983].

Газовое, прежде всего, водородное происхождение осветления у контактов с кимберлитами косвенно подтверждается флюидной и водородно-метановой гипотезой формирования алмазов и кимберлитов [Портнов, 2012; Иванников, 2011]. Кроме того, следует отметить недавно установленную алмазоносность вулкана Плоский Толбачик (Новый тип алмазов..., 2015), относящегося к одним самых газонасыщенных вулканов мира. При этом концентрация водорода в нем весьма значительная [Портнов А.М., 2010].

Эндогенное происхождение восстановительного флюида также может подтверждаться обнаруженными фактами асимметрии осветления относительно минерализованной трещины (рис. 5.8) при наличии карбонатных прослоев по обе стороны от прожилка.

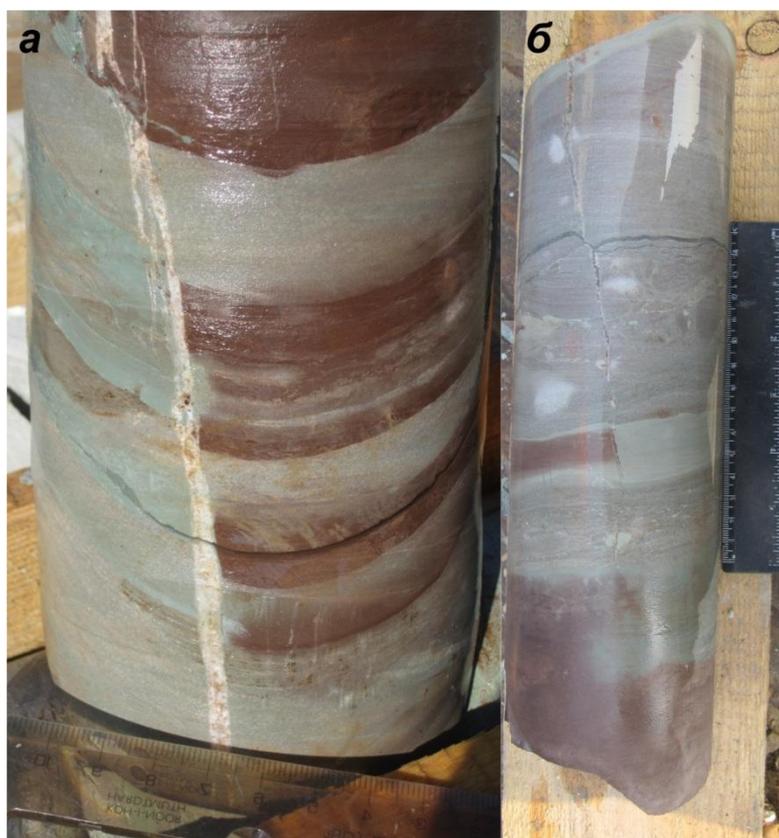


Рис. 5.8. Асимметрия субпослойного осветления.

а – в плоскости микросброса, скважина Р-9/3, глубина 244,5, 2014 г.; б – экранированное прожилком гипса, выполняющим микровзброс, скв. 18-260, глубина 432,5, 2011 г.

Распространение прожилкового осветления в красноцветных породах около кимберлитов, эруптивных брекчий базитов и даек основных пород, повышенные содержания

в осветленных прожилках углеводородов, свидетельствуют о воздействии глубинных бессероводородных восстановительных газов и флюидов. Главным восстановителем железа, очевидно, был водород, концентрации которого установлены в высокотемпературной фракции некоторых проб нижнепалеозойских осадочных пород Накынского поля. Вынос железа должен быть связан с растворами, а именно, содержащимся в них гидрокарбонат-ионом HCO_3^- , в свою очередь, образованным в результате растворения карбонатов под воздействием углекислоты. Косвенным подтверждением этого является повышенное содержание углекислоты в большинстве проб осветленных алевролитов, по сравнению с красноцветными разностями (см. табл. 5.2). Также вероятно, что поступление снизу по трещинам высокотемпературных углеводородов, CO_2 и водорода происходило на этапе катагенеза при отжатию восстановительных по железу формационных вод.

Источники глубинного водорода, как главного восстановителя, могут быть разные.

1. Залежи углеводородов, содержащих свободный водород.

О наличии скоплений углеводородов в Накынском поле свидетельствуют высокие концентрации метана в подмерзлотных рассолах [Дроздов, 2008;], характерные для газовых залежей промышленных масштабов [Якубсон, 1991]. Кроме того, в нефтегазопроисловых скважинах за пределами изучаемой территории отмечались проявления жидко-капельной нефти в двух горизонтах, хотя месторождений так и не было обнаружено [Мальцев и др., 2013ф]. Во многих случаях при расколе керна глубоких скважин чувствовался запах керосина. Зафиксировано присутствие битумов в прожилках в скв. 50-47-Н-1 на глубине 480 м.

Отметим, что Накынское поле входит в район распространения битумов и регионально распространенных нефтегазоносных кембрийских силигирской, чукукской и мархинской свит и ордовикской маркокинской (олдондинской) свиты [Фомичев, 2008].

Кроме того, П.А. Игнатовым и Я.И. Штейном [Игнатов, Штейн, 1998] в разведочных скважинах 16-138Д и 16-117, расположенных на юго-восточном фланге Нюрбинского месторождения, на глубинах 485-535 м встречены пласты биогермных и оолитовых известняков, насыщенных битуминозным органическим веществом и мелкозернистым пиритом. Небольшое количество битуминозного вещества вскрыто в разведочной скважине 28-253, расположенной на восточном фланге Нюрбинского месторождения, на глубине 140 м в стилолитовых швах и трещинах в известняках. Значительное количество ОВ (более п%) вскрыто скважиной 564-437, расположенной в 200 м на юго-восток от границы Нюрбинской диатремы в осевой части Ботубинского разлома. Скважина вскрывает дайку долеритов и вмещающие их терригенно-карбонатные породы верхнего кембрия. В ней на глубине 427 м встречен пласт оолитовых перекристаллизованных известняков, в котором по массе,

субпослойным и субвертикальным стилолитам и трещинам распространено сажистое органическое вещество.

2. Распад углеводородов на составляющие элементы, включающие водород под действием сверхвысокого давления и высокой температуры на контакте с кимберлитами и другими магматическими породами. Данный генетический тип водорода мог служить причиной его известного выброса на трубке Удачной при его разведке [Фомичев, 2008]

3. Мантийный водород, поступающий в приповерхностные горизонты земной коры по дегазирующим зонам глубинных разломов и рифтовым зонам [Белов и др., 2009].

4. Водород, образующийся при серпентинизации оливина. В этом отношении показательны результаты экспериментов реакции оливина с водным раствором NaCl (0,6 моль/кг), содержащим 8,9 моль/кг NaHCO_3 , которая длилась при давлении 500 бар и температуре 300°C [Berndt M.E. et al., 1996]. В начале процесса выделяется CO_2 , затем водород, метан и его тяжелые гомологи (рис. 5.9).

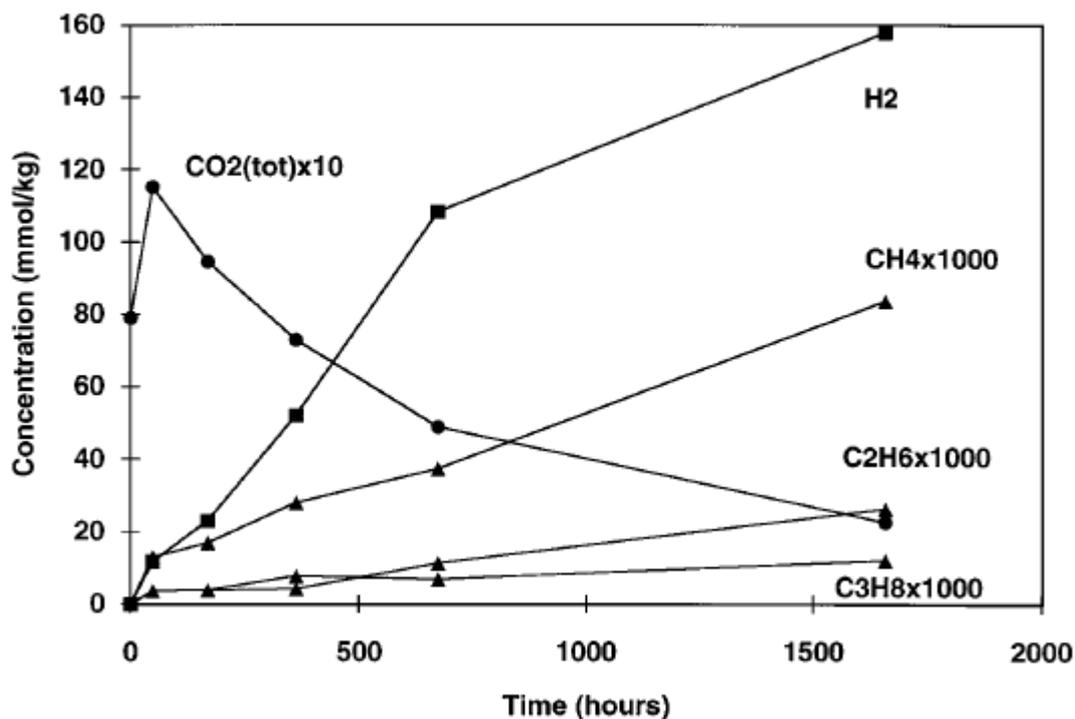


Рис. 5.9. Выделение газов в зависимости от времени при серпентинизации оливина при 300°C и 500 бар [Berndt et al., 1996].

5. Водород, образующийся в процессе диссоциации захороненных подземных вод при фреатических взрывах, происходящих в процессе быстрого внедрения флюидизированных кимберлитовых и базитовых магм.

Выводы

Данные о геологическом положении, минеральном, элементном составе осветления и распределение импрегнационных высокотемпературных углеводородов и водорода

позволяют считать, что вторичное осветление главным образом обусловлено поступлением глубинных восстановительных газов, включающих водород и углеводороды. Их источники могли быть разными. Наиболее вероятны нефтегазовые скопления, залегающие в нижних горизонтах рифей-палеозойского разреза. Соответственно, в них в Накынском алмазоносном поле предполагаются залежи углеводородов.

Также вероятны газы, формировавшиеся в процессе фреатических взрывов, сопровождавших внедрение флюидизитовых кимберлитовых и базитовых магм, а также образующиеся при серпентинизации оливина ультрабазитов. Для поисков кимберлитов, особенно интересен газ, продуцируемый при серпентинизации оливина, породообразующего минерала кимберлитов. Возможно, что концентрации импрегнационных газов, включающих CO_2 , как показателя флюидного магматизма [Игнатов и др., 2014], могут служить маркерами кимберлитов и соответствующим косвенным поисковым признаком коренных алмазных месторождений.

На основании вышеизложенных фактов можно сформулировать третье защищаемое положение: *Прожилково-послойное осветление красноцветных пород, установленное на контакте с магматическими телами и в тектонических нарушениях, образовалось в результате воздействия восстановительных флюидов.*

ГЛАВА 6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

В Накынском поле установлены пространственные связи осветления с кимберлитами и некоторыми телами базитов (см. рис. 4.10, 4.11). В Архангельской алмазоносной провинции ореол распространения прожилкового осветления приурочен к области развития алмазоносных кимберлитов (рис. 2.1), что, вероятно, связано с более простым геологическим строением и отсутствием базитов.

Во всех случаях осветление, прежде всего прожилковое, так или иначе маркирует тектонические нарушения. Так, например, большинство пробуренных наклонных скважин в зоне Диагонального рудовмещающего разлома Накынского поля вскрывают прожилковое осветление (см. рис. 4.8). Поэтому возможно использование этих проявлений при поисковых работах в дополнение к уже существующим признакам структур, контролирующим и вмещающим кимберлиты.

Ниже приведены примеры использования прожилкового осветления при выделении локальных структур, в которых вероятны тела кимберлитов.

6.1. Пример выделения перспективного участка в Накынском поле

В наклонной скважине 514/1 (см. рис. 4.8) ярко выражено интенсивное прожилковое и сетчатое осветление. Здесь наиболее часто встречаются осевые части прожилков темно-серого цвета. Макроскопически такое осветление весьма напоминает осветление в экзоконтактах дайковых тел кимберлитов. В скважине отмечается большая мощность интервала, в котором присутствует прожилковое осветление, составляющая 154 м стволовой мощности. При этом осветление проявлено практически без перерыва.

Также следует отметить как минимум три направления простирания крутопадающих прожилков с осветлением, вскрытых в скв. 514/1. Проведенные замеры с ошибкой 5-10° показали, что чаще всего встречаются прожилки северо-западного (Поперечный разлом), в меньшей мере, субширотно-северо-восточного простирания (нарушения Дяхтарского разлома), а также север-северо-восточного, соответствующему рудоконтролирующему Диагональному разлому (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Прожилки освещения трех систем восток-северо-восточного, северо-восточного с меньшими углами падения и северо-западного простирания.

Скв. 514-1, глубина 288,5-288,7 м.

В керне скважины также установлен базальт (глубина 283,7 м, см. рис. 4.11) [Захаров и др., 2016], у которого по дифрактометрии, выполненной Л.В. Лисковой в лаборатории НИГП ПАО АЛРОСА присутствует хлорит (40%), кристаллографические параметры которого по ее данным сближают его с хлоритом из базальта, контактирующего с кимберлитом Нюрбинской трубки, а также хлоритом из коры выветривания кимберлитов.

Кроме того, по данным петрографов БГРЭ на глубине 346,1 м в этом разрезе зафиксирована измененная эруптивная брекчия базитов [Захаров и др., 2016ф], присутствие которых свидетельствует о вероятном наличии кимберлитов [Игнатов и др., 2010]

Совокупность полученных данных позволяет предположить, что скв. 514-1 вскрыла ближнее околокимберлитовое пространство.

Используя сейсмические данные БГРЭ и анализ рельефа нижнепалеозойского цоколя, можно уточнить положение разломов, признаки которых вскрыты в скв. 514-1. Соответственно намечен центр структурного узла (рис. 6.2). Следует отметить, что все разломы имеют сдвиговую составляющую. Соответственно, можно предположить существование небольшой кимберлитовой трубки с длинной осью вдоль предполагаемого шва Диагонального разлома.

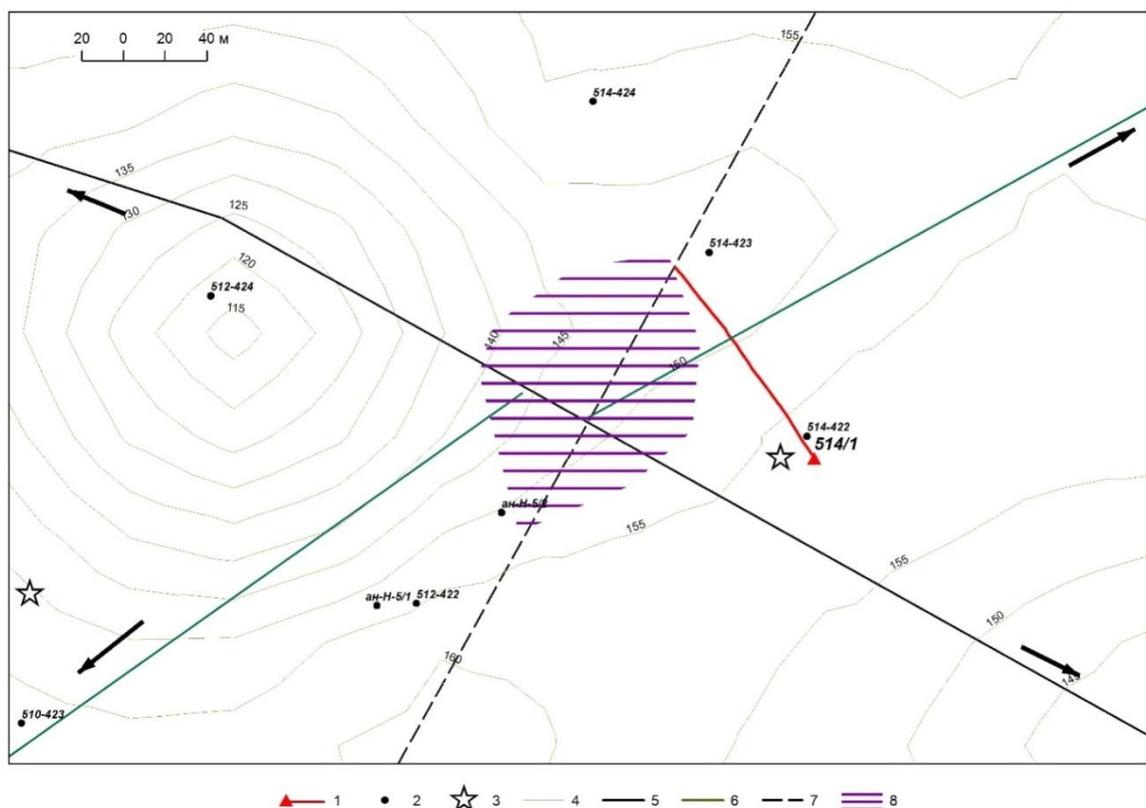


Рис. 6.2. Структурный узел, перспективный на обнаружение алмазоносного кимберлита, расположенный западнее скважины 514/1.

1 – скважина наклонная; 2 – скважины вертикальные; 3 – находки кристаллов алмазов в шлиховых пробах; 4 – изогипсы кровли цоколя; 5 – разлом Поперечный; 6 – разлом, параллельный Дьяхтарскому; 7 – намечаемый шов Диагонального разлома у скважины 514-1; 8 – предполагаемое положение кимберлитового тела.

6.3. Прожилковое осветление в экзоконтактах кимберлитового тела Озерного

Картирование ореола прожилкового осветления выполнено около рудопроявления Озерного, вскрытого скважиной СР-39/19 в Накынском поле (рис. 6.9). Наклонными скважинами СР-46 и СР-47 вскрыты маломощные кимберлитовые жилы, являющиеся продолжением кимберлитовой жилы собственно рудопроявления Озерного.

Во всех указанных наклонных скважинах установлено прожилковое осветление. При этом прожилки фиксируются преимущественно в восточных флангах от кимберлитовых жил, что обусловлено расположением наклонных скважин, в которых вскрыты пачки кембрия с пластами красноцветных пород.

Суммарные интервалы с прожилковым осветлением имеют значительную мощность. В проекции на горизонтальную плоскость они составляют в СР-39-19 - 36 м, СР-46 - 41 м, СР-46/3 - 37 м, СР-47 - 23 м. Наибольшая мощность интервала с осветлением зафиксирована в скв. СР-46. При этом надо иметь в виду, что скважина СР-46/3 пройдена не в крест простирания кимберлитовой жилы, как другие.

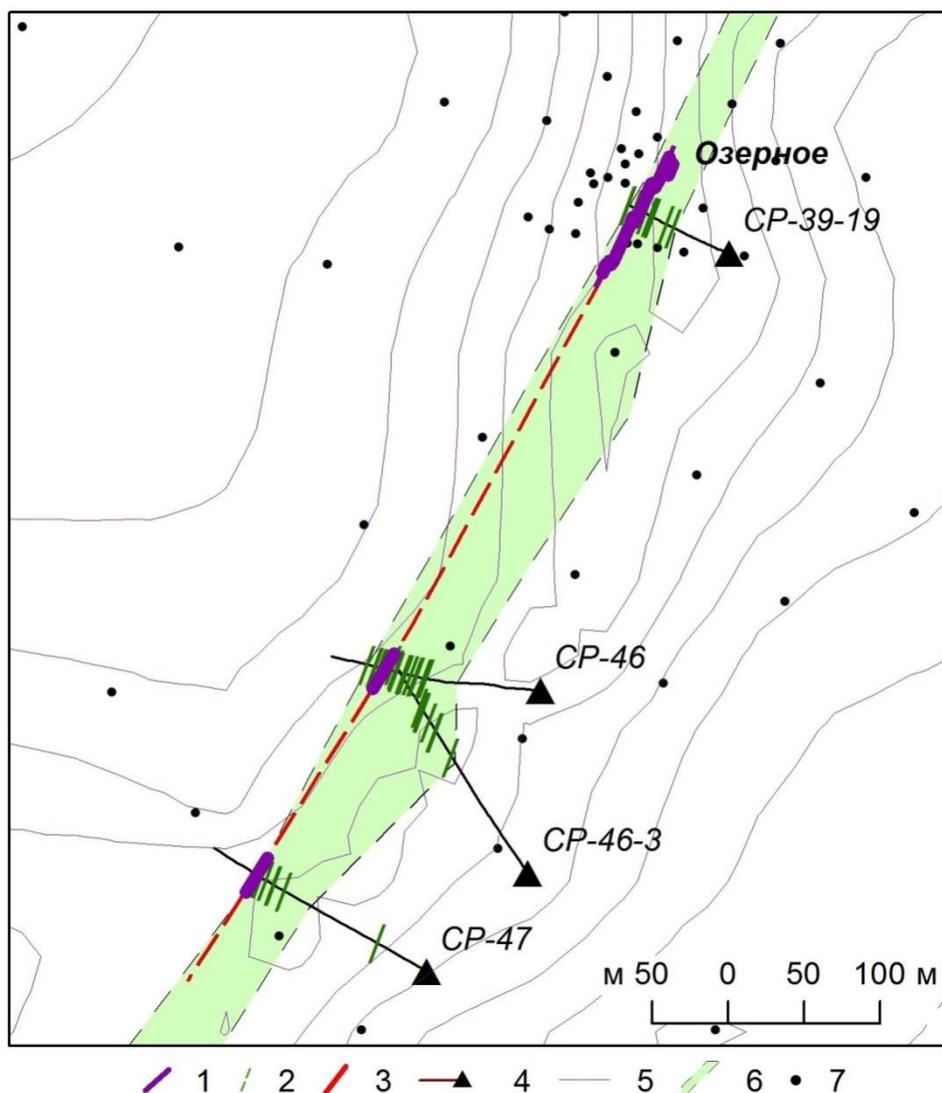


Рис. 6.9. Положение предполагаемой жилы кимберлитов и прожилкового осветления и его ореола по данным глубокого наклонного бурения на участке Озерный

1 – кимберлиты, 2 – прожилковое осветление, 3 – предполагаемая жила кимберлитов, 4 – проекции наклонных скважин, 5 – изолинии кровли палеозоя по данным МГРП БГРЭ, 6 – зона прожилкового осветления с предполагаемыми границами, 7 – вертикальные скважины

Ореол крутопадающих прожилков с осветлением слагает полосу в плане, включающую отмеченные кимберлиты тем самым маркируя рудовмещающий разлом.

6.4. Особенности документации прожилкового осветления керна наклонных скважин

По керну наклонных скважин, зная их ориентировку, а также подошву и кровлю пласта и имея горизонтальную слоистость пород, можно определить элементы залегания вскрываемых тектонических нарушений, включая прожилковое осветление (рис. 6.10).



Рис. Схема получения ориентированного керна для определения положения в пространстве признаков тектонических нарушений по керну и отбора ориентированных образцов для проведения ультразвуковых исследований по методике В.И Старостина

Рис. 6.10. Ориентирование керна наклонной скважины и получение элементов залегания тектонических нарушений [Бушков, 2006].

Так, при рассмотрении элементов залегания прожилкового осветления в скважинах ПР-1 и 514-1, 484-Б-1 (расположение скважин см. рис. 5.10) установлено, что простирание прожилков соответствует не только северо-восточному тренду Ботубинского, Дьяхтарского и Южного разломов, но и северо-западным поперечным нарушениям. Так, например, по скважине 514-1, имеющей северо-западный зенитный угол (см. рис. 5.10), видно, что скважина не пересекает прожилков, а пройдена по направлению его простирания (рис. 6.11).



Рис. 6.11. Прожилковое осветление, вскрытое по простиранию северо-западного разлома. Скв. 514-1, глубина 289-293 м.

О том, что прожилки с осветлением направлены вдоль простирания кимберлита, свидетельствуют результаты документации стенки трубки Ньюбинская (см. рис. 4.10).

На участке Поперечного разлома (рис. 6.12) пробурено две наклонные скважины (ПР-1, ПР-2/2) в целях обнаружения разлома подобного рудовмещающему Диагональному. Осветление вскрыто только в ПР-1 и оно имеет северо-западное простирание (врезки на рис. 6.12).

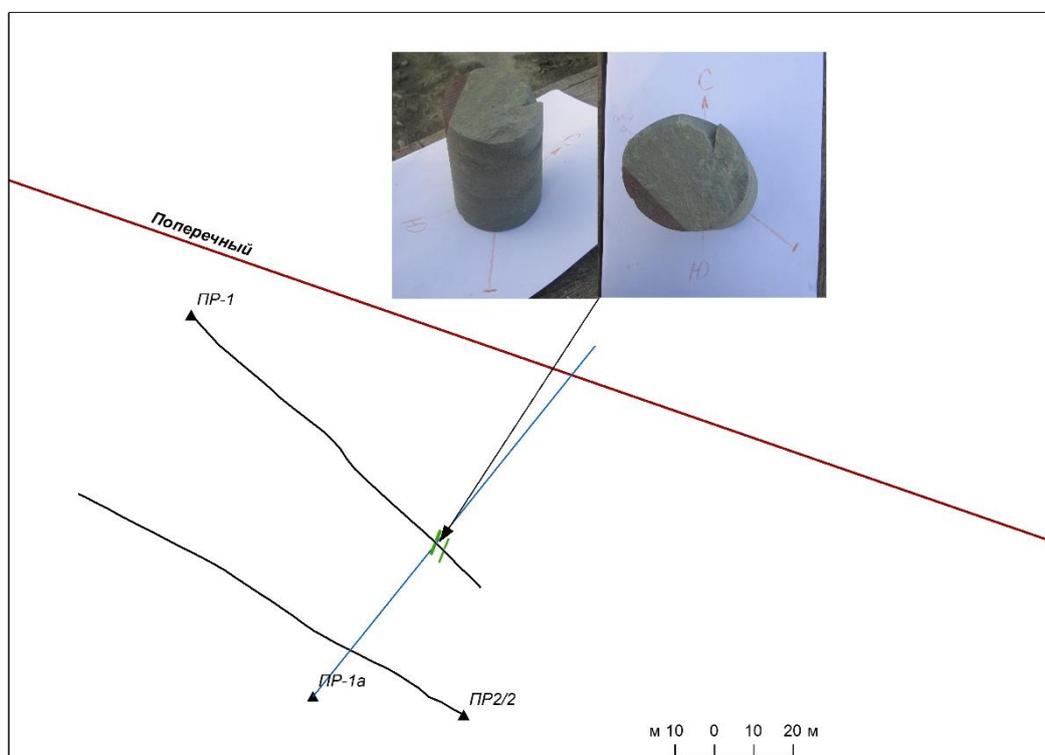


Рис. 6.12. Элементы залегания прожилкового осветления, его положение в скважине ПР-1 и пример профиля рекомендуемой проектной скважины ПР-1а.

Таким образом, подтвердился Поперечный разлом, для оценки рудоносности которого в дальнейшем следует проходить скважины северо-восточного азимута (см. рис. 6.3).

6.2 Пример выделения перспективного участка в Зимнебережном районе

Вблизи скважины 5 мз, расположенной примерно в 450 м на северо-запад от края тр. Снегурочка в пределах Товской-2 лицензионной площади ОАО «Севералмаз» выделяется перспективный участок.

Он вплотную примыкает к юго-западному окончанию ССВ валообразного поднятия по кровле венд-кембрия и по кровле мельской подсветы, в котором объединены трубки Снегурочка, Архангельская, Карпинского-1, Карпинского-2 и Пионерская.

Данные линеаментного анализа поверхности предкаменноугольного несогласия и другие признаки позволили выделить здесь ряд межблоковых, предположительно разломных зон разного типа и порядка (рис. 2.1).

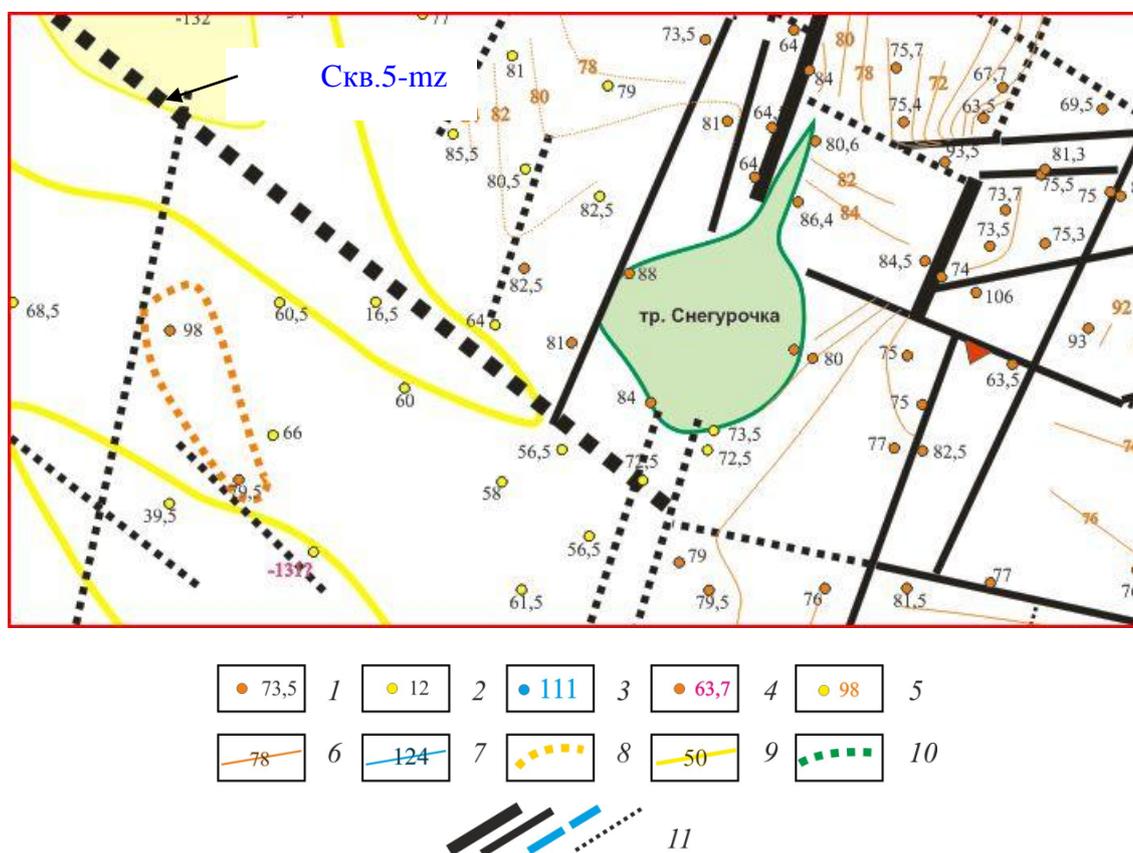


Рис. 6.3. Фрагмент геолого-структурной карты [Игнатов, Болонин, Васильев, 2008]

1 – скважина и абсолютная отметка кровли венда - подошвы урзугской свиты; 2 – скважина и абсолютная отметка кровли венда - подошвы четвертичных отложений; 3 – скважина и абсолютная отметка подошвы олмутской свиты; 4 – абсолютная отметка кровли венда, рассматриваемая как аномальная или ошибочная; 5 – абсолютная отметка подошвы четвертичных отложений, рассматриваемая как приближенная к первичному положению подошвы урзугской

свиты; 6 – стратоизогипсы кровли венда – подошвы урзугской свиты; 7 – стратоизогипсы подошвы олмугской свиты; 8-9 – контур вреза в венд и стратоизогипсы подошвы четвертичных отложений (контур распространения отложений урзугской свиты), 10 – контур распространения отложений олмугской свиты; 11 – предполагаемые границы участков (блоков) с различным залеганием кровли вендских отложений (разломы, складчатые и эрозионные уступы и перегибы разной амплитуды и уверенности предположения).

Позиция участка определяется узлом пересечения СЗ и ССВ разломов, что аналогично положению трубок Архангельская и Снегурочка. Центр перспективного участка, по-видимому, располагается вблизи скв. 5 МЗ, поскольку в ней имеются признаки околосибирского пространства.

Так, на глубинах 58, 107, 112 и 124 м и в инт. 133,7-134 м установлено прожилковое осветление с углами встречи к оси керна около 5° (рис. 6.4, см. рис. 2.18, а, в);



Рис.6.4. Прожилковое осветление в куске щебенки аргиллита венда. Скв. 5МЗ, глубина 58 м

Кроме осветления, в керне скважины на глубине 125,5 м обнаружен крупнокристаллический с друзами кальцит, выполняющий основную массу тектонической полости (рис. 6.5).



Рис. 6.5. Тектоническая полость в трещине отрыва, заполненная кальцитом с друзами.

Скв. 5-mz, глубина 125,5 м.

По данным масс-спектрального изотопного анализа углерода и кислорода кальцита из этой пробы (гл. 125,5 м) и кальцита из прожилка, отобранного с глубины 134 м, установлены anomalно низкие значения изотопного состава углерода (-5,5‰ и -4,9‰, а также пониженные – кислорода (19,2‰ и 20,0‰) (рис. 6.6).

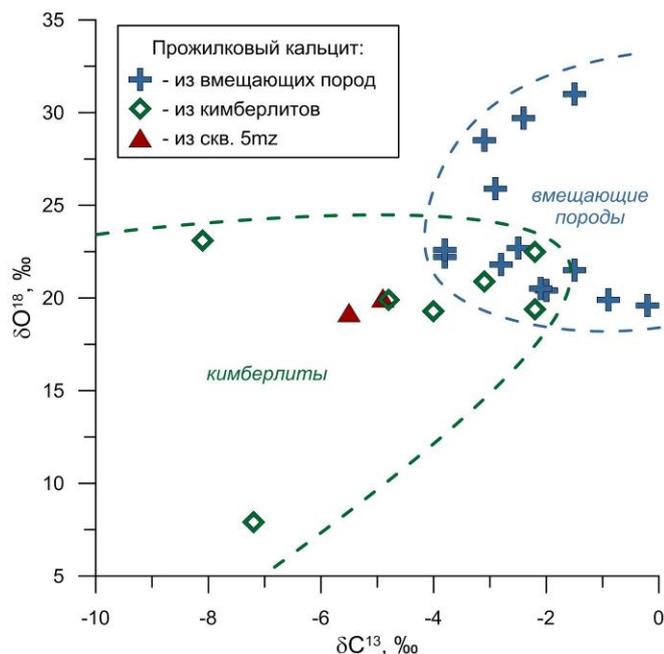


Рис. 6.6. Соотношение изотопного состава углерода и кислорода прожилковых кальцитов из вмещающих пород и кимберлитов.

Как видно соотношения изотопного состава углерода и кислорода из кальцитов скважины 5-mz близки к прожилкам из кимберлитов.

Следует отметить, что карбонатные прожилки, вероятно, представляющие ближайший экзоконтакт с кимберлитами, локализованы внутри интервала с прожилковым осветлением и имеют близкие с ними элементы залегания.

В интервале 110-111 м установлены крутопадающие ветвящиеся зональные прожилки скрытокристаллического карбоната розовато-бежевого и светло-зеленого цветов (рис. 6.7, а). Подобные образования встречены в ближайшем экзоконтакте (1,8 м от ксенотуфобрекции) кимберлитов трубки Пионерская в разведочной скважине 2015-б (рис. 6.7, б).



а



б

Рис. 6.7. Прожилковое осветление с ответвлением бежевого пелитоморфного материала в красноцветном алевролите венда.

а – скважина 5-mz, глубина 111 м; б – разведочная скважина трубки Пионерской 2015-б, глубина 187,8 м.

Дифрактометрический анализ материала из показанного выше прожилка, отобранного из скв. 5 MZ с глубины 111 м, показал присутствие монтмориллонита (сапонита). По рентгенофазовому анализу монтмориллонит не отличается от сапонита (анализы выполнены на приборе ДРОН-2 в лаборатории МГРИ-РГГРУ, аналитик М.Ю. Гурвич). Следует напомнить, что сапонит является прямым поисковым признаком кимберлитов в Зимнебережном районе [Соболев и др., 2003].

Приведенные факты и благоприятная структурная позиция скв. 5 MZ позволяют предполагать, что в десятках метрах от нее имеется кимберлитовое тело, возможно, дайковой формы. Дайковая морфология вероятных кимберлитов объясняет и то, что при наличии достаточно плотной сети поискового бурения, оно до сих пор не было обнаружено. Важно отметить, что расположение этого участка в непосредственной близости к промышленно алмазоносным трубкам Золотицкого куста кимберлитов позволяет высказать предположение и вероятной алмазоносности этого предполагаемого кимберлита.

6.5. Перспективы и дальнейшее изучение

Для дальнейшего изучения осветления следует:

- фиксировать его при документации керна;
- указывать его тип (прожилковое, послышное, интенсивное сетчатое, а также наличие минерализации в оси секущего прожилкового (прожилково-метазернистого) осветления);

- по возможности устанавливать элементы залегания;
- проводить комплексное опробование зон осветления;
- дополнять базу данных;
- выполнять картирование различных морфологических типов осветления.

Комплексное опробование следует провести по двойным пробам из красноцветных пород и контактирующего с ними осветления. При этом необходимо отмечать тип осветления. По отобранным образцам следует выполнить комплексные исследования минерального, химического, газогеохимического состава (включающем определение концентрации водорода), а также пиролитическое изучение органического вещества. В будущем важно определить изотопный состав водорода минеральных агрегатов из осевых частей прожилков. Такой полной комплексности в уже проведенных исследованиях, к сожалению, нет. Кроме того, в необходимом объеме проб при газогеохимическом анализе не определялся водород.

Осуществив полный комплексный анализ, можно будет более глубоко изучить явление и, вероятно, выделить осветление, связанное с алмазонасными кимберлитами.

Одним из ограничений данного косвенного поискового признака является наличие красноцветных пород и глубина их залегания. Так, например, в Накынском поле залегание красноцветных пород начинается с глубин порядка 180 м, а поисковое бурение ведется до глубин 100-150 м. Таким образом, значение прожилкового осветления, как яркого маркера разломов, в том числе рудоконтролирующих (таких как Диагональный, которые практически не устанавливаются в геофизических полях и трудно различимы при документации керна) существенно повышается при неглубоком залегании красноцветных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты изучения осветления красноцветных пород венда в Архангельской алмазоносной провинции и кембрия в Накынском поле Якутской алмазоносной провинции, основанные на материалах геологического, геохимического, рентгенофазового, газогеохимического, структурно-картировочного исследований. Фактический материал включал материалы исследований П.А. Игнатова, накопленных по работам, проводимых с 1994 года в Якутской алмазоносной провинции и с 2003 года – по Зимнему Берегу. Непосредственно при участии автора сбор фактического материала проводился в процессе трех полевых сезонов в Архангельской провинции и трех – в Накынском поле Якутской провинции. Обработка данных, построение и анализ картографического материала проводились с использованием современных геоинформационных технологий.

Основной целью работы являлось выделение прожилкового осветления как поискового признака на алмазоносные кимберлиты, что в какой-то мере удалось выполнить.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи:

1. Проведена специальная документация керна поисковых и разведочных скважин общей протяженностью около 2500 пог. м., а также стенок карьеров по трубкам Архангельской, им. Карпинского-1 и Нюрбинской (порядка 200 точек наблюдений) с выявлением, диагностикой морфологии и других характеристик вторичного осветления красноцветных осадочных пород.

Главным результатом решения этой задачи стало выделение различных морфологических типов осветления, его особенностей в околокимберлитовом пространстве и в тектонических нарушениях на двух изученных площадях, а также вдоль базитов и около эруптивных брекчий в Накынском поле.

2. Выполнен сбор каменного материала для аналитических работ в указанных районах, по которым выполнено 274 анализа.

3. Определена и приведена сравнительная характеристика химического и минерального состава прожилкового и послойного осветления, контактирующего с кимберлитами и находящегося на удалении, а также неизменных красноцветных пород по авторским коллекциям из разрезов Зимнебережного района Архангельской области и Накынского поля Якутии.

Сравнение результатов этих анализов позволило установить геохимические, минералогические особенности прожилкового и послойного осветления, красноцветных пород как в Накынском поле, так и на изученной территории Зимнебережного алмазоносного района

4. Проведены газогеохимические исследования прожилкового и послыйного осветления, контактирующего с кимберлитами и находящегося на удалении, выполнено сравнение полученных данных с данными в неизменных красноцветных породах кембрия и вышележащих сероцветных карбонатных породах ордовика по пробам, отобранным в разрезах Накынского алмазоносного поля Якутии.

По результатам решения данной задачи впервые удалось установить отличие осветления от неизменных красноцветных пород, а также от перекрывающих карбонатных пород ордовика. Это позволило сделать вывод об участии газов в формировании некоторых типов осветления.

5. Дополнена база данных и создан геоинформационный проект с привязкой проявлений вторичного осветления по площади Зимнебережного района и карьере тр. Архангельская и центральной части Накынского поля.

6. Выполнен анализ пространственного распространения вторичного осветления в ГИС-среде, взаимоотношений осветления с магматическими образованиями, разломами, в том числе рудоконтролирующими и рудовмещающими по изученной площади Зимнебережного района Архангельской провинции, и центральной части Накынского поля Якутской алмазоносной провинции.

Решение данной задачи для Накынского поля Якутской провинции позволило построить ореолы осветления вдоль рудоконтролирующего разлома, оценить его экстенсивность (суммарную мощность осветленных интервалов), проследить его изменчивость с глубиной. Важно отметить, что прожилковое осветление отсутствует в керне некоторых задокументированных глубоких наклонных скважин, что подтверждает его приуроченность к тектонически ослабленным зонам.

Для Архангельской провинции при среднемасштабном картировании удалось выделить ореол прожилкового осветления вблизи алмазоносных кимберлитов, тогда как субпослойное осветление установлено повсеместно, что подтверждает наличие двух генетических типов осветления – широко распространенного катагенетического, описанного в других районах рядом авторов, и прожилкового эндогенного.

Существо решения приведенных трех задач отражено в защищаемых положениях диссертации.

Основной новизной работы является выделение нового морфологического типа оглеения красноцветных пород – прожилкового осветления и установление его связи с ослабленными зонами в земной коре, обусловленными тектоническими нарушениями и магматическими породами. Детальное описание подобных проявлений не встречено в литературе.

Раздельное изучение осветления красноцветных толщ двух провинций обусловлено различным составом этих пород. Так, в Зимнебережном районе красноцветные толщи представлены рыхло связанными глинисто-терригенными породами, тогда как в Накынском поле – это плотные, прочные терригенно-карбонатные породы. Это отражается в методе разработки карьеров: на трубках Накынского поля применяются буро-взрывные работы.

Преимуществом прожилкового осветления среди других геологических признаков, выделяемых в красноцветных породах при его документации, является его яркость, сравнимая, вероятно только с магматизмом, При этом недостатком является доступность его документации только в красноцветных породах. Так, например, в Накынском поле, в верхней части вмещающих кимберлиты пород преимущественно развиты сероцветные толщ, что ограничивает его применение.

В дальнейшем следует провести дополнительные комплексные исследования осветления различных типов, которые, возможно, позволят выделить осветление, связанное исключительно с алмазоносными кимберлитами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Гражданкин Д.В., Реймерс А.Н и др. Новые данные о верхнем пределе возраста рудовмещающей толщи Архангельской алмазоносной провинции. В сб. Геология алмаза – настоящее и будущее (геологи к 50-летнему юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). Воронеж: Воронежский государственный университет. 2005. С. 235-240.
2. Андросов Е.А., Вержак В.В., Ларченко В.А., Минченко Г.В. О структурном контроле размещения кимберлитовых тел на примере Архангельской кимберлитовой провинции. В сб. Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (алмазы-50). С-Пб. ВСЕГЕИ. 2004. С. 9-18.
3. Астафьев Б. Ю., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Воинов А. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q37 – Архангельск. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012 . 302 с. + 11 вкл.
4. Богатилов О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (Геология, петрография, геохимия и минералогия). М. Изд-во МГУ. 1999. 524 с.
5. Борисенко Е.Н. Геохимия глеевого катагенеза в породах красноцветной формации. М.: Наука. 1980.164 с.
6. Бушков К.Ю. Структура Накынского кимберлитового поля и признаки скрытых сдвиговых кимберлитоконтролирующих структур. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, 2006 г.
7. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира. М.: Геоинформарк, 2000.371с.
8. Васильев И.Д. Геологические структуры в околотрубочном пространстве трубки Архангельская и их использование для поисков коренных месторождений алмазов в Зимнебережном районе. Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. М. 2010. 32 с.
9. Вержак В.В., Минченко Г.В., Ларченко В.А., Сотников В.И., Гунин А.П. Опыт поисков месторождений алмазов в Архангельской провинции и на сопредельных территориях севера Восточно-Европейской платформы. Сб. Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. Якутск. Изд. ЯНЦ СОРАН. 2008
10. Гаранин К.В., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Старостин В.И. Минералого-петрологические характеристики щелочно-ультраосновных магматитов Архангельской алмазоносной провинции // Изв. Секции наук о Земле РАЕН. 2011. № 20. С. 71-96

11. Гунин А.П., Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Новиков К.В. Признаки экзоконтактов кимберлитов на юге Золотицкого алмазоносного поля Архангельской провинции // Доклады XI Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". Том 1. –2013. С. 310-311
12. Геологический словарь: в 2-х томах. – М.: Недра. Под редакцией К.Н. Паффенгольца и др. 1978.
13. Геология и методы прогнозирования алмазных месторождений: Труды ЦНИГРИ. 1981. Вып. 156. 145 с.
14. Головин Н.Н. К проблеме геологического и структурно-тектонического районирования архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2004. № 3. С. 14-19
15. Горев Н.И. и др. Мелкомасштабное районирование Сибирской платформы на алмазы. // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. Мирный. 2008.
16. Граханов О.С., Серов И.В. Древние россыпи ближнего сноса Средне-Мархинского алмазоносного района.// Известия вузов. Геология и разведка. 2009. №3. С. 22–27.
17. Гуляева Н.Г., Ширококов В.Н., Сотников В.И. и др. Изучение структурных особенностей района и выявление основных закономерностей размещения проявлений кимберлитового магматизма. Отчет о результатах опережающих геофизических и геохимических работах перед ГК-50 на Золотицкой площади в 1989-1991 г.г. Новодвинская ГРЭ. 1991.
18. Дмитриева Е.В., Ершова Г.И., Орешникова Е.И. под руководством Викуловой М.Ф. и Хабакова А.В. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Часть 1. Обломочные и глинистые породы. М.: Госгеолтехиздат.1962. 578 с.
19. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криолитогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск. Изд-во ИГГУ. 2008. 507 с.
20. Дунин-Барковская Э.А., Уханов А.В. Висмут в кимберлитовых породах Якутии // Геохимия. 1974. С. 24-27
21. Евстратов А.А. Базитовые вулканоструктуры северо-востока Тунгусской синеклизы (в связи с проблемой изучения алмазоносных «закрытых» территорий). Дис. на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. Иркутск. 2015.
22. **Зарипов Н.Р.** Осветление (оглеение) красноцветных пород венд-кембрия и его связь с щелочно-ультраосновным магматизмом Архангельской области // Материалы Четвертой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием "Новое в познании процессов рудообразования". ИГЕМ РАН 2014. С. 127-129

23. **Зарипов Н.Р.** Первые данные по радиационным дефектам в осадочных породах Зимнебережного района Архангельской области // *Материалы Второй всероссийской молодежной научно-практической конференции «Науки о Земле. Современное состояние»*, 31 июля – 31 августа 2014 г. Новосибирск. 2014. С. 33-34

24. **Зарипов Н.Р.** Прожилковое осветление в пестроцветных породах кембрия, сопровождающее кимберлитовые тела Накынского поля Якутии // *Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых»*. 2015. С. 54-57

25. **Зарипов Н.Р.**, Игнатов П.А., Килижеков О.К., Кряжев С.Г. Состав импрегнированных газов осветленных терригенно-карбонатных кембрийских пород Накынского поля Якутской алмазоносной провинции // *Материалы Шестой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования»*, 28 ноября – 02 декабря 2016 г., М.: ИГЕМ РАН, 2016.

26. **Зарипов Н.Р.**, Игнатов П.А., Ковальчук О.Е., Лисковая Л.В., Килижеков О.К. Природа процессов осветления красноцветных пород, вмещающих кимберлиты Накынского алмазоносного поля Якутии // *Руды и металлы*. 2017. № 1. 2017. С. 67-74

27. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. Москва: Недра. 2000. 537 с.

28. Зинчук Н.Н. Варламов В.А. Борис Е.И. Изучение структуры и свойств околотрубного пространства с целью разработки критериев локального прогноза и совершенствования методов поисков месторождений алмазов. Мирный, 1985.

29. Зорькин Л.М., Лебедев Вал. С. Особенности химического и изотопного составов воднорастворенных газов Далдыно-Алакитского района Якутии // *Доклады Академии наук СССР*. Том 273. № 2. 1983. С. 412-414.

30. Иванников В.И. Гирляндно-взрывной механизм формирования кимберлитовых трубок и природного синтеза алмазов. Изв. Секции наук о Земле РАЕН. 2011. № 20. С.117-118.

31. Игнатов П.А. Методы обнаружения скрытых рудоконтролирующих структур в осадочных толщах на примерах месторождений урана и алмазов. В сб. *Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении: XXI Междунар. научн. конф., посвящ. 100-летию академика В.И.Смирнова*. М. МГУ Сб. трудов в 2-х томах. Том 1. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 169-186

32. Игнатов П.А. Палеогидрогеологические обстановки образования рудных месторождений. М.: ВНИИГеосистем. 2014. 140 с.

33. Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д., Фомин А.А., Ким В. Контакты кимберлитовой трубки Архангельская и деформации вмещающих и перекрывающих пород. Геология и разведка. 2009, № 5. С. 28-34.

34. Игнатов П.А., Болонин А.В., Калмыков Б.А., Андросов Е.А., Гунин А.П. Палеотектонические структуры Зимнебережного алмазонасного района Архангельской области. Бюлл. МОИП. Отд. геол. № 3. 2008. С. 13-20

35. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Новиков К.В., Толстов А.В. Ареал брекчий базитов Накынского кимберлитового поля. // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2010. №2.

36. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т. Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазонасные кимберлиты Накынского поля Якутии. Руды и металлы. 2006. № 4. 2006. С. 59-66

37. Игнатов П.А., Васильев И.Д., Шмонов А.М., Гунин А.П., Фомин А.А. Палеотектоническая позиция кимберлитов трубки Архангельская.// «Новые идеи в науках о Земле» Материалы конференции. Москва, 2011. Т.1. с 20.

38. Игнатов П.А., Громцев К.В., Калмыков Б.А., Гунин А.П., Андросов Е.А. Среднепалеозойские структуры центральной части Зимнебережного алмазонасного района. // «Новые идеи в науках о Земле». VIII междунар. конф. М. РГГРУ. 2007. С.109-112.

39. Игнатов П.А., Гунин А.П., **Зарипов Н.Р.** Структуры центрального типа, контролирующие положение кимберлитов на востоке Зимнебережного района // Материалы 9 Международной молодежной научной школы "Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых". Том 2. 2012. С. 19-21

40. Игнатов П.А., Гунин А.П., Новиков К.В., **Зарипов Н.Р.** Прожилково-послойное осветление как индикатор околотрубочного пространства кимберлитов // Материалы 10 Международной молодежной научной школы "Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых". 2013. С. 34-37

41. Игнатов П.А., Гунин А.П., **Зарипов Н.Р.** Связь проявлений щелочно-ультраосновного магматизма со структурами центрального типа востока Зимнебережного района Архангельской области // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. 2013. С. 225-228

42. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Ким В., Гунин А.П. Типы осветленных красноцветных кимберлитовмещающих пород венда-кембрия Зимнебережного района Архангельской области // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2015. № 2. С. 15–21

43. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Гунин А.П. Радиоактивные аномалии в осадочном чехле Зимнебережного района Архангельской области // Материалы VIII Международной научной конференции «Молодые – наукам о Земле». Том 1. 2014. С. 78-79

44. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Килижеков О.К., Лисковая Л.В. Осветление кембрийских красноцветных пород Накынского поля Якутской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 26-34

45. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Лисковая Л.В. Прожилки с осветлением в красноцветных породах кембрия Накынского и Мирнинского полей Якутии - признаки флюидного магматизма.. В сб. Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. – Айхал: Материалы V полевого научно-практического семинара, 2015. С. 74-76.

46. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Новиков К.В., Шмонов А.М., Лисковая Л.В. Прожилковое осветление в красноцветных породах кембрия Накынского поля Якутии // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 1. 2015. С. 366-367

47. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Фомин А.А., Ким В. Послойное и прожилковое осветление как поисковый критерий кимберлитов в Зимнебережном районе // Материалы Третьей Российской молодежной Школы с международным участием "Новое в познании процессов рудообразования". 2013. С. 115-117

48. Игнатов П.А., Калмыков Б.А., Новиков К.В., **Зарипов Н.Р.**, Гунин А.П. Связь кимберлитов Кепинского поля Зимнебережного района Архангельской области со структурами центрального типа в фундаменте и венд-кембрийском осадочном чехле // Тезисы докладов Пятой научно-практической школы-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева. М.: ФГУП «ВИМС». 2013. С. 64-66

49. Игнатов П.А., Новиков К.В., Толстов А.В., Разумов А.Н. Морфология кимберлитов Майского месторождения в Накынском поле Якутии по результатам компьютерного моделирования. // Руды и металлы, №4, 2009. стр. 62–66

50. Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Разумов А.Н., Килижеков О.К. Возможности локального прогноза кимберлитов и их кустов по косвенным признакам при поисках на закрытых территориях на примере Накынского поля Якутии. // Руды и металлы. №5. 2013. – с 34-41.

51. Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Разумов А.Н., Килижеков О.К., Ковальчук О.Е., Лисковая Л.В. Источники гидротермальных растворов, сопровождавших внедрение кимберлитов Накынского поля Якутии // Материалы Всероссийской

конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Николая Алексеевича Шило (1913–2008) «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». – Москва, ИГЕМ РАН, 2013. – с.130.

52. Игнатов П.А., Шмонов А.М., Новиков К.В. и др. ореолы углекислого газа в карбонатных породах, вмещающих дайково- жильные кимберлитовые тела Накынского поля Якутии // Руды и металлы. № 3. 2014. С.39-46.

53. Игнатов П.А., Штейн Я.И. Типы локальных структур, контролирующих кимберлиты центральной Якутии // Руды и металлы. № 6. 1997. С. 61-66.

54. Игнатов П.А., Штейн Я.И., Зинчук Н.Н., Черный С.Д., Бондаренко А.Т., Пыстин А.Б., Старостин В.И. Физические и структурно-петрофизические характеристики осадочных пород, вмещающих Ботубинскую трубку Накынского кимберлитового поля Центральной Якутии // Руды и металлы. 1999. № 5.. С. 41-49.

55. Игнатов П.А., Штейн Я.И., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т. Новые приемы оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов // Руды и металлы. № 5. 2001. С. 32-43.

56. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ, М.: Недра, 1985

57. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Егоров К.Н. и др. Среднепалеозойский базитовый магматизм северо-западной части Вилюйского рифта: состав, источники, геодинамика //Петрология. 2006. Том 14. № 6. С. 626-648.

58. Ковальчук О.Е., Игнатов П.А, Кряжев С.Г. Методика локального прогнозирования кимберлитовых тел на основе комплексного исследования вторичной постмагматической минерализации кимберлитов и вмещающих пород, а также продуктов разрушения кимберлитов. В сб. Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. – Айхал: Материалы V полевого научно-практического семинара, 2015. С. 96-106.

59. Кондратов Л.С., Кудрявцева Г.П., Старостин В.И., Мурогова Р.Н., Воинков Д.М., Веричев Е.М., Вержак В.В., Гаранин К.В. Особенности газового поля кимберлитовых трубок // Доклады Академии наук. Том 404. № 6. 2005. С. 817-820.

60. Копчиков М.Б., Сергеева О.С., Гаранин В.К., Ларченко В.Л. Первые данные об алмазах из новых кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции // Известия вузов. Геология и разведка. № 1. 2009. С. 17-22

61. Коробков И.Г., Евстратов А.А. Роль базитовых вулканоструктур в прогнозной оценке алмазоносных районов на востоке Тунгусской синеклизы // Отечеств.геология. 2012. № 1. С. 40–47.

62. Коробков И.Г., Евстратов А.А., Мильштейн Е.Д. Базитовые вулканоструктуры алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. Томск: STT, 2013. 270 с.

63. Коротков Ю.В. Поиск скрытых кимберлитовых тел с использованием импульсной индуктивной электроразведки в Архангельской алмазоносной провинции. Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. Архангельск, ИЭПС АНЦ УО РАН. 2011.

64. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаас Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. Отв. редактор ак. Н.П. Похиленко. НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).г. Мирный: ООО «МГТ». 2015. 480 с.

65. Красинец С.С. и др. Изучение влияния эпигенетических изменений осадочных пород палеозоя сев.зап. части Мало-Ботуобинского района на их петрофизические свойства. Иркутск 1987.

66. Кудряшов А.И. Флюидогеодинамика. Свердловск: УрО АН СССР. 1991

67. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск. ОАО «Правда Севера». 2004. 283 с.

68. Ларченко В.А., Степанов В.П., Минченко Г.В., Первов В.А. «Возраст магматических пород, рудовмещающей толщи и среднепалеозойских коллекторов Зимнебережного алмазоносного района». В сб. Геология алмаза – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). Воронеж: Воронежский государственный университет. 2005. С. 322-347

69. Ларченко В.А., Минченко Г.В., Степанов В.П., Кечик И.А. Алмазоносность кимберлитов и родственных им пород Зимнего берега // Вестник Воронеж.ун-та. Геология. 2004. № 2. С. 134-147.

70. Махоткин И.Л., Роби Д., Курезлаукис С., Валуев Е.П., Пылаев Н.Ф. Возраст и модель образования трубок Ломоносовского месторождения алмазов, Архангельская область, Северо-Запад России. Материалы международной конференции MINEX FORUM - Северо-Запад 2007. Петрозаводск, 2007.

71. Никулин И.И. Литологические типы пород в структурах Накынского поля Западной Якутии. Вестник ВГУ, №2. 2006. С. 87-94.

72. Никулин И.И., Савко А.Д. Литология алмазоносных нижнеюрских отложений Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия). Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2009. 134 с.

73. Новиков К.В. Геолого-структурное моделирование при локальном прогнозе алмазоносных кимберлитов на закрытых территориях (на примере Накынского поля Якутии). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, РГГРУ. 2010 г.

74. Новиков К.В., Игнатов П.А. Организация баз данных для двухмерного анализа флюидоразрывных, тектонических и минерализационных признаков кимберлитовмещающих структур. Тезисы доклада. IX международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Т.1. М.: РГГРУ. 2009. С. 334.

75. Новиков К.В., Игнатов П.А. Применение ГИС-технологий для анализа тектонических и других нарушений осадочных пород, вмещающих кимберлиты // Доклады 6-й Международной школы молодых ученых. Москва, ИПКОН РАН, 2009.

76. Новый тип алмазов обнаружен в застывшей лаве на вулкане Толбачик. 2015 URL: <https://ria.ru/science/20150724/1145109980.html>

77. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528с.

78. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука. 1982. 152 с.

79. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М.: Изв. высшей школы, 1961. 496 с.

80. Перельман А.И. Изучая геохимию... (О методологии науки). М.: Наука. 1987

81. Пилипенко Г.Н. Околорудные метасоматиты. Учебное пособие. М.: МГРИ-РГГРУ. 2012

82. Портнов А.М., 2010. URL: http://www.ng.ru/science/2010-12-08/12_volcano.html

83. Портнов А.М. Кимберлиты – мантийные флюидизиты // М.: Природа. 2012. №12. С. 42-48.

84. Портнов А.М. Общая геохимия. Учебное пособие. М. МГРИ-РГГРУ. 2014. 90 с.

85. Портнов А.М. Флюидный диапиризм как причина формирования кимберлитовых трубок и карбонатитовых массивов // Докл. АН СССР. 1979. т. 246. N 2. С. 416-420.

86. Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях // Материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный. 18–20 марта 2008 г. Якутск: Издательство ЯНЦ СО РАН. 2008

87. Прошляков Б. К., Кузнецова В. Г. Литология. М.: Недра. 1991.

88. Прусакова Н.А. Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля. Автореф. дис. канд. г-м. наук. Москва, 2004.

89. Рождественская В.А. и др. Геолого-геофизическое доизучение тектонических структур нижнего палеозоя в связи с задачами поиска кимберлитов. Отчет. ЦНИГРИ. Поваровка. 1991.

90. Соболев В. К. Проблема коренных источников алмазов (природа и особенности поисков по минералам-индикаторам на примере территории Архангельской области) // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 68—100.
91. Соболев В.К., Макеев А.Б., Кисель С.А. и др. Новые индикаторные признаки пород, вмещающих кимберлиты. Сыктывкар. Геопринт. 2003. 60 с.
92. Старостин В.И. Металлогения: учебник. М.: КДУ, 2012. 560 с
93. Тарабукин В.П., Реймерс А.Н., Нефедова Е.В. Оценка эрозионного среза кимберлитовых трубок Накынского поля // Отечественная геология, 2003, № 6, с. 84—85.
94. Тараховский В.А. Болонев В.С. Ворошилова О.К. О результатах изучения структурно-тектонических и геохимических особенностей района коренных месторождений алмазов тр. "Мир" и "Интернациональная" 1960-1983гг. 1983 Мирный.
95. Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накынском поле Якутской кимберлитовой провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 227-240
96. Томшин М.Д., Лапин А.В. Щелочные базиты как индикаторы кимберлитовой активности на примере Средне-Мархинского района Якутии. // Международное (стран СНГ) совещание. Щелочной магматизм Земли и его рудоносность. Донецк. 2007. С 231-235.
97. Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т. Особенности магматических образований Накынского кимберлитового поля Якутской провинции // Геология и геофизика. 1998. № 12. С 1693-1703.
98. Третьяченко В.В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья. Автореферат канд. дисс. М.:МГУ, 2008.
99. Третьяченко В.В., Самсонов А.В., Носова А.А., Гаранин К.В. Геотектоническая позиция и основные аспекты минерагенического районирования раннегерцинских комплексов кимберлитов и конвергентных пород Архангельской пикрит-кимберлитовой области. В сб. публ. V и VI науч. чт. им. Г.П. Кудрявцевой. М.: Изд. Институт прикладной минералогии. 2013. С. 115-136
100. Фомичев А.С. Еще раз о нефтепроявлениях в кимберлитовых трубках Якутии // Геология нефти и газа, 2008. № 5. С. 58-64
101. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра. 1998. 555 с.
102. Ходня М.С., **Зарипов Н.Р.**, Еременко Е.Г., Игнатов П.А., Килижеков О.К. Роль силлов как экранирующих структур в строении рудопроявления Озерное Накынского кимберлитового поля Якутии // Материалы VII Международной межвузовской научной

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». МГРИ-РГГРУ. 2016. С. 87-89

103. Ходня М.С., Еременко Е.Г., **Зарипов Н.Р.**, Игнатов П.А., Килижеков О.К. Новые данные о геологическом строении рудопроявления Озерное Накынского кимберлитового поля Якутской алмазонасной провинции // Материалы Пятой Российской молодежнойнаучно-практической Школы с международным участием "Новое в познании процессов рудообразования". ИГЕМ РАН. 2015. С. 259-261

104. Черный С.Д., Фомин Ю.А., Яныгин Ю.Т., Колесников Г.В. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Накынского поля Якутской провинции. // В сб. Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный АК «АРС». 1998.С.157-159.

105. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Издательство АН СССР. 1955

106. Ширококов В.Н. Некоторые особенности глубинного строения Зимнебережного алмазонасного района // Разведка и охрана недр. 1997, № 5. С.21-25.

107. Шмонов А. М. Геолого-структурные и минералого-геохимические признаки, присущие алмазонасным кимберлитовым телам дайково-жильного типа (на примере Накынского кимберлитового поля Якутии). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, МГРИ-РГГРУ. 2014.

108. Штейн Я. И. Геологические особенности околотрубочного пространства кимберлитов Якутии как критерии оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, МГГА-МГРИ. 1997

109. Юзмухаметов Р.Н. История открытия Архангельской алмазонасной провинции // Известия вузов. Геология и разведка. 2006. № 6. С. 57-60\

110. Ягнышев Б.С. и др. Вторичное минералообразование пород нижнего палеозоя как основа минералого-геохимического картирования при поисках кимберлитов. //Типоморфизм и геохимические особенности минералов эндогенных образований Якутии. Якутск.изд. ЯФ АН СССР. 1985. с. 110- 116.

111. Яковлев Е.Ю. Использование изотопно-радиогеохимических методов для поисков коренных месторождений алмазов на территории Архангельской алмазонасной провинции. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, МГРИ-РГГРУ. 2016.

112. Якубсон Г.П., Булычев М.М., Самсонов Ф.Н. Газогидрохимическая зональность и критерии нефтегазоносности локальных структур. В кн. Водорастворенные газы нефтегазоносных бассейнов. М. Наука. 1991. С. 16-29.

113. Япаскурт О.В. Литология. Разделы теории. Часть II. Закономерности внутри-стратисферногоосадочно-породногоэпигенезиса и их типизация. Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2013. 188 с.

114. Berndt M.E., Allen D.E., Seyfried W.E. Reduction of CO₂ during serpentinization of olivine at 300 °C and 500 bar. *Geology*. 1996. Vol. 24. no. 4. P. 351-354

115. Coopersmith H. G., Mitchell R. H., Hausel W. D. Kimberlites and Lamproites of Colorado and Wyoming, USA // *Natural Resources Canada*, 2003

116. Jelsma H., Barnet W., Richards S., Lister G. Tectonic setting of kimberlites // *Lithos*, 2009. V. № 112S. P. 155-165.

117. Scott Smith B.H. Canadian kimberlites: Geological characteristics relevant to emplacement // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008. V. № 174. P. 9–19.

118. Shigley J. E., Chapman J., and Robyn Ellison K. Discovery and Mining of the Argyle Diamond Deposit, Australia // *Gems and Gemology*. Vol. 37, №1. 2001. P. 26-41

119. Wilson L., Head J. W. Kimberlite ascent and eruption // *Nature*, 2007. V. № 447. P. 53-57

Фондовая

120. Белов С.В., Портнов А.М., Сывороткин В.Л., Ларин В.Н., Ларин Н.В., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю. Оценка перспектив выявления промышленных скоплений эндогенного водорода в литосфере. Отчет в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 14 за 2009 год

121. Веричев Е.М., Сагайдак И.С., Федоров Б.Н. и др. «Отчет о результатах поисково-оценочных работ на кимберлитовых трубках аномалий Ц-23 (Архангельская), Н-26 (Пионерская) и 136а (Шочинская)». 1984-85 гг, 465 стр.

122. Голубев Ю.К., Прусакова Н.А., Игнатов П.А. Разработка технологии ведения поисковых и прогнозно-поисковых работ на алмазы на закрытых территориях на примере Кепинской площади (Архангельская область). М.: ЦНИГРИ. 2007.

123. ГОСТ Р 7.0.11–2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. 2012

124. Захаров С.А. и др. Отчето результатах проведения поисковых работ на алмазы в пределах Нижне-Накынского лицензионного участка в 2013-2016 гг.Фонды БГРЭ. 2016

125. Игнатов П.А., Болонин А.В. и др. Отчет по работам за 2005гг. по теме «Изучение околотрубочных текстурно-структурных и вещественных изменений с целью разработки методики поисков кимберлитовых тел (околотрубочные изменения)». Москва – Архангельск, фонды РГГРУ – АК «Алроса-Поморье». 2005.

126. Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д. Разработка методики расчленения и корреляции разрезов кимберлитовмещающей толщи (золотицкой подсветы венда) с использованием данных ГИС с целью проведения структурных построений и определения эрозионного среза. Отчет. Москва – Архангельск, фонды РГГРУ – АК «Алроса-Поморье», 2009

127. Игнатов П.А., Болонин А.В., Калмыков Б.А., Сим Л.А. Отчет по работам за 2004-2006гг. по теме «Изучение околотрубочных текстурно-структурных и вещественных изменений с целью разработки методики поисков кимберлитовых тел (околотрубочные изменения)». Москва – Архангельск, фонды РГГРУ – АК «Алроса-Поморье». 2006.

128. Игнатов П.А., Болонин А.В., Калмыков Б.А., Васильев И.Д. Отчет по теме «Выделение в осадочном чехле Товской-2 площади структур благоприятных для локализации кимберлитов». Москва – Архангельск, фонды РГГРУ – АК «Алроса-Поморье». 2007.

129. Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д. Выделение в осадочном чехле Товской-2 площади структур благоприятных для локализации кимберлитов. Отчет по работам. М.-Архангельск. Фонды РГГРУ - АК «АЛРОСА-Поморье», 2008.

130. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Новиков К.В., Васильев И.Д. Изучение структуры потенциальных кимберлитовых полей на основе анализа нарушений в раннепалеозойских осадочных толщах. Окончательный отчет по работам в 2006-2008 гг. Москва. Фонды БГРЭ. 2008 г.

131. Игнатов П.А., **Зарипов Н.Р.**, Новиков К.В. Выявление вещественных и структурных признаков проявлений кимберлитового магматизма в венд-кембрийской толще в пределах поисковых площадей ОАО «Севералмаз. Отчет по работам в 2012 г. Архангельск. Фонды ОАО "Севералмаз". 2012

132. Игнатов П.А., Новиков К.В., Васильев И.Д.. Изучение структуры потенциальных кимберлитовых полей на основе анализа нарушений в раннепалеозойских осадочных толщах. Отчет по работам в 2007 г. Москва, 2007 г. Фонды БГРЭ АК «АЛРОСА».

133. Игнатов П. А., Новиков К. В., **Зарипов Н. Р.**, Ходня М. С. Изучение разрывной тектоники и вторичных изменений во вмещающих породах в пределах Средне-Мархинского алмазоносного района. Фонды БГРЭ АК «АЛРОСА». 2016 г.

134. Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М. Отчет о результатах исследований по теме «Изучение и картирование палеоструктур в породах нижнего палеозоя, вмещающих алмазоносные кимберлиты Накынского поля». Мирный. Фонды БГРЭ АК «АЛРОСА» 2012.

135. Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М. Отчет о результатах исследований по теме «Изучение разрывной тектоники и вторичных изменений во вмещающих породах в

пределах Средне-Мархинского алмазонасного района». Мирный. Фонды БГРЭ АК «АЛРОСА». 2013.

136. Игнатов П. А., Новиков К. В., Шмонов А. М., **Зарипов Н. Р.**, Ходня М. С. Отчет о результатах исследований по теме: «НИР по изучению разрывной тектоники и вторичных изменений во вмещающих породах в пределах Средне-Мархинского алмазонасного района» Фонды БГРЭ АК «АЛРОСА». 2015.

137. Игнатов П.А., Штейн Я.И. Окончательный отчет по теме: «Выявление геологических структур эпохи внедрения кимберлитов на основе изучения литологических особенностей раннепалеозойских толщ в околотрубочном пространстве трубки Ботуобинская». Фонды БГРЭ. 1997.

138. Игнатов П.А., Штейн Я.И. Окончательный отчет по теме: «Изучение литологического и изотопно-геохимического состава раннепалеозойских осадочных пород с целью выявления эпигенетических новообразований, связанных с кимберлитами». Мирный. Фонды ЯНИГП ЦНИГРИ. МГГА-МГРИ. 1996.

139. Игнатов П.А., Штейн Я.И. Выявление локальных палеоструктур, контролирующих положение кимберлитов Накынского поля, на основе изучения литологических особенностей раннепалеозойских вмещающих толщ. Фонды МГГА-МГРИ. М.: 1998.

140. Игнатов П.А., Штейн Я.И., Бобров В.А., Ильин О.В. Окончательный отчет по теме: «Изучение литологического и изотопно-геохимического состава раннепалеозойских осадочных пород с целью выявления эпигенетических новообразований, связанных с кимберлитами». Мирный. Фонды ЯНИГП ЦНИГРИ. МГГА-МГРИ. 1995.

141. Кряжев С.Г. Изотопно-геохимические и газогеохимические исследования гетерогенных карбонатов кимберлитовмещающей толщи. Информационный отчет за 2013 г. По договору №003д. Москва, ЦНИГРИ, 2013.

142. Мальцев М.В., Килижеков О.К., Сыромолотова Н.А. и др. Отчет о результатах поисков месторождений алмазов в пределах перспективных участков Накынского кимберлитового поля в 2009-2013 гг. Мирный. 2013. Фонды БГРЭ.

143. Масленникова Э.А., Малышева Е.А., Килижеков О.К., Разумов А.Н. и др. Отчет о результатах поисков месторождений алмазов в пределах перспективных участков Накынского кимберлитового поля и прилегающих площадей в 2003-2007 гг. (объект Нижне-Накынский). Мирный. 2007. Фонды БГРЭ.

144. Масленникова Э.А., Разумов А.Н., Килижеков О.К. и др. Отчет о результатах поисков месторождений алмазов в пределах Накынского кимберлитового поля в 2010-2013 гг. (объект «Нижне-Накынский-2»). Отчет Мархинской ГРП БГРЭ. г. Мирный. Фонды БГРЭ. 2013

145. Молчанов Ю.Д., Шаталов В.И. Изучение структуры осадочного чехла междуречья Ханья-Накын в предполагаемых контурах Накынского кимберлитового поля. Мирный. Фонды АК «АЛРОСА». 2000.

146. Никитин В.В., Килижеков О.К., Масленникова Э.А. и др. Отчет о результатах поисков месторождений алмазов в пределах Нижне-Накынской площади в 2008-2011 гг. 2011. Фонды БГРЭ АК «АЛРОСА».

147. Рожин С.Н. и др. Проект на геологическое изучение, поиски и оценку коренных месторождений алмазов на Верхнекепинской площади в 2012-2014 гг. (Объект Верхнекепинский-3). Архангельск. Фонды АК «АЛРОСА». 2011.

148. Судаков В.М., Тараховский В.В. О результатах изучения структурных особенностей коренного месторождения алмазов тр. "Мир" и оценка алмазоносности сопряженных с ней дайкообразных тел. 1981-1983 гг. Мирный 1983.

149. Сыромолотова Н.А., Разумов А.Н., Жакова В.И. и др. Отчет о результатах поисков алмазов в пределах перспективных участков Накынского кимберлитового поля. 2007-2010 гг. Мирный. Фонды БГРЭ. 2010

150. Тараховский В.А. Болонев В.С. Ворошилова О.К. О результатах изучения структурно-тектонических и геохимических особенностей района коренных месторождений алмазов тр. "Мир" и "Интернациональная" 1960-1983 гг. 1983 Мирный.

151. Цейдлер Н.А., Тищенко С.В. Леонов В.Н. и др. Государственная геологическая карта СССР. М-6 1:1000000 Серия Новая. Лист Q-50, 51 (Жиганск). 1990. ФГБУ «Росгеолфонд» № 50938, 50939, 50940

152. Цыганов В.А. и др. Отчет партии 27/82-84. Об опытно-производственных работах по изучению аэрогеофизических аномалий в Мало-Ботубинском районе 1982-84 гг. Поваровка. 1985.