

На правах рукописи



МАЛЬЦЕВ Михаил Викторович

**КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ВЕЩЕСТВЕННО-
ИНДИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ СЮЛЬДЮКАРСКОГО
КИМБЕРЛИТОВОГО ТЕЛА КАК ОСНОВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В ЫГЪАТТИНСКОМ РАЙОНЕ
(ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (ИГМ СО РАН) и Виллойской ГРЭ АК АЛРОСА (ПАО)

Научный руководитель: Доктор геолого-минералогических наук
Толстов Александр Васильевич,
НИГП АК АЛРОСА (ПАО), г. Мирный

Официальные оппоненты: Доктор геолого-минералогических наук
Устинов Виктор Николаевич,
АГД Даймондс (г. Архангельск)

Кандидат геолого-минералогических наук
Мишенин Сергей Григорьевич,
СНИИГГИМС (г. Новосибирск)

Ведущая организация: Институт геологии алмаза и благородных
металлов (ИГАБМ) СО РАН, г. Якутск

Защита состоится «14» мая 2019 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 003.067.03, созданного на базе ФГБУН Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, в конференц-зале ИГМ СО РАН. Адрес: 630090 г. Новосибирск, проспект ак. Коптюга, д.3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (адрес сайта <http://www.igm.nsc.ru>, раздел «Образование», адрес ссылки на диссертацию: <https://www.igm.nsc.ru/index.php/obrazov/dissovery/d-003-067-03/predvaritelnoe-rassmotrenie>

Автореферат разослан « 05 » марта 2019 г

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор геол.-мин. наук



О.М. Туркина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы: 76% запасов алмазов и свыше 83% их добычи в России приходится на Республику Саха (Якутия). При этом основное количество балансовых запасов учтено в коренных месторождениях, разведанных еще в 50-70 гг. прошлого столетия на открытых территориях¹ (Мирнинское, Алаakit-Мархинское, Далдынское поля). Опоискованность этой части Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) можно охарактеризовать как весьма высокую, вследствие чего вероятность обнаружения в ее пределах новых месторождений приближается к нулю. По этой причине в конце 90-х гг. АК «АЛРОСА» (ПАО) приступила к системному исследованию территорий перекрытых мезо-кайнозойскими отложениями, под толщей которых были обнаружены прямые признаки алмазоносных кимберлитов.

Результатом этих работ стало открытие на рубеже столетий высокопродуктивного Накынского кимберлитового поля, расположенного на севере Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов (ВМЗ), в южной части которой локализовано Мирнинское кимберлитовое поле.

В 2015 г. при заверке аэромагнитной аномалии в центральной части ВМЗ в бассейне р. Сьюльдюкар в районе известного с прошлого века ореола индикаторных минералов кимберлита (ИМК) Хатырык под толщей мезозойских и верхнепалеозойский отложений было выявлено новое алмазоносное кимберлитовое тело. Открытие первого кимберлитового тела на Сьюльдюкарской площади подтвердило высокий алмазный потенциал закрытых территорий ВМЗ и определило основное направление геологоразведочных работ АК «АЛРОСА» (ПАО), - поиски погребенных кимберлитов, базирующиеся на площадном бурении, сопровождаемом шлихоминералогическим опробованием и заверкой аномальных объектов. Высокие затраты такой методики делают актуальной разработку научно обоснованных поисковых критериев, позволяющих последовательно переходить от поискового объекта ранга «алмазоносный район» к таксону «кимберлитовое поле» и далее – к алмазоносному телу (трубка, дайка) при существенном снижении объемов кернового колонкового бурения.

Наибольшую значимость эти исследования имеют для районов, расположенных в непосредственной близости от действующих горнорудных предприятий. Настоящая работа посвящена изучению нового кимберлитового тела, выявлению особенностей его структурно-тектонического положения и совершенствованию критериев прогнозирования новых месторождений алмазов в пределах Ыгыаттинской площади, расположенной в непосредственной близости от Мирнинского промышленного района.

Цель и задачи работы. Основной целью работы является выявление вещественно-индикационных признаков кимберлитов новой Сьюльдюкарской

¹ Открытые территории – участки поверхности, на которых терригенно-карбонатные породы палеозоя, вмещающие кимберлитовые тела, не перекрыты более молодыми (исключая четвертичные) отложениями.

трубки для прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе ЯАП. Реализация заявленной цели предполагает решение следующих задач:

1. Уточнение положения кимберлитового тела относительно разномасштабных региональных и локальных тектонических структур.

2. Изучение вещественного состава (петрографии, минералогии, геохимии) кимберлитов Сюльдюкарского поля, их минералов-индикаторов и сравнение с аналогичными параметрами кимберлитов Накынского, Мирнинского и других полей ЯАП;

3. Сопоставление типоморфных характеристик индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) Сюльдюкарской трубки с ИМК погребенных ореолов Хатырык и Хатырлах, выявленных в отложениях среднего палеозоя на сопредельных с трубкой территориях;

4. Локализация и выделение в пределах нового Сюльдюкарского кимберлитового поля площадей, перспективных на обнаружение коренных месторождений алмазов.

Фактический материал. Работа базируется на полевых и камеральных исследованиях, выполненных автором в рамках тематических и поисковых проектов Ботубобинской (ныне Вилюйской) геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО) в 2003-2018 гг. В основу работы положена авторская первичная геологическая документация, специализированное изучение и опробование 20 тыс. пог. метров керна более 500 поисковых и разведочных скважин, пройденных по вмещающим породам, кимберлитам и перекрывающим отложениям Средне-Мархинского и Ыгыаттинского района.

Непосредственно автором обработаны результаты более 2000 химических и спектральных анализов валовых проб кимберлитов, определены составы (более 3000) индикаторных минералов из кимберлитов, россыпей, погребенных ореолов. При его участии были составлены и отредактированы пять разномасштабных прогнозно-поисковых карт и схем на территорию Средне-Мархинского и Ыгыаттинского алмазоносных районов, включая площади высокопродуктивного Накынского и нового Сюльдюкарского кимберлитовых полей.

Научная новизна. Ыгыаттинский алмазоносный район в связи со слабой проявленностью в его пределах прямых минералогических признаков кимберлитов длительное время оставался за рамками исследований, которые время от времени проводились различными геологоразведочными предприятиями на сопредельных территориях. Собранный автором фактический материал способствовал открытию новой кимберлитовой трубки, расширил минерагенические перспективы Ыгыаттинской площади, а также позволил обосновать выделение в его пределах нового Сюльдюкарского поля, спрогнозировать участки, перспективные на выявление в его пределах новых алмазоносных кимберлитовых тел. Это, в свою очередь, послужило основой для уточнения закономерностей локализации кимберлитовых полей в пределах ВМЗ в целом, и, тем самым, актуализировать критерии поисков кимберлитов на новых территориях.

Практическая значимость. При выполнении работы автору удалось:

1. Определить структурно-тектонические особенности локализации кимберлитовых тел в пределах нового Сюльдюкарского кимберлитового поля.
2. Проследить в осадочном чехле синхронные алмазоносному магматизму структуры, ответственные за размещение кимберлитовых тел.
3. Разработать вещественно-индикационные признаки кимберлитов нового поля и сопоставить их с аналогами Мирнинского и Накынского полей.
4. Сравнить ИМК Сюльдюкарской трубки и близлежащего ореола Хатырык для идентификации их соответствия.
5. Обосновать выделение участков, перспективных на выявление новых месторождений алмазов в пределах Ыгыаттинского района.

Перечисленное позволяет оптимизировать объемы поисковых работ, существенно повысить их эффективность. В этом – главная практическая значимость выполненных исследований.

Защищаемые положения.

1. Локализация Сюльдюкарской кимберлитовой трубки определяется узлом пересечения Виллойско-Мархинской и Батырской зон глубинных разломов. Сравнительный анализ структурно-тектонических особенностей данной территории с Мирнинским и Накыньским полями показывает их сходство и позволяет выделить в Ыгыаттинском районе новое кимберлитовое поле.

2. Вещественно-индикационные признаки новой трубки – повышенные концентрации TiO_2 в кимберлитах (до 1.2-1.5%) и пиронах (до 1.2%); MgO (до 13.2%), Cr_2O_3 (до 3.7%), TiO_2 (до 54.8%) - в ильменитах; Al_2O_3 (до 64.5%) - в хромитинелидах; преобладание ламинарных ромбододекаэдров над другими кристаллографическими формами алмаза – отличают её от кимберлитов Мирнинского и Накынского полей и являются характерными для нового поля.

3. Различия в химическом составе, количественных соотношениях элементов и кристалломорфологии ИМК Сюльдюкарской трубки и близлежащих погребенных ореолов, в совокупности с палеогеоморфологическими реконструкциями, свидетельствуют, что ИМК и алмазы в эти ореолы поступали из неизвестных источников, что составляет основу прогнозирования новых месторождений алмазов на участках Южный и Восточный Ыгыаттинского района.

Апробация диссертации. Результаты выполненных исследований отражены в трех производственных отчетах, из которых в двух автор являлся ответственным исполнителем. Полученные выводы, отдельные результаты и защищаемые положения диссертации освещались и обсуждались на заседаниях Научно-технического совета Ботуобинской, Виллойской ГРЭ и Ученых Советов НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) и ЗЯНЦ АН РС(Я).

По теме диссертации были представлены доклады на ряде научно-практических всероссийских и международных конференций, таких, как Рабочее совещание «Месторождение алмазов: процессы формирования,

закономерности локализации, методы прогнозирования и поисков», ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН (2016 г., г. Новосибирск); VII Всероссийская научно-практическая конференция «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», посвященная 60-летию ИГАБМ СО РАН (2017 г., г. Якутск); Всероссийская конференция «Геология и минералогия Северной Евразии» приуроченная к 60-летию ИГИГ СО РАН СССР, ИГМ имени В.С. Соболева СО РАН (2017 г., г. Новосибирск); VIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», ФГУП ЦНИГРИ, 16-18 апреля 2018 г.; VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» (Якутск, 18-20 апреля 2018 г.), и др.

Публикации. По теме работы опубликовано четыре статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также восемь публикаций в сборниках материалов Всероссийских и Международных конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы составляет 167 страниц текста, включает 29 рисунков, 6 таблиц, список литературного источника из 72 наименований и два табличных приложения с результатами анализов.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему руководителю, доктору геолого-минералогических наук, директору НИГП АК АЛПРОСА (ПАО) Толстому А.В., коллегам из НИГП (Гореву Н.И., Проценко Е.В., Шамакову И.И., Роговому В.В., Старковой Т.С., Иванову А.С., Корниловой В.П.), геологам Виллойской экспедиции АК АЛПРОСА (ПАО) Фомину В.М., Разумову А.Н., Килижекову О.К., Кашетиной И.П., Бондаренко С.В. и Бережневу И.В. В ходе исследований автор получил полезные консультации у профессора РГГРУ Игнатова П.А., ученых из ИГМ СО РАН Похиленко Н.П., Афанасьева В.П., Минина В.А, Агашева А.М., которым он выражает свою искреннюю признательность.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Глава 1. Краткая геологическая характеристика Ыгыаттинского алмазоносного района

Ыгыаттинский алмазоносный район расположен в Якутской алмазоносной провинции, в междуречье Виллой-Марха, в 100-150 км к северу от Мирнинского и в 180-220 км к ю-з от Накынского алмазоносного района. В геологическом строении района принимают участие породы кристаллического фундамента, разновозрастные образования осадочного чехла Сибирской платформы и магматические породы. Фундамент платформы формировался в течение длительного периода, начиная с 3.5 млрд. лет и заканчивая 1.9 млрд. лет. По геологическим данным в его составе выделяются гранит-зеленокаменные, тоналит-трондьемито-гнейсовые и гранулит-гнейсовые террейны с архейской, архейско-палеопротерозойской и палеопротерозойской

корой. В строении чехла принимают участие полигенные отложения рифея, венд-нижнепалеозойского, среднепалеозойского, верхнепалеозойского, мезозойского и кайнозойского структурных ярусов. Мощность чехла, по данным глубокого бурения, в пределах Ыгыатгинской площади варьирует от 2210 до 3900 м, увеличиваясь на северо-запад в направлении Тунгусской и на юго-восток в сторону Виллойской синеклизы. Магматические образования помимо кимберлитов представлены дайками среднепалеозойских базитов и породами трапповой формации мезозоя.

Глава 2. Структурно-тектоническое положение Сюльдюкарского кимберлитового тела

Сюльдюкарское кимберлитовое тело расположено в зоне сочленения региональных структур Сибирской платформы: северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы и Сюгджерской седловины. В структурном отношении район характеризуется наличием узла пересечения ВМЗ с Батырской зоной разрывных нарушений, в котором ВМЗ меняет свое простирание с субмеридионального на северо-восточное (рис.1).

В Мирнинском и Накынском кимберлитовых полях региональными кимберлитовмещающими структурами являются зоны пересечения субширотных и субмеридиональных (ВМЗ) разломов, геологические особенности которых совпадают с таковыми региона локализации Сюльдюкарской трубки, что позволяет отнести данную область пространства к рангу «кимберлитовое поле». Границу поля можно условно провести по разрывным нарушениям секущей Батырской зоны; её разрывные нарушения ограничивают южную и северную границу кимберлитового поля по серии разрывных нарушений субширотного, запад-северо-западного направления. Восточная и западная границы проведены по разломам Виллойско-Мархинской зоны (Западный разлом и система восточных разрывных нарушений – Сюльдюкарский, Хатырырский северо-восточного направления).

Кимберлитовое тело располагается на восточном борту Хатырырского грабена, имеющего протяженность 14,5-17,0 км при ширине от 0,3-1,0 км в южной части до 6,5-7,0 км на севере. Грабен отчетливо прослеживается по реперному пласту мирнинской свиты среднего кембрия. В погребенном рельефе нижнепалеозойского цоколя Хатырырский грабен слабо проявлен (рис. 2). Максимальная амплитуда смещения достигает 80 м. Вблизи восточной оконечности Сюльдюкарского поля фиксируется Западный разлом, на продолжении которого в Мирнинском поле располагаются уникальные по продуктивности коренные кимберлитовые месторождения алмазов трубки Интернациональная, им. XXIII съезда КПСС и др.

По длинной оси на уровне эрозионного среза Сюльдюкарская трубка прослежена на 220 м в широтном направлении и имеет линейно-вытянутую форму. Поскольку простирание ее совпадает с секущей Батырской зоной разломов, можно констатировать, что рудовмещающими являются разрывные нарушения широтного и запад-северо-западного направления.

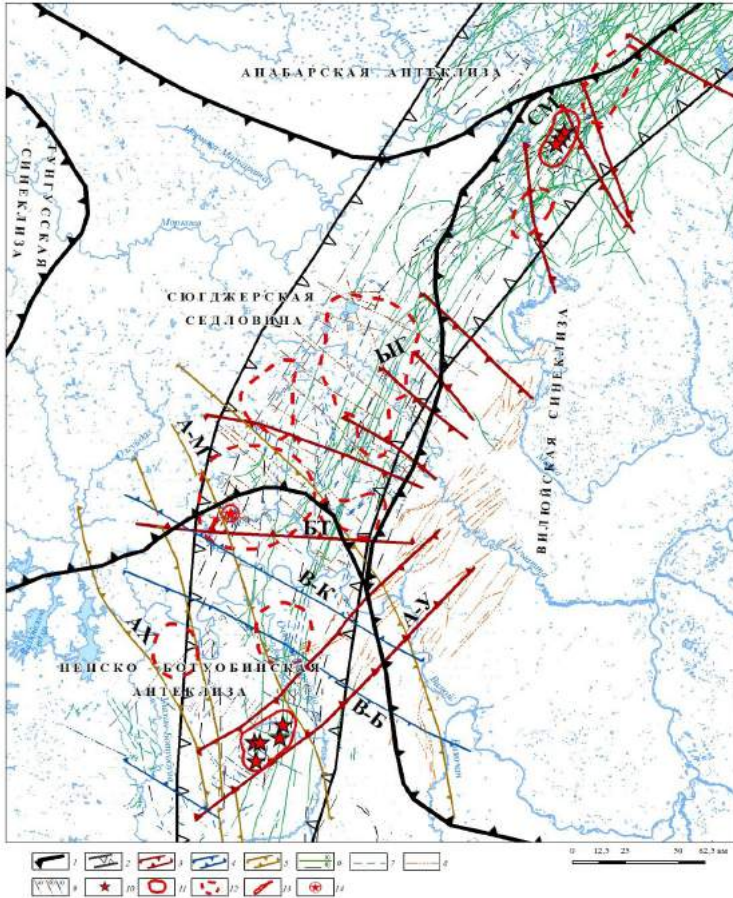


Рис. 1. Схема Вилюйско-Мархинской зоны глубинных разломов. Составил Мальцев М.В. (2018), по материалам работ Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО). Условные обозначения: 1 – Границы крупных структур; 2 – Вилюйско-Мархинская зона разломов; 3 – секущие зоны: Северо-западного простирания БТ – Батырская; БГ – Ыгыаттинская; СМ – Средне-Мархинская; Северо-восточного простирания АУ – Аппаинско-Укугутская; 4 – зоны краевых дислокаций (ЗКД) или тектоно-магматические пояса доплатформенного заложения, северо-западного простирания: ВК – Вилюйско-Котуйская, ВБ – Вилюй-Ботуобинская; 5 – зоны тектонических нарушений, раннекембрийского заложения: АМ – Анабаро-Мирнинская, АХ – Ахтарандинская; 6 – тектонические нарушения, выраженные в магнитном поле: а) – достоверные, связанные с дайками долеритов, б) – предполагаемые; 7 – предполагаемые разной протяженности; 8 – тектонические нарушения Аппаинско-Укугутской зоны; 9 – предполагаемые разломы: а) Чолпо-Бьеттахской зоны с-в направления; б) Ыгыаттинской площади с-з направления; в) Малоботуобинской площади с-з направления; 10 – месторождения алмазов; 11 – контуры кимберлитовых полей; 12 – контуры прогнозируемых полей; 13 – ореол «Хатырык»; 14 – кимберлитовое тело.

Это позволяет констатировать, что кимберлиты Сюльдюкарского поля контролируются двумя нарушениями ВМЗ глубинных разломов (Хатырыкский и Западный). Мирнинское и Накынское кимберлитовые поля обладают рядом схожих черт с новым полем (Рис.2, Проценко и др. 2018):

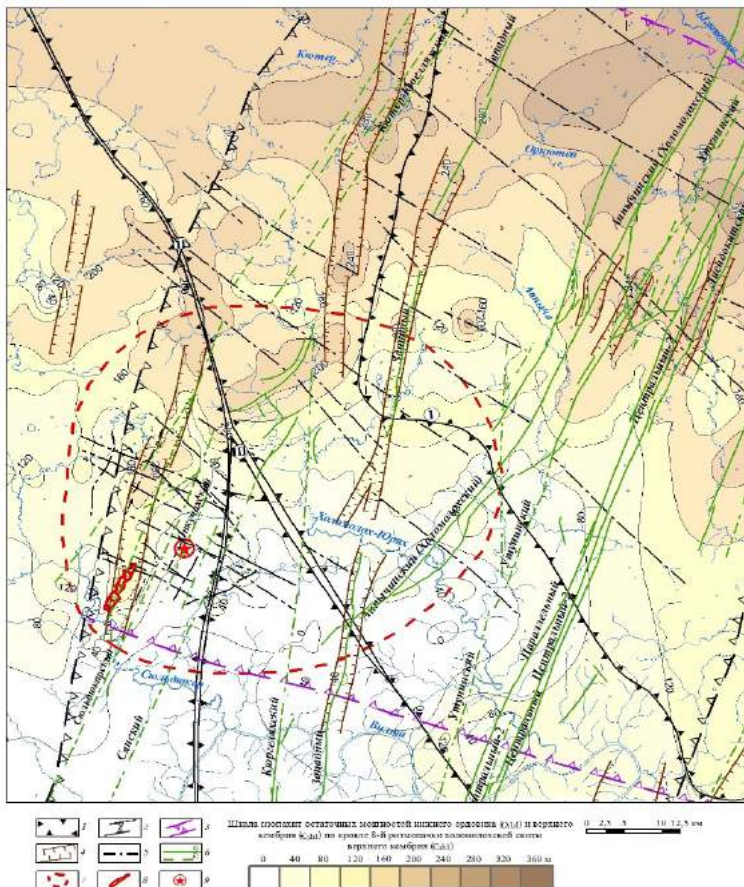


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Сюльдюкарского кимберлитового поля (составил Мальцев М.В. по материалам ВГРЭ): 1 – блоки фундамента архейской консолидации и их номера: I – Ыгыаттинский, II – Алымджанский, III – Ботубунинский; 2 – ВМЗ глубинных разломов - кимберлитоконтролирующая зона; 3 – концентрация разломов Ыгыаттинской зоны; 4 – среднепалеозойские грабен-структуры (данные ГИС), сопряженные с даечными телами долеритов ВМЗ; 5 – разрывные нарушения, связанные с Ыгыаттинской рифтогенной зоной; 6 – оси линейных аэромагнитных аномалий, связанные: а – с дайками долеритов; б – с маломощными дайками долеритов; 7 – Сюльдюкарское кимберлитовое поле; 8 – Ореол рассеяния ИМК Хатырык с признаками ближнего сноса; 9 – Кимберлитовое тело.

1. Мирнинское кимберлитовое поле приурочено к узлу пересечения ВМЗ с Аппаино-Укугутской ветвью Джункун-Хампинской зоны (рис. 3). Кимберлитовые тела Мирнинского поля контролируются грабеноподобными тектоническими нарушениями с амплитудой до 80 м и протяженностью десятки км (Западный, Параллельный разломы).

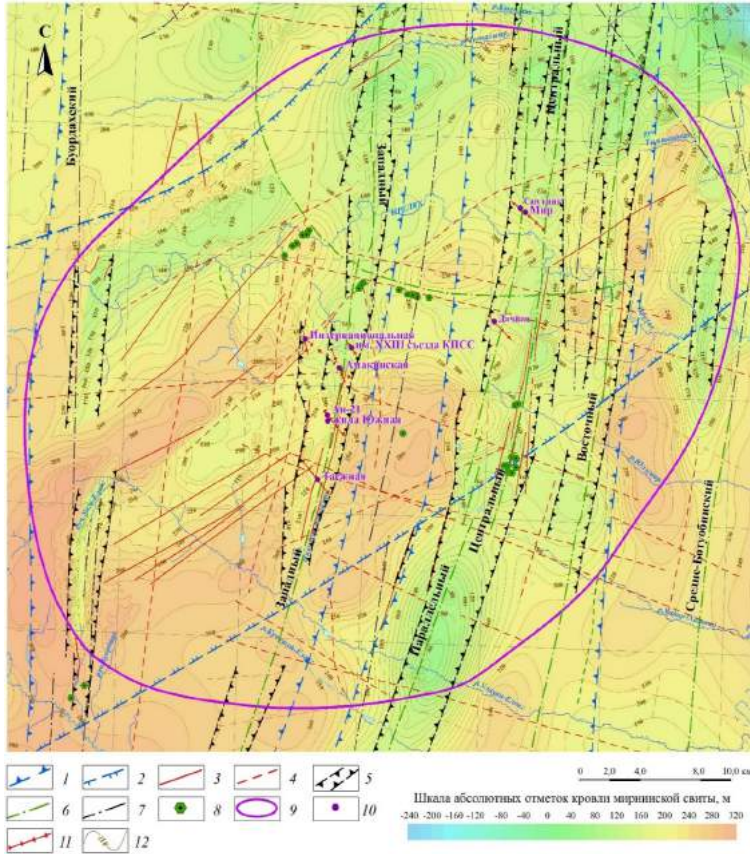


Рис.3. Структурно-тектоническая схема Мирнинского кимберлитового поля (составлена Мальцевым М.В. по материалам ВГРЭ и НИГП): 1 – отдельные ветви ВМЗ краевых дислокаций; 2 – Укугутская ветвь Джункун-Хампинской секущей зоны; 3 – разрывные нарушения, достоверные; 4 – разрывные нарушения, предполагаемые; 5 – грабены сложного строения ВМЗ; 6 – дайки долеритов большой мощности и протяженности не выходящие на поверхность несогласия с перекрывающимися породами), выраженные в магнитном поле четкой линейной положительной аномалией; 7 – дайки долеритов маломощные и (или) «слепые», выраженные в магнитном поле широкими и пологими линейными аномалиями средней и малой интенсивности; 8 – трубки базитов; 9 – контур Мирнинского кимберлитового поля; 10 – кимберлитовые тела; 11 – кимберлитовмецающие разломы; 12 – стратоизогипсы кровли мирнинской свиты, м.

Кимберлитовмещающими структурами в Мирнинском поле являются короткие разломы с-з простирания, оперяющие кимберлитоконтролирующие нарушения ВМЗ. Характерным для поля являются линейно-вытянутые группы кимберлитовых тел, которые приурочены к бортам грабенов.

2. Накынское кимберлитовое поле расположено на пересечении ВМЗ и Средне-Мархинской зоны разломов (рис. 4).

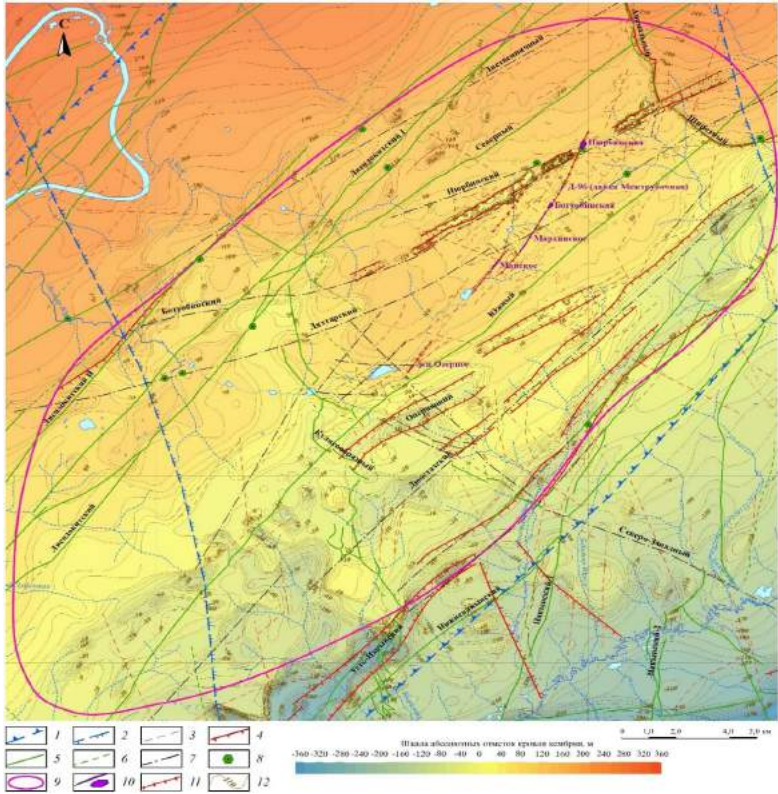


Рис. 4. Структурно-тектоническая схема Накынского кимберлитового поля (составлена по материалам ВГРЭ и НИГП); 1 – центральная ветвь ВМЗ; 2 – центральная ветвь Средне-Мархинской секущей зоны; 3 – разрывные нарушения, предполагаемые; 4 – грабены ВМЗ сложного строения; 5 – дайки долеритов, большей мощности и протяженности, выходящие на поверхность несогласия с перекрывающими породами, выраженные в магнитном поле четкой линейной положительной аномалией; 6 – дайки долеритов маломощные и (или) «слепые», выраженные в магнитном поле узкими линейными аномалиями средней и малой интенсивности; 7 – дайки долеритов маломощные и (или) «слепые», выраженные в магнитном поле широкими и пологими линейными аномалиями средней и малой интенсивности; 8 – эруптивные тела среднепалеозойских базитовых брекчий; 9 – контур Накынского кимберлитового поля; 10 – кимберлитовые тела; 11 – кимберлитовмещающие разломы; 12 – стратозогипсы кровли кембрия, м.

Характерным для поля является приуроченность кимберлитовых тел к одному тектоническому нарушению, которое в виде кулис, непротяженных трещин (разломы Диагональный, Диагональный-1) пересекает под углом Дяхтарский и Ботуобинский разломы. Кимберлитоконтролирующими для Накынского поля являются Дяхтарский и Ботуобинский разломы; последний представляет собой грабен с амплитудой до 100 м. Таким образом, сравнительный анализ структурно-тектонических особенностей Сьюльдюкарской площади с Накыньским и Мирнинским полями показывает их сходство, а узел пересечения Вилюйско-Мархинской и Батырской зон разрывных нарушений является наиболее благоприятным для проявления кимберлитового магматизма ранга «кимберлитовое поле», в пределах которого прогнозируется выявление новых кимберлитовых тел. Это, в свою очередь, позволяет считать доказанным первое защищаемое положение: *Локализация Сьюльдюкарской кимберлитовой трубки определяется узлом пересечения Вилюйско-Мархинской и Батырской зон глубинных разломов. Сравнительный анализ структурно-тектонических особенностей данной территории с Мирнинским и Накыньским полями показывает их сходство и позволяет выделить в Ыгыаттинском районе новое кимберлитовое поле.*

Глава 3. Вещественно-индикационные признаки кимберлитов Сьюльдюкарского поля. Сравнение с аналогичными параметрами кимберлитов Накыньского и Мирнинского полей ВМЗ

Новая кимберлитовая трубка, расположенная в правом борту р. Сьюльдюкар, сложена из двух сближенных, уплощенных в широтном направлении тел. Ее формирование представляется нам как результат внедрения двух порций кимберлитового расплава, дальнейшее формирование которых произошло в гипабиссальных условиях. Тектоническое нарушение, вдоль которого внедрялись расплавы, круто (75-80°) погружается на север.

Контакт кимберлитов с вмещающими карбонатными породами не сопровождается образованием гидротермальных минерализованных зон ни в боковых породах, ни в самих кимберлитах. Единственным свидетельством активного воздействия расплава на вмещающие породы можно считать редкие и маломощные инъекции (жилы апофизы) кимберлитового материала в них, фиксируемые в отдельных скважинах.

Кимберлиты Сьюльдюкарской трубки прорывают кембрийские известняки и мергели хололохской свиты кембрия и с разрывом перекрываются полимиктовыми песчаниками ботуобинской свиты средне-позднекаменноугольного возраста. На отложениях ботуобинской свиты согласно залегают раннепермские песчаники и алевролиты ахтарандинской свиты, которые, в свою очередь, с разрывом перекрываются аллювиальными отложениями боруллойской свиты позднепермского возраста.

Суммарная мощность отложений, перекрывающих кимберлиты, составляет 30-35 м. ИМК (пиропы, хромшпинелиды, пикроильмениты) в

перекрывающих отложениях обнаружены только в самых нижних частях разреза – в песчаниках ботубинской свиты. Вышележащие пермские отложения стерильны в отношении минералов-индикаторов кимберлитов.

По минеральному составу породы трубки варьируют от кальцитовых кимберлитов, характеризующихся преобладанием кальцита над оливином (рис. 5), до собственно кимберлитов (рис. 6). Составной частью кимберлитов Сюльдюкарской трубки, как и большинства кимберлитов ЯАП, являются коровые ксенолиты – обломки различных пород, захваченные проторасплавом в процессе его движения и консолидации. В большинстве случаев это фрагменты вмещающих трубку пород кембрия, представленных известняками, доломитами и мергелями. В 10 образцах из 140 обнаружены единичные обломки долеритов. Ксенолиты ультраосновных пород в исследованной коллекции не установлены. Кальцитовые кимберлиты слагают западное тело, что выражается в повышенных концентрациях CaO и пониженных – MgO по сравнению с кимберлитами восточного тела (табл. 1).

Кимберлитовая трубка Майская (Накынское поле) также сложена двумя телами сходной морфологии, характеризуется близкими тенденциями варьирования химического состава, отличаясь низкой титанистостью, а сдвоенная трубка Амакинская (Мирнинское поле), обнаруживает практически тождественные с Сюльдюкарской параметры химического состава, но обладает более низкими концентрациями TiO₂ (табл. 1).

Пиролы в координатах Cr₂O₃-CaO формируют вытянутый компактный ряд точек, практически полностью располагающийся в поле составов минералов лерцолитового парагенезиса (Соболев, 1974).

Таблица 1. Средние составы кимберлитовых трубок Сюльдюкарской, Амакинской и Майской (средние составы тр. Амакинская приведены по Илупину и др., 1978).

Компоненты	Сюльдюкарское поле		Мирнинское поле, трубка Амакинская		Накынское поле, трубка Майская	
	Западное тело	Восточное тело	Юго- западное тело	Северо- восточное тело	Юго- западное тело	Северо- восточное тело
SiO ₂	18.09	22.92	10.17	26.91	23.25	30.82
TiO ₂	1.54	1.24	1.38	0.87	0.32	0.43
Al ₂ O ₃	2.90	2.89	2.73	2.42	4.34	3.52
Fe ₂ O ₃	5.20	4.94	5.13	6.23	2.95	6.37
MnO	0.10	0.07	0.16	0.10	0.12	0.13
MgO	14.51	20.74	7.39	17.35	12.87	26.39
CaO	27.95	20.50	38.00	22.12	24.25	12.40
Na ₂ O	0.03	0.02	0.20	0.27	0.02	0.18
K ₂ O	0.68	0.73	0.39	0.3	1.80	0.71
P ₂ O ₅	0.65	0.55	0.52	0.88	0.42	0.48
LOI	27.14	24.48	33.17	21.75	29.47	18.94
К-во анализов	65	33	16	12	59	96

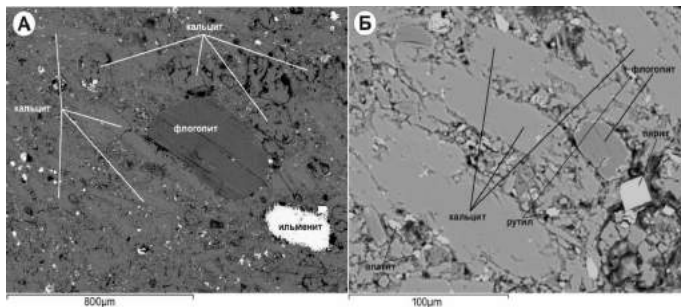


Рис. 5. А) Электронное изображение (BSE) полированной поверхности кальцитового кимберлита Сюдьюкарской трубки (обр. 16/24-66). Порфировые вкрапления представлены лейстовидным кальцитом, таблитчатым флогопитом, эллипсовидными кристаллами ильменита. В правом верхнем углу порфировые вкрапления образуют скопления (элементы гломеропорфировой структуры). Основная масса сложена субпараллельно-ориентированными лейстовидными кристаллами кальцита, промежутки между которыми заполнены скрытокристаллическим кальцит-флогопитовым агрегатом. В основной массе и вкраплениях флогопит хлоритизирован или полностью замещен минералами группы хлоритов. Мелкие яркие кристаллы основной массы представлены (по мере увеличения яркости) рутилом, апатитом, пиритом. Б) Увеличенный фрагмент.

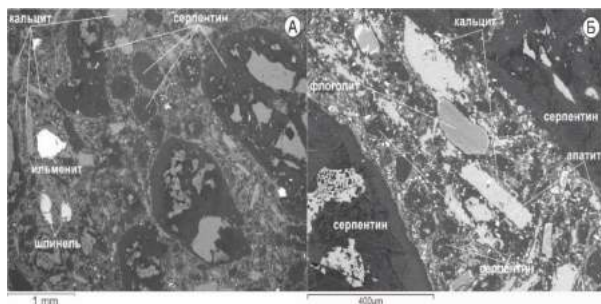


Рис. 6. А) Электронное изображение (BSE) части полированной поверхности кимберлита Сюдьюкарской трубки (обр. № 28/24-135.2). Вкрапления представлены оливином, полностью замещенным серпентиновым или кальцит-серпентиновым минеральными агрегатами, ильменитом, флогопитом, кальцитом. Каркас связующей массы слагают удлиненные кристаллы кальцита, погруженные в скрытокристаллический серпентиновый, иногда с примесью хлорита и карбоната, базис, цементирующий мелкие кристаллы апатита, ильменита, шпинели, рутила. Б) Увеличенный фрагмент.

Верлитовых гранатов в рассматриваемой выборке оказалось 6%, гарцбургит-дунитовых – 1.5%. По этим параметрам пиропы Сюдьюкарской трубки дистанцируются от пиропов высокопродуктивных кимберлитов Накынского поля, в составе которых велика доля (36%) высокохромистых разновидностей, но близко соответствуют пиропам продуктивных кимберлитов трубок Амакинская и Дачная Мирнинского поля. По содержанию высокотитанистых разновидностей ($TiO_2 > 0.4\%$) пиропы Сюдьюкарской трубки превосходят пиропы кимберлитов Мирнинского и Накынского полей.

Пикроильмениты Сюльдюкарской трубки варьируют по составу от гомоильменитов до пикроильменитов. Такая бимодальная минеральная ассоциация установлена в ЯАП только в трубках Дачная и Мир Мирнинского поля. В сравнении с ними минеральный ряд Сюльдюкарской трубки оказался сдвинут в область более титанистых, магниевых и хромистых составов.

Хромшпинелиды в исследуемых кимберлитах образуют непрерывный ряд от хромитов до хромсодержащих шпинелей. В сравнении с хромшпинелидами алмазоносных кимберлитов Мирнинского и Накынского полей шпинели Сюльдюкара существенно обогащены алюминием на фоне пониженных концентраций Cr_2O_3 и практически полностью лишены титана.

Алмазы Сюльдюкарского тела характеризуются невысокой степенью сохранности. Около 50% от их общего количества представляют собой обломки и осколки кристаллов. Среди целых кристаллов более 1/3 (до 35%) приходится на ламинарные ромбододекаэдрониды; октаэдрониды составляют около 15%, переходные от октаэдра к ромбододекаэдру кристаллические формы составляют ~25%, додекаэдрониды и округлые кристаллы – 15%.

Кристаллы кубического габитуса редки, их количество не превышает 0.1-0.2% от всей выборки². По перечисленным морфологическим признакам алмазы Сюльдюкарского кимберлитового тела дистанцируются от алмазов Мирнинского поля, в которых преобладают октаэдрониды (до 75%) и совершенно отсутствуют додекаэдрониды, но находят определенные черты сходства с алмазами Накынского поля (Зинчук, Коптиль, 2003).

Таким образом, сравнительный анализ вещественного и минерального состава показывает, что сюльдюкарские кимберлиты отчетливо обособляются от других полей ВМЗ (Мирнинское и Накынное поля), что позволяет считать доказанным второе защищаемое предложение: *Вещественно-индикационные признаки новой трубки – повышенные концентрации TiO_2 в кимберлитах (до 1.2-1.5%) и пиронах (до 1.2%); MgO (до 13.2%), Cr_2O_3 (до 3.7%), TiO_2 (до 54.8%) - в ильменитах; Al_2O_3 (до 64.5%) - в хромшпинелидах; преобладание ламинарных ромбододекаэдронидов над другими кристаллографическими формами алмаза – отличают её от кимберлитов Мирнинского и Накынского полей и являются характерными для нового поля.*

Глава 4. Сравнительная характеристика индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) погребенных ореолов и Сюльдюкарского кимберлитового тела в целях прогнозирования новых коренных источников

Одним из первых на исследуемой площади был открыт Хатырыкский ореол ИМК (Калмыков и др. 1996). Он расположен в 15 км к юго-западу от Сюльдюкарского кимберлитового тела (рис. 2). Северная часть ореола размером 7.5x(0.5-1.2) км картируется по отложениям ботубинской свиты

² Кристалломорфология алмазов (283 шт.) Сюльдюкарской трубки исследовалась специалистами Виллоиской ГРЭ и НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).

(C₂₋₃bt), приуроченным к палеодолине северо-восточного направления. Именно эти отложения являются основным коллектором ИМК на данной территории. Для идентификации коренного источника, за счет которого сформировался ореол ИМК Хатырык, проведена сравнительная оценка их с ИМК Сюльдюкарского кимберлитового тела, физиография (габитус кристаллов, механический износ, цвет и др.) минералов (пиропы, пикроильмениты и хромшпинелиды), состав и количественные соотношения.

Ореол относится к пироп-хромшпинель-пикроильменитовому типу. Локализован он в отложениях трех возрастных уровней – каменноугольных (ботуобинская свита (C₂₋₃bt), пермских (боруллойская свита (P₂br) и четвертичных отложениях (Q_{IV}). Основной объем ИМК приурочен к отложениям ботуобинской свиты, в которых содержание ИМК превышает 100 знаков на одну шлиховую пробу.

Пиропы. В кимберлитах Сюльдюкарского тела пиропы образуют зерна округлой формы с неровной, кавернозной, матовой поверхностью малинового цвета с различными оттенками. Размеры зерен колеблются от 0.15 до 8.0 мм, в большинстве случаев составляя 0.3-1.0 мм. На пиропе зачастую фиксируется келифитовая оболочка, толщина которой достигает 1-2 мм.

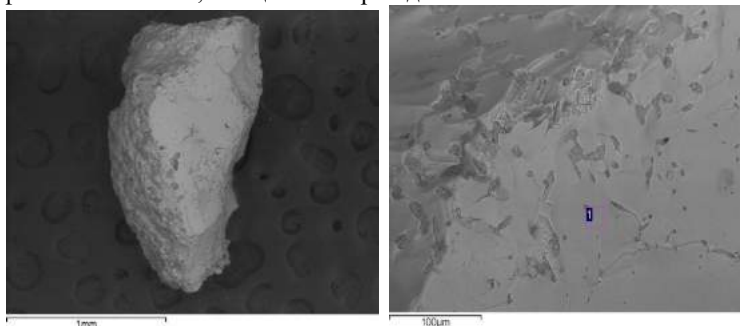


Рис. 7. Пироп без следов механического износа из ореола Хатырык, слабая гипергенная коррозия: общий вид и детали рельефа (Афанасьев, 2012).

В ореоле Хатырык преобладают зерна мелкого класса -0.5 мм (75%) средней и слабой степени механического износа (рис. 7) красных и красно-фиолетовых расцветок. По соотношению разностей, относящихся к перцолитовому и верлитовому парагенезисам, пиропы ореола и пиропы трубки практически не различаются. Доля дунит-гарцбургитовых пиропов в ореоле – 2.1%, в кимберлитовом теле чуть меньше – 1.5%. Наиболее значимые отличия касаются содержания MnO в пиропе кимберлитового тела (рис. 8).

Пикроильмениты – основные по распространенности минералы ореола. Подавляющая их часть представлена округлыми, иногда уплощенными зернами с характерной микропирамидальной поверхностью (рис. 9).

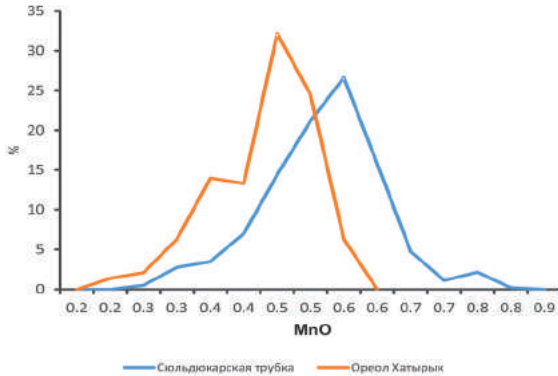


Рис. 8. Полигоны частот концентраций MnO (мас.%) в пиронах Сюльдюкарской трубки ($n=972$) и ореола Хатырык ($n=143$).

В гранулометрическом отношении преобладает мелкий класс -0.5 мм (97%). Пикроильмениты кимберлитового тела по морфологии и особенностям рельефа кристаллов весьма похожи на минералы ореола, отличаясь повышенными количествами кристаллов крупного класса (-1 – $+0.5$ мм до 20%).

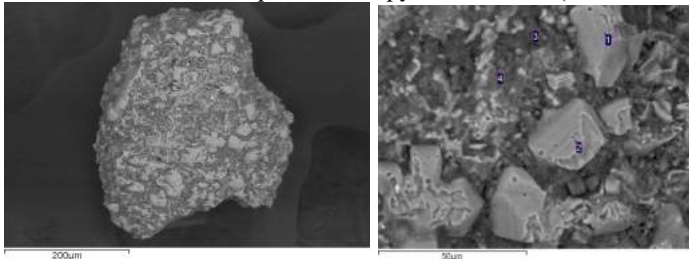
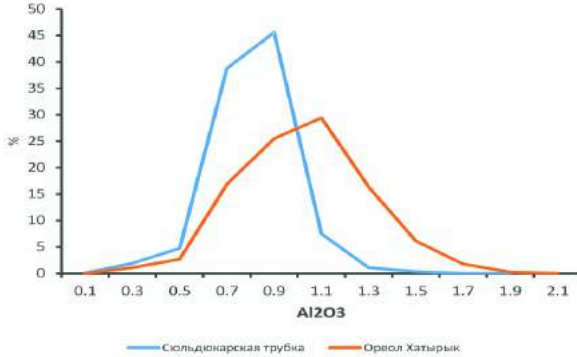


Рис. 9. Пикроильменит неокатанный с микропирамидальным рельефом из ореола Хатырык: общий вид и детали рельефа (Афанасьев, 2012)

Составы пикроильменитов из кимберлитов и ореола обнаруживают много общего – пределы варьирования большинства компонентов в обеих выборках перекрываются полностью. В ореоле, и в трубке присутствуют разности, характеризующиеся низкими содержаниями TiO_2 и MgO , обладающие ферримангнитными свойствами. Но фиксируются и различия – концентрации Al_2O_3 в ильменитах ореола существенно повышены (рис. 10).

Хромшпинелиды являются неотъемлемой частью кимберлитов, не уступая в количественном отношении пиронам, а в отдельных образцах и пикроильменитам. Содержания шпинелидов в ореоле Хатырык распределены следующим образом: в отложениях ботубинской свиты их количество меньше, чем пикроильменита, а в боруллойских отложениях оно в несколько

раз превышает пикроильмениты. Морфология кристаллов однотипна как в ореоле, так и в кимберлитах – это октаэдры с матовой поверхностью.



По **Рис. 10.** Полигоны частот концентраций Al_2O_3 (мас.%) в ильменитах Слюдюкарской трубки ($n=1202$) и ореола Хатырык ($n=1197$).

соотношению основных компонентов исследуемые минералы образуют непрерывный ряд от хромитов до хромсодержащих шпинелей. При этом хромшпинели ореола Хатырык оказываются сдвинутыми в область повышенных содержаний Cr_2O_3 и, соответственно, пониженных Al_2O_3 и MgO относительно минералов кимберлитов Слюдюкарской трубки (рис. 11).

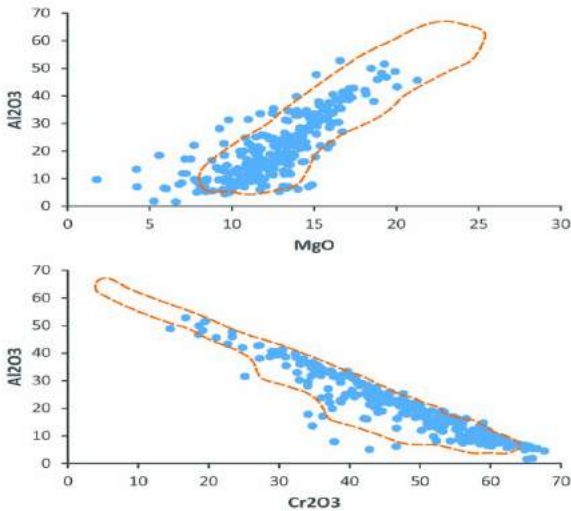


Рис. 11. Вариации MgO , Cr_2O_3 и Al_2O_3 (мас.%) в хромитовых шпинелях ореола Хатырык на фоне аналогичных параметров (пунктирный контур) хромитовых шпинелей Слюдюкарской трубки.

Алмазы. В Хатырыкском ореоле выявлено 19 кристаллов алмазов, распределенных по комплексу перекрывающихся отложений неравномерно. Основная концентрация их приурочена к ботуобинской свите C_{2-3bt} (13 кристаллов). Преобладают кристаллы размерностью $-2+1$ мм. Более половины кристаллов – ромбододекаэдрического габитуса, при подчиненном октаэдрического и переходного типов. В Сьюльдюкарском же кимберлитовом теле преобладают алмазы класса $-1+0.5$ мм (70%), около 1/3 алмазов составляют ламинарные ромбододекаэдры, реже встречаются формы кристаллов, переходные от октаэдра к ромбододекаэдру. Среди ламинарных ромбододекаэдров и округлых алмазов наблюдается большое количество алмазов с блоковой скульптурой. В классе $-0.5+0.2$ мм отмечается высокое содержание округлых алмазов, что не типично для мелкого класса.

Глава 5. Оценка проявленности комплекса признаков и предпосылок кимберлитового магматизма и прогнозирование новых месторождений алмазов в пределах Сьюльдюкарского поля

Задача пространственной локализации объекта поисков может решаться на основе предпосылок, т.е. внешних по отношению к объекту обстоятельств, определяющих местоположение объекта (рудоконтролирующие зоны разломов), либо на основе поисковых признаков, следов существования объекта, генерируемых самим объектом (например, шлиховые ореолы, зоны экзоконтактовых изменений и т.д., Афанасьев, 2010).

Поисковыми признаками для выделения перспективных участков в пределах Сьюльдюкарского кимберлитового поля являются погребенный высоконтрастный ореол ИМК Хатырык, само кимберлитовое тело и ореол ИМК Харыялах. Предпосылками – структурно-тектонические особенности исследуемого региона. Анализ комплекса признаков в рамках поисковых моделей, апробированных на уже известных в пределах ВМЗ кимберлитовых полях (Накынское и Мирнинское), позволил выделить два перспективных участка «Южный» и «Восточный».

Участок Южный. Располагается в левобережье р. Сьюльдюкар в бассейне его притока Сян. Приурочен к участку пересечения Хатырыкского, Сьюльдюкарского, Онкучахского и Сянского разломов северо-восточного направления с разломами Бытырской зоны широтного, запад-северо-западного направления. Первая группа разломов входит в состав западной ветви ВМЗ, обладает низкими идентификационными признаками, картируется в виде не протяженных линейных аномалий, не выходящих на поверхность нижнепалеозойских пород. Батырская зона разломов выражена отдельными кулисообразными нарушениями различной протяженности (рис. 12). Разноплановые тектонические трещины и узлы их пересечения являются благоприятными для внедрения кимберлитовых расплавов.

Ореол ИМК Хатырык приурочен к палеодолине субмеридионального простирания, совпадающей с одноименным грабеном. Повышенные концентрации ИМК встречаются в разнофациальных отложениях,

позволяют предполагать наличие вдоль бортов палеодолины коренных источников минералов. В региональном плане мощности ботубинских отложений последовательно возрастают в юго-западном направлении, фиксируя основное направление перемещения обломочного материала в средне-позднекарбовое время. Исходя из этого, полагаем, что палеовозвышенности обеспечивающие поступление ИМК в Хатырыкский ореол располагались к востоку от него на территории выделяемого Южного участка. Кимберлиты Сьюльдюкарской трубки не могли поставлять ИМК в базальный горизонт ботубинской свиты, поскольку на то время были перекрыты базальными отложениями этой самой свиты. Веским подтверждением данного тезиса являются рассмотренные выше различия в составах ИМК кимберлитов и ореола. Таким образом, источниками ИМК Хатырыкского ореола следует считать еще не обнаруженные тела алмазосных кимберлитов иного чем сьюльдюкарские состава.

Участок Восточный располагается в среднем течении р. Холломох-Юрях, в 15 км восточнее Южного участка (рис. 12). В структурном плане приурочен к зоне пересечения Западного разлома ВМЗ с Аппычинским разломом северо-восточной (Ангаро-Виллойской) ориентировки, а также с нарушениями северо-западного направления. Плотная сеть разрывных нарушений и совмещенные с ними грабенообразные структуры послужили, по аналогии с Южным участком, основными предпосылками для отнесения данной территории к разряду перспективных. Обнаружение ореола ИМК Харьялах, пространственно совпадающего с таким сложно построенным узлом пересечения разрывных нарушений, значительно усилило доказательную базу относительно возможности обнаружения рудоносных кимберлитов на выделяемой территории.

ИМК в структуре ореола приурочены к отложениям боруллойской и укугутской свит J_{1uk} , а также встречаются в аллювии современных водотоков. Характерным для ореола является преобладание пикроильминита над пиропом, а также наличие двух кристаллов алмаза, которые указывают на потенциальную алмазосность прогнозируемого коренного источника.

Кроме того, на продолжении Западного разлома, в Мирнинском кимберлитовом поле, аналогичная структура, образованная разнонаправленными разломами и грабенами, является рудовмещающей для трубок Интернациональная, им. XXIII съезда КПСС, Амакинская, Таежная. Это позволяет нам считать доказанным третье защищаемое положение:

Различия в химическом составе, количественных соотношениях элементов и кристалломорфологии ИМК Сьюльдюкарской трубки и близлежащих погребенных ореолов, в совокупности с палеогеоморфологическими реконструкциями, свидетельствуют, что ИМК и алмазы в эти ореолы поступали из неизвестных источников, что составляет основу прогнозирования новых месторождений алмазов на участках Южный и Восточный Бгыаттинского района.

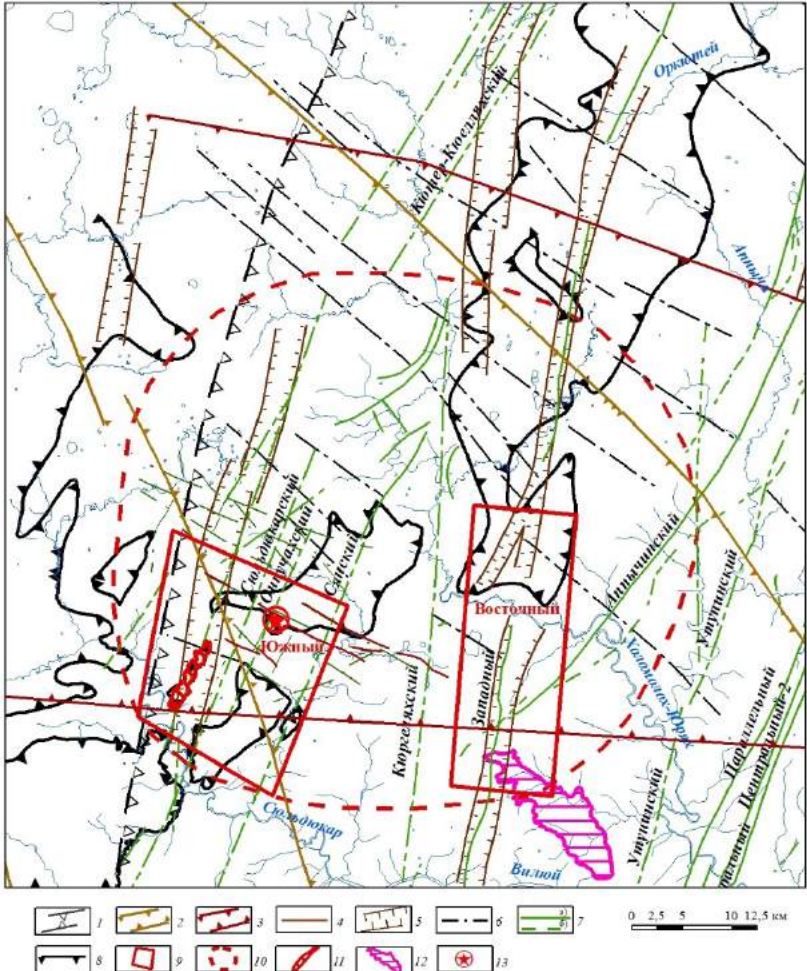


Рис. 12. Схема прогноза Сюддюкарского кимберлитового поля (автор Мальцев М.В. с использованием материалов ВГРЭ): 1 – Вилуйско-Мархинская зона разломов I порядка; 2 – Анабаро-Мирнинская зона тектонических нарушений; 3 – Батырская зона разломов; 4 – разрывные нарушения Батырской зоны; 5 – грабенообразные структуры среднепалеозойского возраста установленные по данным ГИС, сопряженные с даечными телами долеритов Вилуйско-Мархинского комплекса; 6 – разрывные нарушения северо-западного простирания по данным ΔT , связываемые с Бгыаттинской рифтогенной тектонической зоной; 7 – тектонические нарушения, выраженные в магнитном поле: а – достоверные, связанные с дайками долеритов, б – предполагаемые, слабовыраженные; 8 – современные границы области седиментации в ботубунское время; 9 – перспективные участки; 10 – контур Сюддюкарского кимберлитового поля; 11 – контур ореола ИМК Хатырык; 12 – контур ореола ИМК Харылах; 13 – кимберлитовое тело.

Заключение

Первое кимберлитовое тело, выявленное в Ыгыаттинском алмазоносном районе, приурочено к разлому скрытого типа, который имеет низкие индикационные свойства. Изучение условий и особенностей его локализации позволяет утверждать, что участок пересечения Виллойско-Мархинской и Батырской зон разрывных нарушений, по аналогии с Накынским и Мирнинским полями, позволяет выделить новое Сьюльдюкарское кимберлитовое поле, благоприятное для проявления кимберлитового магматизма. В локальном плане, наиболее благоприятными для внедрения кимберлитовых тел являются участки пересечения линейных грабенов с разноориентированными разломами.

Анализ особенностей вещественного состава кимберлитов показывает, что по ряду вещественно-индикационных признаков они имеют черты сходства с кимберлитами Мирнинского и Накынского полей Виллойско-Мархинской зоны разломов, однако при этом индивидуализируются среди кимберлитов ЯАП.

Установлено, что основные концентрации ИМК в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района локализованы в отложениях ботубинской ($C_{2,3}bt$) и ахтарандинской (P_{1ah}) свит. Сравнительная характеристика ИМК Хатырыкского ореола и Сьюльдюкарского кимберлитового тела выявила в них существенные отличия. Особенности внутреннего строения Хатырыкского ореола позволяют классифицировать его как ореол ближнего сноса неустановленного коренного источника.

Низкая продуктивность отложений ботубинской свиты Хатырыкского ореола обусловлена формированием их в делювиально-пролювиальных условиях, которые не способствовали площадному накоплению алмазов и ИМК, имеют узколокальное распределение, однако наличие алмазов в неинформативных отложениях ближнего сноса свидетельствует о потенциальной высокой алмазоносности прогнозируемых коренных источников, которые с высокой долей вероятности расположены в ближайшей периферии и приурочены к бортам палеодолины.

Комплекс структурно-тектонических критериев и прямых признаков кимберлитового магматизма, выявленных в Ыгыаттинском алмазоносном районе, позволяет выделить на территории Сьюльдюкарского кимберлитового поля два участка, перспективных на выявление новых коренных месторождений алмазов «Западный» и «Восточный».

Основные публикации по теме диссертации:

1. Игнатов П.А., Кряжев С.Г., Толстов А.В. **Мальцев М.В.** Признаки скрытых структур в осадочных толщах, вмещающих месторождения алмазов Накынского поля Якутии. Горный журнал. 2018, №11. с. 18-23.
2. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-

индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2016. № 3. с. 86-94.

3. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В., Старкова Т.С., Иванов А.С. Особенности вещественного состава кимберлитов Сьюльдюкарского поля (Западная Якутия) // Наука и Образование, 2017. №4. с. 37-43.

4. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В., Бережнев И.И. Закономерности локализации кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018, № 6. с. 41-49.

5. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В., Фомин В.М., Минин В.А. Перспективы выявления новых кимберлитов на Виллой-Мархинском междуречье (Западная Якутия) // Месторождения алмазов: процессы формирования, закономерности локализации, методы прогнозирования и поисков. Новосибирск, ИГМ СО РАН, Тр. Рабочего совещ. 2016. с. 76-80.

6. Афанасьев В.П., Николенко Е.И., **Мальцев М.В.**, Иванов А.С., Роговой В.В. Гемоильменит – новый индикатор кимберлита? // В сб.: Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Мат-лы VII Всеросс. Науч.-практ. конф., посв. 60-летию ИГАБМ СО РАН. 2017. Том I. с. 219-222.

7. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В. Новые перспективы коренной алмазоносности Виллой-Мархинского междуречья // В сборнике: Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Мат-лы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию ИГАБМ СО РАН. 2017. Т. I. с. 339-344.

8. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В., Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сб. тез. докладов VIII Межд. науч.-практ. конференции. М. ФГУП ЦНИГРИ, 2018. с. 109.

9. **Мальцев М.В.**, Толстов А.В. Критерии и проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов в новых районах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы С-В России: Мат-лы VIII ВНК, 18-20 апреля 2018 г., Якутск, Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018, - Т.1, с. 210-213.

10. Минин В.А., **Мальцев М.В.**, Толстов А.В. Вещественный состав кимберлитов Сьюльдюкарской трубки и перспективы Ыгыаттинского района // Там же, с. 217-221.

11. Старкова Т.С., **Мальцев М.В.**, Толстов А.В. Сравнительная характеристика пиропов и пикроильменитов высококонтрастных ореолов Ыгыаттинского алмазоносного района // Там же, с. 257-261.

12. Толстов А.В., Горев Н.И., Проценко Е.В., **Мальцев М.В.** Перспективы прогнозирования новых алмазоносных районов. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика В.С. Соболева, Новосибирск, 09-14 июня 2018 // ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018, с. 68.

Подписано в печать 27.02.2019г. Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Усл. печ. Лист 1.0.

Тираж 100 экз. Заказ 2032

Отпечатано в Мирнинской городской типографии

678170 РС(Я), г. Мирный, ул. Советская, 4