

Акционерная компания АЛРОСА (ПАО)

На правах рукописи

Шахурдина Надежда Константиновна

**Принципы выделения нового кимберлитового поля
и оценка его потенциальной продуктивности
в Ыгыаттинском алмазоносном районе
(Западная Якутия)**

1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,
минералогия»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
академик АН РС(Я)
Толстов Александр Васильевич

Мирный – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. Геологическое картирование, фактурная оценка алмазоносных объектов.....	8
1.1. База цифровых данных.....	8
1.2. Каталог кимберлитовых тел	11
1.3. Кадастр месторождений алмазов Якутской алмазоносной провинции	16
ГЛАВА 2. Краткая геологическая характеристика изучаемой площади	27
2.1. Общие сведения о районе работ	27
2.2. Стратиграфия.....	38
2.3. Магматизм.....	44
2.4. Тектоника	45
2.5. Районирование территории по условиям проведения поисковых работ	51
ГЛАВА 3. Структурно-тектонические критерии локализации кимберлитов в пределах Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов.....	55
3.1. История изучения факторов структурного контроля кимберлитового магматизма	56
3.2. Структурно-тектонические признаки Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля	69
ГЛАВА 4. Минералогическое районирование Ыгыаттинского алмазоносного района	77
4.1. Фактический материал для выполнения районирования.	78
4.2. Методика минералогического районирования	80
4.3. Типоморфные особенности алмазов и ИМК минералогических узлов	88
ГЛАВА 5. Методика оконтуривания и количественная оценка прогнозных ресурсов алмазов прогнозируемого Еркютейского кимберлитового поля.....	96
5.1. Оконтуривание кимберлитового поля	96
5.2. Оценка прогнозных ресурсов.....	103
5.3. Выбор эталонной модели для Еркютейского поля.....	105
5.4. Оценка прогнозных ресурсов алмазов категории Р ₃	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
Список использованной литературы.....	130

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Подавляющая часть запасов и прогнозных ресурсов алмазов Российской Федерации находится в Республике Саха (Якутия), запасы алмазов учтены Государственным балансом запасов [Гос.баланс, 2022]. Коренные месторождения, расположенные в Якутской алмазоносной провинции (ЯАП), содержат сотни миллионов каратов алмазов, однако ежегодно растущие объемы их добычи создают угрозу быстрого истощения ресурсной базы в реально обозримом времени. В то же время, геологоразведочные работы на новых территориях с весьма сложными геологическими обстановками длительное время не приводят к желаемым открытиям, что диктует необходимость объективного прогноза и оценки алмазоносности новых перспективных территорий. В связи с этим задача разработки прогнозно-поисковых критериев и признаков кимберлитового магматизма и оценка прогнозных ресурсов алмазов категории P_3 для постановки поисковых работ сегодня, как никогда, весьма актуальна.

Изученность ЯАП характеризуется как весьма неравномерная, при этом вероятность обнаружения новых месторождений в хорошо изученных районах действующих алмазодобывающих предприятий существенно снижается. Это обусловило необходимость перехода к системному изучению территорий со сложным геологическим строением, где под толщей мезо-кайнозойских отложений обнаружены прямые признаки алмазоносных кимберлитов. В результате на севере Вилюйско-Мархинской зоны (ВМЗ) глубинных разломов в конце 1990-х гг. было открыто Накынское поле с высокопродуктивными кимберлитовыми телами.

В 2015 г в центральной части Вилюйско-Мархинской минерагенической зоны (ВМЗ), между Мирнинским и Накынским кимберлитовыми полями, в бассейне реки Сюльдюкар под толщей верхнепалеозойских и мезозойских образований при заверке аэромагнитной аномалии выявлено одноименное алмазоносное кимберлитовое тело, подтвердившее обоснованность прогноза кимберлитового поля в Ыгыаттинском алмазоносной районе (ЫАР) и в целом – перспективность территории всей ВМЗ [Мальцев, 2018].

Использование надежных поисковых критериев, позволяющих последовательно переходить от общих поисков объекта ранга «алмазоносный район» к таксону «кимберлитовое поле» и далее – к «кусту» кимберлитовых тел и конкретному алмазоносному «телу», может существенно сократить объем дорогостоящего кернового колонкового бурения. Особую значимость при этом имеет оценка потенциальной продуктивности района Вилуй-Мархинского междуречья, расположенного в непосредственной близости от интенсивно разрабатываемых Малоботуобинского и Среднемархинского алмазоносных районов с эффективно работающими горнорудными предприятиями, где в ближайшие годы следует ожидать новых открытий.

Цель исследований: Определение главных прогнозно-поисковых критериев выделения кимберлитовых полей при среднемасштабных геологоразведочных работах и оценка их потенциальной алмазоносности.

Основные задачи исследований:

1. Систематизация и анализ продуктивности кимберлитовых тел Якутской алмазоносной провинции
2. Создание модели кимберлитового поля в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района на основе структурно-тектонического анализа.
3. Разработка методики минералогического районирования для среднемасштабного прогноза на основе шлихоминералогических данных.
4. Создание методики оконтуривания группы кимберлитовых тел ранга «кимберлитовое поле».
5. Выбор эталонной модели кимберлитового поля в Ыгыаттинском районе для последующей оценки потенциальной алмазоносности

Фактический материал, личный вклад автора. Работа базируется на полевых и камеральных исследованиях, выполненных автором в рамках поисковых работ Ботуобинской геологоразведочной экспедиции (БГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО) в 2001-2006 гг. и тематических работ в Научно-исследовательском геологическом предприятии АК «АЛРОСА» (ПАО) в 2006-2022 гг.

Для построения и анализа картографических схем, использованы цифровые данные, полученные по результатам разномасштабных геологосъемочных, поисковых и геофизических работ, выполненных специалистами геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО) в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны. Автором был собран и структурирован фактический материал, выполнена интерпретация всех полученных данных, предложены новые методики обработки.

Защищаемые положения:

Первое защищаемое положение. Для решения комплекса геологических задач, возникающих на различных стадиях геологоразведочных работ и объективной интерпретации структурно-тектонических, геофизических и минералогических результатов исследований, разработана и адаптирована к условиям Якутской алмазоносной провинции унифицированная структура ГИС-интегрированной базы данных, содержащая основные параметры всех коренных месторождений и проявлений алмазов. Установлена ее максимальная эффективность и результативность на стадии среднемасштабного геологического картирования (1:50000 — 1:100000).

Второе защищаемое положение. Узлы пересечения центральной подзоны Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов (ВМЗ) с секущей Ыгыаттинской зоной, характеризующиеся повышенной плотностью разрывных нарушений, являются дополнительными структурно-тектоническими предпосылками выделения внутри ее локальных площадей, благоприятных для проявления кимберлитового магматизма.

Третье защищаемое положение. Ограничение количества параметров типоморфных и типохимических характеристик ИМК, определение их минимально-аномальных значений при обработке результатов анализов позволили выполнить среднемасштабное минералогическое районирование Ыгыаттинского алмазоносного района. В результате районирования по прогнозно-поисковым критериям и признакам кимберлитового магматизма наиболее перспективным

является Восточный минералогический узел, в пределах которого прогнозируется Еркютейское кимберлитовое поле.

Научная новизна:

- Впервые создана цифровая база данных коренных и россыпных проявлений алмазов Якутской алмазоносной провинции, на ее основе которой актуализирована карта коренной и россыпной алмазоносности Западной Якутии, масштаба 1:1000000.

- по структурно-тектоническим признакам в узле пересечения центральной подзоны ВМЗ с Ыгыаттинской секущей зоной выделена перспективная площадь, характеризующаяся повышенной плотностью разрывных нарушений.

- впервые в ЯАП разработана методика среднемасштабного минералогического районирования, апробированная в Ыгыаттинском районе.

- на основе комплекса прогнозно-поисковых признаков кимберлитового магматизма оконтурено новое прогнозируемое кимберлитовое поле и проведена оценка ее потенциальной алмазоносности

Практическая значимость. Полученные данные позволили уточнить степень значимости структурно-тектонического контроля локализации кимберлитовых тел в Ыгыаттинском районе. Определены минералогические критерии для таксона рангов «минералогический узел» и «минералогический участок». Обосновано выделение Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля, в пределах которого предложено выполнить поисково-заверочные работы и дана количественная прогнозная оценка его продуктивности.

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

По теме работы опубликовано 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 10 публикаций в сборниках материалов Всероссийских и Международных

конференций. По теме диссертации были представлены доклады на Всероссийских и Международных конференциях: VII Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», посвященной 60-летию ИГАБМ СО РАН (2017 г., г. Якутск); Всероссийской конференции «Геология и минералогия Северной Евразии», приуроченной к 60-летию ИГИГ СО РАН СССР, ИГМ имени В.С. Соболева СО РАН (2017 г., г. Новосибирск); VIII Международной научно-практической конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», ФГУП ЦНИГРИ, 16-18 апреля 2018 г и др.

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 140 страниц состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 36 рисунков, 13 таблиц. Список использованной литературы включает 83 наименования.

Благодарности. За всестороннюю помощь автор благодарен научному руководителю д.г.-м.н. Толстову А.В. За практическую помощь при выполнении исследований автор благодарен к.г.-м.н: Кошкареву Д.А., Проценко Е.В., Голубеву Ю.К., Тарских О.В., Серову И.В., Кедровой Т.В., Зайцевскому Ф.К., коллегам из ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО).

ГЛАВА 1. Геологическое картирование, фактурная оценка алмазоносных объектов

Цифровое геологическое картирование — это современный процесс, с помощью которого все геологические особенности наблюдаются, анализируются и записываются в полевых условиях и отображаются в реальном времени в компьютере. Основная функция этой постоянно развивающейся информационной технологии состоит в создании пространственно привязанных геологических карт, которые можно использовать и обновлять при проведении различных работ.

Картирование территорий деятельности АК «АЛРОСА» (ПАО) имеет важное значение для развития минерально-сырьевой базы Компании. Результаты картирования позволяют обоснованно проводить геолого-экономическое районирование территории деятельности Компании при выборе районов (площадей) для проведения ГРР, определять, в качестве приоритетных, те из них, в пределах которых задачи воспроизводства минерально-сырьевой базы могут быть решены с оптимальными затратами при высоких результатах и качестве полученной геологической информации.

Алмазопроисковые работы на территории Якутии успешно ведутся на протяжении почти 65 лет. За это время открыто более 1051 кимберлитовых тел, в том числе 24 месторождений алмазов.

1.1. База цифровых данных

Современное состояние поисковых работ на алмазы, широкое внедрение цифровой картографии в практику геологоразведочных работ и переход поисков на так называемые «закрытые территории», потребовали корректной географической привязки кимберлитовых тел Якутской алмазоносной провинции. В качестве основы для цифровой базы данных (*.mdb, *.shp) кимберлитовых тел использованы фундаментальные работы Брахфогеля Ф.Ф. [Брахфогель, 1979ф], Ягнышева Б.С. [Ягнышев, 1988ф, 1992ф], Морозовой Н.Е. [Морозова, 2016ф], а также опубликованные материалы по кимберлитовому магматизму. Цифровая база данных содержит: координаты (географические и прямоугольные), общие характеристики кимберлитовых тел (форма тела, морфология, размеры,

простираение длинной оси, тип пород, среднее содержание, площадь), принадлежность к полю, району, субпровинции, провинции, возраст кимберлитовых тел (абсолютный, полученный по изотопным датировкам, и относительный - век, система, отдел, эра) (Рисунок 1).

Всего в базе данных 1206 объектов, из них 1051 кимберлитовых тела и 155 объектов родственных пород. Алмазоносных кимберлитовых тел 282. По полученным цифровым данным оконтурено 26 кимберлитовых полей, которые разделены на три возрастных группы: палеозойские, мезозойский и полихронные; а также по алмазоносности: высокоалмазоносные, среднеалмазоносные, низкоалмазоносные, весьма низкоалмазоносные (убого-алмазоносные) и неалмазоносные.

База постоянно пополняется опубликованными и фондовыми материалами, позволяя оперативно оценивать любым из параметров кимберлитовое поле, алмазоносный район, субпровинцию или провинцию в целом.



Рисунок 1. Процесс анализа база данных

Автором создана единая цифровая база данных россыпных месторождений и проявлений алмазов Якутской алмазоносной провинции. В качестве основы использованы фондовые материалы Ботубинской ГРЭ, Амакинской ГРЭ, ОАО «Нижнеленское», АО «Алмазы Анабара» и опубликованные материалы.

Цифровая база данных содержит: название объекта, участок, общие характеристики (площадь объекта, ширина, длина, мощность, среднее содержание

алмазов кар/м³, возраст), принадлежность к алмазоносному району, генетический тип (аллювиальный, пролювиальный, прибрежно-морской, русловой и т.д.), статус (разведка, разработка, резерв, отработан), промышленный тип (месторождения: балансовые, забалансовые, отработанные; проявления: перспективные, неперспективные), категории (запасы В, С₁, С₂; ресурсы Р₁, Р₂, Р₃), источник (автор, год, название отчета, проекта и т.д.). Тип цифровых данных полигональный и линейный, для использования в картографии различного масштаба. Система координат GCS_Pulkovo_1942. Всего в базе данных 514 россыпных объектов по всем алмазоносным районам Якутской провинции (Рисунок 2).

База данных кимберлитовых трубок	База данных россыпных проявлений алмаза
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ фондовые материалы АмГРЭ, АрГРЭ, БГРЭ, МГРЭ, ВГРЭ, опубликованные материалы	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ фондовые материалы АО «Алмазы Анабара», АО «Нижнеленское», АмГРЭ, АрГРЭ, БГРЭ, ВГРЭ, опубликованные материалы
БАЗА ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ Тип данных: точечный Система координат: GCS_Pulkovo_1942	БАЗА ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ Тип данных: полигональный, линейный Система координат: GCS_Pulkovo_1942
<u>Координаты</u>: географические, прямоугольные <u>Районирование</u>: поле, алмазоносный район, субпровинция, провинция <u>Общие характеристики</u>: морфология, размеры, площадь, простираие, среднее содержание алмазов <u>Форма тела</u>: трубка, тело, дайка, жила, шток, <u>отторженец</u> <u>Тип пород</u>: АКБ, КБ, ПК, К, КТБ <u>Возраст</u>: абсолютный, относительный (отдел, система) <u>Промышленный тип</u>: месторождение, проявления: оцененные, неоцененные <u>Алмазоносность</u>: ураганно, высоко, средне, низко и нет	<u>Районирование</u> алмазоносный район, субпровинция, провинция <u>Общие характеристики</u> площадь, длина, мощность, среднее содержание, возраст <u>Генетический тип</u> аллювиальный, пролювиальный, прибрежно-морской и др. <u>Категория оценки</u> Запасы: В, С₁, С₂; Ресурсы: Р₁, Р₂, Р₃ <u>Промышленный тип</u> месторождения: балансовые, забалансовые, резерв, отработан, проявления: перспективные, неперспективные

Рисунок 2. Структуры баз данных кимберлитовых тел и россыпных проявлений Якутской алмазоносной провинции

По полученным цифровым данным (кимберлитовые трубки, россыпные проявления), автором впервые создана схема коренной и россыпной алмазоносности Западной Якутии, масштаба 1:1 000 000 [Антипин, 2019ф], фрагмент карты на Малоботуобинский и Ыгыаттинский алмазоносные районы, приведен на Рисунке 3.

1.2. Каталог кимберлитовых тел

Кимберлитовые тела, в том числе промышленно алмазоносные различаются между собой по многим параметрам: морфологии тел, размерам, уровню эрозионного среза, возрасту, внутреннему строению, петрографическим особенностям, алмазоносности.

Алмазоносность

По среднему содержанию алмазов кимберлитовые трубки разделяются на: неалмазоносные (алмазы не обнаружены), с низкой и весьма низкой алмазоносностью (среднее содержание $<0,3$ кар/т), среднеалмазоносные (среднее содержание от 0,3 до 1,0 кар/т), высокоалмазоносные (среднее содержание от 1,0 до 3,0 кар/т), уникальные среднее содержание более 3,0 кар/т) [Подчасов, 2004].

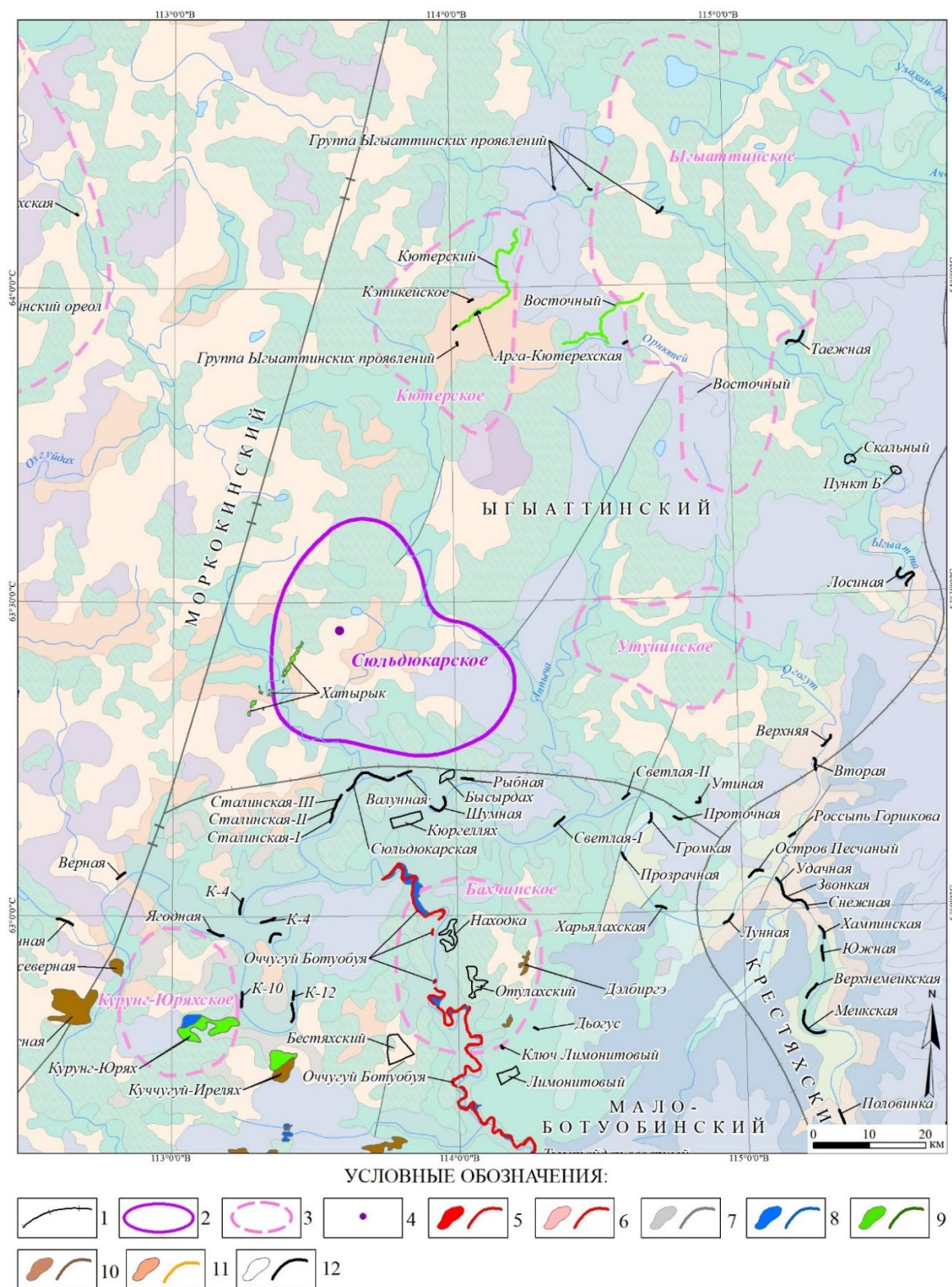
Морфология

Кимберлитовые тела по морфологии разделяются на три основные группы: трубообразные, секущие (дайки и жилы) и субсогласные (силлы и пластообразные тела). Трубообразные тела (трубки взрыва, диатремы), с которыми связаны практически все разрабатываемые и отработанные коренные месторождения алмазов, образуют на поверхности субизометричные выходы, диаметром от первых десятком метров до километра и более.

Жилы и дайки подразделяются на три основные группы: самостоятельные, синтрубочные жилы и внутритрубочные жилы кимберлита. Штокверковый тип кимберлитовых тел, выделяет В.И.Ваганов [Ваганов, 2000], представляет собой систему многочисленных, различно ориентированных выклинивающихся даек и жил кимберлитов переменной мощности.

Возраст кимберлитов

Наиболее надежными методами определения изотопного возраста кимберлитов считаются Rb-Sr и U-Pb датировки. Всего в цифровой базе имеются данные об изотопном возрасте 254 объектов, из них по Лено-Анабарской субпровинции – 197 (мезозойские кимберлиты 62%, палеозойские кимберлиты - 38%), по Центрально-Сибирской субпровинции - 57 (среднепалеозойские кимберлиты).



1 – контуры алмазоносных районов; 2 – контуры кимберлитовых полей; 3 – контуры прогнозируемых кимберлитовых полей; 4 – кимберлитовые трубки; 5-7 – россыпные месторождения алмазов: 5 – разведанные, балансовые; 6 – разведанные, забалансовые; 7 – отработанные; 8-12 – россыпные проявления алмазов, оцененные: 8 – по категории Р₁; 9 – по категории Р₂; 10 – по категории Р₃; 11 – перспективные; 12 – неперспективные или недостаточно изученные.

Рисунок 3. Схема коренной и россыпной алмазоносности Малоботубинского и Ыгыаттинского районов.

В пределах алмазоносной провинции выделяется следующий иерархический ряд алмазоносных объектов: региональные объекты - алмазоносная провинция, субпровинция, зона (область), алмазоносный район; среднемасштабные – кимберлитовый район, поле; локальные - куст или линейная группа кимберлитовых тел, отдельное тело. Границы и названия большинства алмазоносных районов для Якутской алмазоносной провинции заимствованы из «Методических указаний...» [1989]. На приведенной схеме границы между алмазоносными субпровинциями, алмазоносными районами проведены с учетом минералогической, магматической, тектонической и глубинной информации. Якутская алмазоносная провинция разделена на две субпровинции: Центрально-Сибирскую и Лено-Анабарскую [Горев, 2015ф].

Центрально-Сибирская субпровинция

Центрально-Сибирская субпровинция занимает южную и центральную часть Якутской алмазоносной провинции и включает десять районов: Мурбайский, Малоботуобинский, Крестяхский, Моркокинский, Ыгыаттинский, Верхневилуйский, Далдыно-Алакитский, Среднемархинский, Муно-Тюнгский, Мунский, только в пяти районах присутствуют промышленно алмазоносные кимберлитовые тела (Рисунок 4).

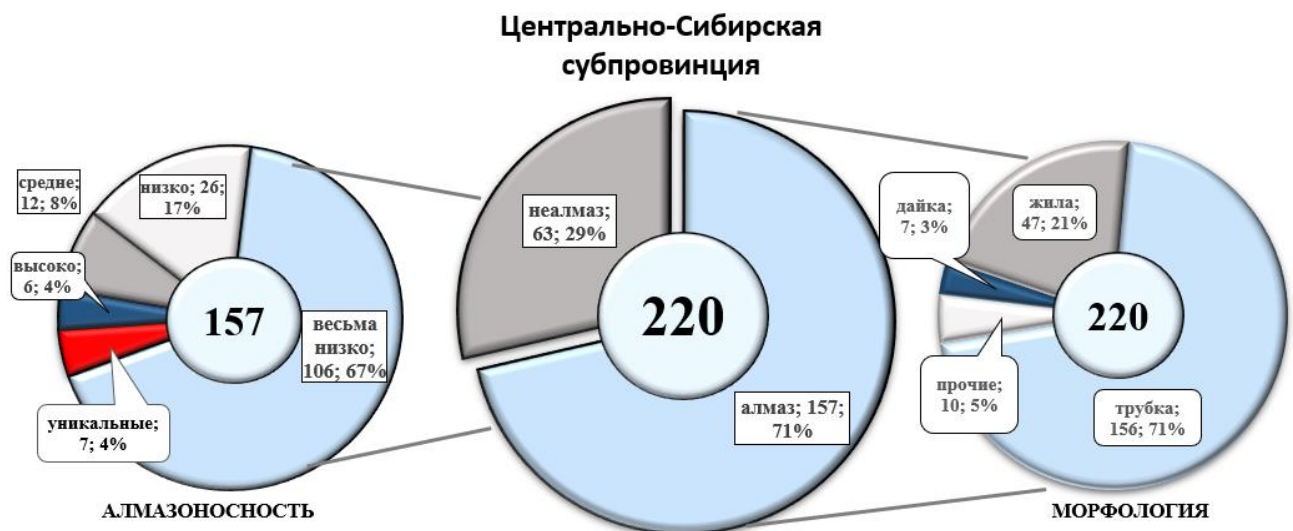


Рисунок 4. Основные характеристики кимберлитовых тел Центрально-Сибирской субпровинции

В Центрально-Сибирской субпровинции выявлено 220 кимберлитовых тел, из которых 157 - алмазоносны в разной степени. Распределение кимберлитовых трубок по алмазоносности выглядит следующим образом: неалмазоносные кимберлитовые трубки составляют 29% из общего количества обнаруженных тел (63 тела), убогоалмазоносные – 67% (106), низкоалмазоносные – 17% (26), среднеалмазоносные – 8% (12), высокоалмазоносные – 4% (6), уникально алмазоносны – 4% (7) (Рисунок 1.4). Распределение самостоятельных кимберлитовых тел по морфологии: преобладают трубки -71 % от общего количества (156), жилы составляют – 21 % (47), дайки 3% (7), прочие (шток, тело) – 5% (10).

Анализ радиологического датирования 57 кимберлитовых трубок Центрально-Сибирской субпровинции, включая месторождения, показал, что кимберлитовые трубки в целом относятся к среднепалеозойской эпохе. Основная масса изотопных дат приходится на интервал 329-382 млн. лет [Зайцев, 2010; Jing Sun, 2014; Юдин, 2014].

Наиболее древние датировки, отвечающие раннему и позднему силуру, имеют следующие трубки: им. XXIII съезда КПСС -433 млн.лет, Дружба – 431 млн.лет, Молодежная – 430 млн.лет, Чукукская- 424 млн.лет, Иреляхская – 421 млн.лет. Наиболее молодой, средне- и верхнетриасовый возраст имеют трубки: Радиоволновая - 272 млн.лет (?) и Якутская – 235 млн.лет. (Рисунок 5). Относительный возраст трубки Радиоволновая, исходя из анализа геологического разреза - позднедевонский.

Кимберлитовые трубки с промышленными содержаниями алмазов сформировались в широком возрастном интервале: от раннего силура (им. XXIII съезда КПСС, 433 млн.лет) до позднего карбона (Нюрбинская, 332 млн.лет).

Система	Отдел	Возраст, млн.лет	Центрально-Сибирская субпровинция					Лена-Анабарская субпровинция																		
			Мирнинское	Накынское	Алакит-Мархинское	Далдынское	Верхне-Мунское	Чомурдахское	Восточная ветвь ЛАС							Западная ветвь ЛАС										
									Западно-Укукитское	Восточно-Укукитское	Мерчимденское	Куойско-Молодинское	Толуонское	Хорбусуонское	Куранахское	Дучаканское	Биргиндинское	Дюкенское	Ары-Мастахское	Старореченское	Орто-Баргинское	Эбеляхское				
Мезозойская	К	25																								
		66																								
		75																								
		100																								
		125																								
	J	145																								
		175																								
		201																								
		225																								
		252																								
Палеозойская	P	275																								
		299																								
	C	325																								
		359																								
		375																								
	D	400																								
		419																								
		443																								
	O	475																								
		485																								

Рисунок 5. Распределение кимберлитовых тел Центрально-Сибирской и Лена-Анабарской субпровинций, по изотопному возрасту

Лено-Анабарская субпровинция

Лено-Анабарская субпровинция представлена девятью районами: Верхнеоленским, Куонамским, Попигайским, Анабарским, Уэле-Уджинским, Нижнеоленским, Нижнеленским, Среднеоленским, Приленским. Кимберлитовый магматизм развит в четырех районах.

В Лено-Анабарской субпровинции в настоящее время обнаружено 831 кимберлитовое тело, а также 155 малых интрузий различного состава (пикриты, альнеиты, кимпикриты и т.д.) (Рисунок 6). Из общего количества тел ЛАС, алмазоносны лишь 15% (125 тел).



Рисунок 6. Основные характеристики кимберлитовых тел Лена-Анабарской субпровинции.

Распределение кимберлитовых трубок по алмазности выглядит следующим образом: неалмазные составляют 85% от общего количества обнаруженных тел (706 тел), убогалмазные – 97% (122), низкоалмазные – 2% (2). Кимберлитовая трубка Малокуонапская (Куранахское поле) с содержанием 0,25–0,45 кар/т, относится к среднеалмазным телам, высокоалмазные и уникальные кимберлитовые тела не обнаружены (Рис. 1.6). По морфологии: преобладают трубки 56 % от общего количества, жилы составляют – 4 %, дайки 22%, прочие (шток, тело) – 18%.

Анализ радиологического датирования 214 кимберлитовых трубок Лено-Анабарской субпровинции показал, что рудные поля в целом относятся к среднепалеозойской (38%) и среднемезозойской (62%) эпохе. Основная масса изотопных дат приходится на интервал 326-383 млн. лет и 145-180 млн. лет. Наиболее древние датировки, отвечающие среднему и верхнему ордовика имеют трубки: Джо-Южная -648 млн. лет (?), Подснежная – 475 млн.лет, Бэта – 447 млн.лет. Наиболее молодые датировки, отвечающие верхнему мелу, имеют трубки: МГРИ - 99 млн. лет, Баргыдамалах-южная – 54 млн. лет.

1.3. Кадастр месторождений алмазов Якутской алмазодобывающей провинции

По данным государственного баланса в Республике Саха (Якутия) по состоянию на 01.01.2022 запасы категорий А+В+С₁ составили 638,9 млн. карат и

C_2 – 172,4 млн. карат, забалансовые – 74,4 млн. карат [Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации, 2022]. Прогнозные ресурсы по состоянию на 01.01.2022 составили по категориям: P_1 - 346,8 млн. карат, P_2 -315,9 млн. карат, P_3 - 1104,7 млн. карат [Сборник прогнозные ресурсы твердых и твердых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации, 2022]. Все месторождения Российской Федерации с учтенными запасами алмазов сосредоточены в трех алмазоносных провинциях, в Республике Саха (Якутия), в Пермском крае и в Архангельской области. Большинство балансовых запасов (76,6% кат $A+B+C_1$) сосредоточены в Республике Саха (Якутия).

В 2022 году разрабатывались 25 месторождений алмазов, в том числе 13 коренных и 12 россыпных. Отработаны 5 кимберлитовых тел: Дачная, им. XXIII съезда КПСС, Спутник, Сытыканская, Поисковая, 2 кимберлитовых тела подготовлены к отработке запасов (Таблица 1). В нераспределенном фонде недр числятся 4 коренных месторождения (Краснопресненская, Сытыканская, Таежная, Спутник) с общими запасами категорий $A+B+C_1$ – 27,1 млн. каратов, забалансовыми – 5,7 млн каратов и 15 россыпных месторождений с общими запасами категорий $A+B+C_1$ – 3,1 млн каратов, категории C_2 – 0,2 млн каратов и забалансовыми – 1,7 млн каратов.

Коренные месторождения алмазов Якутской алмазоносной провинции сосредоточены в Центрально-Сибирской субпровинции в Малоботуобинском, Среднемархинском, Далдыно-Алакитском и Мунском районах, составляют всего 2,3 % от всех кимберлитовых тел ЯАП.

На основе созданной базы цифровых данных были подготовлены каталоги коренных месторождений с основными их параметрами (Таблица 1).

Распределение коренных месторождений алмазов по площади сечения на эрозионной поверхности имеет отчетливо экспоненциальный вид – уникальные тела единичны (Юбилейная), крупные тела составляют 25 % (Зарница, Краснопресненская, Удачная, Мир, Сытыканская, Дальняя), число средних и мелких тел существенно больше (Рисунок 7).

Таблица 1.

Каталог коренных месторождений алмазов Якутской алмазоносной провинции

№ п/п	Месторождение	Размеры	Ср.сод, кар/т	Содержание алмазов	Запасы алмазов	Степень освоённости
Центрально-Сибирская субпровинция						
Мирнинское поле						
1	Дачная	Мелкое	1,76	высокое	мелкое	отработано
2	им. XXIII съезда КПСС	Мелкое	3,73	уникальное	мелкое	отработано
3	Спутник	Мелкое	0,65	среднее	мелкое	отработано
4	Интернациональная	Среднее	8,27	уникальное	уникальное	разрабатываемое
5	Мир	Крупное	3,61	уникальное	уникальное	консервация
6	Таежная	Среднее	0,22	низкое	мелкое	отработано
Накынское поле						
7	Ботуобинская	Среднее	6,36	уникальное	уникальное	разрабатываемое
8	Нюрбинская	Среднее	4,53	уникальное	уникальное	разрабатываемое
9	тело Майское	Мелкое	6,46	уникальное	мелкое	подготавливаемое
Алакит-Мархинское поле						
10	Айхал	Среднее	5,71	уникальное	уникальное	разрабатываемое
11	Краснопресненская*	Крупное	1,32	среднее	среднее	в резерве
12	Заря	Среднее	0,29	низкое	мелкое	подготавливаемое
13	Комсомольская	Среднее	0,38	среднее	мелкое	разрабатываемое
14	Сытыканская	Крупное	0,16	высокое	мелкое	отработано
15	Юбилейная	уникальное	1,24	среднее	уникальное	разрабатываемое
Далдынское поле						
16	Дальняя	Крупное	0,54	среднее	мелкое	в резерве
17	Иреляхская*	Мелкое	0,36	среднее	мелкое	в резерве
18	Зарница	Крупное	0,24	низкое	среднее	разрабатываемое
19	Удачная	Крупное	1,49	высокое	уникальное	разрабатываемое
Верхнемунское поле						
20	Деймос	Мелкое	0,5	среднее	мелкое	разрабатываемое
21	Заполярная	Среднее	0,67	среднее	мелкое	разрабатываемое
22	Комсомольская-Магнитная	Среднее	0,50	среднее	мелкое	разрабатываемое
23	Новинка	Среднее	0,69	среднее	мелкое	разрабатываемое
24	Поисковая*	Среднее	0,33	среднее	мелкое	отработано

Иреляхская*- беднотоварное месторождение

По среднему содержанию алмазов – уникальные месторождения составляют 30 % (Интернациональная, Майское, Ботуобинская, Айхал, Нюрбинская, Мир, XXIII съезд КПСС), преобладают месторождения со средним содержанием алмазов (0,3-1,0 кар/т).

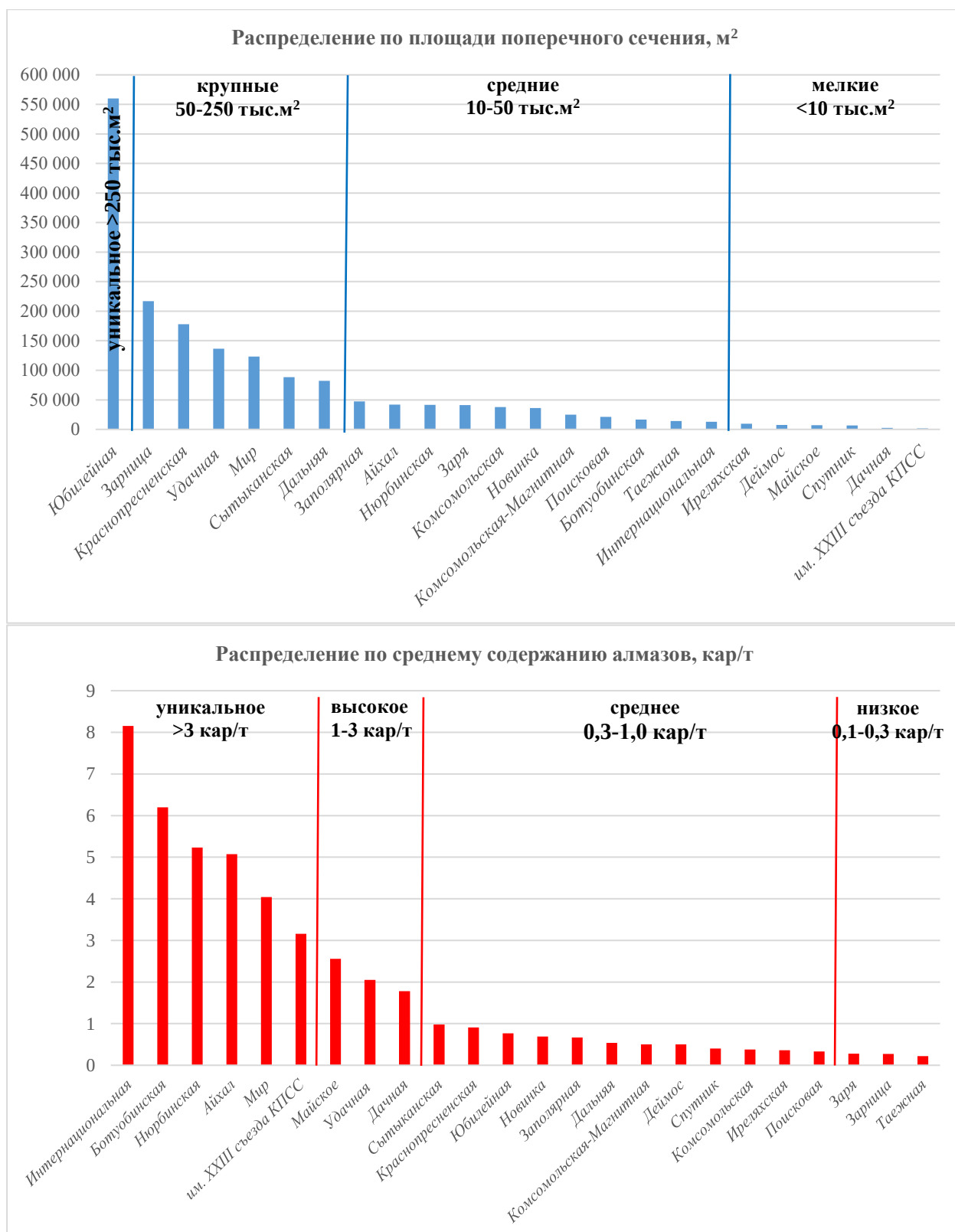


Рисунок 7. Гистограмма распределения основных геолого-промышленных типов коренных месторождений ЯАП.

Четкой корреляционной связи размеров кимберлитовых тел и их алмазоносности нет, небольшие трубки, так же, как и крупные диатремы могут быть промышленно-алмазоносными и неалмазоносными. Кимберлитовые тела

небольших размеров в пределах кимберлитовых полей встречаются весьма часто, а общие запасы кимберлитовых пород и алмазов в их полной для поля совокупности соизмеримы с этими показателями, установленными для единичных крупных тел. При этом даже самые мелкие из кимберлитовых тел представляют экономический интерес [Цыганов, 2005], (Рисунок 8).

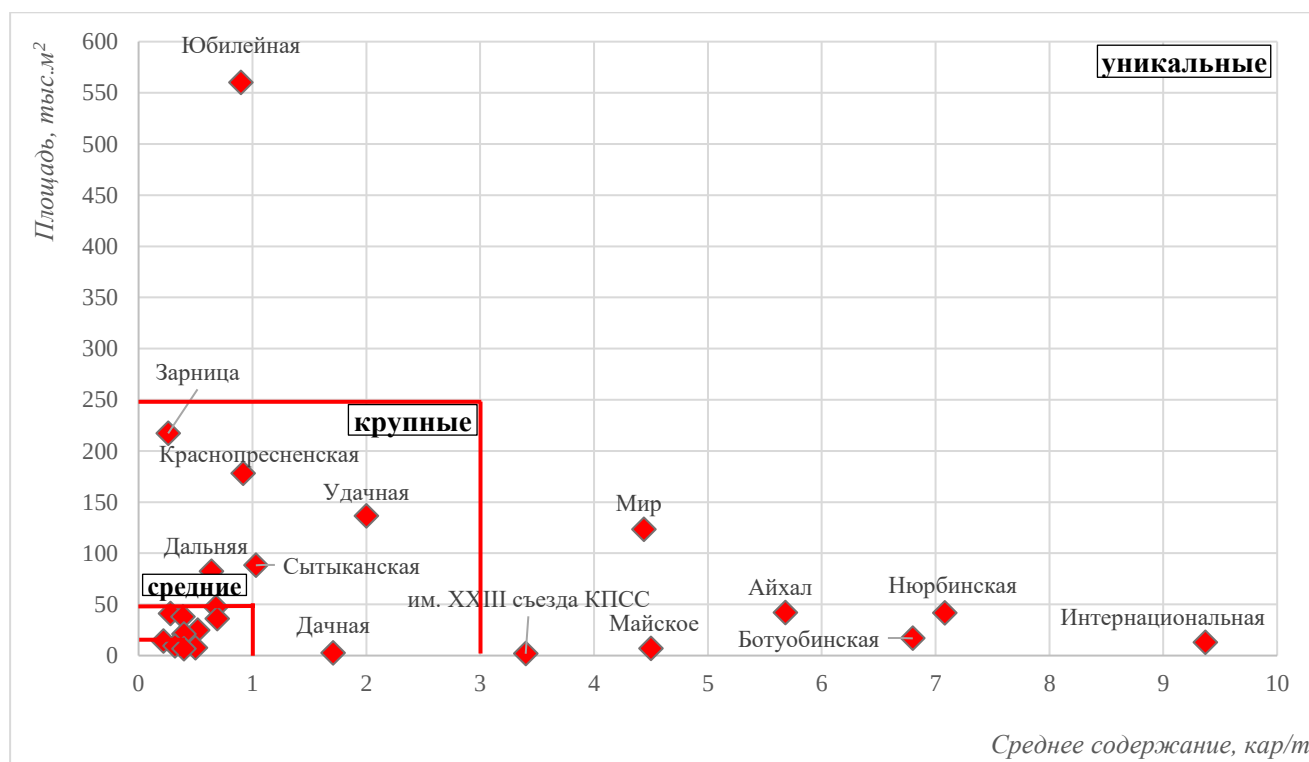


Рисунок 8. Соотношение размеров и алмазности коренных месторождений алмазов Западной Якутии

Главным фактором при оценке прогнозных ресурсов является выбор эталонного объекта, где учитывается весь комплекс данных о геолого-промышленных и генетических типах месторождений, особенностях их размещения, геологического строения, морфологии и степени алмазности, полученных ранее в результате разномасштабных поисковых и разведочных работ. Для оценки перспективного объекта перспективного кимберлитового поля должны использоваться параметры объекта аналогичного по рангу [Кривцов, 2010]. Фактические данные алмазоносных кимберлитовых трубок объекта-аналога и средневзвешенные значения параметров модельного объекта представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

Эталонные модели кимберлитовых полей ЦСС

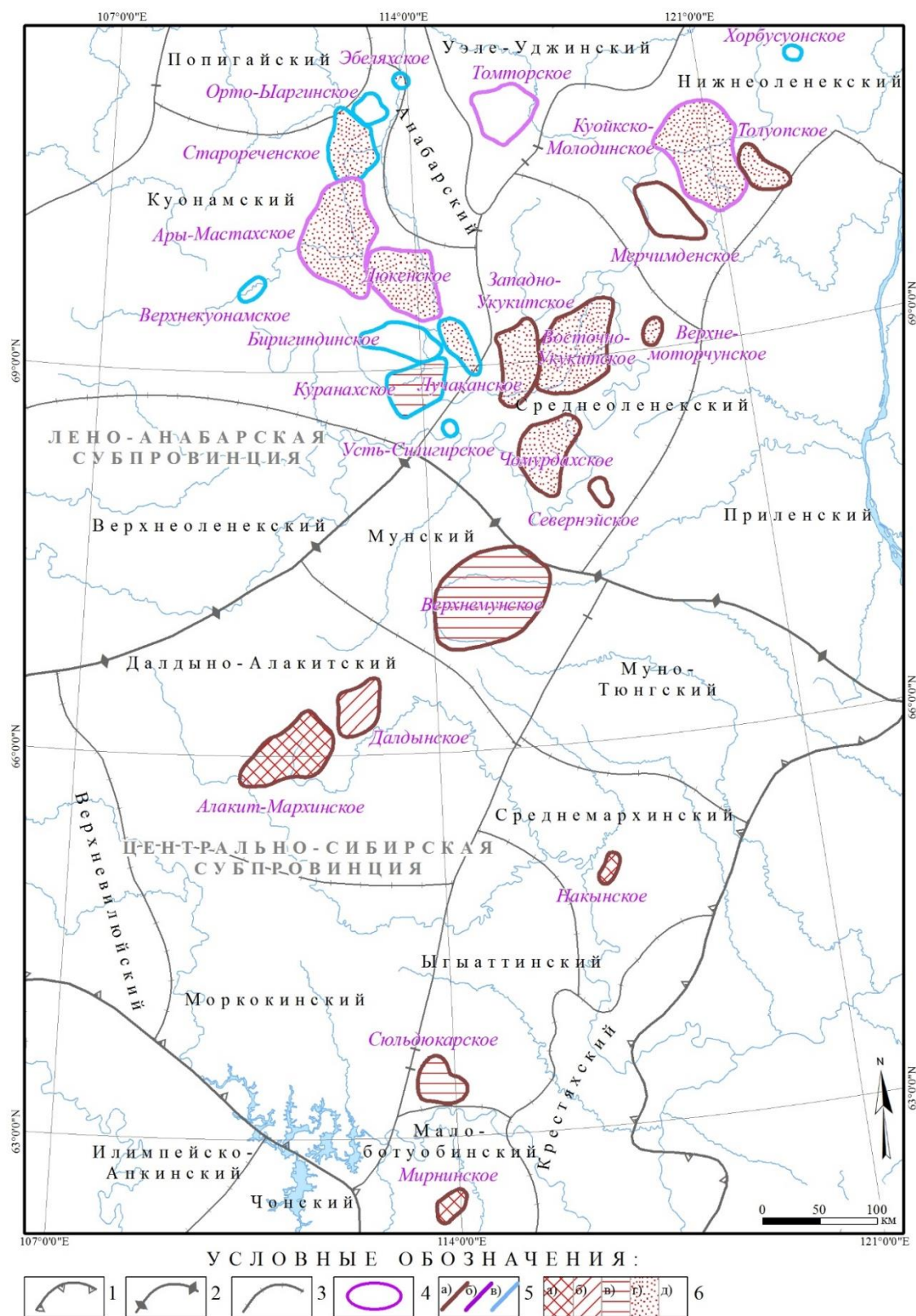
№ п/п	Месторождение	ср.S, тыс.кв.м	глубина ПЗ, м	ср.сод, кар/т	запасы, тыс.кар.	% от общ.сод.алм
Мирнинское кимберлитовое поле						
1	Мир	92,1	1635	3,607	453000	75,2
2	Интернациональная	9,0	1650	8,269	146100	24,3
3	им.ХХІІІ съезда КПСС	1,0	195	3,73	1214	0,2
4	Дачная	1,4	150	1,76	761,4	0,1
5	Таежная	8,9	200	0,22	464,2	0,1
6	Спутник	4,8	340	0,648	833	0,1
	Сумма				602372,6	100
	ср.взвеш	71,5	1632	4,73		
Накынское кимберлитовое поле						
7	Нюрбинская	34,6	750	4,525	145400	55,3
8	Ботуобинская	15,1	780	6,358	102200	38,9
9	тело Майское	7,8	400	6,455	15300	5,8
	Сумма				262900	100
	ср.взвеш	25,5	741	5,35		
Алакит-Мархинское кимберлитовое поле						
10	Айхал	26,5	900	5,712	163500	31,2
11	Сытыканская	64,2	600	0,16	14300	2,7
12	Краснопресненская	97,9	522	1,319	35120	6,7
13	Юбилейная	426,2	1300	1,238	297200	56,7
14	Комсомольская	25,8	350	0,38	7400	1,4
15	Заря	101,5	510	0,285	7100	1,4
	Сумма				524620	100
	ср.взвеш	259,7	1080	2,58		
Далдынское кимберлитовое поле						
16	Удачная	249,7	1600	1,494	1025990	94,9
17	Дальняя	67,5	400	0,54	9700	0,9
18	Иреляхская	7,8	200	0,36	1520	0,1
19	Зарница	197	400	0,238	43710	4,0
	Сумма				1080920	100
	ср.взвеш	245,6	1539	1,43		
Верхнемунское кимберлитовое поле						
20	Заполярная	40,2	400	0,67	21702,4	51
21	Деймос	6,4	200	0,5	1578,9	4
22	Новинка	25	320	0,69	10540,2	25
23	Комсомольская- Магнитная	20,2	300	0,5	6607,3	16
24	Поисковая	15,3	200	0,33	1902,4	4
	Сумма				42331,2	100
	ср.взвеш	30,9	348	0,63		

Для ранжирования кимберлитовых полей использовалась степень алмазоносности, основанная на среднем содержании алмазов кимберлитовых тел в пределах поля, высокоалмазоносных кимберлитовых поля четыре: Мирнинское, Накынское, Алакит-Мархинское, Далдынское; к среднеалмазоносным полям

отнесены три поля: Верхнемунское, Куранахское и недавно открытое Сюльдюкарское поле; к низкоалмазоносным и весьма низкоалмазоносным полям относятся: Лучаканское, Дюкенское, Ары-Мастахское, Старореченское, Верхнекуонамское, Чомурдахское, Западно-Укукитское, Восточно-Укукитское, Верхне-Моторчунское, Куойско-Молодинское, Толуопское, неалмазоносными полями являются Усть-Силигирское, Биригиндинское, Эбеляхское, Севернэйское, Мерчимденское, Хорбусуонское и Томторское.

Возраст поля определялся по абсолютному возрасту кимберлитовых тел в его пределах, так в Центрально-Сибирской субпровинции развит среднепалеозойский возраст кимберлитообразования, в Лена-Анабарской - палеозойский и мезозойский. Для четырёх кимберлитовых полей (Дюкенского, Ары-Мастахского, Куойско-Молодинского и Томторского) явного преобладания одного возраста кимберлитовых тел не установлено, поэтому они отнесены к полихронным (Рисунок 9).

Исходя из структурно-тектонических, вещественно-индикационных параметров и дистанционного анализа, на территории Якутской алмазоносной провинции выделяются следующие кимберлитовые поля с границами и вычисленной площадью (Таблица 3).



1 - контур Якутской алмазоносной провинции; 2 - границы субпровинций: Центрально-Сибирской и Лено-Анабарской; 3 - контуры алмазоносных районов; 4-6 - контуры известных кимберлитовых полей ЯАП; 5 - ранжированные по возрасту: а) среднепалеозойские; б) полихронные; в) мезозойские; 6 - ранжированные по алмазоносности: а) уникальные, б) высокоалмазные, в) среднеалмазные, г) низкоалмазные, д) неалмазные

Рисунок 9. Схема расположения известных кимберлитовых полей Западной Якутии

Таблица 3. Каталог кимберлитовых тел Якутской алмазоносной провинции

№ п/п	Субпровин- ция	Район	Поле	Σ тел	Морфология					Q алмаз тел	сод.алмазов, кар/т	Q местор алмазов	степень алмазоносности
					трубка	шток	дайка	жила	пр.				
1	Центрально- Сибирская	Малоботуобинский	Мирнинское	9	7			2		8	0,04-8,27	6	высоко
2		Ыгыаттинский	Сюльдюкарское	2	1			1		1	0,5	0	средне
3		Среднемархинский	Накынское	6	2			1	3	4	0,2-6,36	3	высоко
4		Далдыно-Алакитский	Алакит-Мархинское	105	66	1	1	31	6	51	0,0002-5,71	6	высоко
5			Далдынское	70	62		3	5		61	0,0004-2,11	4	высоко
6		Мунский	Верхнемунское	28	19		2	7		12	0,0004-0,69	5	средне
		ИТОГО		220	157	1	6	47	9	137		24	
7	Лено- Анабарская	Куонамский	Усть-Силигирское	3	3					0	0	0	нет
8			Куранахское	30	16	4	10			11	0,0001-0,44	0	средне
9			Биригиндинское	16	4	4	6	2		0	0	0	нет
10			Лучаканское	48	22	17	9			7	0,0004-0,08	0	низко
11			Дюкенское	93	34	39	19	1		23	0,0003-0,029	0	низко
12			Ары-Мастахское	81	39	33	9			9	0,001-0,01	0	низко
13			Старореченское	38	31	7				5	0,0002-0,03	0	низко
14			Эбеляхское	3	2	1				2	0,002-0,007	0	нет
15			Верхнекуонамское	2		1	1			0	0	0	низко
16		Среднеоленекский	Севернэйское	3	2			1		0	0	0	нет
17			Чомурдахское	45	26		16	3		2	0,0005-0,028	0	низко
18			Западно-Укукитское	68	30	10	28			4	0,011-0,076	0	низко
19			Восточно-Укукитское	49	35	1	13			2	0,0003-0,003	0	низко
20			Верхне-Моторчунское	17	5		12			5	0,0001-0,02	0	низко
21		Нижнеоленекский	Мерчимденское	52	34	4	10	4		0	0	0	нет
22			Куойско-Молодинское	145	99	8	30	8		13	0,00001-0,07	0	низко
23			Толуопское	15	11			4		1	0,0004	0	низко
24			Хорбусуонское	4	1		3			0	0	0	нет
25		Уэле-Уджинский	Томторское	61	41	7	6	7		0	0	0	нет
26		Маймеча-Котуйский	Харамайское	58	42		16			27	0,001-0,24	0	низко
				831	477	136	188	30	0	111			

Таблица 4. Каталог кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции

№ п/п	Субпр.	Район	Поле	Возраст	Алмазо-носность	Ср.сод, кар/т	Площадь, км ²	Размеры, км	Номенклатура м-ба 1:200 000
1	Центрально-Сибирская	Малоботуобинский	Мирнинское	PZ	высоко	0-9,37	494	33,8x17,7	P-49-XVIII; P-50-XIII
2		Ыгыаттинский	Сюльдюкарское	н.д.	средне	0,5	1401	61,5x28	P-49-VI; P-49-XII
3		Среднемархинский	Накынское	PZ	высоко	0-7,08	323	28,7x12,4	Q-50-XXVII, XXVIII
4		Далдыно-Алаkitский	Алаkit-Мархинское	PZ	высоко	0-5,68	3091	87,8x46,4	Q-49-XV, XVI, XXI, XXII
5		Далдыно-Алаkitский	Далдынское	PZ	высоко	0-2,0	1322	57,6x38,4	Q-49-XVII, XVIII
6		Мунский	Верхнемунское	PZ	средне	0-0,69	285	22,3x17,4	Q-50-VII, VIII
7	Лено-Анабарская	Куонамский	Усть-Силигирское	MZ	нет	0	139	14x12,2	R-50-XXXI, XXXII
8		Куонамский	Куранахское	MZ	средне	0-0,28	1760	60,2x35	R-49-XXIX, XXX; R-50-XXV
9		Куонамский	Биригиндинское	MZ	нет	0	1520	71,3x27,7	R-49-XXIII, XXIV, XXIX, XXX; R-50-XXV, XXVI
10		Куонамский	Лучаканское	MZ	низко	0-0,2	1034	55,4x24,7	R-50-XXV, XXVI, XIX, XX
11		Куонамский	Дюкенское	PZ-MZ	низко	0-0,029	2765	81x49,7	R-49-XXIII, XXIV; R-50-XIX, XX
12		Куонамский	Ары-Мастахское	PZ-MZ	низко	0-0,014	4527	103,8x71	R-49-XV-XVIII, XXI-XXIV
13		Куонамский	Старореченское	MZ	низко	0-0,03	1826	62x38,4	R-49-XI, XII, XVII, XVIII
14		Куонамский	Эбеляхское	MZ	низко	0-0,007	138	14x12,2	R-49-XI, XII; R-50-VII, VIII
15		Куонамский	Верхнекуонамское	MZ	нет	0	290	26,5x12,4	R-49-XXI, XXII
16		Среднеоленецкий	Севернэйское	PZ	нет	0	327	26,3x13,2	Q-50-III, IV; R-50-XXXIII, XXXIV
17		Среднеоленецкий	Чомурдахское	PZ	низко	0-0,028	2686	82,6x54	Q50-III, IV; R50-XXXI-XXXIV
18		Среднеоленецкий	Западно-Укукитское	PZ	низко	0-0,076	1806	77,5x26,4	R-50-XXV-XXXVIII
19		Среднеоленецкий	Восточно-Укукитское	PZ	низко	0-0,003	3882	96x61,2	R-50-XXI-XXIV, XXVII-XXX
20		Среднеоленецкий	Верхне-Моторчунское	PZ	низко	0,0001-0,02	310	24,7x15,2	R-50-XXIX, XXX
21		Нижнеоленецкий	Мерчимденское	PZ	нет	0	1875	73,6x36,6	R-50-XVII, XVIII, XXIII, XXIV; R-51-XIII, XIV, XIX, XX
22		Нижнеоленецкий	Куойско-Молодинское	PZ-MZ	низко	0-0,07	3982	94,7x56	R-50-XI, XII, XVII, XVIII; R-51-VII, VIII, XIII, XIV
23		Нижнеоленецкий	Толуопское	PZ	низко	0-0,0004	888	52x19,2	R-51-XIII-XVI
24		Нижнеоленецкий	Хорбусуонское	MZ	нет	0	158	15,2x12	R-51-IX, X
25		Уэле-Уджинский	Томторское	PZ-MZ	нет	0	1874	58x50	R-50-VII-X

*Алмазоносность (ср. содержание кар/т) > 1 кар/т- высоко алмазоносное; 0,3-1,0 кар/т- средне алмазоносное; 0,1-0,3 кар/т- низко алмазоносное; 0,00001-0,1 кар/т- убого алмазоносное; 0,0 кар/т- неалмазоносное; *Возраст: PZ- палеозойское; MZ- мезозойское; PZ-MZ – полихронное

Созданная автором цифровая база данных коренных и россыпных объектов алмазов позволила получить достоверные данные о пространственном положении, алмазоносности и возрасте кимберлитовых тел, составить кадастры кимберлитовых тел, месторождений алмазов, кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции. По полученным цифровым данным (кимберлитовые трубки, россыпные проявления), впервые создана схема коренной и россыпной алмазоносности Западной Якутии, масштаба 1:1 000 000.

Проведена работа, обобщающая все известные месторождения и проявления алмазов, находящиеся в распределенном и нераспределенном фонде недр. Учтены данные фондовых материалов, протоколы заседаний РКЗ, ТКЗ, ГКЗ. В созданной базе данных по проявлениям кимберлитового магматизма в Якутской алмазоносной провинции корректно собраны основные геолого-экономические данные по коренным и россыпным месторождениям и проявлениям алмазов. Распределение коренных месторождений алмазов по площади сечения на эрозионной поверхности имеет отчетливо экспоненциальный вид – уникальные тела единичны, число средних и мелких тел существенно больше. По содержанию алмазов преобладают средние тела (0,3-1,0 кар/т).

Четкой корреляционной связи размеров кимберлитовых тел и их алмазоносности нет, небольшие трубки, так же, как и крупные диатремы могут быть промышленно-алмазоносными и неалмазоносными. Даже самые мелкие из кимберлитовых тел представляют практический интерес [Цыганов, 2005].

Созданы эталонные модели кимберлитовых полей Центрально-Сибирской субпровинции для дальнейшей оценки прогнозных ресурсов в Республике Саха (Якутия).

Ранжированы кимберлитовые поля по возрасту кимберлитообразования и степени алмазоносности. В настоящее время выделенные контуры полей используются во всех подразделениях геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО).

ГЛАВА 2. Краткая геологическая характеристика изучаемой площади

2.1. Общие сведения о районе работ

Еркютейское прогнозируемое кимберлитовое поле расположено на территории Мирнинского района Республики Саха (Якутия) в междуречье рр. Ыгыатта, Аппыча и Холомолох-Юрях, в пределах тополистов: Р-50-I, II. В юго-западной части поля находится с. Сюльдюкар- административный центр МО «Садынский национальный эвенкийский наслег» Мирнинского района РС (Я). Расстояние до ближайших населенных пунктов с развитой инфраструктурой (в т. ч. ГЭС): п. Светлый — 96 км; п. Чернышевский — 134 км; г. Мирный — 131 км. Расстояние до круглогодичной автотрассы Мирный — Айхал — 103 км (Рисунок 10).

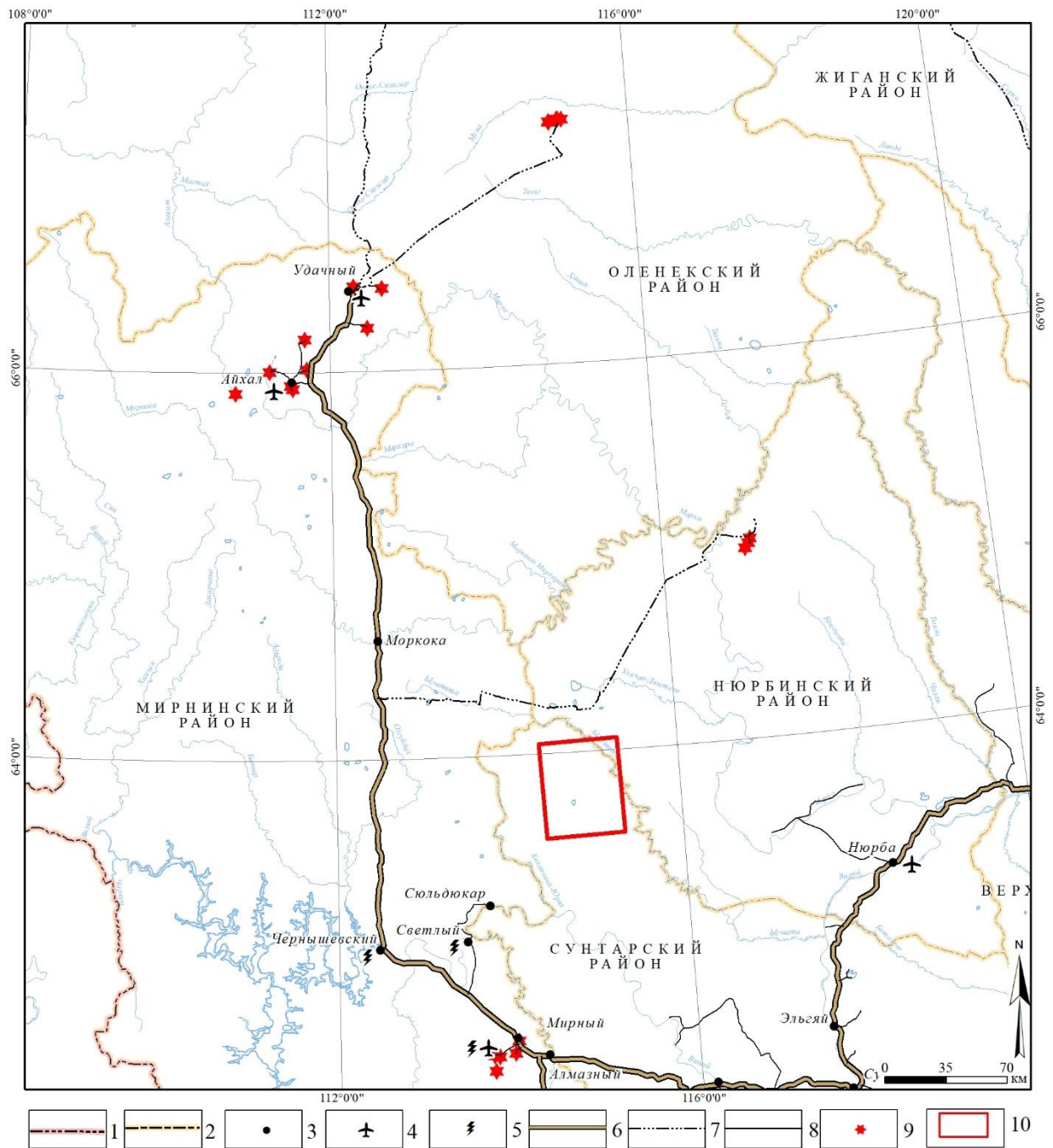
В соответствии с минерагеническим районированием площадь располагается в центральной части Ыгыаттинского алмазоносного района [Горев, 2008ф].

Геологическая изученность

Геолого-съёмочные работы сопровождались общими поисками коренных и россыпных месторождений алмазов путем опробования отложений современных водотоков и опробования базальных горизонтов продуктивных отложений из разрезов, вскрытых горными выработками.

С 1953 по 1973 гг. проводилась полистная геологическая съёмка масштаба 1:200 000. Работы выполнены геологами экспедиции №3 ВАГТ, Амакинской и Ботубинской ГРЭ, [Колобова, 1954ф.; Тулахонов, 1954ф.; Белик, 1960ф, 1961ф и 1963ф]. По результатам работ составлены геологические карты поверхности. Выделены участки перспективные для поисков коренных месторождений алмазов и промежуточных коллекторов.

В 1968–1970 гг. на правобережье среднего течения р. Ыгыатта, в верховьях р. Холомолох-Юрях, руч. Арга-Кютерях и Еркютей производились работы по ГГС-50: Средне-Ыгыаттинская партия [Сафьянников, 1970ф], Озёрная партия [Аммосов, 1970ф], Озёрная партия [Аммосов, 1971ф].



1- административная граница Республики Саха (Якутия); 2- административные границы районов; 3- населенные пункты; 4- аэродромы; 5- ГЭС, тепловые станции; 6-8 дороги: 6- круглогодичная основная, 7- зимник, 8- грунтовая улучшенная; 9- эксплуатируемые месторождения алмазов; 10- контур площади.

Рисунок 10. Географо-экономическая схема района работ

Даны рекомендации на проведение детальных поисковых работ в районе верховья руч. Арга-Кютерях. Для русловых отложений руч. Кютер-Кюеллях и террасовых образований р. Ыгыатта установлена слабая алмазоносность. По результатам ГГК выполненного Озерной геолого-съемочной партией [Аммосов, 1971ф], был выделен и рекомендован к проведению поисковых

работ на алмазы перспективный участок на междуречье Еркютей и Буктуур-Юрях (правобережье р. Ыгыатта).

В 1988–1992 гг. на водоразделе верховий ручьев Аппыча и Огогут, проведена групповая геологическая съёмка масштаба 1:50 000, сопровождаемая бурением структурных и поисково-картировочных скважин в комплексе с ГИС и шлиховым опробованием. С целью изучения алмазоносности осуществлялась проходка шурфов по горным линиям. Работы выполнены Аппычинской партией Ботуобинской ГРЭ [Копылов, 1992ф]. По результатам проведенных работ изучено строение верхнепалеозойских и мезозойских отложений, условия их формирования. Выявлены и оконтурены 8 ореолов ИМК, установлены геохимические аномалии.

В 1990–1991 гг. в юго-восточной части площади, в бассейнах рр. Огогут и Ыгыатта силами Тастахской партии Ботуобинской ГРЭ [Гоглов, 1994ф] проведены поисковые работы, сопровождаемые шлиховым и геохимическим опробованием водотоков, отбором мелкообъёмных проб, проходкой шурфов по базальным горизонтам на наиболее перспективных участках. Параллельно проводилась гравиметрическая съёмка на площади 2410 км². По результатам проведенных работ выявлены ореолы ИМК, рекомендованные для дальнейшего изучения.

В 1988–1990 гг., Ыгыаттинской партией БГРЭ проведены поисковые работы [Боровков, 1990ф]. Комплекс работ включал: проходку структурных, поисково-картировочных и поисковых скважин по сети 8×1 км; проходку скважин по заверке аномалий с комплексом ГИС; проходку шурфов с применением БВР; полный комплекс опробовательских работ. По результатам работ, в целом, дана отрицательная оценка коренной алмазоносности изученной территории.

В 1990–1993 гг. в междуречье Аппыча и Огогут, силами БГРЭ проводились поисковые работы на алмазы по Утунинскому объекту [Выходцев, 1994ф]. Работы сопровождались колонковым бурением скважин по сети (500–250)×(500–125) м. Параллельно производилась заверка

магнитных аномалий. По всем скважинам проведён комплекс ГИС. На локальных участках проведены сейсморазведочные, магниторазведочные и электроразведочные работы. По результатам проведенных работ локализованы ореолы рассеяния ИМК «Аппыча» и «Утуна», выявлены перспективные геохимические аномалии, выделены участки, перспективные на проявление кимберлитового магматизма.

В 1991–1996 гг., на сопредельной с севера территории, Ботубинской ГРЭ выполнены поисковые работы на алмазы по Чагдалинскому объекту. Работы включали: проходку шурфов с БВР; колонковое бурение с комплексом ГИС; шлиховое, мелкообъемное и крупнообъемное опробование руслового аллювия водотоков и базальных слоев верхнепалеозойских и нижнемезозойских отложений; обогащение «песков»; профильные электроразведочные работами [Емельянов, 1996ф]. По результатам проведенных работ установлена алмазоносность верхнепалеозойских отложений, выделен высококонтрастный ореол ИМК "Озёрный", выполнена разбраковка площади по степени перспективности на коренную и россыпную алмазоносность, рекомендованы локальные участки для постановки детальных поисковых работ.

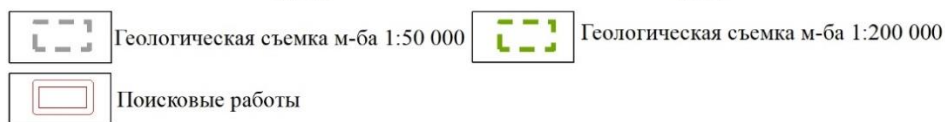
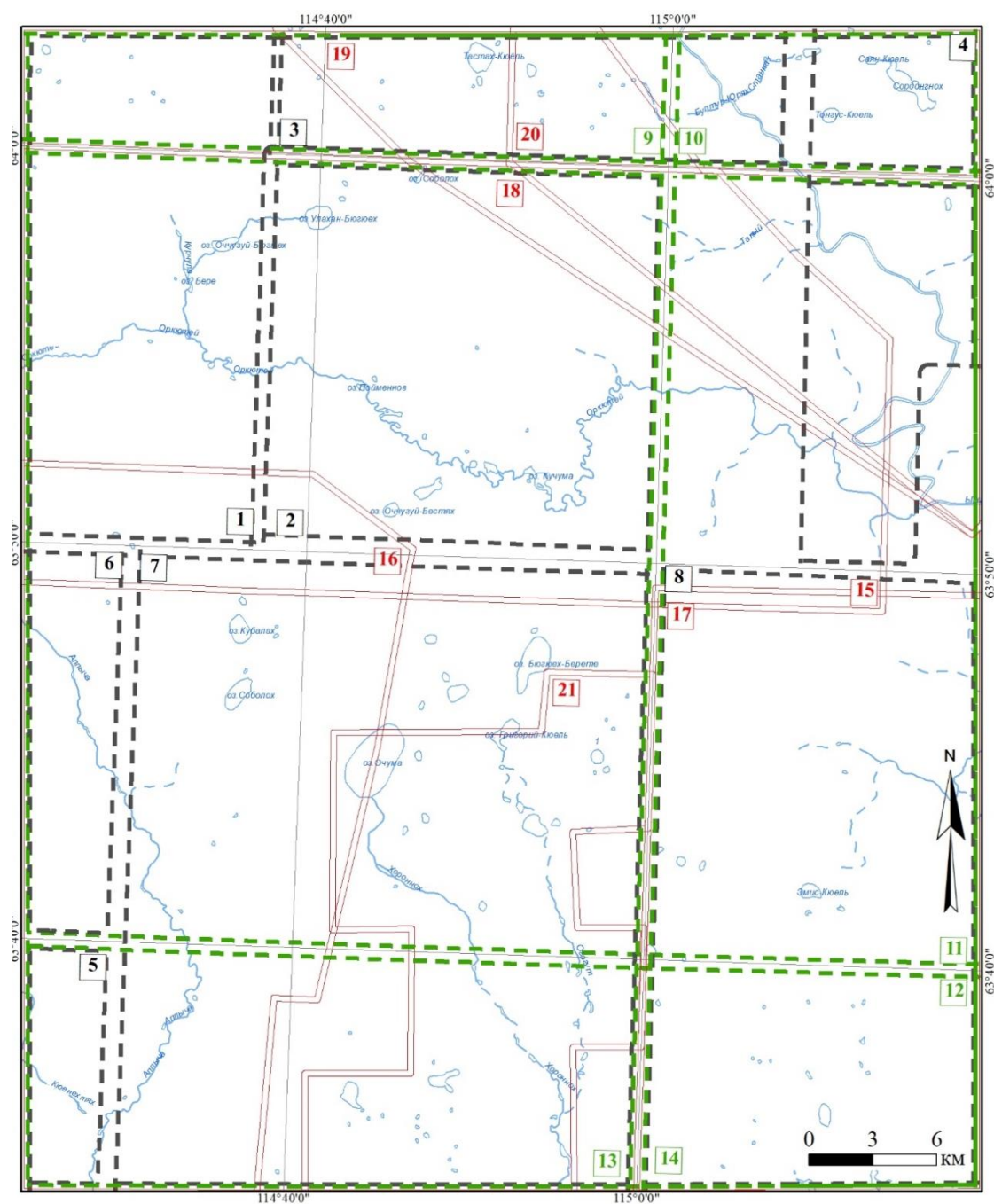
По результатам проведенных мелкомасштабных поисковых работ по объекту Хампинский в 2008–2012 гг. [Храмцов, 2012ф], включающие в себя производство маршрутных, опробовательских, буровых, горнопроходческих, сейсморазведочных, магниторазведочных, гравиразведочных, электроразведочных работ, а также геофизические исследования в скважинах, было в значительной степени уточнено геологическое строение площади работ. На основании выявленных ореолов ИМК выделены площади перспективные на коренную алмазоносность. Даны рекомендации по направлению дальнейших поисковых работ.

По результатам проведенных поисковых работ по объекту Правобережный-1, примыкающий с севера к изучаемой территории, в 2011–2014 гг. [Константинов, 2014ф], включающие в себя производство

маршрутных, опробовательских, буровых (по сети $(2-1) \times 1$ км), горнопроходческих (с применением БВР), гравиразведочных работ, а также геофизические исследования в скважинах, было в значительной степени уточнено геологическое строение площади работ. На основании изучения выделенных ореолов ИМК, с признаками ближнего сноса («К-71», «К-72», «Хору», «Лиендокитский», «Аччыгый», «Ан-1», «Кюель-Юряхский»), выделены участки перспективные на коренную алмазоносность («Сюгджерский-Восточный», «Аномальный» и «Саламачанский»). Даны рекомендации по направлению дальнейших поисковых работ.

В период с 2013 по 2015 гг., Ботуобинской экспедицией были выполнены поисковые работы на алмазы в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны в бассейне среднего течения р. Ыгыатта (объект Хампинский-1 [Константинов, 2015 ф]). Выделены и рекомендованы к проведению поисковых работ участки перспективные на коренную алмазоносность (в пределах 3-х выделенных прогнозируемых кимберлитовых полей): «Северный», «Кютерский», «Восточный-1», и «Бюгюехский». Даны рекомендации по методике проведения дальнейших поисковых работ.

С 2015-2020 гг. были проведены поисковые работы в рамках объекта «Хампинский-2» [Аржаков, 2020ф]. В результате выполненных работ, подтверждены и уточнены перспективы ранее выделенных участков, локализованы участки перспективные на выявление алмазоносных кимберлитовых тел, даны рекомендации по их дальнейшему изучению (Рисунок 11).



Номер	Автор	Масштаб	Вид работ	Год	Номер	Автор	Масштаб	Вид работ	Год
1	Сафьянников Ю.В.	1:50.000	ГС	1969	12	Дорганов Г.Ф.	1:200.000	ГС	1955
2	Аммосов А.А.	1:50.000	ГС	1970	13	Белик Ю.П.	1:200.000	ГС	1961
3	Сафьянников Ю.В.	1:50.000	ГС	1970	14	Белик Ю.П.	1:200.000	ГС	1963
4	Аммосов А.Д.	1:50.000	ГС	1970	15	Боровков В.В.	1:100.000	ОП	1990
5	Боровков В.В.	1:50.000	ГГС	1979	16	Галкина Н.А.	1:100.000	ПР	1968
6	Овчинников С.В.	1:50.000	ГГС	1982	17	Гоголов Г.Г.	1:100.000	ОП	1993
7	Копылов Г.Н.	1:50.000	ГГС	1992	18	Храмцов А.А.	1:100.000	ПО-А	2012
8	Копылов Г.Н.	1:50.000	ГГС	1999	19	Князьков А.П.	1:100.000	ПР	2011
9	Колобова Н.И.	1:200.000	ГС	1954	20	Емельянов В.С.	1:200.000	ОП	1996
10	Тулохонов М.И.	1:200.000	ГС	1954	21	Выходцев А.Г.	1:50.000	ОП	1993
11	Скульский В.Д.	1:200.000	ГС	1954					

Рисунок 11. Схема геологической изученности Еркютейского поля

Геофизическая изученность

Начиная с 1953 года, на региональной стадии работ, вся территория объекта была покрыта аэромагнитными съемками масштаба 1:1000000 [Блюменцвайг, 1955ф] и масштаба 1:200000 [Бабушкин, 1957ф; Иванюков, 1957ф], на отдельных участках масштаба 1:25000 [Фоминих, 1958ф; Орлов, 1959, 1960ф]. По результатам исследований были получены первые представления о составе и строении кристаллического фундамента этой территории, выявлены региональные зоны разломов, закартированы проявления траппов среднепалеозойского возраста в виде даек.

На территории Вилуй-Моркокинского междуречья с применением КАМ-28, проводились аэромагнитные съемки масштаба 1:50000 [Парасотка, 1978 ф], 1:25000 [Парасотка, 1976, 1978 ф] и 1:10000 [Самынская, 1970 ф]. По материалам проведенных работ были составлены схемы строения фундамента, протрассированы дайки долеритов среднепалеозойского возраста северо-восточного простирания, отвечающие разломам Вилуйско-Мархинской зоны, закартированы площади распространения покровных интрузий триасового возраста, выделены и детализированы на земле локальные аномалии, при заверке которых вскрыты несколько трубок взрыва туфового состава.

С конца 70-х годов прошлого века с целью выявления аномалий «трубочного» типа, на части площади выполняются детальные геофизические исследования [Кассин, 1980, 1982ф]. Выделенные локальные аномалии заверены, кимберлитовых тел не выявлено.

С 1987 года аэромагнитные исследования на этой территории ведутся с помощью аэромагнитометров ММ-305М и ММ-01, обладающих улучшенными техническими характеристиками и цифровой регистрацией сигнала. Площади повторно покрываются аэромагнитными съемками масштаба 1:25000 [Покровский, 1988, 1993ф]. Выделено и детализировано около 30 аномалий. По результатам наземной детализации они отнесены к неперспективным для поисков кимберлитовых тел.

С аппаратурой «Аэромастер» была проведена аэромагнитная съемка масштаба 1:10000 и 1:5000 на большей части площади лицензии [Князьков, Бондаренко, 2011ф; Бондаренко, 2013ф]. В результате этих работ уточнено строение Вилуйско-Мархинской зоны, прослежены нарушения Ангаро-Вилуйской, Укугут-Хампинской зон, Ыгыаттинской рифтоподобной структуры. Закартированы нарушения полукольцевой формы, выделены по структурно-тектоническим критериям два перспективных геологических участка и локальные аномалии.

В 2002 году по материалам аэромагнитных съемок масштаба 1:25000 на территорию междуречья рек Моркока-Марха-Тюнг была составлена сводная цифровая карта аномального магнитного поля Вилуйско-Мархинской кимберлитоконтролирующей зоны и ее обрамления [Эринчек, 2002ф].

Наземные магниторазведочные работы, в основном, проводились вдоль рудоконтролирующих разломов на перспективных участках, с целью выявления аномалий трубчатого типа. В 1983–1994 годах на площади объекта магнитная съемка выполнялась протонными магнитометрами ММП-203 [Выходцев, Васильев, 1994 ф], [Парасотка, 1995ф].

Начиная с 2009 года наземные магниторазведочные работы осуществляются цезиевыми магнитометрами G-858, 859 в непрерывном режиме. Увеличивается точность съемки до 1 нТл, прослеживаются системы тектонических нарушений разных направлений, не залеченных долеритами, большая часть которых отражена в высокочастотной сейсморазведке. Съемка выполняется на локальных перспективных участках [Храмцов, 2012ф; Константинов, 2015ф]. Локальные магнитные аномалии, в основном, связаны с повышенной намагниченностью перекрывающих отложений. На аномалии М-425 [Константинов, 2015ф], были вскрыты взрывные брекчии с инъекциями кимберлитоподобных пород.

С 1958 года на площади работ проводятся гравиметрические съемки масштабов 1:1 000 000 [Хохоев, 1960ф] и 1:500 000 [Хохоев, 1962ф]. По

материалам этих работ составлены карты гравитационного поля и первые структурно-тектонические схемы на обширную территорию.

В 1962–1970 годах на исследуемой территории с целью оценки перспектив нефтегазоносности выполняются гравиметрические съёмки масштаба 1:200000 [Голубев, 1970ф], по результатам которых были построены карты изоаномал поля силы тяжести масштаба 1:200000 сечением 2 мГл, выделены основные региональные структуры фундамента.

С 1988 года на площади объекта с целью геокартирования и выявления структур, благоприятных для проявления кимберлитового магматизма, проводились внemasштабные профильные гравиметрические работы (ГГС-50, по профилям через 2, 4–5 км с шагом наблюдений через 200 м) [Дмитриев, 1990ф; Гоглов, Спиридонов, 1994ф]. Построены карты аномалий силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя $2,4 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, выделены локальные перспективные участки.

В 2006–2012 годах работы были продолжены [Князьков, Манько, 2011ф; Храмцов, Макаров, 2012ф]. Сеть съёмки $2000 \times 100 \text{ м}$. По результатам съёмки уточнено строение и положение ранее выявленных тектонических нарушений и прослежены разломы Среднемархинской тектонической зоны.

Детальные гравиразведочные работы масштаба 1:10000 на площади объекта выполнялись на двух участках: в зоне Кютерского грабена [Константинов, Макаров, 2015ф] и в зоне Центрального разлома [Аржаков, Макаров, 2018ф], по результатам которых были выделены зоны уплотнения и разуплотнения пород осадочного чехла в условиях площади IV геотипа разреза, прослежены и уточнены основные тектонические нарушения Виллойско-Мархинской зоны разломов.

С целью выявления крупных поднятий в осадочном чехле, перспективных для постановки поисковых работ на нефть и газ почти вся территория покрыта сетью МТЗ [Зуев и др., 1998ф]. Построены карты суммарной продольной проводимости осадочного чехла и схемы рельефа фундамента в масштабе 1:1 000 000.

Среднемасштабные исследования МТЗ для решения алмазописковых задач выполнялись ЯНИГП ЦНИГРИ. Было установлено, что кимберлитовые поля располагаются в древних стабильных (кратонных) блоках, характеризующихся высоким сопротивлением консолидированной коры. На фоне высокоомного разреза кусты кимберлитовых тел приурочены к проводящим глубинным неоднородностям.

На площади объекта в 2009–2017 гг. проводилось МТЗ, АМТЗ [Бессмертный, 2012; 2018ф]. В 2019 году ООО «Северо-Запад» (г. Москва) переобработала материалы с целью формирования геоэлектрической модели кимберлитовых полей, выявление сквозных разноранговых геоэлектрических критериев алмазоносных таксонов [Алексанова, 2020ф].

С 80-ых годов прошлого века на территории Западной Якутии начато широкое применение электроразведки методами переходных процессов (ЗМПП) с целью выявления площадных аномалий ВП, которые могут отвечать кимберлитовым телам и локализации участков для последующей детализации. В междуречье рек Аппыча и Огогут по сети 6×9 км проведены работы с аппаратурой «Цикл-2» [Матросов, 1990ф], выявлено 3 аномалии ВП, которые по характеру затухания электромагнитного поля аналогичны аномалиям, зафиксированным на участках расположения кимберлитовых трубок Малоботубинского района.

Междуречье рек Сюльдюкар и Холмомах-Юрях покрыта электроразведкой методом ПЭЭП [Дергачев, 1986ф]. Полученный материал оказался сложным для интерпретации, дополнительная информация не была получена.

В рамках объекта Хампинский [Храмцов, Федоров, 2012ф] проводились профильные работы методом ЗМПП. Полученные данные по мнению авторов свидетельствуют о достаточно высоких возможностях метода по картированию разломной тектоники, в частности, дайки Западного разлома в условиях развития покровных трапповых образований.

В дальнейшем электроразведочные работы проводятся на локальных участках в масштабе 1:10 000 с целью поисков аномалий проводимости, перспективных для поисков кимберлитовых тел [Храмцов, Федоров, 2012 ф; Константинов, Федоров, 2015 ф; Аржаков, Федоров, 2020 ф]. Получены более детальные данные о структурно-тектоническом строении изучаемой площади, выделены нарушения северо-западного направления, пересекающие основные разломы Вилуйско-Мархинской зоны, которые могут представлять поисковый интерес как области повышенной проницаемости, благоприятные для внедрения кимберлитов.

В восьмидесятых – девяностых годах прошлого столетия площадь работ покрывается сетью сейсморазведочных профилей. Проводятся региональные работы методами ГСЗ, ТСЗ с целью изучения характеристик волнового поля района и выявления глубинных неоднородностей на уровне кора-мантия. Получены глубинные разрезы по основным структурным элементам платформы, детально изучены разрывные нарушения, установлены аномальные значения граничной скорости продольных волн по фундаменту и мантии.

В это же время проведены сейсморазведочные работы по изучению структур фундамента методами МОВ-ОГТ (АО «Якутскгеофизика», ЧГРЭ [Дьяконов, 1986 ф], ИГФЭ [Ковыляева, 1988 ф]). По материалам проведенных работ составлены структурные карты осадочного чехла по основным отражающим горизонтам, выделены и протрассированы в плане и разрезе осадочного чехла разрывные нарушения.

В рамках об. Хампинский-2 [Аржаков, Бояров, 2020 ф] были проведены детальные сейсморазведочные работы МОГТ-2D на площади проектного поискового участка Бюгюехский-1.

Геофизические исследования (ГИС) на площади проектируемых работ проводились во всех скважинах, пройденных при выполнении геологоразведочных работ ВГРЭ (БГРЭ). Основными методами ГИС являются скважинная гамма – спектрометрия (СГК), каротаж магнитной

восприимчивости (КМВ) и скважинная магниторазведка (СМ). Выбор этих методов базировался на их возможности выделять интервалы горных пород, которые по своим физическим свойствам могут отвечать кимберлитам. В скважинах, вскрывших кимберлиты, проводился плотностной каротаж (ГТК-П). В горных выработках, пройденных для выполнения РВГИ, производилась запись развернутого 3D изображения стенок скважин по всей окружности скважинным оптическим телевьювером.

2.2. Стратиграфия

На площади, в современном эрозионном срезе принимают участие карбонатные и терригенно-карбонатные породы кембрия, терригенные породы карбона, перми, вулканогенно-осадочные породы раннего триаса, терригенные отложения юрского периода и четвертичные образования различного генезиса.

Кембрийская система (Є)

Верхний отдел (Є₃)

Аюсокканский – аксайский ярусы

Холомолохская свита (Є₃hl)

Отложения свиты, развиты на всей территории изучаемой площади, и согласно перекрывают отложения мирнинской свиты среднего кембрия. На большей части территории согласно перекрыты осадками балыктахской свиты нижнего ордовика. На участках, где отложения балыктахской свиты эродированы, со стратиграфическим несогласием перекрыты разновозрастными осадочными и магматическими образованиями верхнего палеозоя и мезозоя. На поверхности современного эрозионного среза отложения свиты, установлены по долинам ручьев Дудор, Холомолох-Юрях, Укугут, Аппыча и их притокам. Мощность отложений до 317 м.

Ордовикская система (О)

Нижний отдел (О₁)

Тремадокский – аренигский ярусы

Балыктахская свита (О₁bl)

Отложения свиты согласно перекрывают породы холомолохской свиты верхнего кембрия и с несогласием перекрываются отложениями станской

свиты среднего ордовика. На поверхности современного эрозионного среза отложения свиты установлены на севере изучаемой площади – по долинам руч. Кютер, верховий рр. Кютер-Кюеллях, Дудор, Болотосун и более полно на востоке и северо-востоке отчётной площади по долинам реки Ыгыатта и её притоков; руч. Еркютей, Огогут и Бюгюех-Юрях. Мощность отложений до 390 м.

Средний – верхний отделы (C_{2-3})

Московский – гжельский ярусы

Ботуобинская свита (C_{2-3bt})

На площади работ отложения свиты пользуются широким распространением, занимая около 60% площади развития отложений мезозойского и верхнепалеозойского структурных этажей, перекрывающих нижнепалеозойский терригенно-карбонатный комплекс пород. Осадки свиты с размывом и стратиграфическим несогласием залегают на терригенно-карбонатных породах холомолохской (C_3hl) и балыктахской свит (O_1bl).

На большей части площади отложения ботуобинской свиты перекрыты осадками ахтарандинской свиты (P_1ah) и магматическими породами ахтарандинского комплекса трапповой формации (βT_1a), в редких случаях нижнеюрскими осадками.

Практически повсеместно осадки ботуобинской свиты (C_{2-3bt}) в значительной степени деформированы интрузиями долеритов.

Максимальная вскрытая мощность отложений ботуобинской свиты, в ненарушенном залегании, на изученной территории составляет 122,5 м (скважина 62 по буровой линии 166,5, объект Хампинский [Храмцов, 2012ф]).

Свита сложена циклически построенной толщей, состоящей из чередования пачек серых, зеленовато-серых песчаников и темно-серых и серых алевролитов с подчиненными прослоями гравийно-галечных отложений, аргиллитов и углей.

Пермская система (P)

Нижний отдел (P_1)

Ассельский – кунгурский ярусы

Ахтарандинская свита (P_1ah)

Отложения ахтарандинской свиты (P_{1ah}) на дневной поверхности закартированы в долинах рр. Ыгыатта, Еркютей, Аппыча. Они перекрывают осадки ботубинской свиты (C_{2-3bt}) на всей площади их распространения. В центральной и восточной частях изученной площади, на палеовозвышенностях, где образования ботубинской свиты выклиниваются, отложения ахтарандинской свиты залегают непосредственно на породах нижнепалеозойского цоколя.

На большей части площади распространения отложения свиты перекрыты осадками верхнепермской боруллойской свиты (P_{2br}) или магматическими образованиями трапповой формации. В восточной части площади, с значительным стратиграфическим перерывом, они перекрываются терригенными осадками укугутской (J_{1uk}) и оруктахской свит (J_{1or}) нижней юры. Мощность свиты до 40 м.

Верхний отдел (P_2)
Уфимский – казанский ярусы
Боруллойская свита (P_{2br})

Верхнепермские отложения боруллойской свиты (P_{2br}) на площади проведенных работ пользуются широким распространением. Они установлены повсеместно, за исключением долин р. Холомолох-Юрях, Аппыча, Ыгыатта, их притоков: руч. Кютер, Кютер-Кюеллях и др., где, либо эродированы, либо уничтожены процессами траппового магматизма. Отложения боруллойской свиты с размывом залегают на породах ахтарандинской свиты. На палеоподнятиях в рельефе нижнепалеозойского цоколя отложения боруллойской свиты непосредственно перекрывают терригенно-карбонатные образования холомолохской (C_{3hl}) и балыктахской свит (O_{1bl}) нижнего палеозоя. Мощность от 40 до 125 м.

Триасовая система (Т)

Триасовые образования представлены туфогенными отложениями нижнего отдела и корами выветривания средне-позднетриасового возраста.

Нижний отдел (T_1)
Чичиканская свита ($T_{1чс}$)

Туфогенные отложения чичиканской свиты ($T_1\check{c}\check{c}$) пользуются довольно широким распространением в западной части изученной площади. Их образование связано с заключительной стадией становления Тунгусской синеклизы. Вулканогенно-осадочные образования чичиканской свиты часто прорваны трапповыми интрузиями, среди которых они вскрываются скважинами в виде крупных шлировых обособлений и отторженцев.

Отложения свиты с перерывом и размывом залегают на различных горизонтах верхнего, редко нижнего палеозоя. Мощность свиты в изученных разрезах колеблется от 5 до 90 м.

Плинсбахский ярус (Нижний подъярус) Оруктахская свита (J_{1or})

Отложения оруктахской свиты (J_{1or}) развиты в северной, центральной, восточной, юго-восточной части площади отчётных работ. На западе и юго-западе отмечаются фрагментарно, в виде останцов постюрских эрозионных процессов. Повсеместно в местах распространения выходят на дневную поверхность, перекрываясь маломощными современными четвертичными отложениями.

Породы свиты с размывом залегают на карбонатных породах нижнего палеозоя, терригенных отложениях ботубинской свиты средне-верхнего карбона, песках нижней и верхней перми, на нижнетриасовых долеритах, редко на туфогенных отложениях чичиканской свиты нижнего триаса, согласно или с незначительным внутриформационным перерывом залегают на отложениях укугутской свиты. Абсолютные отметки подошвы отложений оруктахской свиты, в пределах площади, прослеживаются от 195 м в юго-восточной части до 300–315 м в северной и западной части площади.

Плинсбахский (верхний подъярус) – тоарский ярусы Вакунайкинская свита (J_{1vk})

Отложения вакунайкинской свиты (J_{1vk}) широко распространены в восточной части рассматриваемой площади. В западной и центральной её части они встречаются в гораздо меньшем объеме, локально развиты на междуречье рр. Холомолох-Юрях и Ыгыатта. С неглубоким

внутриформационным размывом залегают на осадках оруктахской свиты нижней юры, в редких случаях трансгрессивно с перерывом и размывом на эродированной поверхности карбонатных пород нижнего палеозоя и на породах трапповой формации.

Осадки вакунайкинской свиты представлены морскими, прибрежно-морскими и лагунными отложениями, образованными в условиях относительно спокойной водной среды. Подошва отложений свиты залегает на абсолютных отметках от 300 м в центральной части площади до 225–240 м на востоке.

Кайнозойская эратема (KZ)

Четвертичная система (Q)

Отложения четвертичного возраста имеют широкое распространение на территории исследования. Их генезис разнообразен: делювиальные, аллювиальные, озерно-болотные, элювиально-делювиальные. Возрастной диапазон представлен нижним, верхним и современным звеном.

Предшествующими работами установлена общая зараженность этих отложений ИМК, а для отложений террас и современного руслового аллювия р. Ыгыатта и её притоков руч. Кютер, Кютер-Кюеллях и Еркютей не промышленное содержание алмазов.

По результатам предшествующих работ на площади проводимых работ к среднему звену четвертичных отложений отнесены отложения четвертой ($a4Q_{II}$) надпойменной террасы р. Ыгыатта, имеющие фрагментарное распространение по обоим склонам её долины и преимущественно прослеживаются в приустьевых частях притоков реки (ручьи Бюгюях-Юрях, Тас-Юрях). Установленная мощность данных отложений составляет около 3–5 м, они представлены осадками русловой и пойменной фаций: глины темно-серые, бурые аргиллитоподобные, алевроиты и тонкозернистые пески грязно-серой окраски. Тяжёлая фракция террасовых отложений характеризуется альмандин-магнетит-ильменит-пироксеновой ассоциацией.

Отложения средне-верхнего звеньев (a^3Q_{II-III}) на площади проводимых работ представлены осадками III надпойменной террасы р. Ыгыатта на ограниченных площадках шириной от 300 м до 2 км, протяженностью от 500 м до 2 км с относительным превышением над урезом воды 35–40 м. Они представлены пойменными и русловыми фациями: суглинки, пески с примесью гальки и гравия кварца и кремнистых пород, алевроиты серой окраски с прослоями гравелитов, гравийно-галечные отложения экзотических пород с песчано-глинистым наполнителем.

К верхнечетвертичному звену (a^2Q_{III}) относится аллювий II надпойменной террасы рек Ыгыатта и Огогут. Ширина от 500 м до 2,5 км, протяженность от 600 м до 2,6 км. Аллювий террасы представлен как русловыми, так и пойменными фациями. Минералогический состав тяжёлой фракции представлен алмадин-магнетит-ильменит-пироксеновой ассоциацией.

Отложения верхне-современного звена (a^1Q_{III-IV}) представлены пойменным и русловым аллювием I надпойменной террасы рек Ыгыатта и Огогут. В долине р. Аппыча выделены фрагменты I надпойменной террасы [Копылов, 1992ф] суммарной мощностью 8,4 м, представленные: торфами бурыми мощностью 0,6 м; илами песчанистыми, глинисто-песчанистыми мощностью 2,6 м; песками илистыми с мелкой галькой кварц-кремнистого состава мощностью до 1,5 м; гравийно-галечно-песчаными отложениями жёлтого, ржаво-жёлтого цвета мощностью до 3,7 м.

К отложениям верхнего плейстоцена и голоцена (Q_{III-IV}) относятся также аллювиальные, озерно-болотные осадки котловин и долинообразных понижений, ограниченных траппами в районе озёр Очума-Бюгюёх-Берете; озеро Утунай-Хампа [Копылов, 1992ф].

Современные отложения (Q_{IV}) на площади работ имеют широкое распространение и представлены: пойменным и русловым аллювием всех водотоков с постоянным течением, озерно-болотными и пролювиально-делювиальными, делювиальными и элювиальными отложениями.

Наибольшие мощности, 5–6 метров, характерны для аллювиальных отложений.

2.3. Магматизм

К среднепалеозойскому тектономагматическому циклу относятся породы основного состава, представленные интрузивной, эффузивной и эксплозивной формациями. Более широким распространением пользуются нижнемезозойские породы трапповой формации, занимающие не менее 30% поверхности района.

Среднепалеозойские магматические образования

Магматические породы среднепалеозойского возраста связаны с дайками долеритов, выполняющими разломы Вилуйско-Мархинской зоны, и трубками взрыва, сложенными туфами основного состава.

Вилуйско-Мархинский интрузивный комплекс ($v\beta D_{2-3} vt$)

В Вилуйско-Мархинский комплекс входят силлы и дайки, составляющие две фазы внедрения основной магмы. Первая фаза – это силлы долеритов, микродолеритов (на эндоконтактах) и субщелочных долеритов, вторая фаза – дайки долеритов, габбро-долеритов, субщелочных долеритов.

Силлы долеритов представляют собой многоярусные пластовые и пластово-секущие интрузии в нижнепалеозойских породах. По результатам предшествующих работ мощности силлов уменьшаются в южном и северо-восточном направлении.

Дайки долеритов приурочены к тектоническим нарушениям Вилуйско-Мархинской зоны и прослеживаются преимущественно в геофизических полях. На площади работ они часто перекрыты верхнепалеозойскими отложениями. Дайки пересекают всю изученную территорию с юго-запада на северо-восток, однако по простиранию часто имеют разрывы, в связи с чем, их трассирование имеет иногда условный характер. Дайки сложены долеритами от темно-серого, зеленовато-серого до черного цветов. Текстура пород массивная. Структура закономерно изменяется от тонкокристаллической до

мелко- и среднекристаллической, отмечаются и тела, сложенные крупнокристаллическими разностями.

Раннетриасовый магматический комплекс

Ахтарандинский интрузивный комплекс ($\beta_1 T_{1a}$)

Площадь района расположена на восточной окраине Тунгусской вулcano-тектонической мегаструктуры, формирование которой связано с широким проявлением в позднепалеозойско-раннемезозойский этап киммерийского тектоно-магматического цикла траппового магматизма с образованием различных комплексов интрузивных и вулканических пород.

Трапповые интрузии района мощным плащом перекрывают значительную часть территории и бронируют практически все возвышенности. Расчлененные речными долинами они создают впечатление самостоятельных тел. Кровля интрузивных образований неровная волнистая, местами с резкими превышениями и перепадами. Абсолютные отметки кровли варьируют в широких пределах, от 320 до 520 м над уровнем моря. Подошва интрузий неровная, абсолютные отметки ее меняются от 220 м до 370 м. В подошве залегают карбонатные породы нижнего палеозоя, терригенные отложения верхнего палеозоя.

На исследуемой площади раннетриасовый интрузивный комплекс представлен слабо дифференцированной Верхне-Холомолохской интрузией, покрывающей все возвышенности запада участка, и на востоке площади юго-западной оконечностью недифференцированной Ыгыаттинской интрузии. Петрохимические особенности данных пород показывает принадлежность их к производным расплава толеитовой магмы нормальной щелочности.

2.4. Тектоника

Рассматриваемый район, в современном структурном плане Сибирской платформы, расположен на стыке её крупнейших надпорядковых структур: Непско-Ботубинской антеклизы – Сюджерской седловины, а также наложенных на данные структуры Тунгусской и Вилуйской синеклиз.

На площади исследований выделяются два структурно-формационных этажа, различающихся вещественным составом, строением и другими признаками. Нижний, наиболее древний этаж, отвечает кристаллическому фундаменту платформы. Он сложен глубокометаморфизованными породами архея. Верхний платформенный этаж представлен осадочными и магматическими породами, возраст которых изменяется от рифея до кайнозоя. Сведения о строении кристаллического фундамента в районе проведенных работ ограничены и получены по данным геофизических исследований и результатам бурения редких нефтепоисковых скважин.

Современные представления о структурно-тектоническом строении осадочного чехла рассматриваемой территории Сибирской платформы основываются на данных геологических съемок, нефтегазопроискового, алмазопроискового бурения и широкого спектра геофизических исследований при определяющей роли результатов сейсморазведочных работ и скважинной геофизики.

Кристаллический фундамент

Для площади и сопредельных с ней территорий характерно неравномерное погружение кровли фундамента в восточном и северо-восточном направлении. Глубины его залегания изменяются от 2300 м в южной части описываемой территории до 2700–2800 м на севере, и 3400–3500 м в восточном направлении. Нефтепоисковой скважиной 2650, пробуренной в районе устья руч. Саламаллах-Юрях (правый приток р. Ыгыатта), кристаллический фундамент вскрыт на глубине 3546 м. Породы, слагающие кристаллический фундамент в районе работ, представлены гранитами, гранито-гнейсами розовато-серой окраски и гнейсами биотит-амфиболового состава.

В структурном плане кристаллического фундамента преобладают блоковые дислокации северо-западной и север-северо-западной ориентировки, сменяющиеся в западной части площади исследований на

субмеридиональную, а в восточной части на северо-восточную [Борис, 1986 ф], относимые к раннепротерозойским [Дукарт, 2005 ф].

По результатам тематических работ [Шаталов, 2005ф], площадь входит в состав Ыгыаттинского консолидированного блока, являющийся юго-западным фрагментом Тюнгско-Ыгыаттинской кратонной области, выделяемая также Тюнгским блоком архейской консолидации кристаллической коры [Митюхин, 1997ф], и Тюнгским ортократоном [Дукарт, Борис, 2000ф]. Данное определение структуры фундамента является региональным структурно-тектоническим критерием прогноза кимберлитового магматизма, вероятностного характера. Почти все алмазоносные кимберлиты приурочены к древним платформам с дорифейским (добайкальским) возрастом складчатого фундамента, а в их пределах – к геоблокам с архейским возрастом кратонизации.

Осадочный чехол

На площади геологические образования, формирующие верхний структурный этаж платформы, представлены осадочными и магматическими формациями мощностью от 2,3 км на юге площади, до 2,8 км в её северной части и до 3,5 км на юго-востоке, с возрастным диапазоном от рифея до кайнозоя.

Структурно-вещественные особенности строения осадочного чехла изучены по результатам проведения геологосъемочных, нефтегазопроисловых и алмазопроисловых работ, включающих бурение скважин, скважинную геофизику, сейсморазведку, гравиметрическую и магнитную съемки. На этой основе в составе верхнего структурного этажа платформы выделяются рифейский (R), вендско-среднекембрийский (V–Є_{2mt}), среднекембрийско-нижнеордовикский (Є_{2mr}–O_{1bl}), среднеордовикско-нижнесилурийский (O_{2st}–S_{1mk}), среднепалеозойский (D₂₋₃), верхнепалеозойско-нижнемезозойский (C₂–T₃), мезозойский (J₁) и кайнозойский (Q_{IV}) структурные ярусы.

Основные структуры осадочного чехла

Выделяются следующие надпорядковые и первого порядка структуры, сформированные в течении каледонского, герцинского и мезозойского тектонических этапов: Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА), Сюгджерская седловина, Вилюйская синеклиза, Ангаро-Вилюйский прогиб, погребенный Патомско-Вилюйский (Вилюйский) авлакоген, погребенная Ыгыаттинская впадина. Названные структуры осложнены зонами разломов, рассмотрение которых приводится ниже.

Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА) является одной из крупнейших структур осадочного чехла, которая по стратоизогипсе – 2,5 км замыкается на левобережье р. Вилюй. В пределах этого периклинального замыкания выделяется локальная структура в виде выступа – Сюльдюкарское поднятие. С северо-запада Непско-Ботуобинская антеклиза осложнена Улардахской депрессией, совпадающей с одноименной палеовулканоструктурой, контролируемой Ахтарандинской зоной разломов северо-западной ориентировки.

Сюгджерская седловина протягивается от южного склона Анабарской антеклизы до северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы и разделяет наложенные на неё Тунгусскую и Вилюйскую синеклизы. Граница Сюгджерской седловины с Анабарской антеклизой, склоном которой она является, носит условный характер и выражена погружением кровли кристаллического фундамента до 2800 м.

В плане Сюгджерская седловина имеет вытянутую форму протяженностью более 150 км, при ширине порядка 100 км, амплитуда до 300 м.

Магматические образования среднепалеозойского этапа представлены магматическими породами базальт-долеритовой формации в составе Вилюйско-Мархинского комплекса, к которому относятся субпластовые залежи (силлы) долеритов в отложениях кембрия, пространственно и генетически связанные с ними крутопадающие дайкообразные тела.

Разрывные нарушения

Приведенная выше характеристика тектонического строения района работ показывает, что в образовании основных её элементов важная роль принадлежит разрывным нарушениям. Широко проявленные в платформенном чехле, они часто связаны с глубинными разломами, которые контролируют практически все крупные тектонические структуры и основную часть магматических образований.

В структуре платформенного чехла разломы прослеживаются в виде смещения пластов, флексурных перегибов, дайками магматических пород, зонами сгущения мелких разрывных нарушений.

На площади проведенных работ и сопредельных с ней территорий, выделены три ярко выраженные группы разломов, различающиеся возрастом заложения, простиранием и проявленностью в кристаллическом фундаменте:

- разломы северо-западного направления Ыгыаттинской рифтоподобной структуры;
- разломы Вилуйско-Мархинской зоны, субмеридионального и северо-северо-восточного направления;
- разломы Аппинско-Укугутской зоны субмеридионального южнее площади отчетных работ и северо-восточного направления в её пределах.

Разломы северо-западного направления Ыгыаттинской рифтоподобной структуры

Разломы северо-западной ориентировки имеют рифейский или более древний возраст заложения, но в большей степени являются новообразованными. На площади проведенных работ установлены различными, преимущественно по данным аэромагнитных съемок, геофизическими методами. Имеют распространение по всей изученной площади.

По результатам сейсморазведочных работ разломы северо-западного направления, при расстояниях между профилями 4 и более километров протрассированы с некоторой долей условности и имеют статус

предполагаемых. Они картировались по косвенным признакам, к которым относится общая нарушенность структуры волнового поля, проявленная в виде наклонных извилистых дугообразных отражений различной интенсивности, среди которых преобладают дифрагированные и боковые отражения. Более уверенно разломы этого направления читаются по результатам аэромагнитных съемок (АМС-10).

Разломы Вилуйско-Мархинской зоны, субмеридионального и северо-восточного направления

Образование разломов Вилуйско-Мархинской зоны связано с формированием в среднем палеозое Патомско-Вилуйского авлакогена.

В южной части площади проведенных работ они имеют, преимущественно, субмеридиональную ориентировку, постепенно переходящие на северо-восточную. На площади проведенных работ к разломам данной группы относятся Западный, Аппычинский, Лиендокитская ветвь, Еркютейский, Утунинский, Соболахский, Параллельный, Центральный-2 и Южный (предположительно к ним также относятся Кютерский и Кютер-Кюелляхский разломы). Данные разломы в большей части выполнены даечными телами среднепалеозойских долеритов, иногда фрагментарно.

Укугутская зона разломов, описанная Ю. А. Дукардтом (1977, 1984 гг.), ограничивает депрессию, которая осложняет относительно пологое северо-западное крыло Ыгыаттинской впадины, одной из структур Патомско-Вилуйского авлакогена. Мирнинское кимберлитовое поле находится в области пересечения Укугутской секущей зоны с разломами Вилуйско-Мархинской зоны. Разломы Укугутской структуры, имеющие до пересечения с Вилуйско-Мархинской зоной значительные амплитуды, определяемые в сотни метров, прослеживаются вглубь Мирнинского свода в виде зон трещиноватости или разрывов без значительных амплитуд с рассеянным смещением.

На площади разломы Укугутской системы закартированы на междуречье рр. Ыгыатта – Огогут и по левобережью р. Ыгыатта.

По данным ГМТЗ [Поспеев, 1981ф] в бассейне верхнего течения рр. Аппыча и Огогут выделяется обширная (50×30) область повышенной электропроводимости, вытянутая в широтном направлении. Рассматриваемая неоднородность, залегает на глубине около 10 км и обусловлена проницаемыми, тектонически ослабленными, блоками земной коры.

По данным гравиметрических съемок, проведенных в районе предшественниками, в бассейне верхнего течения руч. Сордонгнох (левый приток р. Холомолох-Юрях) и в районе устьевой части руч. Еркютей (правый приток р. Ыгыатта) выделяются изометричные в плане (до 20 км в поперечнике) зоны гравитационных минимумов, отвечающие участкам разуплотнения земной коры.

С данными неоднородностями совпадают участки погружения магнитоактивной поверхности до глубин 7–6 км. По современным представлениям подобные участки разуплотнения земной коры могут соответствовать кимберлитовым полям.

2.5. Районирование территории по условиям проведения поисковых работ

Территории, перспективные на выявление коренных месторождений алмазов, представлены разнообразными геологическими обстановками, определяющими возможность выбора методов их поисков. В связи с этим, очевидна необходимость районирования изучаемых площадей по условиям локализации прогнозируемых коренных источников. Учитывая широкий возрастной диапазон формирования коренных источников, тот или иной стратиграфический уровень платформенного чехла может служить как вмещающей, так и перекрывающей средой по отношению к ним. Поскольку коренные месторождения алмазов Сибирской платформы в подавляющем большинстве связаны с кимберлитами среднепалеозойского возраста, согласно Методическому пособию, районирование по условиям ведения

поисковых работ применительно к среднепалеозойскому уровню [Методическое пособие, 2020]. По отношению кимберлитов к окружающим отложениям выделяются два главных типа площадей – открытые и закрытые. К первому типу (I геотип) в соответствии с Методическими указаниями, 1989 г. относятся территории развития терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, протерозоя и архея с маломощным (до 3 м) чехлом рыхлых отложений. Кимберлитовые тела среднепалеозойской и более поздних эпох в пределах таких площадей выходят на дневную поверхность, поисковые работы осуществляются с применением комплекса «легких» методов: геологические маршруты с комплексом опробовательских работ, проходка канав и шурфов; на перспективных участках производится высокоточная магнитная съёмка с последующей заверкой аномалий горными выработками.

Территории, где кимберлитовмещающий цоколь перекрыт чехлом магматических и осадочных отложений относятся к закрытым. В зависимости от мощности и состава перекрывающего комплекса пород, они делятся на следующие геотипы (Рисунок 12):

II геотип – площади, перекрытые разновозрастными отложениями, преимущественно континентального генезиса, мощностью до 20 м;

III геотип – площади, перекрытые чехлом полигенных разновозрастных отложений, в основании которого преимущественно развиты породы континентального генезиса, мощностью более 20 м;

IV геотип – площади с широким развитием пород трапповой формации, залегающих в (на) перекрывающих кимберлитовмещающий цоколь отложениях;

V геотип – площади залегания пород трапповой формации на кимберлитовмещающем основании;

VI геотип – площади с широким развитием в основании перекрывающего комплекса отложений прибрежно-морских фаций и фаций транзитных водотоков. Такое разделение обусловлено тем, что поиски в закрытых районах требуют применения сложного комплекса ГРП, зависящего

от мощности и состава перекрывающих отложений (различные виды геофизических методов, бурение скважин) [Методическое пособие, 2020].

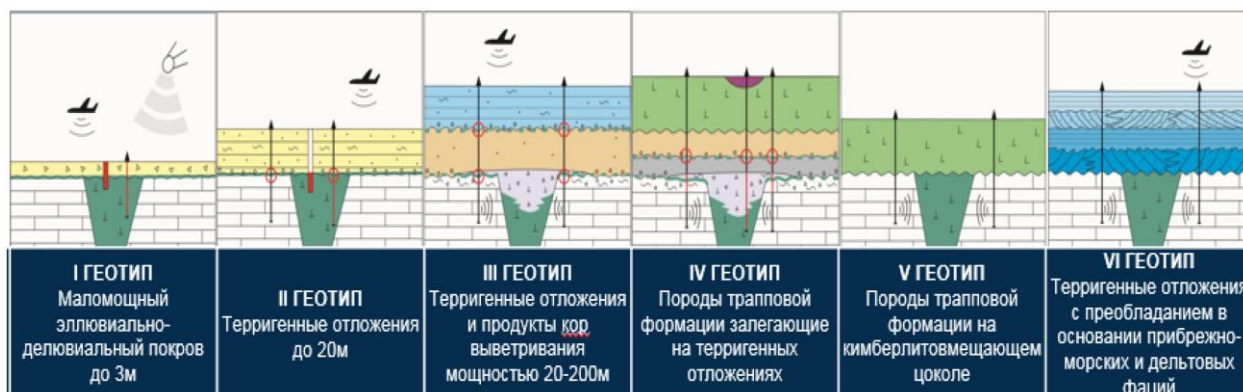


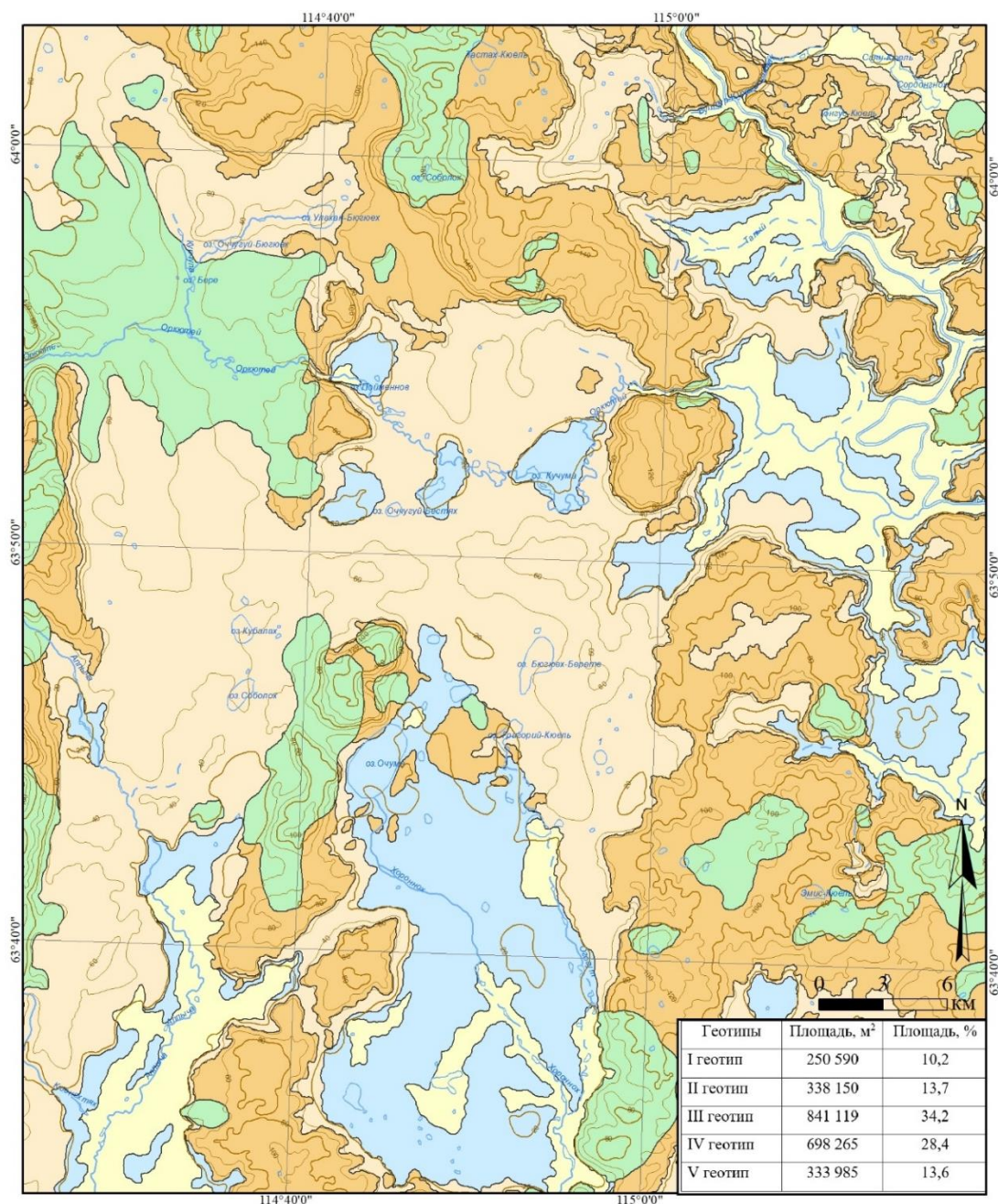
Рисунок 12. Геолого-поисковые обстановки, характерные для Сибирской платформы [Методическое пособие, 2020].

Еркютейское прогнозируемое кимберлитовое поле характеризуется сложным геологическим строением: представлено преимущественно III (34,2%) и IV (28,4%) геотипами, встречаются II (13,7%) и V (13,6%) геотипы. На площадях распространения II-III геотипов развиты мощные четвертичные образования, в подошвенных частях которых, как правило, встречаются валунно-глыбовые трапповые отложения. В восточной части участка встречается I геотип, представленный современными элювиально-делювиальными и аллювиальными отложениями коротких, правых распадков р. Холомолах-Юрях (Таблица 5).

Таблица 5

Районирование территории по условиям проведения работ

Геотипы	Площадь, м ²	Площадь, %
I геотип	250 590	10,2
II геотип	338 150	13,7
III геотип	841 119	34,2
IV геотип	698 265	28,4
V геотип	333 985	13,6



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Типы площадей по условиям проведения алмазопроисловых работ:

- I тип - площади с маломощными элливиальными и делювиальными покровами (до 3 м);
- II тип - площади развития терригенно-карбонатных палеозойских пород, перекрытые терригенными отложениями мощностью до 20 м;
- III тип - площади распространения комплекса терригенных отложений мощностью до 200 м;
- IV тип - площади преимущественного развития пород трапповой формации, залегающие на перекрывающих кимберлиты терригенных отложений верхнепалеозойского возраста;
- V тип - площади преимущественного развития пород трапповой формации, залегающих непосредственно на карбонатных отложениях нижнего палеозоя.
- 40
 Изопахиты мощностей перекрывающего комплекса (в метрах)

Рисунок 13. Схема районирования Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля по условиям проведения работ.

ГЛАВА 3. Структурно-тектонические критерии локализации кимберлитов в пределах Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов

Вилуйско-Мархинская минерагеническая зона (ВММЗ) аппроксимируемая с Вилуйско-Мархинской зоной (ВМЗ) глубинных разломов – одна из наиболее перспективных территорий Западной Якутии на обнаружение новых месторождений алмазов.

В пределах значительной части ВММЗ расположены площади преимущественно «открытого» типа, в пределах которых кимберлитовмещающие терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя выходят на дневную поверхность, детально изучены легкими поисковыми работами, не требующими значительных материальных затрат, поэтому степень их опойскованности можно считать удовлетворительной. Обнаружение в пределах подобных площадей новых алмазоносных кимберлитовых полей и коренных месторождений алмазов маловероятно.

Однако большая часть территории ВММЗ перекрыта терригенными и, в меньшей мере, вулканогенными и магматическими породами верхнего палеозоя и мезозоя, экранирующими среднепалеозойские коренные источники алмазов, так называемые, «закрытые» площади. Данные площади изучены по-разному, но преимущественно слабо, на основании чего можно констатировать, что алмазоносный потенциал закрытой части ВММЗ не исчерпан, поэтому она представляет основной интерес для постановки ГРР на алмазы [Проценко, 2021].

В условиях «закрытых площадей» первостепенное значение приобретает научно обоснованный выбор перспективных площадей для постановки ГРР, базирующийся на использовании комплекса надежных прогностно-поисковых признаков и достоверных предпосылок.

Немаловажное место в их ряду занимают структурно-тектонические критерии, к которым среди алмазоносных таксонов среднего масштаба

относятся тектонические элементы, контролирующие расположение кимберлитовых полей.

3.1. История изучения факторов структурного контроля кимберлитового магматизма

Несмотря на очевидную связь кимберлитового магматизма с тектоническими структурами (разломными зонами) и четкое цепочечное расположение известных полей и отдельных кимберлитовых тел внутри полей, до сих пор не удалось решить задачу по однозначному выявлению структурного контроля кимберлитовых тел в Западной Якутии, а также не удалось разработать единой модели, связывающей особенности строения осадочного чехла и развития разрывной сети с известными закономерностями размещения кимберлитовых полей.

Признавая приуроченность кимберлитового магматизма к древним платформам (правило Клиффорда), исследователи значительно расходятся в вопросе о кимберлитоконтролирующем и кимберлитовмещающем значении внутриплатформенных структурных элементов. Основным пунктом разногласий исследователей является роль «глубинных разломов». Этот термин впервые введен Пейве А.В., 1956 по отношению к древним линейным разрывам, имеющим значительную ширину или представлены серией параллельных (и косых к ним) систем нарушений общим протяжением нередко в сотни и первые километры. Они представляют собой долгоживущие структуры, часто разграничивающие геотектонические зоны разного типа развития, а также находящиеся внутри них.

Очевидно, что не все глубинные разломы появились в весьма давние времена и почти одновременно; их образование возможно в любую тектоническую эпоху развития Земли, включая современную. Это же относится к разломам, меньшим по размерам и значению, которые можно разделить искусственно на любое число рангов или порядков.

К настоящему времени предложены многочисленные гипотезы о структурном контроле кимберлитообразования, в целом все многообразие

взглядов на связь глубинных разломов и кимберлитового магматизма сводится к трем основным направлениям:

Сторонники первого из них считают кимберлитоконтролирующими элементами крупные пликативные структуры, выделяя зоны их сочленения [Атласов И.П., 1960; Трофимов В.С., 1961; Эрлих Э.Н., 1963 и др.], авлакогены [Масайтис В.Л., Михайлов М.В., 1975; Дукарт Ю.А., Борис Е.И., 2000] или рифтогенные структуры [Зимин Л.А., 1974; Левашов К.К., 1975; Варламов В.А., 1981; Ваганов В.И., 1983; Коробков И.Г., 1987; Манаков А.В., Горев Н.И., 1988; Францессон Е.В., Шпунт Б.Р., 1989; Калинин, Левин., 1995; Дукарт Ю.А., Борис Е.И., 1996]. Однако, по их мнению, разломы, ограничивающие их, выполняют лишь функции магмоводов и кимберлитоконтролирующего значения не имеют (Рисунок 14).

Последователи второго направления считают основными кимберлитоконтролирующими элементами крупные глубинные разломы и сопутствующие им зоны трещиноватости пород осадочного чехла, которые тяготеют к узлам пересечения [Арсеньев А.А., 1963; Ковальский В.В., 1965; Гаращук В.М., 1967; Трофимов В.С., 1967; Сарсадских Н.Н., 1968; Брахфогель Ф.Ф., 1968; Владимиров Б.М., 1971; Щукин В.Н., 1972; Мокшанцев К.Б., 1974; Потуроев А.А., 1975; Лелюх М.И., 1989; Малых А.В., 1995; Божевольный И.И., Черный С.Д., 1997; Молчанов Ю.Д., Яныгин Ю.Т., 1998], крупные глубинные разломы развивавшиеся по типу сдвигов [Дьяков А.Г., 1964; Эрлих Э.Н., 1962; Турский А.А., 1969 г., Ивашин В.А., 1997]. По мнению исследователей, глубинные разломы играют не только роль подводящих каналов, но и служат местом формирования кимберлитовых расплавов.

Последователи третьего направления [Авдеев, 1965; Хаин, 1971; Carter, 1971; Глуховский, 1982; Михайлов, 1982; Доливо-Добровольский, 1978; Кац, 1985; Дукарт Ю.А., Борис Е.И., Зинчук Н.Н., 1999; Серокуров, 2001] придают контролируемую роль кольцевым и дугообразным разломам в верхних и нижних горизонтах осадочного чехла, образующих единую радиально-кольцевую систему (Таблица 5) (Рисунок 14).

Таблица 5. Основные гипотезы структурных факторов, связанных с размещением кимберлитового магматизма

№ п/п	Основные тектонические структуры	Формы структур	Исследователи	Связь с кимберлитовым магматизмом
1.	Крупные плекативные структуры	зоны их сочленения	Атласов И.П.,1960; Трофимов В.С.,1961	разломы, ограничивающие эти структуры, выполняют лишь функции магмоводов и самостоятельного кимберлитоконтролирующего значения не имеют.
		авлакогены	Масайтис В.Л., Михайлов М.В.,1975; Дукарт Ю.А., Борис Е.И.,2000	
		рифтогенные структуры	Зимин Л.А.,1974; Левашов К.К.,1975; Варламов В.А.,1981; Ваганов В.И.,1983; Коробков И.Г.,1987; Манаков А.В., Горев Н.И.,1988; Францессон Е.В.,Шпунт Б.Р.,1989; Калинин, Левин.,1995; , Дукарт Ю.А., Борис Е.И.,1996.	
2.	Крупные глубинные разломы	узлы пересечения глубинных разломов	Арсеньев А.А.,1963; Ковальский В.В.,1965; Гаращук В.М., 1967; Трофимов В.С.,1967; Сарсадских Н.Н.,1968; Брахфогель Ф.Ф.,1968; Владимиров Б.М.,1971; Шукин В.Н.,1972; Мокшанцев К.Б.,1974; Потуроев А.А.,1975; Лелюх М.И.,1989; Малых А.В.,1995; Божевольный И.И.,Черный С.Д.,1997; Молчанов Ю.Д., Яныгин Ю.Т., 1998.	глубинные разломы являются рудоконтролирующими, а связанная с ними отрывная трещиноватость - рудовмещающей
		развивавшиеся по типу сдвигов	Дьяков А.Г.,1964; Эрлих Э.Н.,1962; Турский А.А.,1969 г., Ивашин В.А.,1997;	
3.	Кольцевые и полукольцевые структуры	радиально-кольцевые системы	Авдеев, 1965; Хаин, 1971; Carter, 1971; Глуховский, 1982; Михайлов, 1982; Доливо-Добровольский, 1978; Кац, 1985; Дукарт Ю.А., Борис Е.И., Зинчук Н.Н.,1999; Серокуров, 2001	разломы, образующие радиально-кольцевые структуры являются кимберлитоконтролирующими

Малых А.В (1995), на основе палеотектонического анализа показал, что на уровне консолидированной земной коры, системе глубинных разломов принадлежит ведущая роль в формировании структур складчатости осадочного чехла, становления главных кимберлитоконтролирующих зон в пределах кимберлитовых полей и генерализации глубинных очагов кимберлитовой магмы. В осадочном чехле расположение кимберлитовых тел определяется разрывной тектоникой, связанной с диагональной системой планетарных трещин и разрывов и региональным полем напряжений. В отдельных полях главным направлением автор считает северо-западное или северо-восточное, остальные же направления считает менее благоприятными для внедрения кимберлитового расплава.

Масайтис В.Л. и Михайлов М.В (1975), рассматривая пространственное положение кимберлитовых полей в системе авлакогенов, отмечали, что в пределах ВМЗ (впервые выделенной Масайтисом В.Л., 1959) располагаются основные кимберлитовые поля Малоботуобинского, Среднемархинского, Далдыно-Алакитского и Мунского района, либо непосредственно в пределах зоны разломов, ограничивающей Вилуюско-Патомский авлакоген с северо-запада, либо на удалении 100-150 км от борта авлакогена.

Дукарт Ю.А (1977), изучая Мирнинское кимберлитовое поле сделал выводы об основных признаках поля:

- 1) наличие изометричных поднятий, окаймленных жолообразными прогибами и валообразными малоамплитудными поднятиями;
- 2) проявление дизъюнктивных нарушений трех типов: систем трещине растяжения, параллельных главным глубинным разломам; трещин скрытых глубинных разломов фундамента, пересекающих главные направления; и «конфокальных элементов» разрывной тектоники.

Границей кимберлитового поля он предложил считать контуры купольных поднятий. В 1980 году автором было подтверждено наличие магматогенной купольной структуры Мирнинского поля. В 1996 году Дукартом Ю.А. и Борисом Е.И. по данным сейсморазведки МОГТ в пределах Мирнинского поля были выделены системы малоамплитудных грабенов, которые особенно контрастно

проявлены по периферии авлакогенов. Серии микрограбенов, разломы и трещины, ответвляющиеся от самих авлакогенов, были названы зоной динамического влияния авлакогена.

Зимин Л.А (1974), считал, что размещение «кустов» (или полей) связано с древними блоковыми структурами кристаллического фундамента — преимущественно с грабенами, возраст которых много древнее, чем возраст самих кимберлитовых тел и с деформациями сдвига. Основным допущением автор считает «сквозной» характер блоковых структур, которым в осадочном чехле соответствуют кимберлитовые поля.

Варламов В.А., Фельдман А.А. и др (1981), считают характерными особенностями структур кимберлитовых полей следующие признаки: а) наличие участков пересечения региональных разломов разной ориентировки с магматконтролирующими глубинными разломами мантийного заложения; б) присутствие в таких участках глубинных кольцевых структур центрального типа, характеризующихся пониженными значениями Δg и ΔT в центре и повышенными на периферии; в) образование над кольцевыми структурами приподнятых блоков или сводовых поднятий, соизмеримых по размерам с первыми; г) формирование в пределах отдельных блоков сводовых поднятий более контрастных (купольных) структур, осложненных глубинными разломами, в т.ч. и магнаподводящими; д) наличие на склонах и у подножий купольных поднятий россыпей и ореолов рассеяния алмазов и их минералов спутников; е) приуроченность к купольным поднятиям мультипликативных геохимических ореолов кимберлитового типа и др. Границей кимберлитового поля рекомендовано считать проекцию кольцевой глубинной структуры на дневную поверхность. По мнению указанных авторов, закономерности размещения кимберлитовых тел в разных полях различны и их следует рассматривать для каждого поля отдельно.

Ваганов В.И. и др. (1983) считает, что зоны кимберлитового магматизма с мантийными разломами, неоднократно активизированными в дальнейшем. Часть этих зон в фанерозойскую историю формирования платформ обусловила развитие рифтов (авлакогенов), наиболее крупные из которых предопределили образование

синеклиз, часто сопровождавшимися излиянием траппов. Пояса базитовых даек трассируют борта авлакогенов и являются предвестниками возникновения кимберлитового магматизма, признаками которого считается значительная протяженность (сотни километров) и ширина (десятки километров) структур, многократная смена термодинамического и тектонического режимов, насыщенность телами основного, ультраосновного и щелочно-основного состава.

Коробковым И.Г (1987) и Коробковым, Шахурдиной (2011), на основе структурных построений сделаны выводы, что основными структурными элементами осадочного чехла в пределах кимберлитовых полей являются грабенообразные депрессии и структурные желоба, картируемые на территории Мирнинского (1987), Накынского, Алакит-Мархинского, Далдынского и Верхнемунского кимберлитовых полей ЯАП, а также Золотицкого кимберлитового поля, Архангельской алмазоносной провинции (Коробков И.Г., Сень Д.А., Шахурдина Н.К., 2005). Выделенные структуры унаследованно находят свое отображение на разных уровнях осадочного чехла, и, как показывают литолого-фациальные реконструкции, контролируют положение тальвегов верхнепалеозойской гидросети (Коробков, 1996). Наиболее важным аспектом считается, что именно в пределах данных структурных желобов происходит избирательное латеральное внедрение основных объемов магматического расплава интрузивных фаз мезозойских вулканоструктур, который, остывая, проявился в изогнуто-вытянутых разноплановых валообразных массивах повышенной мощности. На бортах желобов и их замыкании (“в верховьях”) почти повсеместно наблюдается расщепление интрузивов на несколько тел с воздыманием их подошвы на более высокие гипсометрические уровни и изменением залегания от пологого до полого-секущего и крутопадающего. Уменьшение мощности с подъемом подошвы интрузивных тел, приуроченных к структурным желобам, наблюдается и по их простирацию. Горевым Н.И., Манаковым А.В. и др. (1988), по результатам изучения структуры Мирнинского кимберлитового поля, выделена система разноплановых локальных структур, по морфологии разделенных на изометричные и линейные.

Изометричные структуры имеют положительный знак, размеры их составляют 5-10 км, амплитуды – до 100 м, а отрицательные часто не замкнуты и объединяются в линейные зоны грабен-синклинали протяженностью 20-30 км. Кроме субмеридианальных прогибов, совпадающих с разломами ВМЗ, отмечаются грабен-синклинали северо-восточной ориентировки, которые совпадают с разломами этого направления и с отрицательными структурами, установленными по сейсмоотражающим горизонтам.

Францессон Е.В., Шпунт Б.Р (1989), изучив проблему пространственно-генетической связи кимберлитового магматизма с рифтогенезом, отмечали, что тектоническое строение древних платформ определялось развитием долгоживущих докембрийских систем разломов. Рифтогенные системы являются благоприятным геодинамическим режимом для кимберлитообразования в зонах рампов или краевых дислокаций. Эти зоны являются участками компенсации растягивающих рифтогенных напряжений и характеризуются геодинамическим режимом преобладающего сжатия. Позднее Шпунтом Б.Р. (1991) высказано предположение, что локальное размещение кимберлитовых полей, определяется узлами пересечения самих зон друг с другом или с базитоконтролирующими разломами, ориентированными вкrest их простирания.

Калинин, Левин (1995) считали «цепочное» расположение кимберлитовых тел Алакит-Мархинского поля, имеющих северо-восточное простирание, прослеживающееся грабенообразными прогибами шириной 2-5 км и амплитудой первые десятки метров основным критерием кимберлитоконтролирующих разломов. На территории поля в зонах северо-восточных разломов находится 38 из 42 открытых кимберлитовых тел.

В региональном плане Арсеньевым А.А (1963) все известные кимберлитовые поля Западной Якутии были впервые объединены в линейные рудоконтролирующие зоны северо-восточного (Мархинско-Оленекская) и северо-западного (Мархинско-Котуйская и Муно-Анабарская) простираний, создающие диагональную сеть разломов.

Ковальский В.В (1963) считал, что пространственное положение кимберлитовых полей на Сибирской платформе контролируется узлами пересечения регматической сети с шагом 300-400 км. Им же предложена концепция вертикальной зональности сводной магматической колоны, где главную роль в алмазоносности кимберлитов играет величина денудационного среза, а верхние части колонны наиболее алмазоносны.

Брахфогель Ф.Ф., Жуков В.П (1980), изучая структурное положение Среднеоленинской группы полей, показали, что кимберлитовые тела, разрывные нарушения осадочного чехла и глубинные разломы представляют собой единый тектоно-магматический комплекс с закономерными пространственно-временными связями между его составляющими (Рис.3.1). Глубинные разломы выполняют функции магмопроницаемых участков земной коры, а нарушения являются кимберлитоконтролирующими, в большинстве случаев, кимберлитовмещающими полостями на любом гипсометрическом уровне осадочного чехла. При этом Ф. Ф. Брахфогель (1984) отмечает, что главная причина плохой структурной проявленности кимберлитовых полей кроется в том, что “современный структурный план представляет собой сложную совокупность разновозрастных геологических и тектонических образований, основная часть которых возникла до или после эпох кимберлитовой активности и поэтому закономерного отношения к размещению кимберлитовых полей в принципе иметь не может”

Щукин В.Н., Минорин В.Е., Харьков А.Д (1972), изучая кимберлиты Мирнинского поля, пришли к выводу, что кимберлитоконтролирующими в Малоботуобинском районе являются зоны глубинных разломов (I-го порядка) субмеридиональной ориентировки, а сами трубки и связанные с ними жилы расположены по обеим сторонам последних, в оперяющих их трещинах северо-западного простирания (II-го порядка).

Сарсадских Н.Н (1973), выделив субширотную Алданскую зону, главную роль в размещении кимберлитов отводит Тунгусско-Оленекской зоне разломов, протягивающейся в северо-восточном направлении через центральную часть платформы.

Мокшанцев К.Б. и др., (1974), работая над структурным контролем проявлений кимберлитового магматизма, выделил две группы глубинных разломов: мантийные и коровые. Мантийные (глубинные) разломы, формирующие рельеф фундамента, а, частично, и структуры осадочного чехла, являются главными магмоподводами и магмогенерирующими структурами, определяющими пространственное размещение кимберлитовых тел Якутии. Протяженные коровые-глубинные разломы с унаследованностью развития, являющиеся благоприятными участками для внедрения кимберлитового расплава, связаны с зонами пересечения глубинных разломов.

Потуроев А.А (1977), изучая разрывную тектонику Далдынского и Алакитского полей, установил, что преобладающими дизъюнктивами являются северо-восточные, северо-западные, субмеридиональные и субширотные направления. Основные зоны разломов имеют архей-протерозойский возраст заложения, последующая активизация которых произошла в среднем палеозое и мезозое. В кристаллическом фундаменте разрывные нарушения проявлены как зоны глубинных разломов субмеридионального и субширотного направлений позднеархейско-раннепротерозойского времени заложения.

На основании изучения кимберлитового магматизма, Ю.Д. Молчанов и Ю.Т. Яныгин (1998) сделали выводы, что все кимберлитовые поля Западной Якутии контролируются узлами сопряжения глубинных разломов и хорошо проработанных сквозных структур. Эти зоны разломов являлись своеобразными ловушками кимберлитового расплава, на фоне площадного очага базитовой магмы. Каждому кимберлитовому полю свойственны как общие, так и индивидуальные рудоконтролирующие элементы,

Дьяковым А.Г (1964) впервые разработаны критерии прогнозирования алмазных месторождений: структурные, магматические, минералогические, стратиграфические, литологические, геохимические и физико-химические. Особая роль отводится глубинным разломам, выделяется «большой алмазный пояс Сибири», описываются конкретные зоны разломов, контролирующие положение кимберлитового вулканизма. Работа А.Г. Дьякова является значительным вкладом

в разработку принципов и методики составления карт прогноза на алмазные месторождения.

Гипотеза о сдвиговой природе рудовмещающей трещиноватости, сопряженной с глубинными разломами, впервые высказана Турским А.А. в 1969 г., однако реальных подтверждений сдвиговых деформаций в осадочном чехле с тех пор не обнаружено. Ивашин В.А (1997), считает, что универсальным структурно-тектоническим признаком, являются региональные разломы, активизировавшиеся в среднем палеозое и развивавшиеся по типу сдвигов, а условием внедрения кимберлитового расплава, является открытость определенных систем, возникших на глубинах, близких к магматическим очагам. С глубинными разломами сопряжены зоны отрывной трещиноватости, открытой на момент внедрения кимберлитов. Если первым отдается роль рудовмещающих структур, то вторые – рудоконтролирующие для рудовмещающих ловушек кимберлитовой магмы.

Михайловым А.Е (1982), рассмотрен механизм образования кольцевых структур вулкано-плутонического генезиса. Поднимающиеся мантийные массы могут привести к последовательному разогреву, подъему, растяжению и разуплотнению базальтового, а затем гранитно-метаморфического слоев и вызвать формирование кольцевых структур с внутренними концентриками. Плавлению гранитно-метаморфического слоя при геосинклинальном режиме способствовали тектонические движения, развивающиеся на протяжении сотен миллионов лет. Они привели к появлению на поверхности Земли кольцевых структур с разновозрастными вписывающимися или пересекающимися концентриками, осложненными разрывами. Однако, если линеаменты линейной формы имеют опосредованную связь непосредственно с земными процессами, то кольцевые структуры по своему генезису являются эндогенными, экзогенными и космическими.

Немиров А.А (1985), связывает структурный контроль кимберлитовых тел кольцевыми морфоструктурами, распознаваемыми по анализу современного рельефа и конфигурации речной сети.

Серокуров Ю.Н. и соавторы (2001) на основе изучения космических снимков сделали выводы, что площади развития алмазоносных кимберлитов контролируются сложнопостроенными радиально-кольцевыми структурами диаметром около 200 км, слабо проявленными и выделяемыми при специализированной фильтрации информации. Структуры обладают зональным строением: ядро диаметром 30-50 км, отличающееся повышенной плотностью микроэлементов и изотропным размещением; средняя зона шириной 50-70 км, иногда проявленная слабым возвышением рельефа; внешняя зона шириной от 60-80 км. Кимберлитовые поля в большинстве случаев располагаются в пределах ядра и в средней зоне структур, тяготеют к наиболее крупным радиальным и дуговым их элементам, а также узлам пересечения между собой.

Существуют и другие мнения о роли структурно-тектонических критериев в образовании кимберлитового магматизма.

Милашев В.А. (1979) отрицает роль ведущей (и даже исключительной) роли глубинных разломов в пространственном размещении кимберлитов, подавляющая часть которых не подтверждается ни геологическими, ни геофизическими данными. Изучая мегатрещитноватость, автор пришел к выводу, что кимберлитовые поля приурочены к участкам платформ с повышенной проницаемостью земной коры. Наиболее перспективной он считает изотропную ориентировку тектонической трещиноватости, образующей «блоковые, кольцевые и спирально-вихревые структуры». Контурные этих участков, проведенные по крайним кимберлитовым телам, автор предлагает считать границами кимберлитового поля. Автор отмечает также отчетливую приуроченность кимберлитового магматизма к площадям с повышенной плотностью (густотой) гидросети, характерной для наиболее трещиноватых и поэтому особо проницаемых для кимберлитового расплава участков земной коры.

Бардэ М.Г (1973), области развития кимберлитового магматизма в Африке и Сибири, связывает с глубинными разломами, которые располагаются в виде правильной геометрической сети, ориентированной под углом 45° друг к другу.

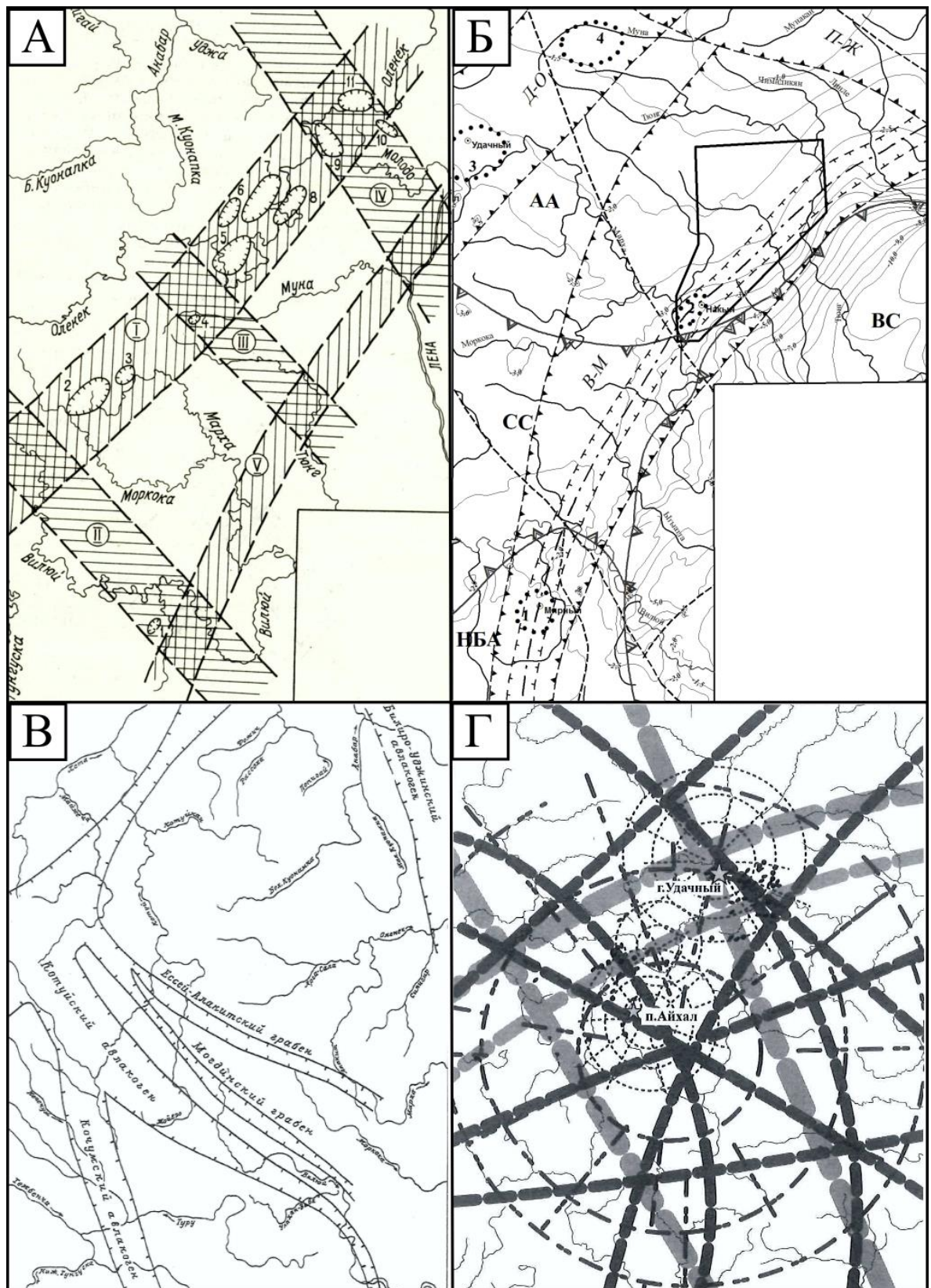
Возникновение такой сети, по его мнению, является следствием особых напряжений в земной коре, связанных с вращением Земли.

Шарп У. (1974) считает внедрение кимберлитов прямым следствием тектоники плит и связывает с активностью на самых глубоких горизонтах подвижных плит, зоны же кимберлитового магматизма, по мнению автора, должны быть параллельны складчатым горным поясам.

Ковальский В.В (1970) считал, что пространственное положение кимберлитовых полей на Сибирской платформе контролируется узлами пересечения регматической сети с шагом 300-400 км. Им предложена концепция вертикальной зональности водной магматической колонны, где главную роль в алмазности кимберлитов играет величина денудационного среза.

Гарбар Д.И. выделяет шесть групп разрывных нарушений во времени заложения и активации, каждому циклу формирования регматических сеток разломов соответствует свое направление, отличающиеся на 18° . Продолжительность циклов, по мнению автора, совпадает с галактическим годом (в среднем 200 млн. лет.).

На протяжении многих лет, прошедших с открытия первой кимберлитовой трубки на территории Сибирской платформы, были проведены масштабные геологические и геофизические исследования, на основе которых был собран и обобщен огромный материал, отражающий геолого-тектоническое строение территории. Анализируя структурно-тектонические критерии, выделяемые различными авторами, следует отметить, что они не всегда характеризуются устойчивостью в проявлении, а иногда и противоречат друг другу, поскольку одни и те же кимберлитовые тела (кусты, поля) находятся в различных структурно-тектонических позициях и контролируются разломами разных направлений. Поэтому автор придерживается основополагающих и бесспорных структурно-тектонических критериев, благодаря которым кимберлитовые поля тяготеют к краевым частям стабильных блоков и располагаются в узлах пересечения разнонаправленных разломных зон (линеаментов) [Антипин, 2018; Горев, 2005, 2017 и др.].



а) крупные глубинные разломы (узлы пересечения глубинных разломов) (Брахфогель Ф.Ф., 1968);
 б) крупные пликативные структуры (рифтогенные) (Горев Н.И., 2011); в) крупные пликативные структуры (авлакогены) (Дукарт Ю.А., Борис Е.И., 2000); г) радиально-кольцевые системы (Серокуров Ю.Д., 2001)

Рисунок 14. Основные тектонические структуры, связанные с кимберлитовым магматизмом (гипотезы).

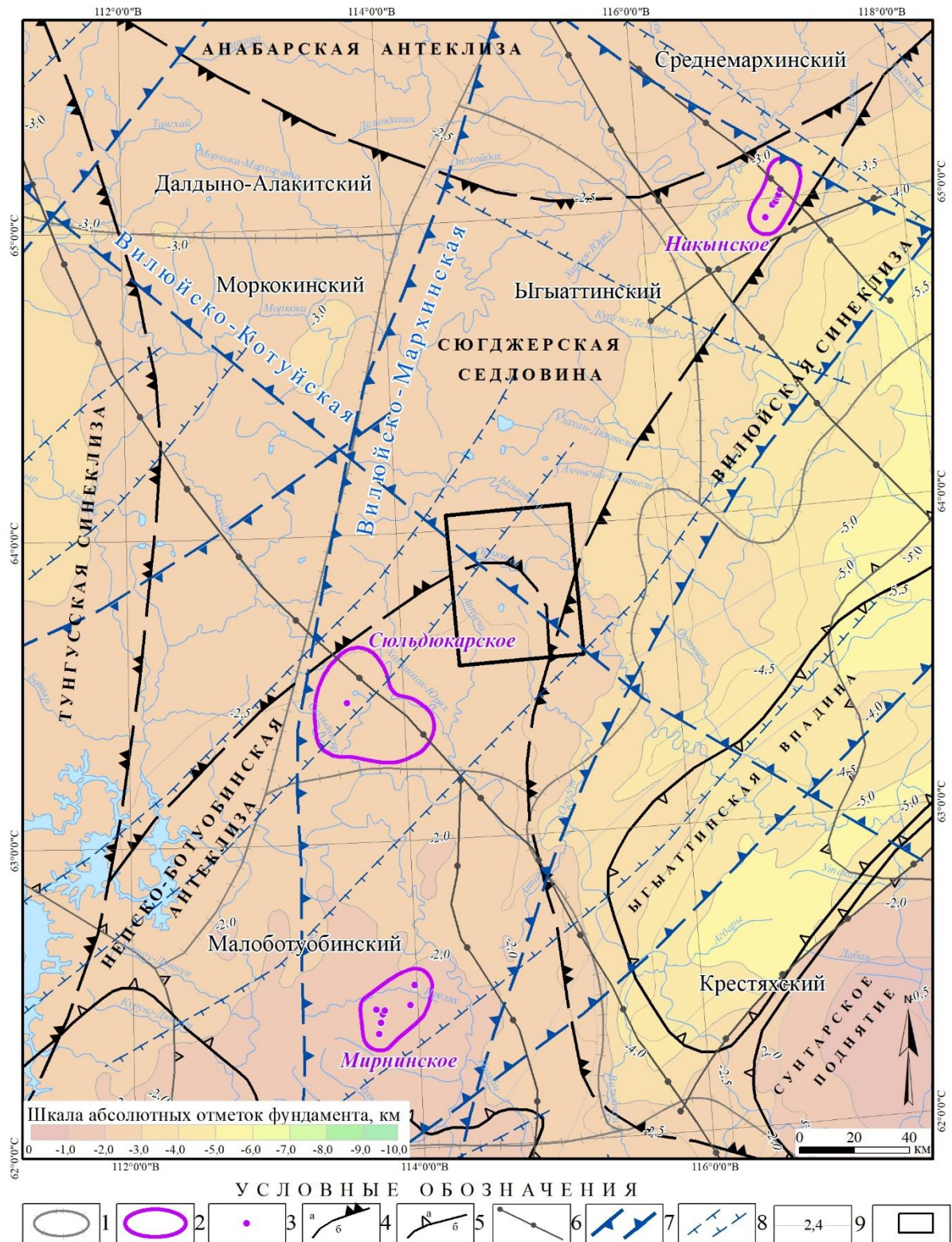
3.2. Структурно-тектонические признаки Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля

Ширина ВМЗ, занимающей краевую часть Анабаро-Мирнинского стабильного блока, варьирует от 30-50 км на юге, до 150 км на северо-востоке, а в центральной части ВМЗ составляет порядка 130 км (Рисунок 15).

Границы секущих зон, трассирующихся со стороны Палеовилуйского авлакогена, выделяются с определенной долей условности, поскольку сами зоны в осадочном чехле проявлены отдельными опущенными блоками, либо фрагментарно прослеженными линейными прогибами (депрессиями), а большинство входящих в них разрывных нарушений выделяются в ранге предполагаемых. При значительной ширине ВМЗ и неуверенном прослеживании секущих зон, узлы пересечения этих структур имеют площадь в десятки тысяч квадратных километров, что намного выше площади кимберлитового поля и выделяются недостаточно надежно.

Ранее выполненными исследованиями [Горев, 2011] на северо-восточном фланге ВМЗ закартирована область повышенной проницаемости осадочного чехла, названная центральной (осевой) ветвью ВМЗ, которая была прослежена в виде полосы шириной 20-25 км от долины р. Марха на юго-западе до р. Тюнг на северо-востоке. Было установлено, что дислоцированность верхней части нижнепалеозойского разреза вызвана широким развитием складчатых деформаций, а также значительным количеством разломных нарушений (до 10 на одно пересечение).

Фактическим материалом для построений послужили результаты детального стратиграфического расчленения нижнепалеозойских отложений по данным бурения скважин в комплексе с геофизическим исследованием скважин (ГИС), а также результаты геологических и геофизических съемок, проведенных на площади ВМЗ различными организациями.



1 - контуры алмазоносных районов; 2 - контуры известных кимберлитовых полей; 3 - кимберлитовые трубки; 4 - контуры надпорядковых структур: а-синеклизы, б-антеклизы, и их названия; 5 - контуры рифтоподобных структур: а - впадины, прогибы, б - поднятия, валы, и их названия; 6 - глубинные разломы; 7 - зоны глубинных разломов I порядка; 8 - зоны разломов II порядка; 9 - изолинии поверхности кристаллического фундамента, км; 10-исследуемая площадь

Рисунок 15. Структурно-тектоническая схема Центрально-Сибирской субпровинции, масштаб 1:2000000

Анализ пликативной тектоники верхней части нижнепалеозойского разреза показал, что строение зоны неоднородно – области моноклинального залегания пород перемежаются участками со сложным структурным планом, в пределах которых широким развитием пользуются складчатые деформации, представленные преимущественно линейными прогибами (грабенами), а также изометричными, брахиформными синклинальными и антиклинальными складками, структурными мысами, желобами, часто осложненными разрывными нарушениями. Эти участки сложного строения, как и отмечалось ранее, прослеживаются в виде широкой практически непрерывной полосы в центральной части ВМЗ, но кроме того, фрагментарно фиксируются на ее западном фланге. В связи с этим, в пределах ВМЗ, помимо выделенной ранее центральной ветви, выделена еще одна ветвь (подзона) – западная (Рисунок 15), к которой приурочено Сюльдюкарское кимберлитовое поле.

Ретроспективные реконструкции, выполненные как для отдельных кимберлитовых полей [Горев, 1994; Кондратьев, 2005], так и для всей территории ВМЗ [Проценко, 2020], показали, что большая часть дизъюнктивных и пликативных структур имеет доюрский, а вероятнее всего, среднепалеозойский возраст, синхронный внедрению кимберлитов.

Каждая из выделенных подзон характеризуется своими структурными особенностями. Центральная подзона в структуре нижнепалеозойских отложений выделяется уверенно. Ширина ее составляет: в центральной и северо-восточной частях зоны 30 км, на южном фланге 20-25 км. В ее пределах по всей длине зоны фиксируется серия сближенных грабенообразных прогибов, сопровождающих разломы ВМЗ, широкое развитие пликативных дислокаций в виде изометричных либо удлиненных синклинальных и антиклинальных складок.

Амплитуды пликативных структур варьируют от 10-30 до 50-70 м, редко больше, поперечные размеры изометричных складок составляют в основном 2-7 км. Центральная подзона ВМЗ наиболее насыщена разломами и дайками. Подавляющая часть разломов центральной подзоны ВМЗ, благодаря интродуцирующим их траппам, уверенно фиксируется в магнитном поле четкими

линейными протяженными аномалиями высокой интенсивности. В пределах центральной подзоны локализованы алмазоносные кимберлитовые поля Мирнинское и Накынское [Проценко, 2020].

Западная ветвь ВМЗ шириной до 35 км выделяется не столь уверенно, а чаще фрагментарно. Представлена она отдельными участками со сложным структурным планом кимберлитовмещающих отложений, обусловленным либо серией сближенных грабенообразных прогибов, как в центральных областях ВМЗ, либо широким развитием складчатых дислокаций, как на северо-восточном фланге зоны. На южном фланге, при значительно меньшей ширине самой ВМЗ, ее западная подзона выделена весьма условно. По сравнению с центральной подзоной амплитуды пликативных структур в пределах западной подзоны значительно ниже. Даечные тела, интродуцирующие разломы, как правило, имеют меньшую протяженность, часто прослежены фрагментарно. Многие из них в наблюдаемом магнитном поле не фиксируются, а выделены в трансформантах аномального магнитного поля. Сюльдюкарское кимберлитовое поле приурочено к западной подзоне ВМЗ.

Прогнозную значимость имеют разломы, сформировавшиеся либо активизированные в среднем палеозое внедрением кимберлитов. Для Ыгыаттинского алмазоносного района – это рудоконтролирующие разломы ВММЗ, а также разломы, занимающие секующее положение по отношению к разломам ВМЗ.

Наиболее контрастно из них в верхней части осадочного чехла проявлены субширотные нарушения Батырской ветви Джункун-Хампинской зоны и разломы (нарушения) Ыгыаттинской рифтоподобной структуры, веером расходящиеся со стороны ПВА – разломы северо-западной ориентировки (собственно Ыгыаттинская ветвь) и субширотные разломы, проявленные в северной части ЫАР, отнесенные нами к Дюктелинской ветви.

Благоприятность тектонической позиции площади в отношении кимберлитового магматизма определяется ее расположением в узле пересечения центральной подзоны ВМЗ с Ыгыаттинской ветвью одноименной секущей зоны.

Как отмечалось ранее, разломы северо-западного простирания на данной территории выделяются, как правило, в ранге прогнозируемых, и секущая зона здесь прослеживается с определенной долей условности, по опущенным блокам кимберлитовмещающих пород на пересечениях с подзонами ВМЗ. В пределах этих блоков мощность нижнепалеозойских пород на 50-100 м больше, чем на сопредельных участках [Колесник, 2021ф].

Таким образом, по тектоническим критериям наиболее перспективная площадь на выявление кимберлитовых тел в Ыгыаттинском алмазоносном районе находится на северо-восточном склоне Холомолох-Аппычинского выступа, осложненного тремя грабенообразными прогибами, сопровождающими Холомолохский, Утунинский и сближенными глубинными разломами ВМЗ – Параллельный, Центральный-2 и Лиендокитский (Рисунок 16).

На территорию ВМЗ также была составлена схема плотности разрывных нарушений (Рисунок 16). Ранее подобные построения проводились только для отдельных кимберлитовых полей [Шахурдина, 2014, 2015]. Анализ характера дизъюнктивных дислокаций оперативно выполнялся при помощи модуля Spatial Analyst Kernel Dencity (вычисление количества на единицу площади (плотности) точечных или полилинейных объектов), существенно повышая наглядность и достоверность структурных построений.

В основу исследований положены данные о разрывной тектонике, полученные по результатам разномасштабных геологосъемочных и поисковых работ, сейсморазведочной и аэромагнитной съемок, выполненных специалистами геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО) в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны. Все выделенные дизъюнктивные дислокации, часть из которых залечена дайками долеритов, были объединены в цифровой линейный слой «Разрывные нарушения», который и использовался для дальнейшего анализа.

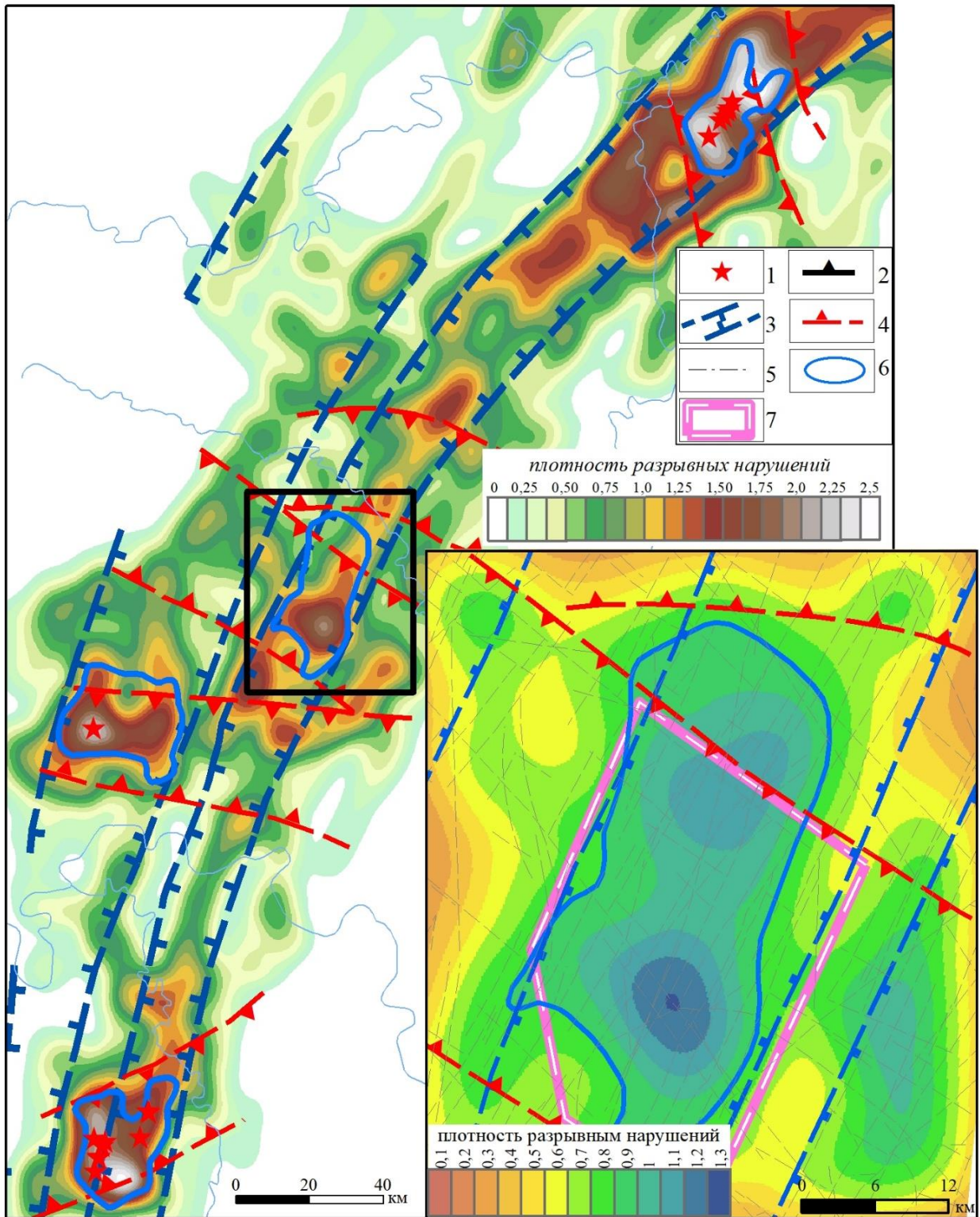


Рисунок. 16. Схемы плотности разрывных нарушений ВММЗ и Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля

Для прогнозирования объекта ранга «кимберлитовое поле» осуществляется построение схемы плотности разрывных нарушений с помощью модуля Kernel Dencity. Радиус поиска, в пределах которого рассчитывается плотность, выбран экспериментально методом «буферизации», который составил 5000 м, размер ячейки для выходного набора данных – 200 м. В рамках исследований было установлено, что плотность дизъюнктивов в пределах ВМЗ варьирует от 0,05 до 2,5 км/км², причем разломы на исследуемой территории распределены неравномерно.

Из представленной схемы видно, что именно в границах ветвей (подзон) ВМЗ сконцентрировано и большинство разрывных нарушений, а плотность разломов там составляет от 0,6 до 2,5 км/км². Наибольших значений (1,0–2,5 км/км²) данная величина достигает в пределах известных кимберлитовых полей (Рисунок 16). Повышенной плотностью разломных нарушений характеризуется также ряд площадей, преимущественно совмещенных с центральной ветвью зоны, расположенных на междуречье рр. Большая и Малая Ботубии (южная часть ВМЗ), на правобережье р. Ыгыатта (центральные области зоны), в долине р. Тюкян и на левобережье р. Тюнг.

В Еркютейском поле наблюдается преобладание разломов север-северо-восточного простирания (71 %) и северо-западного простирания (18%). Длина разрывных нарушений колеблется от 1,5 до 8 км, в редких случаях достигая 18 км, в среднем составляет 3,3 км. Схема плотности разрывных нарушений характеризуется плотностью от 0,01 до 1,24 км/км², наибольшая плотность которой наблюдается на юго-западе территории (0,5-0,9 км/км²) (Рисунок 3.3).

Таким образом, по структурно-тектоническим признакам, являющимся дополнительным критерием выделения площадей первой очереди при поисковых работах на коренные месторождения алмазов в Ыгыаттинском алмазоносном районе, в узле пересечения центральной подзоны ВМЗ с секущей Ыгыаттинской ветвью разломов, выделена площадь, характеризующаяся повышенной плотностью разрывных нарушений. Установлено, что именно подобные участки повышенной плотности разрывных нарушений, совмещенные с областями усложненного структурного плана нижнепалеозойских пород (подзонами), являются наиболее

перспективными на выделение кимберлитовых полей и на этом основании требуют пристального внимания при детальном изучении.

Именно такие площади, характеризующиеся повышенной дислоцированностью осадочного чехла, по сумме прогнозных факторов наиболее благоприятны для продвижения к поверхности магматических расплавов, в том числе и кимберлитовых, и должны быть первоочередными объектами для их прогнозирования и поисков.

ГЛАВА 4. Минералогическое районирование Ыгыаттинского алмазоносного района

Принципы и основные методы минералогического районирования перспективных на алмазы территорий по индикаторным минералам кимберлитов (ИМК) подробно изложены в работах предшественников [Антипин, 1999; Горев, 2018; Серов И.В., 2014]. Минералогическое районирование выполнено с применением комплекса основных признаков ИМК: содержание ИМК на пробу и в тяжелой фракции, ассоциация, гранулометрия, сохранность, химический состав.

Выделяемые минералогические объекты соответствуют по масштабу минерагеническим алмазоносным таксонам и представлены следующим рядом: минералогическая провинция – субпровинция – область – район – минералогический узел – участок – ореол МСА – высококонтрастный (первичный) ореол или его локальный участок. [Антипин, 1999; Горев, 2018] (Таблица 16). В работе использован метод прогнозирования на основе химико-генетической классификации ИМК [Гаранин В.К., 1984, 1991, 2006].

Для исследуемой площади выполнено среднемасштабное районирование с выделением таксонов ранга «минералогический узел» и «минералогический участок».

Все месторождения алмазов содержат индикаторные минералы, отличающиеся типоморфными характеристиками. Различия в характеристиках наблюдаются как между отдельными кимберлитовыми телами (месторождениями), даже близрасположенными, так и их кустами, полями и объектами более высокого ранга. При минералогическом районировании используются как первичные, так и приобретенные в процессе эволюции свойства отдельных кимберлитовых минералов, их ассоциаций и создаваемых ими шлиховых ореолов. Типоморфные особенности кимберлитовых минералов дают возможность не только выделять площади развития определенного типа месторождений (возраста, генезиса, уровня алмазоносности и так далее), то есть осуществлять районирование, но и устанавливать местоположение их первоисточников. При этом минералогические признаки представляют собой основу прогнозных построений, поскольку только

они, за исключением самих кимберлитов, являются прямыми поисковыми признаками, непосредственно указывающими на наличие месторождений.

Таблица 6.

Иерархический ряд алмазоносных минералогических объектов поисков (по И.И. Антипину, 2014 г.).

Наименование объекта	Характеристика объекта
Минералогическая провинция ИМК	Весьма крупная площадь, совпадающая с региональными структурами посткимберлитового этапа платформы, с наличием ИМК и алмазов в разновозрастных промежуточных коллекторах нескольких этапов седиментогенеза. Граница обобщенная, проводится по фактическому присутствию ИМК и алмазов в разновозрастных отложениях, без учета их типоморфных свойств
Минералогическая субпровинция ИМК	Часть минералогической провинции, характеризующаяся своими региональными отличительными особенностями посткимберлитового этапа развития и имеющая промежуточные коллекторы ИМК и алмазов в одном этапе седиментогенеза. Граница обобщенная, проводится по развитию отложений данного этапа (среднепалеозойский, верхнепалеозойский, среднемезозойский, кайнозойский и др.) с учетом распространенности ИМК
Минералогическая область ИМК	Крупный участок минералогической субпровинции линейной или изометричной формы (в зависимости от условий формирования промежуточных коллекторов). Имеет значимые отличия ассоциаций алмазов и ИМК. Граница обобщенная, характер минералогического поля пятнисто-дискретный
Минералогический район ИМК	Часть минералогической области, характеризующаяся повышенными концентрациями и частотой встречаемости ИМК. Граница обобщенная
Минералогический узел ИМК	Участок минералогического района, характеризующийся отличительными особенностями типоморфных характеристик ИМК и алмазов, находящихся в них. Граница проводится по распространению наиболее характерных для данного участка промежуточных коллекторов с учетом типоморфных характеристик ИМК и алмазов
Минералогический участок ИМК	Часть минералогического узла, выделенная по аномальному значению типоморфных признаков ИМК (концентрация, сохранность и др.) Общий характер минералогического поля в пределах участка непрерывный, граница проводится по аномальным значениям. Степень аномальности может быть различной, зависит от коллекторских свойств терригенных отложений, вмещающих ИМК и продуктивности коренных источников, поставлявших продукты денудации своих тел
Минералогический ореол ИМК	Локальный участок минералогического узла, выделенный по наиболее контрастной части минералогического участка с аномальными значениями ИМК в одновозрастном коллекторе. В пределах его возможно определение векторного направления на источник кимберлитового материала

4.1. Фактический материал для выполнения районирования.

Фактическим материалом для выполненных построений стали результаты опробования горных выработок на наличие индикаторных минералов кимберлита

(ИМК), алмазов, их морфологических особенностях и результатах микрорентгеноспектрального анализа.

Согласно «Стадийности геологоразведочных работ с целью поисков коренных месторождений алмазов» принятой в компании АК «АЛРОСА» (ПАО) изученность Ыгыаттинского алмазоносного района соответствует стадии 2 ГРР (Комплексное геологическое изучение территорий и прогнозирование месторождений алмазов в масштабе 1:200 000 – 1:100 000 – 57,5 %) и 3 стадии ГРР (Общие поиски масштаба 1:50 000-1:25 000 – 38%) (Таблица 7) [Методическое пособие, 2020].

Таблица 7

Плотность буровой сети Ыгыаттинского алмазоносного района

Плотность скважин, км	Площадь, км ²	Площадь, %
1 стадия ГРР (региональные работы)	311,9	2,4
8 x 8 км	311,9	2,4
2 стадия ГРР (комплексное геологическое изучения)	7 442,8	57,5
4 x 4 км	853,9	6,6
2 x 2 км	6 588,9	50,9
3 стадия ГРР (общие поиски)	4 915,8	38,0
1 x 1 км	3 793,9	29,3
0,5 x 0,5 км	1 122,0	8,7
4 стадия ГРР (детальные поиски)	264,7	2,0
0,25 x 0,25 км	264,7	2,0
Общая площадь работ	12 935,2	100

Всего пройдено 3788 горные выработки из них: скважин – 3193, шурфов – 536, прочие (т.н., шлиховое опробование гидросети, закопуши, канавы) – 59. Выработки с находками ИМК составляют 1270 (34 % от общего количества), в количестве 24765 зерен, из них 2256 гранатов, 4423 ильменита и 18086 хромшпинелидов. Микрорентгеноспектральный анализ химического состава выполнен для 6785 зерен ИМК (1686 анализов граната, 3716 анализов ильменита и 1383 анализа хромшпинелидов).

Создана цифровая база минералогических данных, содержащая: ID ТН, объект, участок, номер линии, номер точки, координаты, тип выработки, общее количество находок ИМК, стратиграфическую разбивку, разделение по механическому износу и классу крупности, доли ИМК в весе ТФ, наличие

микронзондовых анализов, разделение ИМК на химико-генетические группы (ХГГ), ранжирование ХГГ.

4.2. Методика минералогического районирования

Для разбраковки минералогических данных принят подход «фон – аномалия». Аномалии выделяются посредством принятия минимально-аномальных значений.

Минимально аномальные значения концентраций ИМК на стандартную 10-литровую пробу получены расчётным путём после статистического анализа данных шлихового опробования Ыгыаттинского алмазоносного района. Минимально аномальным значением концентраций ИМК на стандартную пробу принято содержание ИМК > 25 знаков на десятилитровую пробу [Шахурдина, 2023].

Минимально аномальным содержанием ИМК в аллотигенной составляющей тяжелой фракции путем расчетов и анализа данных принято > 16 мг/г. В результате расчётов установлено, что медианный вес ТФ рядовой шливовой пробы, отобранной из керна скважин, составляет 1 г. Следовательно, чтобы получить минимально аномальную концентрацию ИМК по отношению к 1 г ТФ шлиха, необходимо не менее 25 зёрен пиропов гранулометрического класса -1+0,5 мм.

Присутствие ИМК 0, I, II класса механического износа указывает на возможную близость источника; присутствие ИМК «алмазной ассоциации» (химико-генетических групп, для которых доказана генетическая связь с алмазами [классификация Гаранина, 2006] и «редких химико-генетических групп».

При всём разнообразии, ИМК имеют существенное сходство в химическом составе (Рисунок 17), так, для гранатов вне зависимости от кимберлитового поля преобладают четыре химико-генетические группы, в сумме составляющие 79% от всех изученных гранатов (Рис. 17а), для ильменита – три группы, в сумме составляющие 75% (Рис. 17б), для хромшпинелидов – четыре, так же в сумме составляющие 70% от количества изученных (Рис. 17в). К «редким» отнесены химико-генетические группы ИМК, частота встречаемости которых как в кимберлитах, так и в осадочных образованиях составляет менее 7% от выборки.

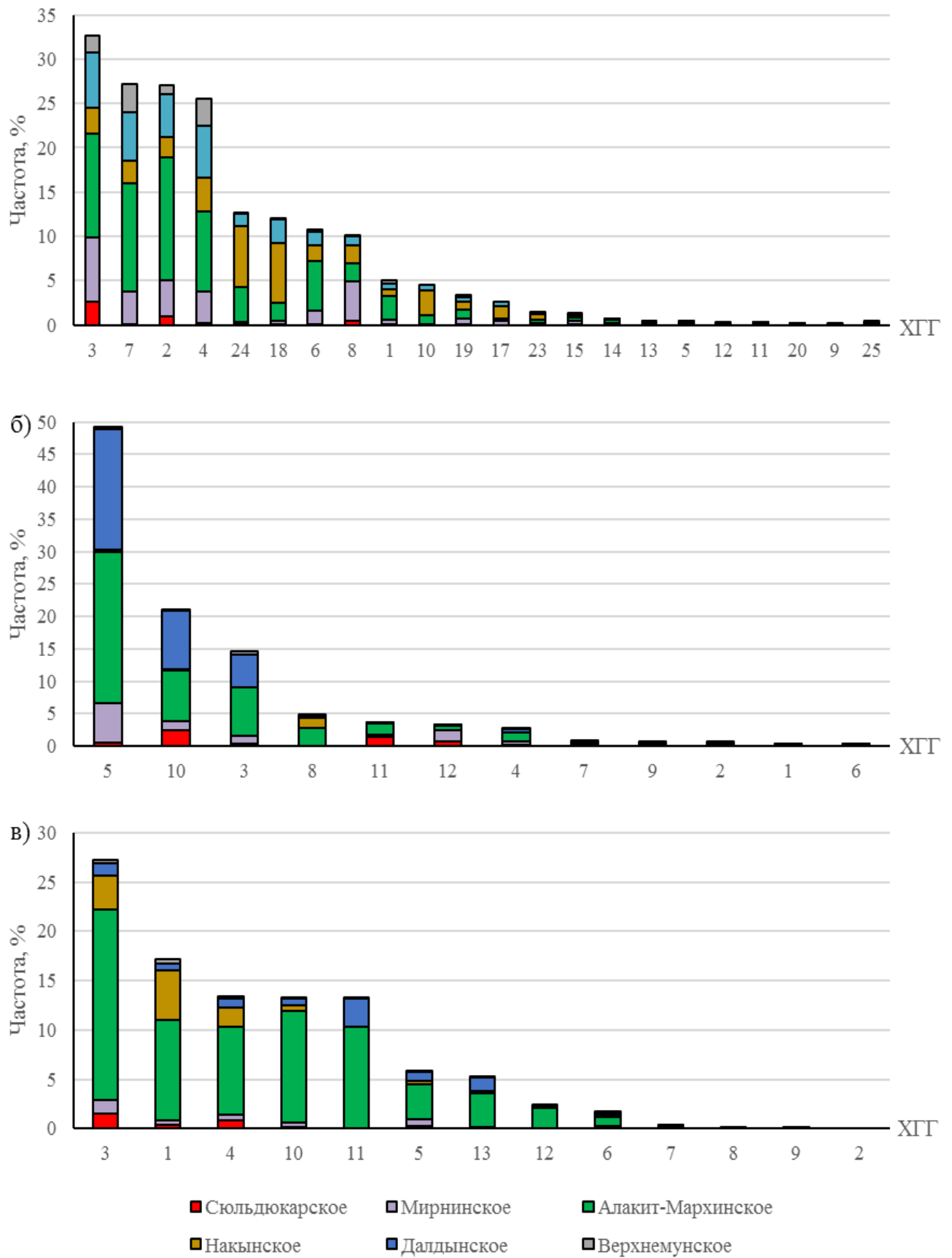


Рисунок 17. Распределение ИМК из кимберлитов Центрально-Сибирской субпровинции по химико-генетическим группам [Гаранин, 2006] пропорционально встречаемости. а) гранаты, б) ильменит, в) хромшпинелиды.

Таблица 8.

Распределение фоновых и аномальных параметров минералогического поля для Ыгыаттинского алмазоносного района

Типоморфные особенности ИМК	Выработки		Индикаторные минералы-кимберлитов		
	Кол-во	%	гранат	ильменит	хромшпинелид
Концентрация ИМК в пробе	1270				
Фоновая (<25 зн. на 10 л)	928	73			
Аномальная (>25 зн. на 10 л)	342	27			
Содержание ИМК в тяжелой фракции	1270				
Фоновая (< 16‰)	1040	82			
Аномальная (>16‰)	230	18			
Механический износ ИМК	1270		2256	4423	18086
Фон (III, IV кл.)	930	73	1734	2036	
Аномалия (0, I, II кл.)	340	27	522	2387	
Химический состав ИМК	678		1686	3716	1383
Фоновые ХГГ	442	65	1564	3179	1066
Аномальные ХГГ	236	35	122	537	317

Итого шлихоминералогические аномальные точки: по механическому износу составляют 27% от общего объема находок ИМК в выработках; по концентрации ИМК – 18%; доли ИМК в тяжелой фракции составляют 27%; по химико-генетическим группам – 25% (Рисунок 18).

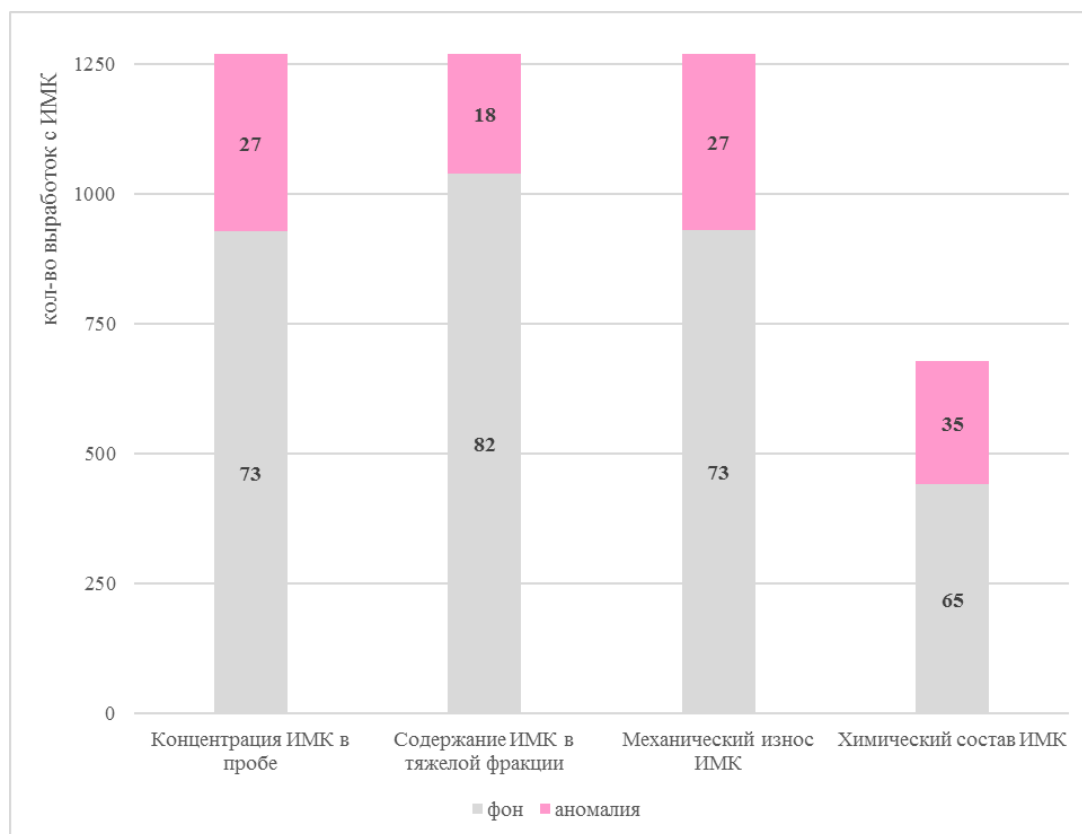


Рисунок 18. Соотношение фоновых и аномальных точек Ыгыаттинского алмазоносного района по комплексу минералогических признаков

Таблица 9

Номера и названия химико-генетических групп гранатов (Гаранин, 2006)

№	Название химико-генетической группы
1	Включения в алмазе, алмазоносные дуниты и гарцбургиты (высокохромистый низкокальциевый гранат)
2	Включения в алмазе, равномернозернистые лерцолиты ± алмаз (высокохромистый гранат)
3	Включения в алмазе, равномернозернистые лерцолиты ± алмаз (среднехромистый гранат)
4	Включения в алмазе, равномернозернистые лерцолиты (низко-среднехромистый гранат)
5	Включения в алмазе, верлиты (высокохромистый высококальциевый гранат)
6	Лерцолиты, иногда катаклазированные (титанистый высокохромистый гранат)
7	Ильменитовые лерцолиты ± алмаз, часто катаклазированные, включения в алмазе (титанистый низкохромистый гранат)
8	Лерцолиты и вебстериты (низкохромистый гранат)
9	Ильменитовые верлиты и мегакристы (титанистый низкохромистый кальциевый гранат)
10	Пироксениты, в том числе и ильменитовые (низкохромистый железистый гранат)
11	Магнезиальные алькремиты (магнезиальный гранат)
12	Магнезиально-кальциевые алькремиты (магнезиально-кальциевый гранат)
13	Мегакристы с включениями хромшпинелидов
14	Мегакристы с включениями ильменита
15	Гранат+ильменит±пироксеновые сростки
16	Ультравысокобарные включения в алмазе (мэйджоритовый гранат)
17	Включения в алмазе, магнезиально-железистые эклогиты ± алмаз (титанистый натровый высокожелезистый кальциевый гранат)
18	Включения в алмазе, магнезиально-железистые эклогиты ± алмаз (высокожелезистый гранат)
19	Включения в алмазе, магнезиально-железистые эклогиты ± алмаз (железо-магнезиальный гранат)
20	Глиноземистые эклогиты ± алмаз (низкомагнезиальный, кальциевый гранат)
21	Гроспидиты (высококальциевый гранат)
22	Гроспиты, включения в алмазе (титанистый высококальциевый гранат)
23	Магнезиально-железистые эклогиты (марганецсодержащий железистый гранат)
24	Эклогитоподобные породы (высокожелезистый гранат)
25	Эклогитоподобные породы (железистый гранат)

Таблица 10.

Номера и названия химико-генетических групп ильменита

№	Название химико-генетической группы
1	Перидотиты ± алмаз, включения в алмазе (низкохромистый пикроильменит)
2	Включения в алмазе, лерцолиты (± алмаз), метасоматизированные перидотиты (высокохромистый гейкилитовый ильменит)
3	Перидотиты, в том числе катаклазированные или метасоматизированные, включения в алмазе (хромистый пикроильменит)
4	Ортопироксениты и перидотиты (хромистый гейкилитовый гемоильменит)
5	Клинопироксениты и перидотиты (низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит)

6	Клинопироксениты (низкохромистый низкомагнезиальный ильменит)
7	Включения в алмазе, пироксениты и эклогиты (магнийсодержащий ильменит)
8	Эклогиты, включения в алмазе (марганцовистый ильменит)
9	Эклогитоподобные породы (ферримагнитный гемоильменит)
10	Перидотиты, клинопиксениты, включения в зональных гранатах (ферримагнитный магнезиальный гемоильменит)
11	Сростки с гранатом, включения в зональных гранатах (ферримагнитный хромистый магнезиальный гемоильменит)
12	Сростки с гранатом, включения в зональных гранатах, эклогиты (ферримагнитный магнезиальный гемоильменит)

Таблица 11.

Химико-генетические группы ИМК по степени «аномальности»

Характеристика	Номера ХГГ гранатов	Номера ХГГ ильменита	Номера ХГГ хромшпинелидов
Генетически связанные с алмазами, эклогитовые	16, 17, 18, 19, 20	-	-
Генетически связанные с алмазами	1	1, 2, 7, 8, 9	1
Эклогитовые	22, 23, 24, 25	-	-
Редкие	5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	4, 6, 11, 12	2, 6, 7, 8, 9, 12, 13
Наиболее распространенные «фон»	2, 3, 4, 6, 7, 8	3, 5, 10	3, 4, 5, 10, 11

Различия в детальности выполненного районирования для разных площадей района обусловлены полнотой имеющейся информации и реализованной плотностью точек наблюдения. Основными коллекторами ИМК в Ыгыаттинском районе являются верхнепалезойские отложения (ботуобинская свита верхнего карбона, ахтарандинская и боруллойская свиты перми).

Предшественниками установлено [Горев, 2005ф, 2009ф, Шаталов, 2005ф], что на территории Ыгыаттинского алмазоносного района наблюдается смешение «мирнинской» и «далдынской» и «тюнгской» ассоциаций ИМК. Индикаторные минералы представлены преимущественно ильменитом, при подчиненной роли гранатов и хромшпинелидов.

Для корректного отображения в ГИС-системах создана цифровая база минералогических данных (*.gdb), содержащая: ID ТН, объект, участок, номер линии, номер точки, координаты, тип выработки, общее количество находок ИМК,

стратиграфическую разбивку, разделение по механическому износу и классу крупности, доли ИМК в весе ТФ, наличие микрозондовых анализов, разделение ИМК на химико-генетические группы (ХГТ), ранжирование ХГТ. Далее все выработки с находками ИМК разделены на «фоновые» и «аномальные» по значениям прогнозно-поисковых признаков.

С помощью конструктора моделей ArcGIS (Model Builder) создана модель управления процессами обработки цифровых минералогических данных, в основе использование полученных цифровых данных: контур изучаемой площади, шлихоминералогические аномалии. Сам процесс состоит в построение равномерной сетки со следующими параметрами: ширина и высота ячейки – 2000 м, так как плотность сети бурения 2×2 км занимает >50% всей площади, тип геометрии Polygon. Далее происходит объединение шлихоминералогических аномалий с построенной сеткой и суммирование значений в каждой ячейке (Рисунок 19).

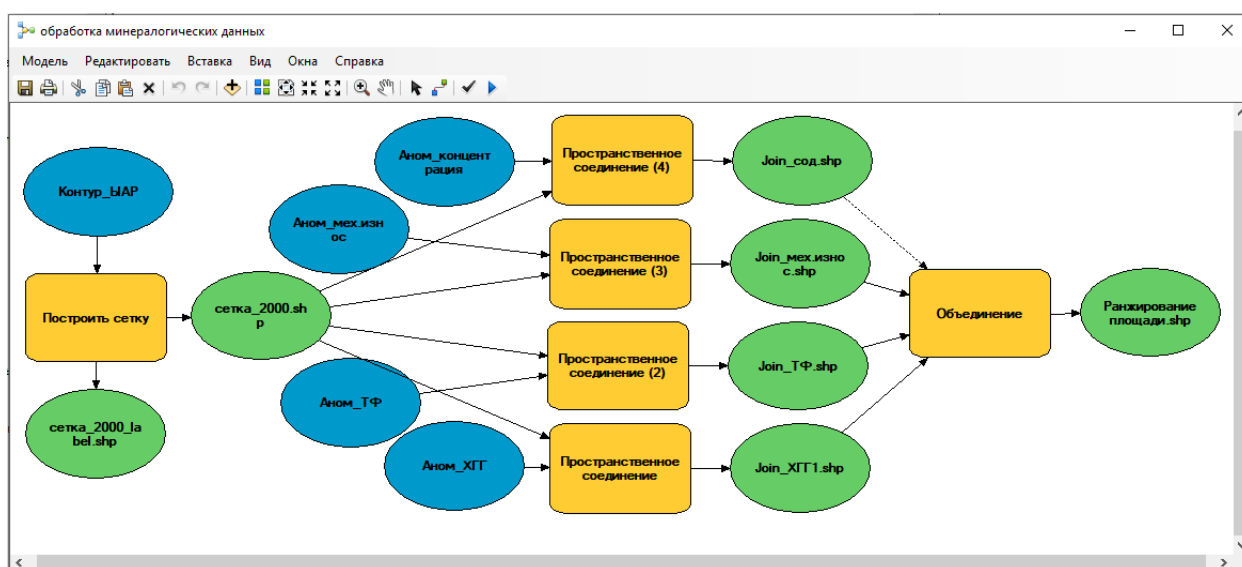
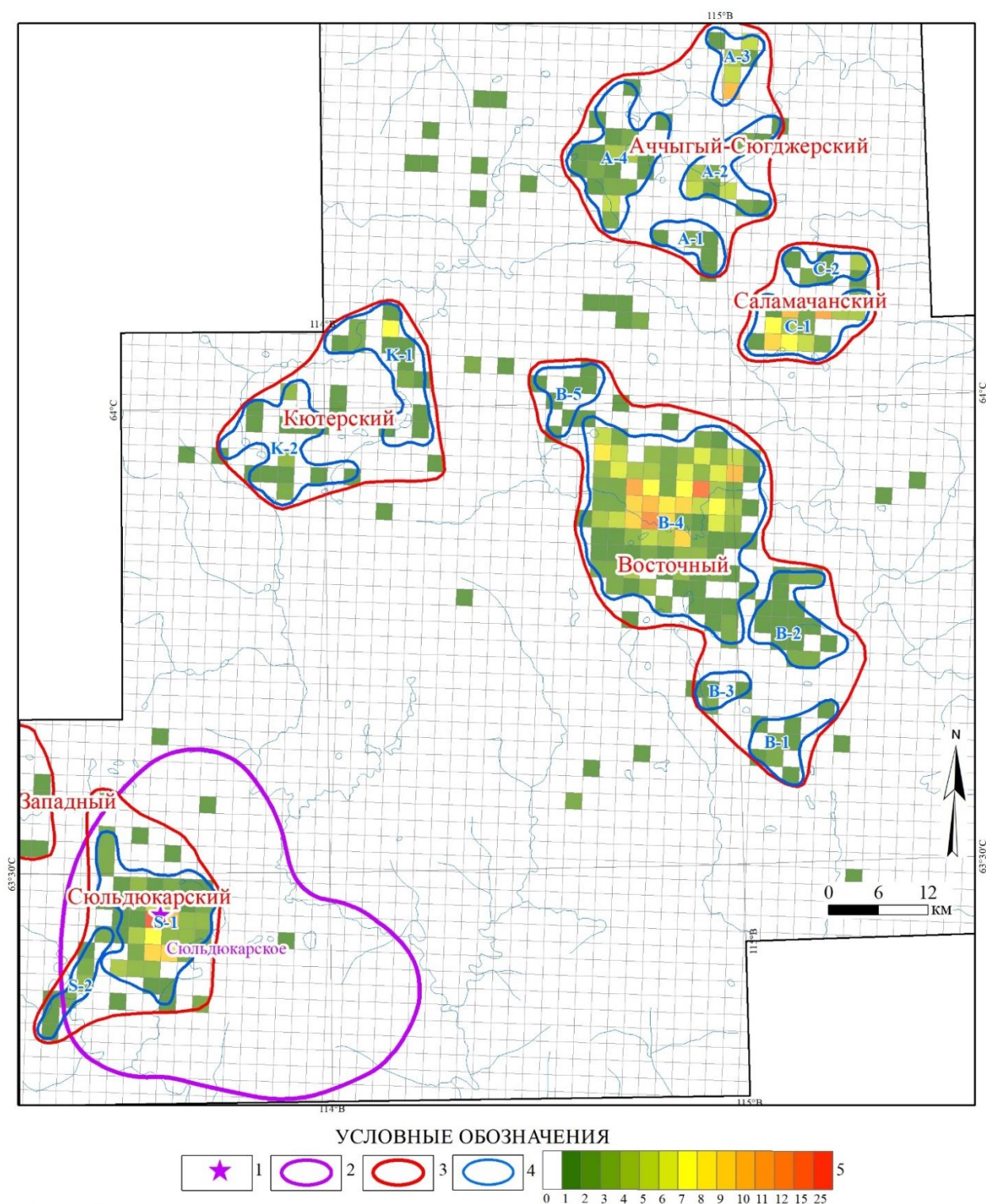


Рисунок 19. Обработка ModelBuilder минералогических цифровых данных.

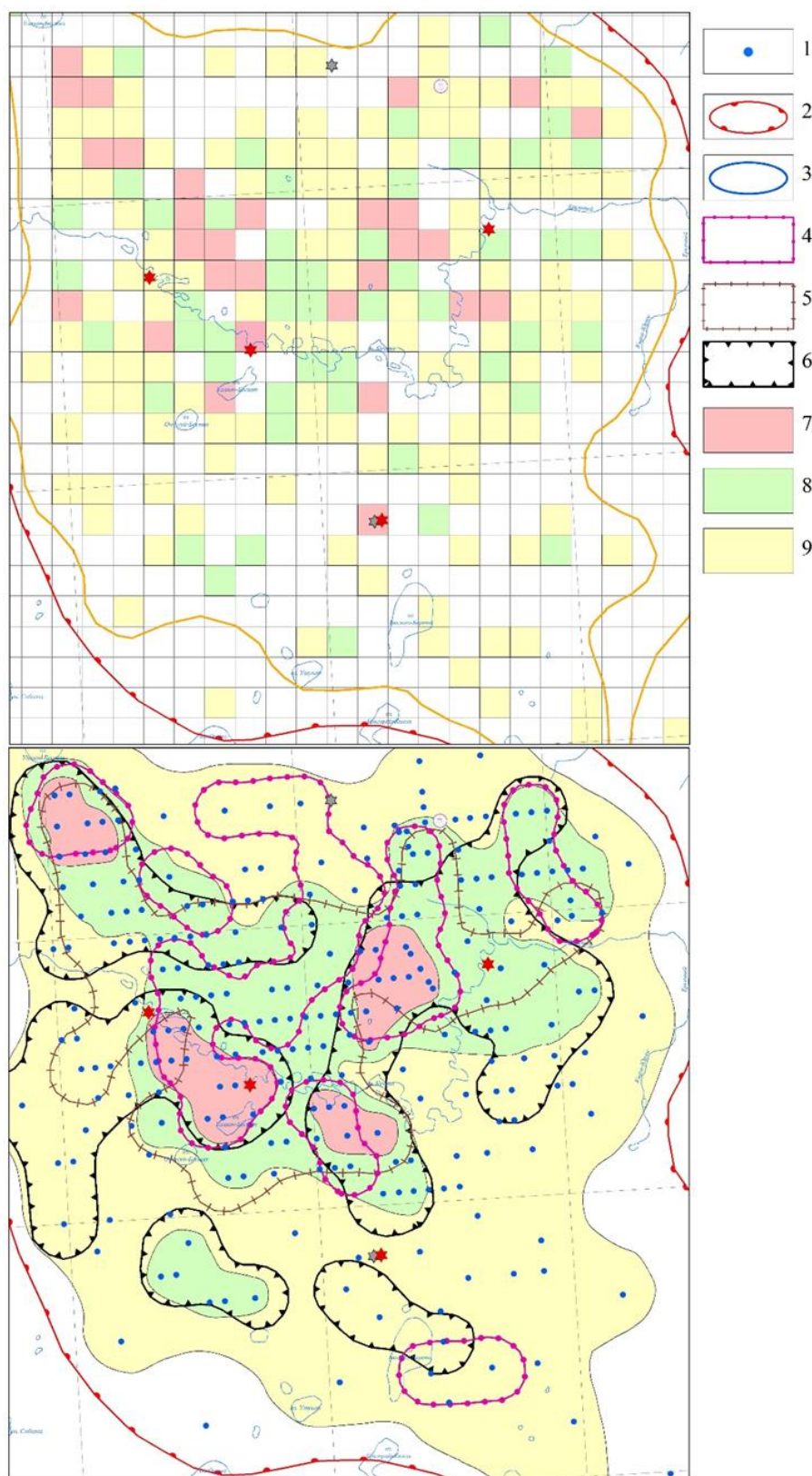
Для Восточного минералогического узла проведено ранжирование локальной площади масштаба 1:100 000, двумя методами обработки картографических данных: «количественным» и «качественным».

«Количественный метод» заключается в построении равномерной сетки, со следующими параметрами: ширина и высота ячейки составляет 1000 м, так как плотность сети бурения 500 x 500 м занимает >70% всей площади, тип



1- Сюльдюкарская кимберлитовая трубка, 2- Сюльдюкарское кимберлитовое поле, 3- контуры минералогических узлов PZ, 4-контуры минералогических участков, 5- ранжирование площадей по наличию шлихоминералогических аномалий

Рисунок 20. Схема минералогического районирования Ыгыаттинской площади, масштаб 1:600 000



1- точечные шиховые аномалии ИМК; 2- Восточный минералогический узел; 3- контуры минералогических участков; 4-6 области распространения: 4- ИМК "алмазной ассоциации"; 5- ИМК редко встречающихся ХГТ; 6- аномальных концентраций ИМК тяжелой фракции; 7-9 Ранжирование площадей по минералогическим критериям алмазоносности: 7- с максимальной проявленностью; 8- со средней проявленностью; 9- с низкой проявленностью.

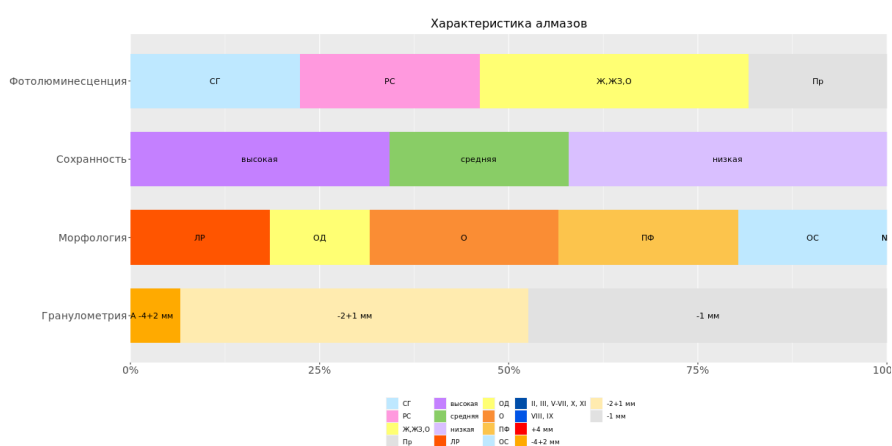
Рисунок 21. Примеры анализа пространственных минералогических данных Восточного узла.

геометрии Polygon, затем с помощью Model Builder проводится анализ картографических данных.

«Качественный метод» выполняется в несколько этапов: сначала происходит оцифровка границ распространения: ИМК «алмазной ассоциации»; ИМК редко встречающихся ХГГ; аномальных концентраций ИМК в тяжелой фракции; аномальных концентраций ИМК, аномальных ИМК по механическому износу с радиусом поиска 1 км. Далее с помощью модуля ArcToolbox\Наложение\Объединение происходит суммирование всех минералогических признаков и проводится ранжирование (Рисунок 21).

4.3. Типоморфные особенности алмазов и ИМК минералогических узлов

Алмазы Проведено минералогическое исследование 76 кристаллов алмазов из верхнепалеозойских отложений Ыгыаттинской площади. По гранулометрическому составу кристаллы алмазов находятся в трех классах: -4+2 мм (6,6%), -2+1 мм (46%), -1 мм (47,4%). Алмазов с низкой степенью сохранности 42,1%, с высокой 34,2%. Большая часть кристаллов алмазов имеет октаэдрический габитус (25%) и переходные формы (23,7%). По результатам ИК-спектроскопии кристаллы в основном с желтым, желто-зеленым, зеленым и оранжевым свечением (35,4%), в меньшей степени розово-сиреневой фотолюминисценцией (23,7%) (Рисунок 22).



Морфология: I разновидность [О - октаэдрические, ПФ – переходные формы, ЛР - ламинарные ромбододекаэдрические, ОД - округлые додекаэдрические, Пр - прочие], ОС - осколки, II-XI - остальные разновидности. Сохранность: высокая (целый, поврежденный), средняя (обломанный, расколотый), низкая (обломок, осколок). Фотолюминесценция: СГ - сине-голубые, РС - розово-сиреневые, Ж, ЖЗ, О - желтые, желто-зеленые, зеленые, оранжевые, Пр - зональные, не светящиеся, неопределенные, фиолетовые

Рисунок 22. Типоморфные особенности алмазов Ыгыаттинской площади

В пределах центральной части Ыгыаттинского алмазоносного района выделено 6 минералогических узлов, выделенных по сближенным минералогическим аномалиям. Аномалии характеризуются выраженными признаками ближнего сноса: содержания ИМК >25 зн. в пересчете на 10л; содержания в тяжелой фракции >16 мг/г; наличие и повышенная доля зерен гранулометрических классов – $-4+2$ мм, $-2+1$ мм; наличие и повышенная доля сохранных зерен пиропов и пикроильменита (0-II классы механического износа). Минералогические узлы характеризуются близкой минеральной ассоциацией – примерно равное содержание пиропов и пикроильменитов с существенно повышенной (55-97%) долей хромшпинелидов, за исключением Саламачанского минералогического узла (Рисунок 23).

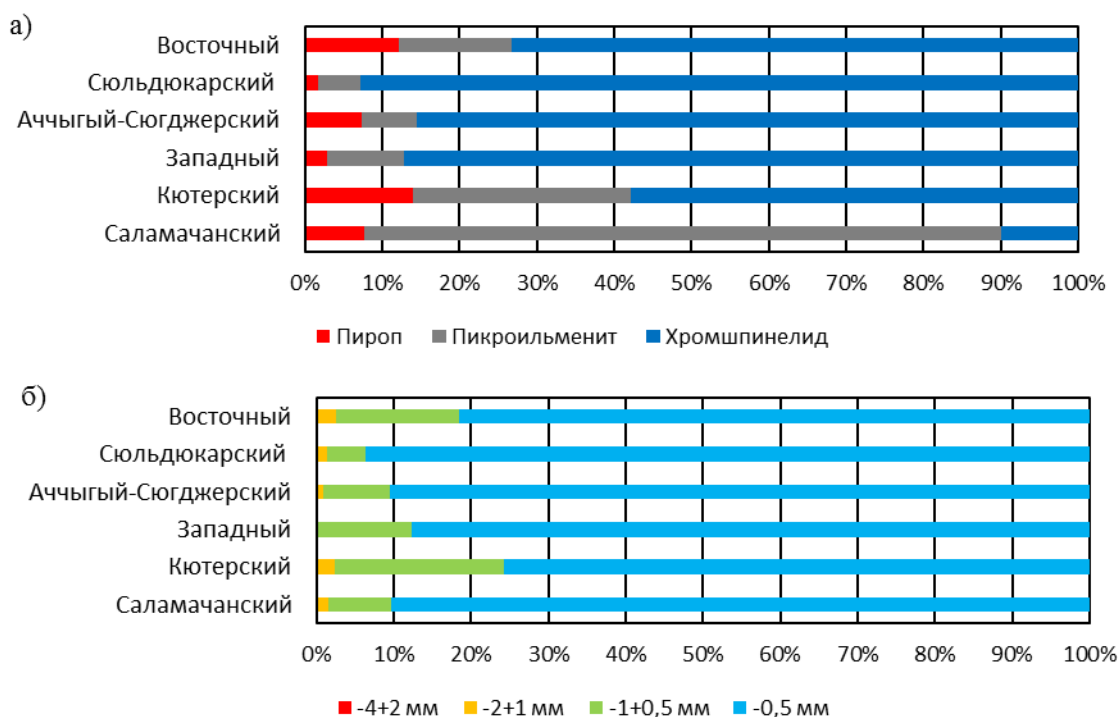


Рисунок 23. Ассоциации (а) гранулометрические характеристики ИМК (б) минералогических узлов Ыгыаттинского алмазоносного района.

ИМК в минералогических узлах имеют близкие гранулометрические характеристики: зерна класса $(-8+4)$ мм отсутствуют; встречаются единичные зерна в классе $(-4+2)$ мм; класс $(-2+1)$ мм составляет от 0 до 4%; класс $(-1+0,5)$ мм – 5-20%; от 75% и более зерен индикаторных минералов кимберлитов относятся к классу $(-0,5)$ мм. Индикаторные минералы кимберлитов в пределах минералогических узлов имеют особенности и в химическом составе (Рисунок 24).



Рисунок 24. Типоморфные особенности ИМК минералогических узлов Ыгыаттинского алмазоносного района

Восточный узел

Минералогический узел Восточный, площадью 946 км², располагается в центральной части Ыгыаттинского алмазоносного района. Имеет вытянутую форму и северо-западное простирание. В длину составляет 60 км, в наиболее широкой центральной части – 26 км. Северо-западная граница расположена в 10 км к северо-западу от оз. Улахан-Бюг. Юго-западная граница маркируется оз. Оччугуй-Бу и оз. Бут-Кюель. С юго-запада граница проходит вдоль оз. Бере, Кубалах, Соболох, Очума, Хампа и Сордонго. Северо-восточная граница проходит субпараллельно р. Ыгыатта в 5-15 км на юго-запад от неё.

В пределах узла пройдено 1067 выработок, отобрано 9917 проб. Из них зерна индикаторных минералов кимберлитов содержатся в 543 выработках и в 1151 пробе соответственно. Доля продуктивных выработок – 50,9%. Всего обнаружено 11088 зерен индикаторных минералов кимберлитов, представленных пиропами (1354 знака), пикроильменитами (1608 знаков) и хромшпинелидами (8122 знака).

Минералогическая ассоциация пироп-пикроильменит-хромшпинелидовая (1:1,2:6) (Рисунок 24).

Индикаторные минералы кимберлитов

Аномалии по содержанию на 10 л (>25 знаков) обнаружены в 146 выработках, по содержанию ИМК в тяжелой фракции (>16%) – в 120, по сохранности (0-II классы механического износа) – в 191. Всего сохранных зерен индикаторных минералов кимберлитов – 738 знаков, из них пиропы – 298 знаков, пикроильмениты – 440 знаков. Доля сохранных зерен индикаторных минералов кимберлитов – 25%. Всего в пределах узла выделено 303 выработки с минералогическими аномалиями.

Зерна индикаторных минералов кимберлитов представлены в следующих гранулометрических классах: -4+2 мм – 9 знаков; -2+1 мм – 281 знак; -1+0,5 мм – 1758 знаков; -0,5 мм – 9039 знаков.

Гранаты. Изучен химический состав 845 зерен гранатов. По классификации Н.В. Соболева (1974) в выборке преобладают гранаты лерцолитового парагенезиса (77,3% от всей выборки), гранаты дунит-гарцбургитового парагенезиса составляют 14,8%, верлитового – 5,4%, эклогитового – 2,4%. Гранаты алмазной ассоциации дунит-гарцбургитового парагенезиса составляют 7,5% от количества изученных, эклогитового парагенезиса – 0,5% лерцолитового – 0,1%. По классификации В.К. Гаранина (2006) в изученной выборке преобладают среднехромистые гранаты из равномернозернистых лерцолитов (ХГГ3, 32,5% от количества изученных), широко проявлены гранаты ХГГ 8 – низкохромистые гранаты из лерцолитов и вебстеритов (20,8%). Широко проявлены высоко- и средне-низкохромистые гранаты из равномернозернистых лерцолитов (ХГГ2, 12,7% и ХГГ4, 11,6%). Отмечены также титанистые гранаты: высокохромистые из лерцолитов (ХГГ6, 2,8%) и низкохромистые из ильменитовых лерцолитов (ХГГ7, 7,1%) и низкохромистые кальциевые из ильменитовых верлитов (ХГГ9, 0,1%).

В изученной выборке присутствуют гранаты трех химико-генетических групп, не выделенных в кимберлитах трубки Сюльдюкарская: ХГГ17 ХГГ13 и ХГГ5.

Ильменит. Изучен химический состав 1202 зерен ильменита. По химическому составу преобладает в выборке пикроильменит с содержаниями магния от 7 до 10 мас.%, что, в целом, соответствует «кимберлитовому тренду». При этом отмечается и ильменит с содержанием магния до 4 мас.%. В выборке отмечены зерна с высоким содержанием как магния, так и хрома. В изученной выборке отмечено 11 из 12 выделяемых В.К. Гараниным (2006) химико-генетических групп ильменита.

Преобладает низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит, соответствующий таковому из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5, 47,6%), на втором месте по распространенности ферримагнитный магнезиальный гемоильменит из перидотитов, клинопироксенитов (ХГГ10, 38,9%). Отмечены также: ферримагнитный магнезиальный гемоильменит, отвечающий эклогитам, сросткам с гранатом и включениям в зональных гранатах (ХГГ12, 6,2%), ферримагнитный хромистый магнезиальный гемоильменит, соответствующий ильменит-гранатовым сросткам и включениям в зональных гранатах (ХГГ11, 3,2%), хромистый пикроильменит из перидотитов (ХГГ3, 1,7%). Обращает на себя внимание присутствие в выборке трёх химико-генетических групп ильменита, не выявленных в кимберлитах тела Сюльдюкарское (Ан. Т-54/14) – ХГГ8, ХГГ6, ХГГ1.

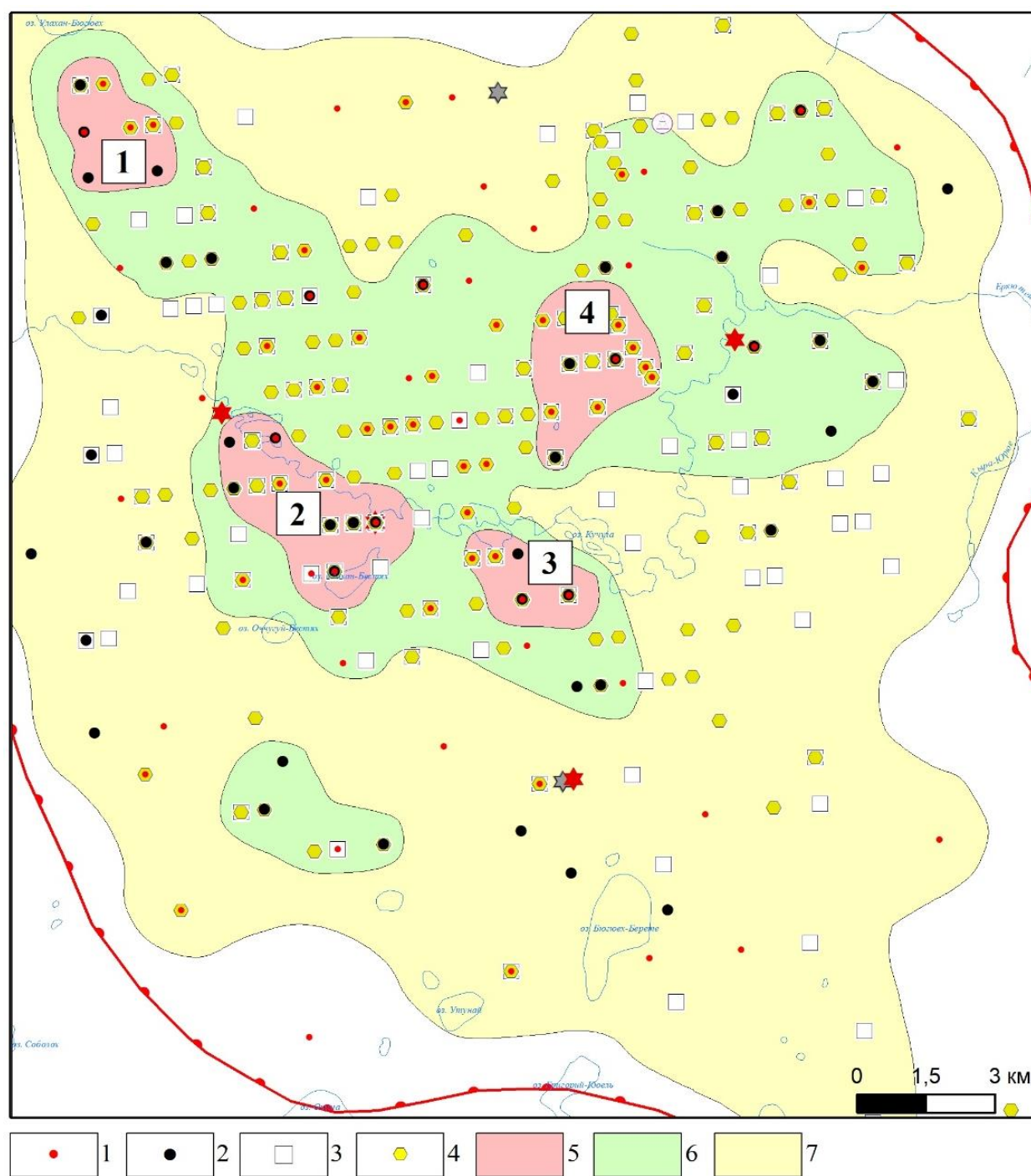
Хромшпинелиды. Изучен химический состав 84 зерен хромшпинелидов. Состав хромшпинелидов варьирует в широких пределах: от хромшпинели до высокохромистых пикрохромитов, при этом, в основном, оставаясь в «кимберлитовых» пределах. Хромшпинелиды, соответствующие алмазной ассоциации по Н.В. Соболеву (1974) составляют 5,3% от количества изученных. По содержанию титана в выборке преобладают низкотитанистые. В выборке отмечены 2 (2,4%) зерна хромшпинелидов с высокими содержаниями марганца (свыше 1 мас.%).

По классификации В.К. Гаранина (2006) в изученной выборке преобладают хромшпинелиды, соответствующие таковым из лерцолитов, при высокой частоте встречаемости хромитов из дунитов и гарцбургитов (Рис. 3.30). Преобладающая

химико-генетическая группа – среднехромистые алюмохромиты (ХГГ4), алюмопикрохромиты (ХГГ3) на втором месте по распространенности. Широко проявлены феррихромиты (ХГГ10), пикрохромиты (ХГГ1) и ферриалюмохромиты (ХГГ13). В выборке хромшпинелидов из верхнепалеозойских отложений выявлена группа хромшпинелидов, не отмеченная в кимберлитах тела – ХГГ12.

Сопоставление химического состава МСА участка Восточный с минералами из кимберлитов трубки Сюльдюкарская показывает существенные различия: в изученной выборке гранатов отмечены три группы, не выявленные в кимберлитах (ХГГ17, ХГГ4 и ХГГ9), аналогичные результаты получены для ильменитов (ХГГ1, ХГГ6, ХГГ8), а также одна группа хромшпинелидов (ХГГ12). Следует отметить, что гранаты ХГГ17 генетически могут быть связаны с алмазами и относятся к эклогитовому парагенезису. Согласно современным представлениям [Афанасьев и др., 2001] гранаты эклогитового парагенезиса неустойчивы в экзогенных условиях и не переносятся на большие расстояния от коренного источника.

Анализ плотности распределения аномальных точек в пределах минералогического узла позволил выделить пять минералогических участков, а в пределах наиболее изученного минералогического участка «В-4» – четыре высококонтрастных ореола (Рисунок 25). Минералогические участки и ореолы обладают схожей ассоциацией ИМК, но наблюдаются существенные различия в гранулометрии, сохранности и химическом составе ИМК.



Точечные шихо-минералогические аномалии: 1-содержащие химико-генетические группы ИМК: "алмазной ассоциации" и редко встречающихся групп; 2-по содержанию ИМК в аллотигенной составляющей тяжелой фракции ($> 16\%$); 3-по содержанию ИМК на стандартную 10 л пробу (> 25 знаков); 4- по степени механического износа зерен ИМК (0, I, II класс); Ранжирование площадей по минералогическим критериям алмазоносности: 5- с максимальной проявленностью; 6- со средней проявленностью; 7- с низкой проявленностью

Рисунок 25. Схема минералогического районирования участка В-4, масштаб 1:100 000.

Методика минералогического районирования основана на подходе «фон-аномалия» посредством принятия минимально-аномальных значений для каждого минералогического признака. В Ыгыаттинском районе аномальными значениями определены следующие характеристики ИМК: концентрация ИМК в 10л пробе более 25 знаков; содержание ИМК в тяжёлой фракции свыше 16‰; ИМК высокой степени сохранности (0-II класс); ИМК «аномальных» химико-генетических групп. Для каждой выработки формируется индивидуальный «паспорт» с набором типоморфных характеристик ИМК.

Применение статистических методов при обработке результатов полуколичественного минералогического анализа существенно облегчает обработку поступающей информации, а использование разных «компонентов» минералогических полей позволяет существенно сузить территорию поисков коренного источника. Новый цифровизованный подход к оконтуриванию таксономических единиц «минералогический узел», «минералогический участок», учитывающий максимально возможное количество типоморфных особенностей ИМК осадочных коллекторов, позволил выделить шесть минералогических узлов: Сюльдюкарский, Западный, Восточный, Кютерский, Саламачанский и Аччыгый-Сюгджерский.

Предлагаемая методика может применяться не только при среднемасштабных, но и при крупномасштабных алмазопоисковых работах. Применяя методику в других алмазоносных районах, надо учитывать специфику изучаемой площади, стабильно аномальными значениями ИМК могут быть только высокосохранные зерна ИМК и аномальные химико-генетические группы.

ГЛАВА 5. Методика оконтуривания и количественная оценка прогнозных ресурсов алмазов прогнозируемого Еркютейского кимберлитового поля

5.1. Оконтуривание кимберлитового поля

В отечественной геологической практике применяется минерагеническое районирование с выделением разномасштабных таксонов: «провинция», «субпровинция», «район», «поле», «куст», «тело».

Для прогнозирования и поисков алмазоносных объектов необходимо достоверное выделение внешних границ кимберлитового поля, разные авторы под этим таксоном понимают близкие, но не тождественные понятия. Ниже приводятся несколько примеров таких разночтений:

Кимберлитовое поле – это обособленный участок развития кимберлитов, формирование которых происходило при близких термодинамических (фациальных) и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне. Границы поля устанавливаются по положению ограничивающих разломов [Милашев, 1979].

Кимберлитовое поле – это пространственно обособленный одновозрастный рой разнофациальных тел кимберлитовых пород, расположенный в пределах магмопроницаемого участка региональной зоны дробления консолидированной коры и опирающийся на крупный массив щелочно-ультраосновных пород [Брахфогель, 1979ф].

Кимберлитовое поле – это пространственно сближенная, достаточно схожая по своим характеристикам группа магматических тел [Манаков, 2000].

При построении специализированных карт кимберлитовые поля изображаются в виде окружностей, овалов и сложных многоугольников, выделяемых на основе различных прогнозно-поисковых признаков. Элементы тектонического строения, водотоки, определяемые в качестве граничных, варьируют у разных авторов. Подобная интерпретация носит в большинстве своем субъективный характер и вносит существенную путаницу в построения (Рисунок 26).

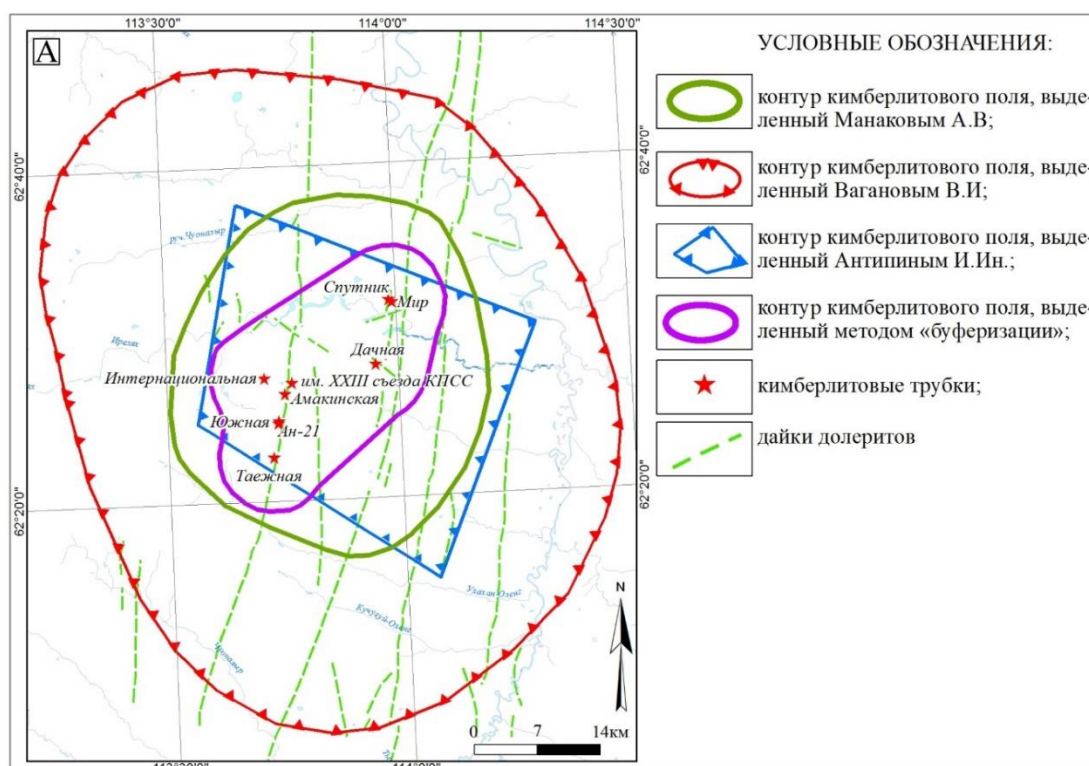


Рисунок 26. Сводная схема оконтуривания Мирнинского кимберлитового поля

В настоящее время географические информационные системы (ГИС) нашли широкое применение в практике алмазопромышленных работ АК «АЛРОСА» (ПАО). В качестве основного программного продукта использован пакет программ ArcGIS ArcMap 10.8.1, который позволяет структурировать значительный объем информации. Для оконтуривания кимберлитовых полей использован комплекс прогнозно-поисковых признаков кимберлитового магматизма: структурно-тектонические, минералогические, геофизические и палеогеографические.

Структурно-тектонические признаки

Еркютейское прогнозируемое поле находится на стыке Непско-Ботуобинской антеклизы и Сюгджерской седловины и приурочено к центральной части Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов I порядка, в узле пересечения центральной подзоны ВМЗ с Ыгыаттинской ветвью секущей Ыгыаттинской зоны. Следует отметить, что в пределах центральной подзоны ВМЗ локализованы алмазонасные кимберлитовые поля Мирнинское и Накынское [Проценко, 2020].

В Еркютейском поле наблюдается преобладание разломов север-северо-восточного простирания (71 %) и северо-западного простирания (18%). Длина

разрывных нарушений колеблется от 1,5 до 8 км, в редких случаях достигая 18 км, в среднем составляет 3,3 км. Построенная схема плотности разрывных нарушений, характеризуется значениями плотностью от 0,01 до 1,24 км/км², наибольшая плотность наблюдается на юго-западе территории (0,5–0,9 км/км²).

По структурно-тектоническим признакам выделены две перспективные площади, одна из которых находится в узле пересечения центральной подзоны Вилюйско-Мархинской зоны с секущей Ыгыаттинской ветвью, другая характеризуется повышенной плотностью разрывных нарушений.

Минералогические признаки

Для разбраковки минералогических данных принят подход «фон»-«аномалия». Комплексный анализ распространения выделенных шлихоминералогических аномалий позволил оконтурить Восточный минералогический узел в верхнепалеозойских отложениях (ботуобинской, ахтарандинской и боруллойской свит) Ыгыаттинского алмазоносного района.

В пределах данного узла отобрано 9917 проб, из них зерна индикаторных минералов кимберлита содержатся в 1151 пробе. Всего отобрано 11088 зерен ИМК, представленных пиропами (1354 зн.), пикроильменитами (1608 зн.) и хромшпинелидами (8122 зн.). Минералогическая ассоциация пироп-пикроильменит-хромшпинелидовая (1:1,2:6).

Анализ плотности распределения аномальных точек в пространстве в пределах минералогического узла позволил выделить пять минералогических участков, а также четыре высококонтрастных интегральных ореола ИМК.

Геофизические признаки

Ыгыаттинский алмазоносный район, находится в пределах стабильного фундамента с дорифейским возрастом консолидации. Основными критериями считают зоны разуплотнения и размагничивания на уровне кристаллического фундамента, вертикальные сквозные проводящие неоднородности, зоны сейсмической расслоенности [Горев, 2005ф]. По результатам тематических работ [Колесник, 2021ф] выделена Хампинская область проявленности геофизических прогнозно-поисковых критериев, соответствующих объекту ранга «кимберлитовое

поле». Располагается она в междуречье р. Холомолох-Юрях и Аппыча, имеет площадь 1093 км² и находится в зоне влияния ряда крупных разломов Вилуйско-Мархинской системы.

Для территории характерны зоны разуплотнения, понижение магнитоактивной поверхности, кольцевые аномалии, выделенные по гравитационному и магнитному полям, зоны повышенной проводимости в кристаллическом фундаменте [Колесник, 2021ф]. Геофизические прогнозно-поисковые критерии являются необходимыми, но не всегда достаточными для самостоятельного выявления кимберлитов, особенно в сложных поисковых обстановках.

Палеогеографические признаки

Площади перспективные на проявление кимберлитового магматизма, в палеогеографическом плане, должны отражать прямую связь с контрастными минералогическими объектами, установленными в пределах области седиментации продуктивного стратиграфического подразделения. Поскольку ореолы ИМК, генерализованные в рамках минералогических узлов, формировались в области аккумуляции, то прогнозируемые кимберлитовые тела должны располагаться в пределах окружающих ближайших палеовозвышенностей.

По результатам поисковых работ локализованы две перспективных участка: Восточный и Бюгюехский. Восточный участок расположен в пределах современных Еркютейской и Укугутской палеовозвышенностей. В ботубинское и ахтарандинское время с площади участка предполагается вынос ИМК в Восточный минералогический узел короткими временными водотоками, нашедшими отражение в разрезах верхнего палеозоя. Бюгюехский участок охватывает водораздельную часть речных водотоков ахтарандинского и ботубинского времени, с переносом терригенного материала и зерен ИМК, в направлении на север и северо-восток.

Прогнозная оценка территории

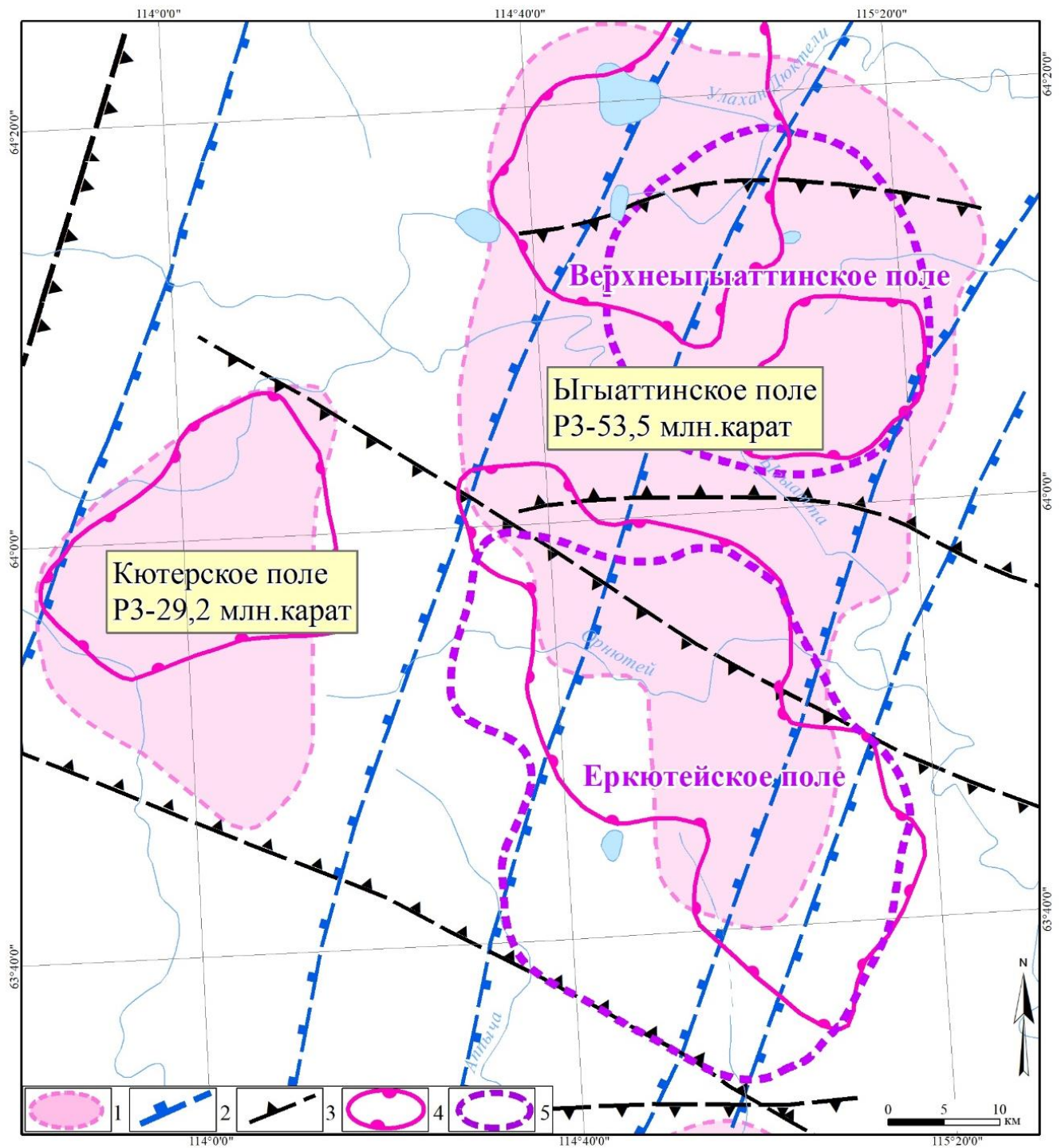
По ранее оконтуренному прогнозируемому Ыгыаттинскому кимберлитовому полю [Коробков, 2013ф], была проведена оценка прогнозных ресурсов алмазов по

категории P_3 , которая составила 53,5 млн.карат [Протокол №28 Заседания подсекции экспертизы и апробации оценок прогнозных ресурсов секции геологии Ученого Совета ЦНИГРИ от 10.11.2011 г.] (Рисунок 27). Предлагается разделить выделенное прогнозируемое кимберлитовое поле на два: Верхнеыгыаттинское и Еркютейское. Это обусловлено тем, что выделенные поля локализованы внутри разных секущих зон, ответвляющихся от Патомско-Вилуйского авлакогена (Ыгыаттинской и Дюктелинской). Данные прогнозируемые поля располагаются в пределах разных минералогических узлов и характеризуются набором ИМК с разными типоморфными и типохимическими особенностями (Рисунок 27).

Площадь является преимущественно закрытой для поисков кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста. Перекрывающий комплекс представлен, в основном, верхнепалеозойскими и мезозойскими терригенными образованиями, а также породами трапповой формации их суммарная мощность не превышает 150 м.

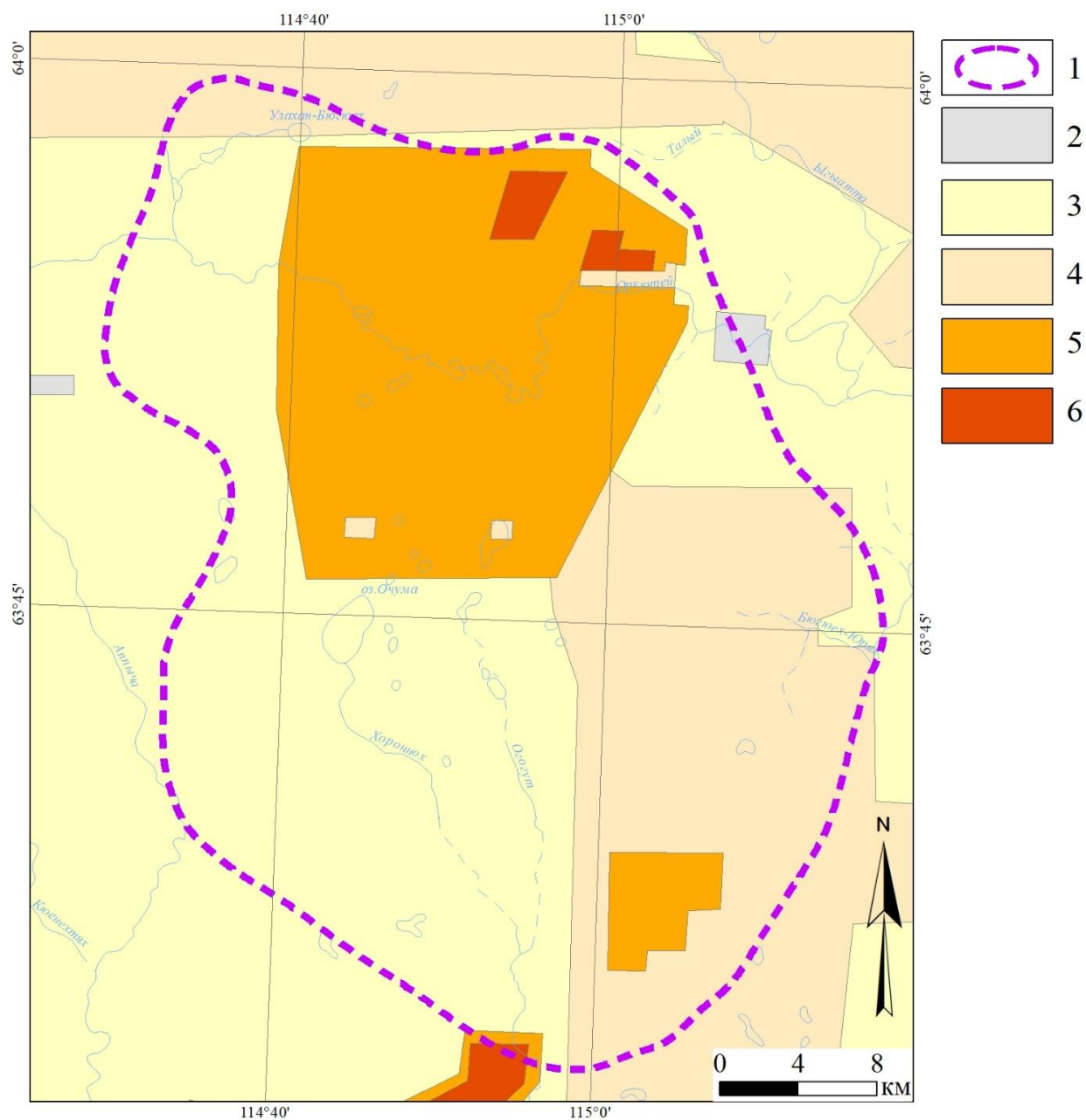
Значительные объемы поискового бурения на данной площади были выполнены по регулярной сети 2х2 км (50% территории), 49% рассматриваемой изучено буровой сетью 1х1 км и плотнее. Лишь 1% площади покрыто региональной буровой сетью 4х4 км или реже. При этом для 50% пройденных скважин нет минералогической информации в цифровом виде. То есть в совокупности опоскованность территории соответствует 3-й стадии ГРР (общие поиски) [Горев, 2005ф] (Рисунок 28).

Выделение прогнозируемого кимберлитового поля выполнено на основе анализа карты проявленности установленных прогнозно-поисковых критериев и предпосылок, кимберлитового магматизма. Процесс оконтуривания состоит в объединении полигональных данных в один цифровой слой и суммирование всех прогнозно-поисковых признаков (Рисунок 29). Границы поля определяются сочетанием не менее трех прогнозно-поисковых признаков. Путем синтеза всех полученных цифровых данных, оконтурено Еркютейское прогнозируемое кимберлитовое поле, площадь которого составила 1390 км² (Рисунок 30).



1- прогнозируемые кимберлитовые поля, с апробированными прогнозными ресурсами алмазов; 2- отдельные ветви Вилуйско-Мархинской зоны; 3- секции рифтоподобные структуры и их отдельные ветви; 4- минералогические узлы; 5- предлагаемые контуры прогнозируемых кимберлитовых полей

Рисунок 27. Контур Ыгыяттинского поля, и предлагаемого оконтуривания Еркютейского поля.



1- Еркютейское прогнозируемое кимберлитовое поле; 2-6 - Стадийность ГРР, рассчитанная на основе плотности сети буровых выработок: 2- Комплексные работы масштаба 1:200 000-1:100 000 (сеть 4x4 км), 3- Комплексные работы масштаба 1:200 000-1:100 000 (сеть 2x2 км), 4- Общие поиски масштаба 1:50 000-1:25 000 (сеть 1x1 км), 5- Общие поиски масштаба 1:50 000-1:25 000 (сеть 0,5x0,5 км), 6- Поисковые работы масштаба 1:10 000-1:5 000 (сеть 0,25x0,25 км)

Рисунок 28. Схема стадийности геологоразведочных работ Еркютейского прогнозируемого поля, масштаб 1:400 000

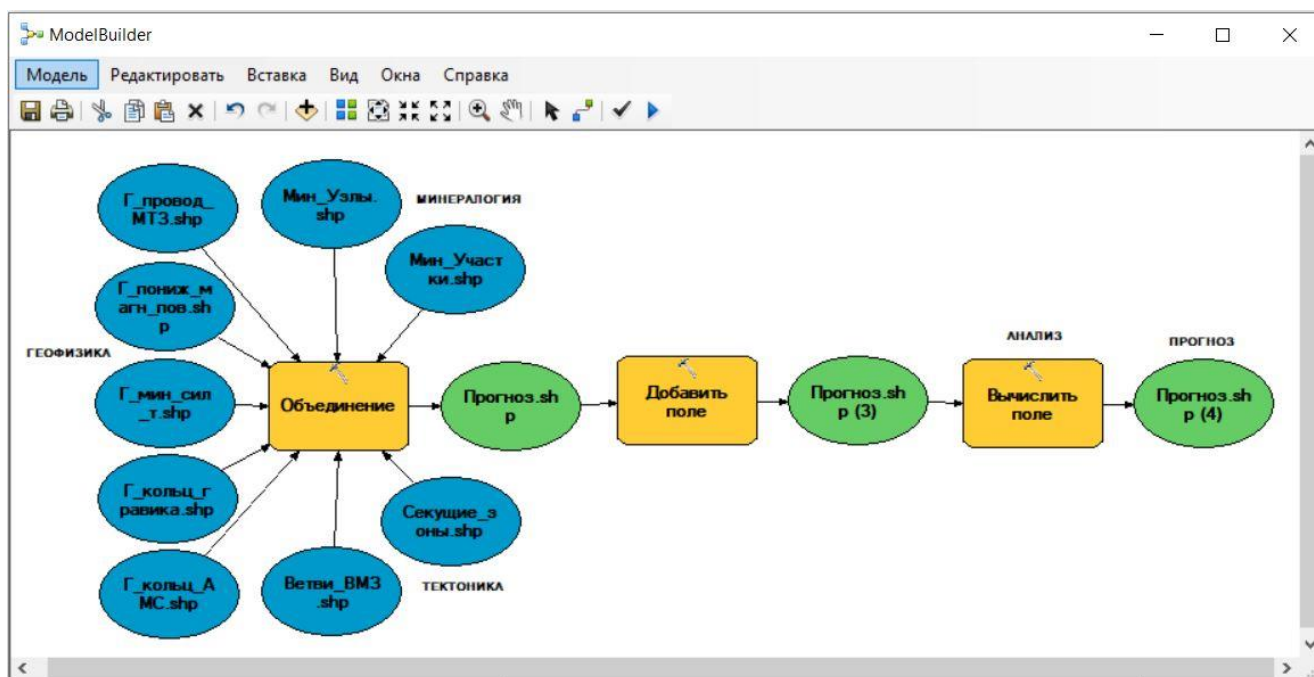
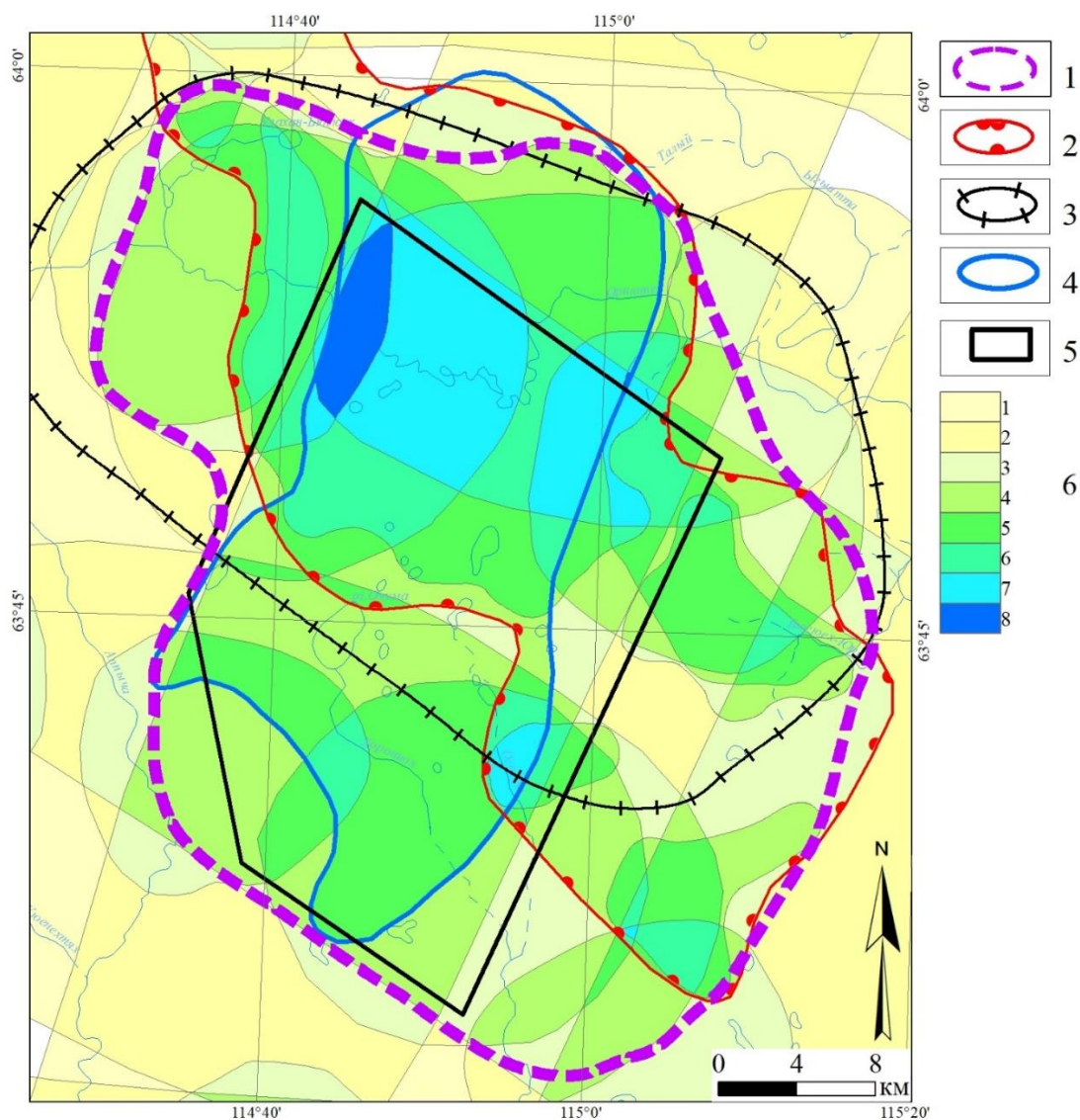


Рисунок 29. Обработка ModelBuilder прогнозно-поисковых признаков

5.2. Оценка прогнозных ресурсов

В основе количественной оценки прогнозных ресурсов новой территории лежат представления о форме, размерах, условиях залегания, сложности геологического строения и количестве прогнозируемых тел полезного ископаемого, их минеральном и химическом составе, качестве и технологическом типе полезного ископаемого, полученные по комплексу прямых и косвенных признаков, результатам опробования, а также по аналогии с известными месторождениями и рудопроявлениями того же геолого-генетического (или геолого-промышленного) типа (аналогами).

Количество прогнозных ресурсов подсчитывается прямыми методами по результатам буровых и горных работ, геологических, геофизических, геохимических, геоморфологических (для россыпей) и других видов исследований, опробования и изучения качества полезного ископаемого с учетом способа отработки на предельно допустимую глубину.



1- обобщенный контур Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля; 2-Восточный минералогический узел; 3-перспективная площадь по комплексу геофизических критериев; 4-максимальная плотность разрывных нарушений; 5- Оркютей-Хороннохская перспективная площадь по структурно-тектоническим критериям; 6- количество прогнозно-поисковых признаков.

Рисунок 30. Схема оконтуривания Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля, масштаб 1:400 000

Количественная оценка прогнозных ресурсов алмазов имеет свои специфические особенности. В связи с ограниченностью и недостаточной полнотой исходных данных, необходимые параметры уточняются методом аналогии, сравнением с параметрами подобных известных алмазоносных тел данного или аналогичного поля. При этом определяются:

- форма тела полезного ископаемого (трубка, дайка, усеченный конус) и ее морфологический тип (трубка – округлая, овальная с каналом центрального типа или линзовидная с каналом трещинного типа);

- величина эрозионного среза, возможное наличие кратерной части трубки и характерных для нее "эпигенетических" кимберлитовых туфов, туфогенно-осадочных пород;
- разновидности кимберлитовых пород, слагающих тело, их вещественный состав, алмазоносность и состав минералов-индикаторов, сходство с разновидностями руд известных алмазоносных тел поля;
- группа, к которой может быть отнесено ожидаемое месторождение по размерам, уровню содержания, крупности алмазов, выходу ювелирных камней и др. [Кривцов, 2010].

5.3. Выбор эталонной модели для Еркютейского поля

Первостепенной задачей прогнозирования является выбор эталонного объекта, параметры которого закладываются в количественную оценку прогнозных ресурсов. При отсутствии реального выявленного объекта в новом Еркютейском прогнозируемом кимберлитовом поле единственной возможностью является обоснование и выбор подобного эталона в известных кимберлитовых полях.

Геолого-геофизическая модель кимберлитового поля

По данным сейсморазведки в рельефе поверхности границы Мохоровичича существуют прогибы, с относительно пониженными значениями от 43 км до 60 км и более. В таких прогибах расположены многие кимберлитовые поля, а именно для Мирнинского кимберлитового поля значения до границы Мохо составляют 43 км, для Накынского – 47 км, для Сюльдюкарского – 43 км. Данные факты позволили выдвинуть концепцию мантийного корня, по мнению многих авторов, ответственного за проявления кимберлитового магматизма [Манаков, 1998ф]. Еркютейское прогнозируемое кимберлитовое поле располагается в таком прогибе, значения до границы Мохо составляют – 44 км (Рисунок 31).

В результате детальных работ методом ГСЗ по двум профилям на поверхности верхней мантии (граница М) обнаружены высокие значения граничной скорости, достигающие 8,6—9,0 км/с (при относительно пологом рельефе) на фоне нормальных скоростей 7,9—8,2 км/с. В нижней части консолидированной коры, на глубинах около 30 км зафиксирована отражающая

граница, которая образует антиклинальное поднятие с амплитудой 3—4 км [Ваганов, 2002]. Данные аномалии, возможно, связаны с плотностными неоднородностями пород верхней мантии, основными или ультраосновными образованиями. Такие участки выделены вблизи Мирнинского, Накынского, Сюльдюкарского, Алакит-Мархинского, Далдынского и Верхнемунского кимберлитовых полей, что дает основание считать данный факт глубинным геофизическим признаком кимберлитового поля [Яныгин, 2010ф]. Такие же аномалии выделены вблизи Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля (Рисунок 31).

По данным исследований рельефа поверхности кристаллического фундамента в пределах Центрально-Сибирской субпровинции выделяются следующие надпорядковые структуры осадочного чехла: Непско-Ботуобинская и Анабарская антеклизы, Сюгджерская седловина и Вилуйская, Анабарская синеклизы. Минимальные значения 1000-1500 м до кровли фундамента фиксируются на севере площади, на склоне Мунского поднятия Анабарской антеклизы, и 1700м в пределах Средне-Ботуобинского поднятия Непско-Ботуобинской антеклизы. На западе площади, в пределах Сюгджерской седловины, отметки до кровли фундамента составляют 2500 м, в пределах Вилуйской синеклизы, на востоке площади, они достигают 7000 м.

Мирнинское кимберлитовое поле находится в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы, на склоне Мирнинского поднятия, где отметки до кровли фундамента составляют 1700-1900 м. Накынное кимберлитовое поле расположено в области сочленения Анабарской антеклизы и Вилуйской синеклизы, отметки до кровли фундамента здесь составляют в среднем 3500 м. Сюльдюкарское кимберлитовое поле находится на борту Непско-Ботуобинской антеклизы, отметки до кровли фундамента составили – 2200-2500 м. Прогнозируемое Еркютейское поле находится в сочленении Непско-Ботуобинской антеклизы и Сюгджерской седловины, отметки до кровли фундамента составляют 2500-2700 м.

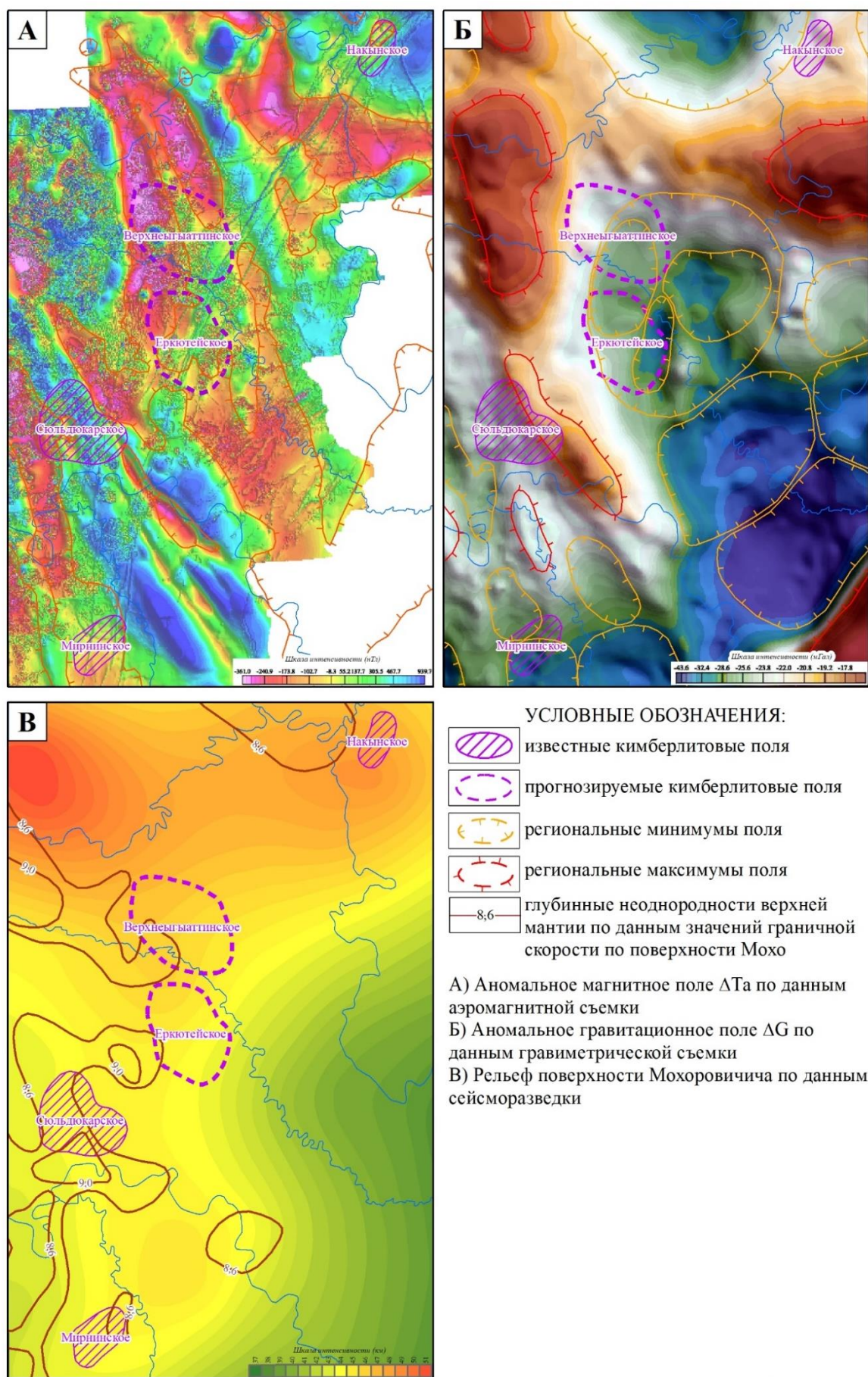


Рисунок 31. Положение кимберлитовых полей в наблюдаемых полях Вилюйско-Мархинской зоны, масштаб 1:2 500 000

Известные кимберлитовые поля Центрально-Сибирской субпровинции характеризуются отрицательными аномалиями поля ΔG , что указывает на плотностные неоднородности в пределах пород кристаллического фундамента, вероятнее всего связанные с кимберлитовым магматизмом. Им соответствуют отрицательные аномалии магнитного поля, несколько больших размеров, чем аномалии в гравиметрическом поле (Рисунок 31).

Структурно-тектоническая модель кимберлитового поля

Многочисленными исследованиями установлено, что кимберлитовые поля тяготеют к краевым частям стабильных блоков и располагаются в узлах пересечения разнонаправленных разломных зон (линеаментов) [Антипин, 2018; Горев, 2005]. Кимберлитоконтролирующая роль Вилуйско-Мархинской зоны разломов (ВМЗ), обрамляющей северо-западный борт Палеовилуйского авлакогена, признается многими исследователями. Ширина ВМЗ, занимающей краевую часть Анабаро-Мирнинского стабильного блока, варьирует в широких пределах – от 30–50 км на юге до 150 км на северо-востоке, в центральной части составляет около 130 км. В ее пределах открыты три алмазоносных кимберлитовых поля – Мирнинское, Накынское и Сюльдюкарское, а также многочисленные россыпи и россыпепроявления алмазов.

Анализ пликативной тектоники верхней части нижнепалеозойского разреза показал, что строение зоны неоднородно: области моноклиального залегания пород перемежаются участками со сложным структурным планом, в пределах которых широко развиты складчатые деформации, представленные преимущественно линейными прогибами (грабенами), а также изометрическими, брахиформными синклинальными и антиклинальными складками, структурными мысами, желобами, часто осложнёнными разрывными нарушениями. Установленные при структурно-тектонических построениях участки усложнения строения кимберлитовмещающих пород, нарушающие латеральную однородность тектонического плана ВМЗ, выделены в качестве подзон ВМЗ – центральной (шириной до 30 км) и западной (шириной до 35 км).

Границы секущих зон, трассирующихся со стороны Палеовиллюйского авлакогена, выделяются с определённой долей условности, так как сами зоны в осадочном чехле проявлены отдельными опущенными блоками либо фрагментарно прослеженными линейными прогибами (депрессиями), а большинство входящих в них разрывных нарушений выделяются в ранге предполагаемых. К центральной подзоне приурочены высокоалмазоносные Мирнинское и Накынское кимберлитовые поля, к западной – среднеалмазоносное Сюльдюкарское кимберлитовое поле [Проценко, 2021].

Мирнинское кимберлитовое поле контролируется узлом пересечения центральной подзоны Виллюйско-Мархинской зоны с Укугутской ветвью Джункун-Хампинской секущей зоны. Основными кимберлитоконтролирующими структурами являются пары сближенных разломов субмеридионального простирания: Центральный и Параллельный, Западный и Кюэляхский. Вдоль них расположены цепочки тел: Мир, Спутник и Дачная вдоль первой пары, Интернациональная, им. XXIII Съезда КПСС, Амакинская, А-21 и Таежная вдоль второй. Тела кимберлитов залегают в разрывных нарушениях северо-западного простирания, которые являются оперяющими по отношению к субмеридиональным разломам и в сочетании с последними образуют структуру типа «конского хвоста» [Ваганов, 2002].

Сюльдюкарское кимберлитовое поле располагается на пересечении западной ветви ВМЗ и секущей Батырской зоны. К основным разломам Виллюйско-Мархинской зоны, относятся Хатырыкский и Западный, которые имеют простирание от субмеридионального и север-северо-восточного до северо-восточного. Грабены характеризуются повышенной остаточной мощностью нижнепалеозойских пород, в структуре перекрывающей толщи не проявлены, что указывает на их среднепалеозойский возраст. Батырский грабен картируется повышенной остаточной мощностью за пределами Сюльдюкарского поля, на карте остаточных мощностей не проявлен, что характеризует его как долгоживущий. Через поле трассируется Котуйканский глубинный разлом северо-западного простирания, который является магистральным разломом Котуйканской шовной

зоны, разделяющей Маганский и Мархинский террейны. Субширотное простирание длиной оси кимберлитовой трубки Сюльдюкарская возможно указывает на аналогичное направление и кимберлитовмещающего нарушения. Высокочастотной сейсморазведкой в околотрубочном пространстве картируются нарушения северо-восточного и северо-западного простирания, однако достоверно их кимберлитоконтролирующая либо кимберлитовмещающая роль не установлена.

Накынское кимберлитовое поле находится на пересечении центральной подзоны ВМЗ и секущей Средне-Мархинской зоны. Рудоконтролирующими разломами являются Ботубинский и Дяхтарский, северо-восточного простирания, фрагментарно залеченные маломощными дайками долеритов [Горев, 2005ф]. Вмещающими кимберлитовые тела Дяхтарского куста разломами считаются нарушения Диагональное и Диагональное-1 север-северо-восточного простирания (аз. $\sim 25^{\circ}$ - 30°), расположенные в виде кулис. Отдельные кимберлитовые тела контролируются узлами пересечения разломов различного направления, среди которых обязательным является присутствие нарушения север-северо-восточного направления, вдоль которого и вытянуты длинные оси всех кимберлитовых тел. [Колесник, 2021ф]

Прогнозируемое Еркютейское поле располагается на пересечении центральной подзоны ВМЗ и секущей Ыгыаттинской зоны, на северо-восточном склоне Холомолох-Аппычинского выступа, осложненного тремя грабенообразными прогибами, сопровождающими в толще нижнепалеозойских пород Холомолохский, Утунинский и сближенные Параллельный, Центральный-2 и Лиендокитский разломы ВМЗ. Разломы северо-западного простирания выделяются, в ранге предполагаемых, и секущая зона здесь прослеживается с определенной долей условности, в основном, по опущенным блокам кимберлитовмещающих пород на пересечениях с подзонами ВМЗ. В пределах этих опущенных блоков мощность нижнепалеозойских пород на 50-100 м больше, чем на сопредельных участках.

Для выбора эталонного объекта с целью оценки прогнозных ресурсов алмазов Еркютейского поля выполнен сравнительный анализ основных характеристик алмазов и ИМК с аналогичными параметрами известных алмазоносных месторождений Якутской алмазоносной провинции. Всего по ЯАП выявлено 24 промышленных месторождений алмазов, все они сосредоточены в Центрально-Сибирской субпровинции: в Мирнинском, Накынском, Алакит-Мархинском, Далдынском и Верхнемунском кимберлитовых полях.

Фактическим материалом для проведения сравнительного анализа послужили данные из электронной базы данных (БД) «RSearch», разработанной в НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). Данная БД создана для сбора, систематизации, обработки геологических данных по результатам исследований алмазов, ИМК и горных пород. Она обеспечивает взаимодействие аналитических методов между собой при обработке данных, поддерживает различные модули обработки данных, контролирует ввод новой информации в БД RSearch (программа RSearch-клиент зарегистрирована в реестре ЭВМ № 2017618988 от 14.08.2017 г.).

В Мирнинском кимберлитовом поле установлено девять кимберлитовых тел, пять из которых отнесены к промышленным месторождениям алмазов: Мир, Спутник, Интернациональная, им. XXIII съезда КПСС и Дачная. Тело АН-21 и жила Южная имеют незначительные размеры и объемы руды, трубка Амакинская ввиду низких концентраций алмазов (менее 0,1 кар/т) является непромышленным телом, а трубка Таежная (0,22 кар/т) относится к резервным месторождениям. Средние содержания алмазов по месторождениям Мирнинского поля колеблются от 0,22 до 8,15 кар/т.

В Накынском поле обнаружено пять кимберлитовых тел, из которых три являются промышленными месторождениями: трубки Нюрбинская, Ботуобинская и тело Майское. Дачные кимберлитовые тела Мархинское и Озерное ввиду незначительных запасов алмазов относятся по состоянию на сегодняшний день к непромышленным. Средние содержания алмазов в месторождениях Накынского поля варьируют от 0,79 до 7,08 кар/т.

В пределах Алакит-Мархинского поля выявлено 65 кимберлитовых трубок и 32 мелких тела. Из них шесть трубок являются коренными месторождениями алмазов, из которых пять - «Айхал», «Юбилейная», «Сытыканская», «Комсомольская» и «Заря» разрабатываются предприятиями АК АЛРОСА (ПАО), трубка «Краснопресненская», относится к резервным месторождениям. Средние содержания алмазов по месторождениям поля колеблются от 0,38 до 5,07 кар/т.

Далдынское поле включает 69 кимберлитовых тел, из которых четыре – промышленных месторождения: Удачная-Западная, Удачная-Восточная, Зарница, Дальняя. Содержания алмазов в них варьируют от 0,26 до 1,85 кар/т.

В Верхнемунском поле известно 17 кимберлитовых трубок и 4 дайки, из которых разведаны и разрабатываются пять месторождений: Заполярная, Новинка, Комсомольская-Магнитная, Поисковая, Деймос, трубка Поисковая отнесена к забалансовым месторождениям. Средние содержания алмазов в трубках колеблются от 0,33 до 0,69 кар/т [Подчасов, 2004].

В Сюльдюкарском поле известно два кимберлитовых тела, одно из них алмазоносная кимберлитовая трубка Сюльдюкарская (0,25–0,45 кар/т).

Данные по ИМК известных месторождений вышеназванных кимберлитовых полей, взятые из БД «RSearch», отражены в Таблице 12. В качестве инструмента оперативного статистического сопоставления нескольких объектов по основным характеристикам использовано Web-приложение «PassportObject» - Web-приложение, позволяющее формировать отчетные материалы из БД «RSearch-геопривязка», «RSearch-Алмазы», «RSearch-MCA» с возможностью выборки данных по различным факторам (по контуру, по объектам: НИР, ГРР, Геологический объект, Точка наблюдения) (свидетельство № 2019665386 от 22.11.2019).

Таблица 12.

Объемы минералогических исследований по основным месторождениям

№ п/п	Объект	Количество, шт				
		Алмазы	Гранат	Ильменит	Хромпинелид	ИМК
Мирнинское поле						
1	Мир	6410	508	113	14	635
2	Таёжная	278	449	144	4	597
3	Интернациональная	8766	877	424	106	1407
4	Спутник	1520	37	258	53	348
5	Дачная	680	581	146	6	733
6	имени XXIII Съезда КПСС	300	1728	172	7	1907
Накынское поле						
7	Нюрбинская	27744	352	293	346	991
8	Ботуобинская	16483	605	0	191	796
9	Майское	8930	164	0	0	164
10	Мархинское	123	78	0	38	116
Алакит-Мархинское поле						
11	Юбилейная	11493	595	139	89	823
12	Краснопресненская	3032	348	0	0	348
13	Заря	3553	1340	357	173	1870
14	Сытыканская	4102	362	0	0	362
15	Комсомольская	8473	362	398	0	760
16	Айхал	3058	207	88	242	537
Далдынское поле						
17	Удачная	8789	133	165	33	331
18	Зарница	5267	400	386	26	812
19	Дальняя	3887	993	82	267	1342
Верхнемунское поле						
20	Заполярная	7346	32	30	61	123
21	Новинка	3235	427	15	13	455
22	Комсомольская-Магнитная	3220	155	3	15	173
23	Поисковая	1319	420	0	0	420
24	Деймос	808	365	112	0	477
Сюльдюкарское поле						
25	Сюльдюкарская	558	231	692	166	1089
	ИТОГО	139374	11749	4017	1850	17616

Итого проанализировано 139374 шт. алмазов, 11749 гранатов, 4017 ильменитов, 1850 хромшпинелидов.

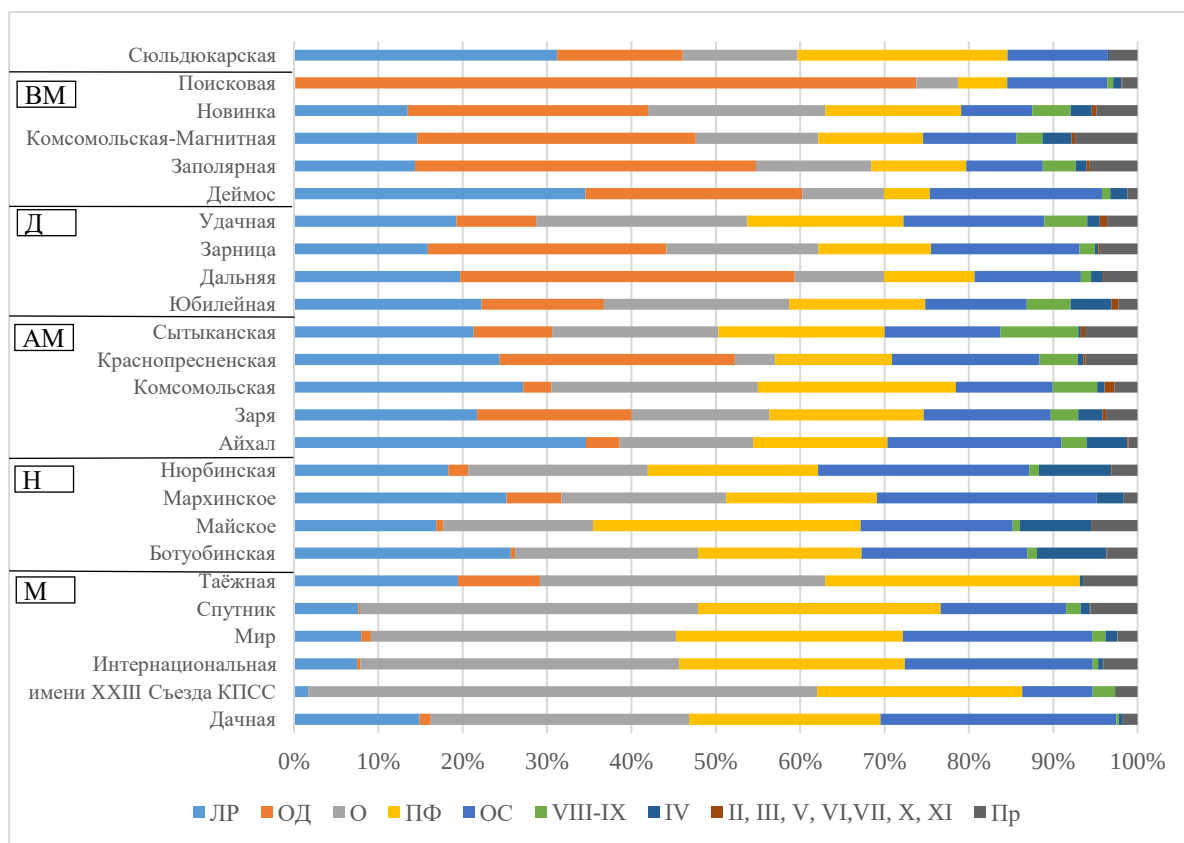
Алмазы. Сравнительная характеристика алмазов промышленных месторождений ЦСС показывает, что для Мирнинского кимберлитового поля характерна октаэдрическая ассоциация алмазов (содержание октаэдров более 40%) с доминирующей розово-сиреневой фотолюминесценцией (более 50%). Алмазы средне- и высокоазотистые (400-1100 at.ppm) с низкой и средней степенью

агрегации примеси азота (17-48% в В-форме, в среднем 22-38%) [Помазанский, 2016ф]. (Рисунок 32). Исключением является тр. Таежная, со смешанной ассоциацией алмазов, где октаэдры и переходные формы встречаются в близких долях (34 и 30% соответственно).

В Накынском поле для месторождений с ураганной алмазоносностью характерна смешанная ассоциация алмазов с близким содержанием октаэдров (28-29%), ламинарных ромбододекаэдров (26-32%) и переходных между ними форм (24-28%). В высокоалмазоносном месторождении Майское переходные формы являются доминирующими (39%) [Помазанский, 2016ф].

Для всех месторождений поля характерно преобладание кристаллов с розово-сиреневой фотолюминесценцией (47-60%) с низкой и средней степенью агрегации примеси азота (15-60% в В-форме, в среднем 18-32%). По содержанию суммарного азота месторождения Накынского поля отличаются между собой. В тр. Ботубинская относительно повышена доля низкоазотистых кристаллов (N_{tot} менее 200 at.ppm), в тр. Нюрбинская – доля алмазов с концентрацией азота от 600 до 1600 at.ppm), т. Майское по дефектно-примесному составу алмазов занимает промежуточное между ними положение (200-900 at.ppm).

Месторождения Алакит-Мархинского поля отличаются между собой по соотношению основных морфологических типов и групп по цвету фотолюминесценции [Помазанский, 2016ф]. Большинство из них представлено смешанной ассоциацией алмазов, когда доля октаэдров, ламинарных ромбододекаэдров, переходных между ними форм и округлых додекаэдров варьирует в различных пределах и нет доминирующей формы. За исключением тр. Айхал, где преобладают ламинарные ромбододекаэдры (43%). В отличие от Мирнинского и Накынского полей алмазы часто светятся в УФ-лучах синеголубым и желто-зеленым цветом. Здесь исключение – тр. Заря, где доминируют кристаллы с розово-сиреневым свечением (39%).



Морфология: I разновидность [О - октаэдры, ПФ – переходные формы, ЛР - ламинарные ромбододекаэдры, ОД - округлые додекаэдрониды, Пр - прочие], ОС - осколки, II-XI - остальные разновидности.

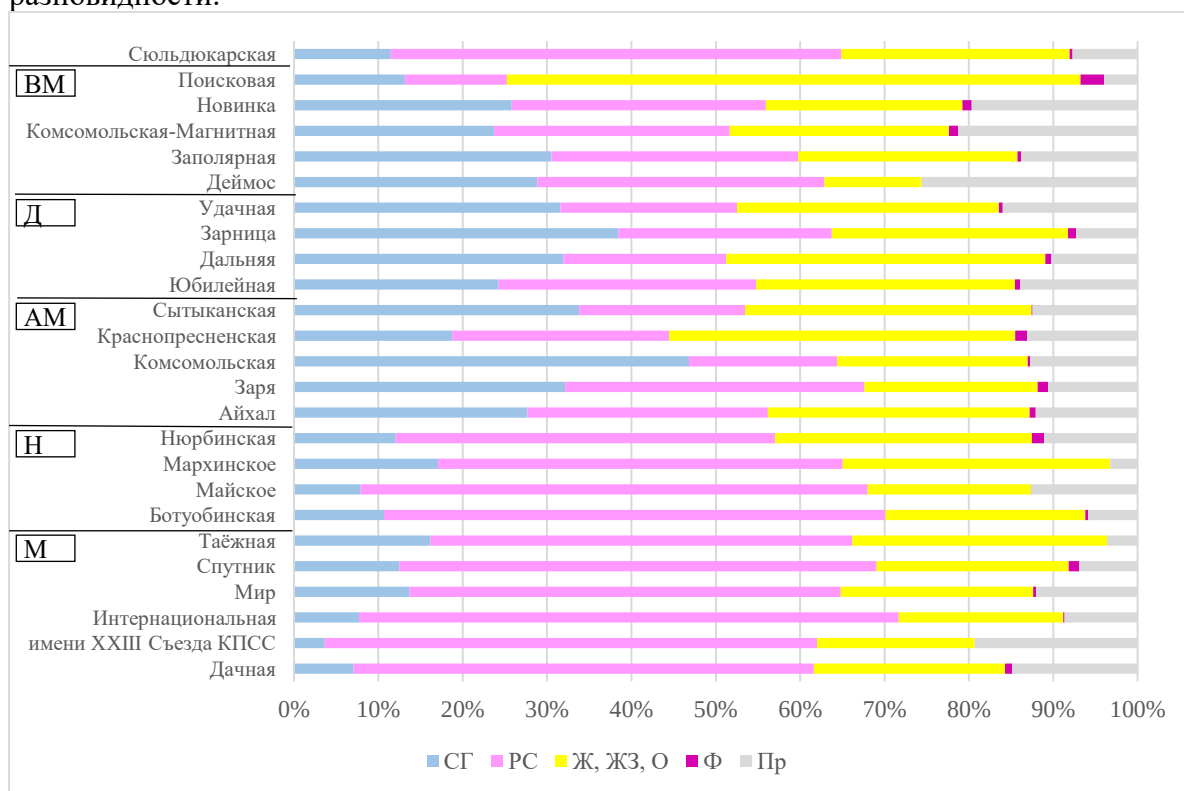


Рисунок 32. Основные характеристики алмазов месторождений Центрально-Сибирской субпровинции

ВМ-Верхнемунское поле, Д-Далдынское поле, АМ-Алакит-Мархинское поле, Н-Накынское поле, М-Мирнинское поле.

По дефектно-примесному составу основная масса алмазов во всех месторождениях представлена низко- и среднеазотистыми кристаллами (от 100 до 1000 at.ppm), с относительно повышенной степенью агрегации примеси (20-80% в В-форме, в среднем 37-42%).

Похожая ситуация наблюдается в месторождениях Далдынского поля [Помазанский, 2016ф]. Алмазы трубок Удачная и Зарница – смешанная ассоциация с разным соотношением основных форм кристаллов, в тр. Дальняя доминируют округлые додекаэдрониды (более 45%). Алмазы имеют желто-зеленую и сине-голубую фотолюминесценцию в различных соотношениях. По дефектно-примесному составу преобладают низко- и среднеазотистые кристаллы (от 60 до 1000 at.ppm), с относительно повышенной степенью агрегации примеси (20-80% в В-форме, в среднем 40-51%).

Месторождения Верхнемунского поля по габитусу также делятся на две группы – со смешанной ассоциацией алмазов (тр. Новинка и Деймос) и с доминированием округлых додекаэдронидов (тр. Поисковая, Заполярная и Комсомольская-Магнитная). Алмазы имеют желто-зеленую, сине-голубую и розовую фотолюминесценцию в различных соотношениях [Помазанский, 2016ф].

Алмазы чаще всего низко- или среднеазотистые (20-600 и 200-1100 at.ppm в разных месторождениях) с различной степенью агрегации примеси азота (20-90% в В-форме, в среднем 31-52%).

В трубке Сюльдюкарская [Липашова, 2018ф] преобладают ламинарные ромбододекаэдры (31%) и кристаллы переходного габитуса (25%) I разновидности по Ю.Л. Орлову с доминирующей розово-сиреневой (53%) фотолюминесценцией. По дефектно-примесному составу преобладают кристаллы с концентрацией азота от 100 до 800 at.ppm при малой степени агрегации этой примеси (большинство кристаллов находится в диапазоне 10-30% N в В-форме, в среднем 28%).

В пределах Еркютейского поля имеется информация по 18 алмазам. Из них 5 кристаллов детально изучены полным комплексом лабораторных работ (данные

Rsearch), два из которых извлечены при опробовании каменноугольных отложений, один алмаз из отложений юрского возраста и еще два – кайнозойского возраста. В восточной части поля в ходе валового опробования базальных отложений верхней перми [Копылов, 1996ф] были обнаружены еще 3 кристалла, для которых авторы привели подробное описание.

Среди алмазов из пермских отложений присутствует кристалл класса -4+2 мм весом 29,2 мг, в отложениях каменноугольного возраста встречен кристалл класса -2+1 мм весом 1,4 мг. Остальные кристаллы относятся к классу -1+0,5 мм со средним весом 1,2 мг. Алмазы представляют собой в основном бесцветные октаэдры I разновидности со средней степенью прозрачности, довольно низкой степенью сохранности, часто с единичными трещинами. Большинство алмазов – монокристаллы, среди индивидов с повреждениями наиболее распространены комбинационные (механические + протоматматические) сколы. Характер свечения в УФ-лучах разнообразен, в близких доля присутствуют кристаллы с розово-сиреневой, сине-голубой и желто-зеленой фотолюминесценцией. Алмазы из пермских отложений не были исследованы оптико-спектроскопическими методами. Среди остальных кристаллов концентрация суммарного азота в алмазах варьирует от 243 до 1840 at.ppm, а содержание азота в В-форме – от 14 до 61%. Алмазы в основном эклогитовой группы второй и третьей генераций, один индивид относится к первой генерации перидотитовой группы.

Гранаты. В кимберлитах Мирнинского поля преобладают две химико-генетические группы гранатов по классификации В.К. Гаранина (2006): среднехромистые гранаты из равномернозернистых лерцолитов (ХГГ3- 26,9 %) и низкохромистые гранаты из вебстеритов (ХГГ8 – 16,4%), отсутствует ХГГ9. Гранаты алмазной ассоциации составляют 6,2% (ХГГ1, ХГГ17, ХГГ18, ХГГ19, ХГГ20) (Рисунок 33).

В кимберлитах Накынского поля большую часть составляют высокожелезистые гранаты из эклогитоподобных пород (ХГГ24 – 19,6%) и из магнезиально-железистых эклогитов (ХГГ18-18%), отсутствуют ХГГ5, ХГГ14,

ХГГ20. Гранаты алмазной ассоциации составляют 26,4% (ХГГ1, ХГГ17, ХГГ18, ХГГ19) [Тарских, 2017].

В кимберлитах Алакит-Мархинского поля отмечены титанистые низкохромистые гранаты из ильменитовых лерцолитов (ХГГ7- 21,4%) и высокохромистые гранаты (ХГГ2 – 20,7%) из равномернозернистых лерцолитов, отсутствуют ХГГ9, ХГГ13, ХГГ20. Гранаты алмазной ассоциации составляют 8,3% (ХГГ1, ХГГ17, ХГГ18, ХГГ19) [Тарских, 2021].

В кимберлитах Далдынского поля преобладают низко-среднехромистые гранаты из равномернозернистых лерцолитов (ХГГ4- 20,3%) и титанистые низкохромистые гранаты из ильменитовых лерцолитов (ХГГ7- 19,1%), отсутствует ХГГ9. Гранаты алмазной ассоциации составляют 12,1% (ХГГ1, ХГГ17, ХГГ18, ХГГ19, ХГГ20).

Кимберлиты Верхнемунского поля характеризуются наличием титанистых низкохромистых гранатов из ильменитовых лерцолитов (ХГГ7- 31,4%) и низко-среднехромистых гранатов из равномернозернистых лерцолитов (ХГГ4- 27,5%), отсутствием ХГГ5, ХГГ9, ХГГ10, ХГГ12, ХГГ13, ХГГ14, ХГГ17, ХГГ18, ХГГ20, ХГГ23. Гранаты алмазной ассоциации составляют 3,9% (ХГГ1, ХГГ19).

Для кимберлитов трубки Сюльдюкарская характерны среднехромистые (ХГГ3-59,9%) и высокохромистые (ХГГ2-19%) гранаты из равномернозернистых лерцолитов; отсутствуют ХГГ5, ХГГ9, ХГГ12, ХГГ13, ХГГ17, ХГГ20, ХГГ25. Гранаты алмазной ассоциации составляют 2,2% (ХГГ1, ХГГ18, ХГГ19) [Тарских, 2017].

В Восточном узле преобладают среднехромистые гранаты из равномернозернистых лерцолитов (ХГГ3, 32,5%), низкохромистые гранаты из лерцолитов и вебстеритов (ХГГ8, 20,8%); отсутствуют ХГГ10, ХГГ11, ХГГ12, ХГГ16. Гранаты алмазной ассоциации составляют 2,5 % (ХГГ17, ХГГ18, ХГГ19).



Рисунок 33. Распространение химико-генетических групп гранатов (Гаранин, 2006) в основных месторождениях алмазов Центрально-Сибирской субпровинции

Ильменит. В кимберлитах Мирнинского, Алаakit-Мархинского, Далдынского и Верхнемунского полей преобладает низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5). В кимберлитах Накынского поля ильменит встречается только в трубке Нюрбинская и имеет специфический состав.

В Мирнинском поле отмечены две химико-генетические группы по классификации В. К. Гаранина (2006): низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5 – 37%) и ферримагнитный магнезиальный гемоильменит (ХГГ12 – 24%). Ильменит алмазной ассоциации составляет 3,7% (ХГГ1, ХГГ2, ХГГ7, ХГГ8) (Рисунок 34).

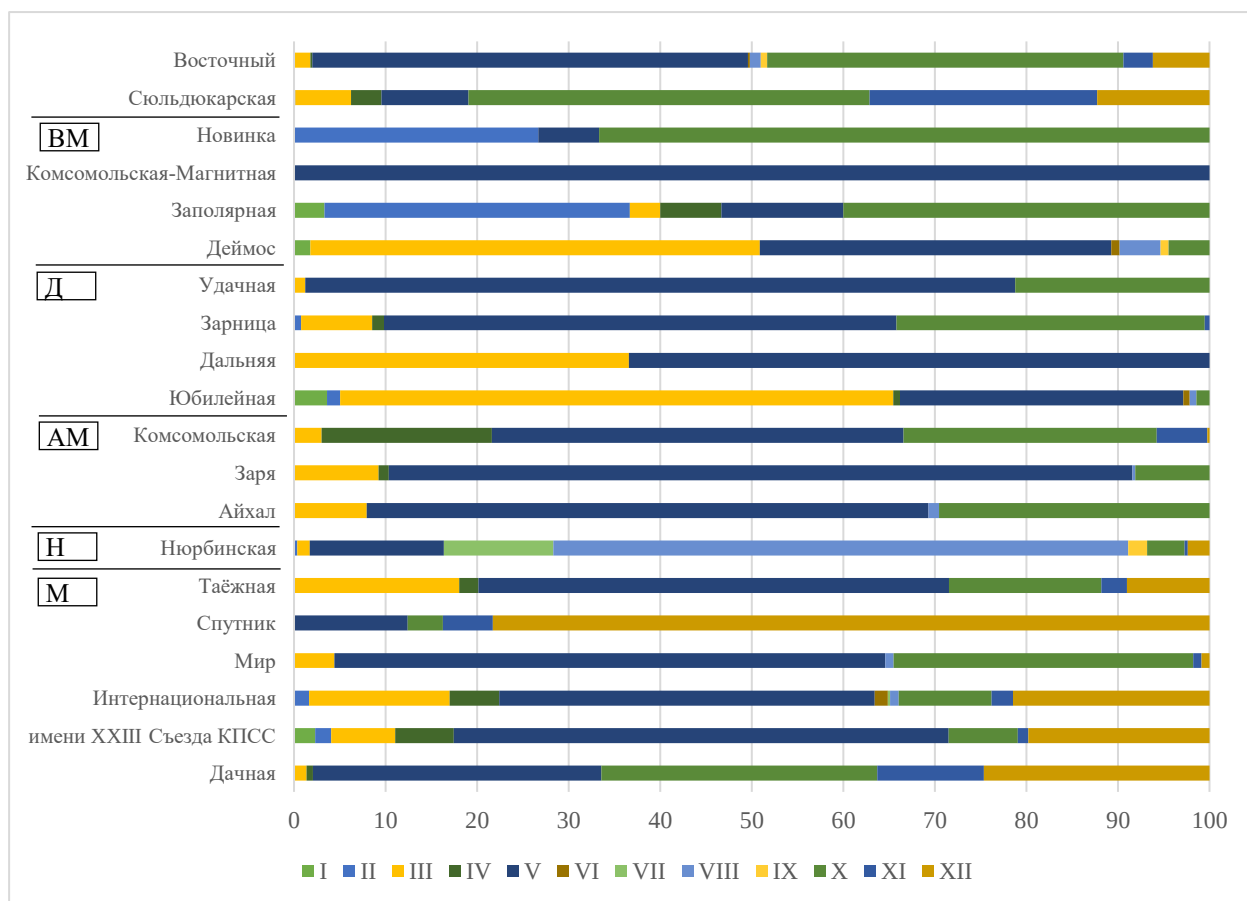


Рисунок 34. Распространение химико-генетических групп ильменита (Гаранин, 2006) в основных месторождениях алмазов Центрально-Сибирской субпровинции

В кимберлитовой трубке Нюрбинская преобладают марганцовистый ильменит из эклогитов (ХГГ8 - 62,8%) и высокомагнезиальный гемоильменит из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5 - 15%), отсутствуют ХГГ1, ХГГ4, ХГГ6. Ильменит алмазной ассоциации составляет 75,1% (ХГГ2, ХГГ7, ХГГ8).

Алакит-Мархинское поле характеризуется низкохромистым высокомагнезиальным гемоильменитом из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5 - 55%) и хромистым пикроильменитом из перидотитов (ХГГ3 - 20,2%), отсутствуют ХГГ7, ХГГ9. Ильменит алмазной ассоциации при этом составляет 1,8% (ХГГ1, ХГГ2, ХГГ8).

Для Далдынского поля характерны высокомагнезиальные низкохромистые гемоильмениты из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5 – 66%) и ферримагнитный магнезиальный гемоильменит из перидотитов и пироксенитов (ХГГ10 – 18,3%), отсутствуют ХГГ1, ХГГ6, ХГГ7, ХГГ8, ХГГ9, ХГГ12. Ильменит алмазной ассоциации составляет 0,3% (ХГГ2).

Верхнемунское поле содержит низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5 – 40%) и ферримагнитный магнезиальный гемоильменит из перидотитов и пироксенитов (ХГГ10 – 27,8%), отсутствуют ХГГ7, ХГГ11, ХГГ12. Ильменит алмазной ассоциации составляет 17,4% (ХГГ1, ХГГ2, ХГГ8).

В кимберлитах трубки Сюльдюкарская большую часть составляют: ферримагнитный магнезиальный гемоильменит из перидотитов и пироксенитов (ХГГ10 – 43,8%) и ферримагнитный хромистый магнезиальный гемоильменит из сростков с гранатами (ХГГ11 – 25%), отсутствуют ХГГ1, ХГГ6, ХГГ7, ХГГ8, ХГГ9. Количество ильменита алмазной ассоциации составляет всего 0,1% (ХГГ2).

Восточный узел содержит низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит, соответствующий таковому из клинопироксенитов и перидотитов (ХГГ5, 47,6%) и ферримагнитный магнезиальный гемоильменит из перидотитов, клинопироксенитов (ХГГ10, 38,9%), отсутствуют ХГГ 2, ХГГ7. Ильменит алмазной ассоциации составляет 1,3 % (ХГГ1, ХГГ8).

Хромшпинелиды. В Мирнинском поле преобладают алюмохромипкоти́ты из лерцолитов (ХГГ3 – 36,8%) и среднехромистые алюмохромиты из лерцолитов (ХГГ4 – 19,7%), отсутствуют ХГГ2, ХГГ7, ХГГ8, ХГГ9. Хромшпинелиды алмазной ассоциации составляют 7,3% (ХГГ1) (Рисунок 35).

В Накынском поле отмечены пикрохромиты, дунит-гарцбургитового парагенезиса (ХГГ1 – 41%) и алюмохромипкоти́ты из лерцолитов (ХГГ3 – 36,8%) при отсутствии ХГГ2, ХГГ7, ХГГ8, ХГГ9. Хромшпинелиды алмазной ассоциации составляют 41,4% (ХГГ1).

В Алакит-Мархинском поле большинство хромшпинелидов представлено алюмохромипкоти́тами из лерцолитов (ХГГ3 – 32%) и пикрохромитами, дунит-гарцбургитового парагенезиса (ХГГ1 – 19%), отсутствует ХГГ2, алмазная ассоциация представлена 18,8% (ХГГ1).

В Далдынском поле преобладают низкохромистые алюмохромиты из лерцолитов (ХГГ5-27%) и титанистый феррихромит из катаклазированных

лерцолитов (ХГГ11 – 15%), отсутствуют ХГГ2, ХГГ8, ХГГ9. Хромшпинелиды алмазной ассоциации составляют 11,6% (ХГГ1).

В Верхнемунском поле отмечены пикрохромиты, дунит-гарцбургитового парагенезиса (ХГГ1 – 34%) и алюмохромипкотины из лерцолитов (ХГГ3 – 29%), отсутствуют ХГГ2, ХГГ8, ХГГ9, ХГГ12. Хромшпинелиды алмазной ассоциации составляют 34% (ХГГ1).

В Восточном минералогическом узле преобладают среднехромистые алюмохромиты (ХГГ4-22%), алюмопикрохромиты (ХГГ3-22%), феррихромиты (ХГГ10-13%), ферриалюмохромиты (ХГГ13-14%). Хромшпинелиды алмазной ассоциации составляют 13% (ХГГ1).

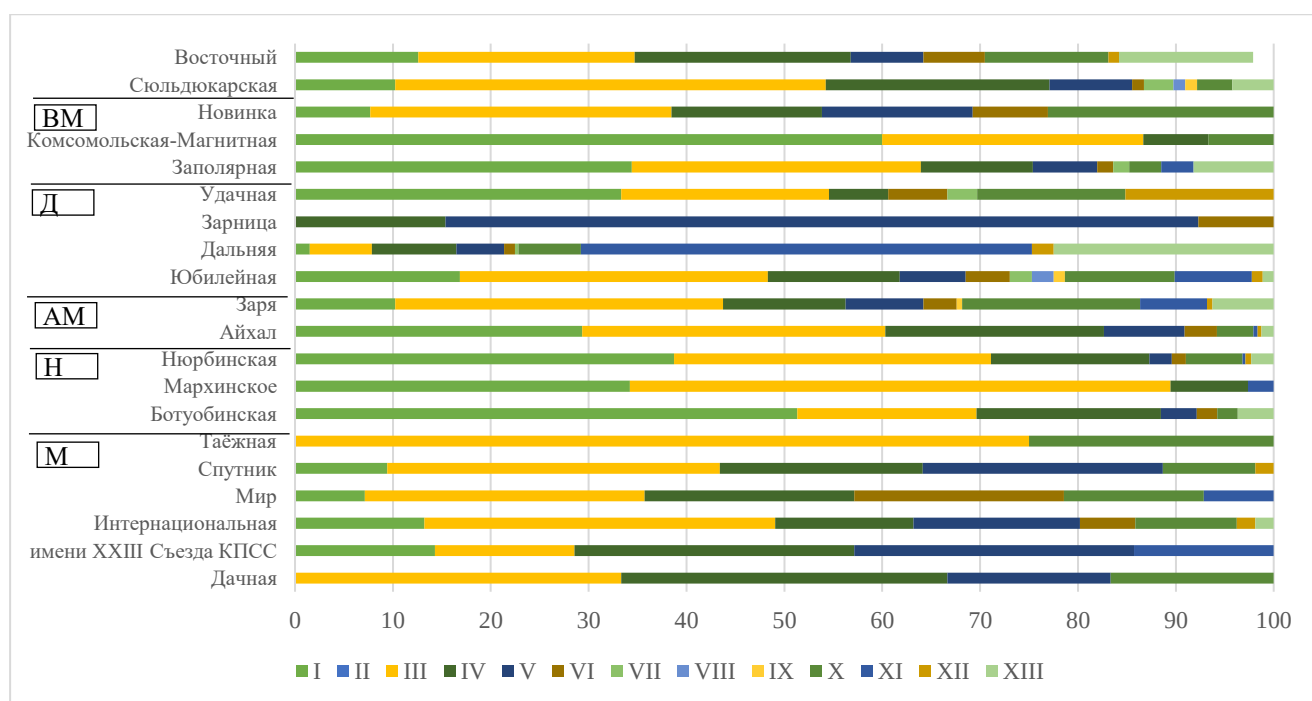


Рисунок 35. Распространение химико-генетических групп хромшпинелидов (Гаранин, 1990) в основных месторождениях алмазов ЦСС.

В кимберлитах трубки Слюдякарская присутствуют алюмохромипкотины из лерцолитов (ХГГ3 – 44%) и среднехромистый алюмохромит из лерцолитов (ХГГ4 – 22,9%), отсутствуют ХГГ2, ХГГ11, ХГГ12. Хромшпинелиды алмазной ассоциации составляют 10,2% (ХГГ1).

Сопоставление химического состава ИМК участка Восточный с минералами из кимберлитов трубки Слюдякарская показывает существенные различия: в изученной выборке гранатов отмечены три группы, не выявленные в кимберлитах

(ХГГ17, ХГГ4 и ХГГ9), аналогичные результаты получены для ильменитов (ХГГ1, ХГГ6, ХГГ8), а также одна группа хромшпинелидов (ХГГ12) [Колесник, 2021ф]. Следует отметить, что гранаты ХГГ17 генетически могут быть связаны с алмазами и относятся к эклогитовому парагенезису. Согласно современным представлениям [Афанасьев и др., 2001] гранаты эклогитового парагенезиса неустойчивы в экзогенных условиях и не переносятся на большие расстояния от коренного источника.

5.4. Оценка прогнозных ресурсов алмазов категории Р₃

Принимаемая при оценке форма прогнозируемой кимберлитовой трубки – коническая, поскольку именно такая форма заложена в обобщенную физико-геологическую модель для Якутской алмазоносной провинции. Она отвечает мере приближения к реально существующим кимберлитовым телам, минимизирует ошибки и учитывает допуски при количественной оценке ресурсов. Основным методом подсчета запасов (ресурсов) алмазов в кимберлитовых телах является метод геологических блоков [Кривцов, 2010]. Блоки ограничиваются геологическими границами рудных тел и горизонтальными сечениями на опорных горизонтах.

Подсчет прогнозных ресурсов выполняется по формуле:

$$Q = S \times h \times c \times d \times kп \times n$$

S – средняя площадь сечения, м².

h – высота блока (глубина прогноза), м

c – среднее содержание алмазов в блоке, кар/т

d – объемный вес кимберлита, т/м³.

$kп$ – коэффициент подобия

n – количество прогнозируемых объектов

Анализ главных вещественно-индикационных признаков кимберлита Еркютейского поля показал, что аналогом для прогнозной оценки нового кимберлитового поля является типовая трубка Мирнинского кимберлитового поля со следующими характеристиками: площадь среднего сечения – 71500 м², среднее

содержание алмазов 4,7 кар/т, глубина прогноза до 200 м, удельный вес кимберлита 2,4 т/м³, коэффициент подобия 0,1 (Таблица 13).

Таблица 13.

Коренные месторождения алмазов Мирнинского кимберлитового поля

№ п/п	Месторождение	Ср.площадь, тыс. м ²	Глубина ПЗ, м	Ср. сод. алмазов кар/т	Запасы алм., тыс.кар	% от общ. сод. алмазов
1	Мир	92,1	1635	3,61	453 000	75,2
2	Интернациональная	9,0	1650	8,27	146 100	24,3
3	им.ХХІІІ съезда КПСС	1,0	195	3,73	1 214	0,2
4	Дачная	1,4	150	1,76	761,4	0,1
5	Таежная	8,9	200	0,22	464,2	0,1
6	Спутник	4,8	340	0,65	833	0,1
	Сумма				602 373	100
	ср.взвеш	71,5	1632	4,73		

На территории Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля выделены четыре локальных перспективных участка: Еркютейский, Восточный-локальный, Северный, Южный, на выявление алмазоносных кимберлитовых тел, в пределах каждого из них прогнозируется по одному однотипному кимберлитовому телу, сопоставимому с эталонным объектом. Итого в сумме по полю ожидается четыре кимберлитовых тела среднего размера.

Участок Восточный локальный

Участок расположен на северном окончании Укугутской палеовозвышенности. У подножия поднятия на северном краю участка наблюдаются повышенные концентрации ИМК, закономерно возрастающие вверх по склону. На возвышенности информативность осадков резко падает, в связи исчезают аллотигенные минералы ТФ, в т.ч. ИМК. У подножия Укугутской возвышенности в отложениях ахтарандинской свиты обнаружены находки алмазов. К северному склону поднятия примыкает два высококонтрастных верхнепалеозойских ореола ИМК (№1 и №2), характеризующихся повышенным разнообразием ИМК разных ХГГ, гранулометрических классов. При этом непосредственно на поднятии присутствуют находки пикроильменитов, генетически связанных с алмазами (ХГГ 1-2, 7-8).

Участок Еркютейский

Участок расположен в пределах одноимённой палеовозвышенности, на восточном склоне которой наблюдаются повышенные концентрации ИМК в ТФ шлихов, в том числе наблюдаются значительные концентрации (1-2%) ИМК низкой степени механического износа (0-II). На вершине поднятия информативность осадков значительно падает, вплоть до полного исчезновения аллотигенных минералов ТФ в шлихе.

В целом, к восточному и северному склонам Еркютейского поднятия примыкают выделенные высококонтрастные ореолы ИМК, представленные в отложениях ахтарандинской и ботубобинской свит. На сегодняшний день западная часть Еркютейского поднятия остаётся слабоизученной, плотность буровой сети не превышает 4х2 км.

Участок Северный

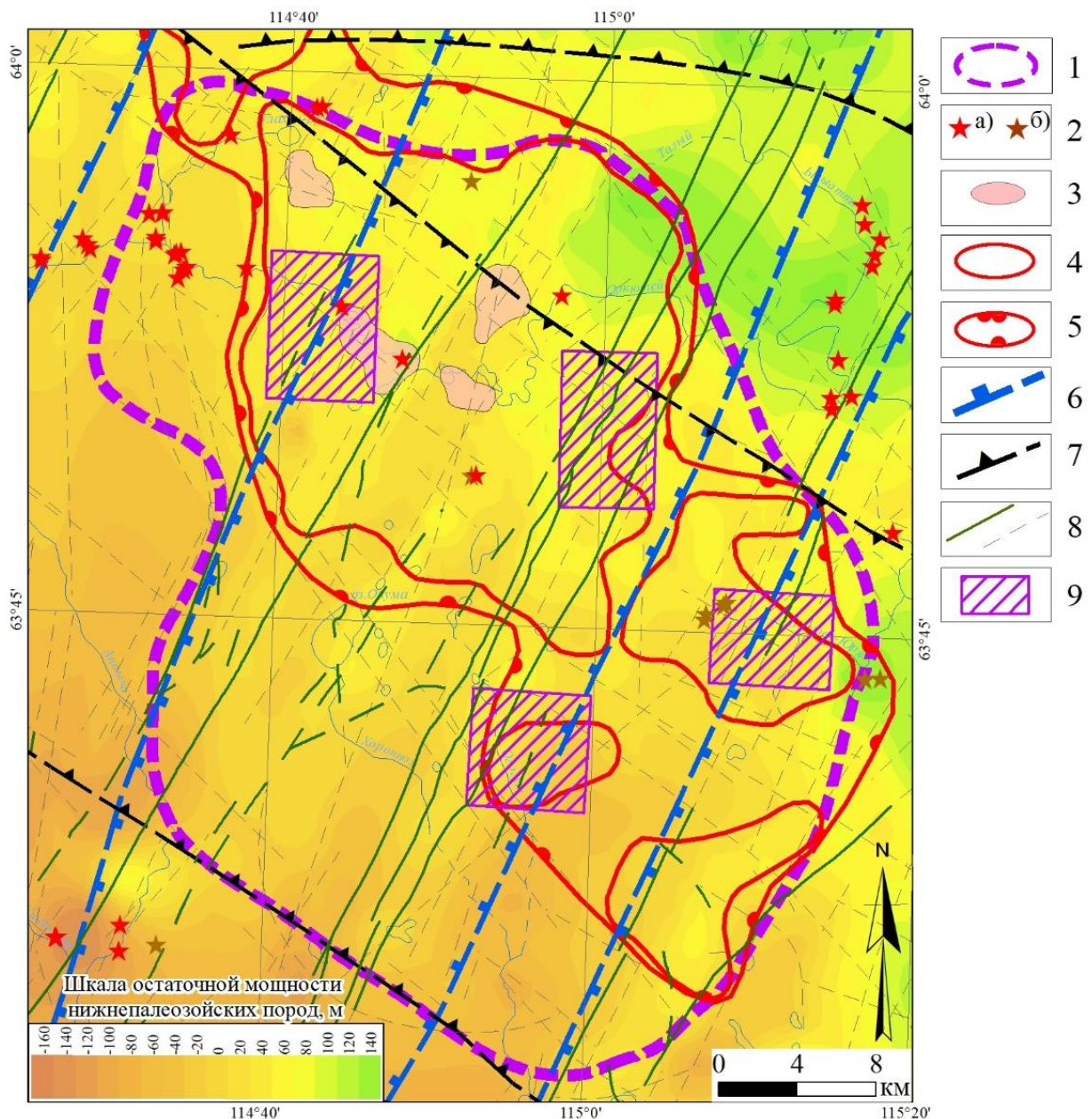
Участок расположен в пределах локальных положительных и отрицательных морфоструктур КВЦ. Точки с аномальными концентрациями ИМК рассеяны по территории участка и не формируют однозначного вектора. Тем не менее, значительное минералогическое разнообразие ИМК наблюдается в высококонтрастном ореоле №4. Судя по палеогеографическим построениям привнос кимберлитового материала мог происходить именно с участка Северный.

Участок Южный

Участок Южный расположен в пределах Бюгюехской палеовозвышенности в области динамического влияния Лиендокитского разлома. У подножия поднятия выделено три минералогических участка (В1, В2 и В3). На северном склоне поднятия известны находки алмазов в верхнепалеозойских осадках, пространственно сопряжённые с точками, аномальными по содержанию ИМК в ТФ верхнепалеозойских отложений, залегающих непосредственно на КВЦ (Рисунок 36).

Таким образом, прогнозные ресурсы Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля категории P_3 по коренным алмазам составляют:

$$Q = 71500 \text{ м}^2 \times 200 \text{ м} \times 4,7 \text{ кар/т} \times 2,4 \text{ т/м}^3 \times 0,1 \times 4 = 64,5 \text{ млн. карат}$$



1- обобщенный контур Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля; 2- отдельные находки в разновозрастных отложениях: а)-кайнозойских, б)палеозойских; 3- высоконтрастные ореолы ИМК; 4- контуры минералогических участков в пределах минералогических узлов; 5- контуры минералогических узлов в верхнепалеозойских отложениях; 6- отдельные ветви Вилюйско-Мархинской зоны; 7- секущие рифтоподобные структуры и их отдельные ветви; 8- а) дайки долеритов Вилюйско-Мархинского комплекса, б) разрывные нарушения выделенные по АМС; 9- перспективные участки

Рисунок 36. Схема прогноза коренной алмазоносности Еркютейского прогнозируемого кимберлитового поля, масштаб 1:400 000.

Путем синтеза пространственных геологических данных локализовано Еркютейское прогнозируемое кимберлитовое поле в центральной части Ыгыаттинского алмазоносного района, и оценена ее потенциальная алмазоносность. Сопоставление химического состава ИМК минералогического

узла Восточный с минералами из кимберлитов трубки Сюльдюкарская показал существенные различия, что может свидетельствовать о присутствии на территории Ыгыаттинского района иных коренных источников. Сравнительный анализ основных характеристик алмазов и ИМК известных алмазоносных месторождений Якутской алмазоносной провинции установил, что ближайшими аналогами являются трубки Мирнинского кимберлитового поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проведенных исследований автором получены следующие результаты:

Выполнено геологическое картирование месторождений и проявлений алмазов в распределенном и нераспределенном фондах недр РС(Я). Созданная автором цифровая база данных коренных и россыпных объектов алмазов содержит достоверные сведения о местоположении, возрасте и продуктивности кимберлитовых тел, включенных в кадастр коренных месторождений алмазов и кимберлитовых полей ЯАП. Полученные результаты позволили актуализировать схему коренной и россыпной алмазоносности Западной Якутии, масштаба 1:1 000 000.

По структурно-тектоническим признакам выделена перспективная площадь на выделение нового кимберлитового поля, характеризующаяся повышенной плотностью разрывных нарушений, расположенная в узле пересечения центральной подзоны ВМЗ с секущей ветвью Ыгыаттинской зоны. Участки повышенной плотности разрывных нарушений, совмещенные с областями усложненного структурного плана нижнепалеозойских пород (подзонами), требуют пристального внимания и детального изучения, поскольку они характеризующиеся максимальной дислоцированностью осадочного чехла и по сумме прогнозных факторов наиболее благоприятны для расположения кимберлитовых тел, вследствие чего должны стать первоочередными объектами для опоискования.

Разработана методика среднемасштабного минералогического районирования, основанная на принципе «фон-аномалия» посредством принятия минимально-аномальных значений для каждого минералогического признака. В Ыгыаттинском районе аномальными значениями определены следующие характеристики ИМК: концентрация ИМК в 10л пробе более 25 знаков; содержание ИМК в тяжёлой фракции свыше 16‰; ИМК высокой степени сохранности (0-II класс); ИМК «аномальных» химико-генетических групп. При этом для каждой выработки формируется индивидуальный «паспорт» с набором типоморфных

характеристик ИМК. Предложенный подход к оконтуриванию таксономических единиц «минералогический узел», «минералогический участок», учитывающий максимально возможное количество типоморфных особенностей ИМК, позволил выделить шесть минералогических узлов: Сюльдюкарский, Западный, Восточный, Кютерский, Саламачанский и Аччыгый-Сюгджерский.

Анализ и синтез пространственных геологических данных позволил локализовать в центральной части Ыгыаттинского алмазоносного района новое Еркютейское кимберлитовое поле и оценить его потенциальную алмазоносность. Сопоставление химического состава ИМК минералогического узла Восточный с минералами из кимберлитов трубки Сюльдюкарская показал существенные различия, что может свидетельствовать о присутствии на территории Ыгыаттинского района невыявленных коренных источников. Сравнительный анализ основных характеристик алмазов и ИМК известных алмазоносных месторождений Якутской алмазоносной провинции установил, что ближайшими аналогами являются трубки Мирнинского кимберлитового поля. В пределах Еркютейского прогнозируемого поля выделены четыре локальных участка, перспективных на выявление кимберлитовых тел: Еркютейский, Восточный-локальный, Северный, Южный.

Список использованной литературы

Опубликованная

1. Антипин И. И. Совершенствование методических приемов обнаружения и локализации ореолов индикаторных минералов при поисках погребенных кимберлитовых тел: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Иркутск. 1999. 16 с.
2. Антипин И.И., Антипин И.И. Среднемасштабное алмазопрогнозирование на примере Центрально-Сибирской субпровинции // Руды и металлы, 2018. № 1. С. 4-10.
3. Антипин, И. И, Антипин И. Ив., Тарасов И. О. Модели шлиховых ореолов от различных кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского района. Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях: Материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». 2008:300-302.
4. Антипин, И. И, Антипин И. Ив., Тарасов И. О. Основные аспекты методики и технологии обработки шлихоминералогических материалов при поисках месторождений алмазов на закрытых территориях. Наука и образование. 2006;(4):24-30.
5. Антипин, И.И, Антипин И.Ив. Особенности современных ореолов индикаторных минералов кимберлитов Якутии (по данным ретроспективного анализа исследований). Наука и образование. 2009;(2):9-13.
6. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск: Филиал «Гео» Издательства СО РАН, Издательский дом «Манускрипт». 2001. 276 с.
7. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Поисковая минералогия алмаза. Новосибирск: Академическое издательство «Гео». 2010. 650 с.
8. Афанасьев В.П., Яныгин Ю.Т. О погребенных первичных потоках рассеяния кимберлитовых тел в Малоботуобинском районе. Геология и геофизика. 1983; (6):85-90.

9. Бобриевич А.П., Бондаренко М.Н., Гневушев М.А. Алмазные месторождения Якутии. М.:Госгеолтехиздат, 1959. 528 с.
10. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и Мира. // Геоинформмарк. -М., 2000
11. Гаранин В.К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками: Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Москва. 2006. 551 с.
12. Голубев Ю.К., Гаранин К.В., Кошкарев Д.А., Голубева Ю.Ю., Шахурдина Н.К. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление №6/2020 (174). С.3-11.
13. Горев Н. И., Масленникова Э.А., Информативность шлихоминералогического метода поисков погребенных месторождений алмазов в Западной Якутии // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ - НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). 2018:262-266.
14. Горев Н.И. Тектонические исследования при прогнозировании коренных источников алмазов. // Алмазная геология в АК «АЛРОСА» - настоящее и будущее (геологи АК «АЛРОСА» к 50-летию юбилею алмазодобывающей промышленности России) - Воронеж, ВГУ, 2005. – С. 1175-1202.
15. Горев Н.И., Герасимчук А.В. Специализированные тектонические карты при прогнозировании коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе: методика составления и анализа // Руды и металлы, 2017. №4. С. 25-41.
16. Горев Н.И., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Толстов А.В. Тектонические аспекты строения Вилуйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. – 2011. – №3. – С.5-10.
17. Горев Н.И., Манаков А.В., Эринчек Ю.М., Гарат М.Н. Особенности строения осадочного чехла Малоботуобинского алмазоносного района Якутии по данным

палеоструктурного анализа // Региональная геология и металлогения. – 1994. – № 2 – с. 132-144.

18. Горев Н.И., Колесник А.Ю., Николенко Е.И., Проценко Е.В., Старостин П.В., Шахурдина Н.К. История формирования среднепалеозойских кимберлитов Алакит-Мархинского поля, Западная Якутия. Руды и металлы. 2020. №2. С.58-68.
19. Горев Н.И., Шахурдина Н.К., Салихов Р.Ф., Проценко Е.В. К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алакит-Мархинского рудного поля. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики.-2020.- Т.25, №1. – С.20-31.
20. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2020 года, выпуск 32, алмазы. Москва 2020.
21. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020, Москва 2021.
22. Дукардт, Ю. А. Контроль кимберлитового вулканизма Якутской алмазоносной провинции палеорифтовыми структурами / Ю.А. Дукардт, Е.И. Борис // Отечественная геология. – 1996. – № 10. – С. 28-34.
23. Дукарт Ю.А., Борис Е.И., Авлакогенез и кимберлитовый магматизм – Воронеж: Изд. ВГУ, 2000. – 162 с.
24. Зайцев А.И., Смелов А.П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции/ ИГАБМ СО РАН- Якутск: Офсет, 2010. – 108с.
25. Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П., Борис Е.И. Принципы районирования алмазоносных территорий по минералам-спутникам алмаза. Прогнозирование и поиски коренных алмазных месторождений: тезисы докладов Международной научно-практической конференции. 1999; 36-41.
26. Игнатов, П.А. Моделирование структур, вмещающих алмазоносные кимберлиты на закрытых территориях / П.А. Игнатов, И.Д. Васильев, К.В. Новиков, А.М. Шмонов // «Руды и металлы». – 2011. – № 3. – С. 74-75.
27. Игнатов, П.А. Новые приемы оценки локальных площадей на коренные алмазные месторождения. / П.А. Игнатов, Я.И. Штейн, С.Д. Черный, Ю.Т. Яныгин // Руды и металлы. – 2001. – № 5. – С. 32-42.

28. Кондратьев А.А., Горев Н.И. Тектоническое строение и история развития Средне-Мархинского алмазоносного района Западной Якутии // Сб. Геология алмаза – настоящее и будущее. – Воронеж: Воронежский государственный университет. – 2005. – С. 95-105.
29. Коробков И.Г., Шахурдина Н.К. Структуры осадочного чехла кимберлитовых полей Западной Якутии как основа локального прогноза коренных источников алмазов // Руды и металлы №5, 2011. С. 27-34.
30. Кривцов А.И. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Рекомендации межинститутской рабочей группы Роснедра / Под редакцией А.И.Кривцова; составители: Беневольский Б.И. (руководитель), Аксенов Е.М., Блинова Е.В., Ваганов В.И., Вартамян С.С., Голенев В.Б., Конкина О.М., Куторгин В.И., Логвинов М.И., Машковцев Г.А., Мигачев И.Ф., Микерова В.Н, Руднев В.В., Ручкин Г.В.-М.: ЦНИГРИ. – 100 стр., 8 табл., 10 ил.
31. Кудрявцева Г.П., Вержак В.В., Гаранин В.К., Тараненко В.И., Черный С.Д. Повышение эффективности минералогических методов при проведении поисков алмазных месторождений. Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. 2001; 505-517.
32. Мальцев М.В., Толстов А.В., Бережнев И.И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия). Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018; (6):41-49. (DOI: 10.32454/0016-7762-2018-6-41-49).
33. Манаков А.В., Оськин И.В., Антонов Ю.В., Слюсарев А.В. Новые данные о строении Вилуйско-Мархинской системы разломов // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. – Мирный, 1998. – С.270-272
34. Манаков А.В., Романов Н.Н., Полторацкая О.Л. Кимберлитовые поля Якутии. Воронеж: Воронежский университет, 2000. 82 с.
35. Масайтис В.Л., Эринчек Ю.М. Первые карты прогноза алмазоносности Сибирской платформы (1952–1954). Региональная геология и металлогения. 2005; (26):17-27.

36. Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (Якутская алмазоносная провинция). -, 1989
37. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. Ленинград: Недра, 1979. 183 с.
38. Милашев, В. А. Режим и факторы образования кимберлитов / В. А. Милашев, Ю. В. Третьякова; Акционерная компания «АЛРОСА» Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие ЦНИГРИ. – Санкт-Петербург: Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия им. Д.С. Лихачева, 2003. – 112 с. – ISBN 5-86443-097-8. – EDN GDOCJZ.
39. Подчасов В.М. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов / В.М. Подчасов, В.Е. Минорин, И.Я. Богатых, Ю.К. Голубев, С.А. Граханов, В.Ф. Кривонос, В.Т. Подвысоцкий, А.Д. Харьков, Ю.М. Эринчек, Б.С. Ягнышев // Книга 1. Коренные месторождения. – Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН», 2004. – 548 с.
40. Подчасов В.М., Минорин В.Е. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Книга 1. Коренные месторождения. ЯНИГП ЦНИГРИ. Якутский филиал издательства СО РАН, 2004.
41. Проценко Е.В. Структурно-тектонические закономерности локализации алмазоносных кимберлитовых полей в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны (Западная Якутия): дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук: 25.00.11/ЦНИГРИ. – М., 2020. – 149 с.
42. Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии. Руды и металлы. 2018; (4):14-23. (DOI: 10.24411/08695997201810009).
43. Проценко Е.В., Шахурдина Н.К. Дополнительные структурно-тектонические факторы локализации кимберлитов в пределах Вилуйско-Мархинской зоны разломов. Руды и металлы. 2021. №3. С. 14-21. DOI:10.47765/0869-5997-2021-10015.
44. Сарсадских Н.Н. Поиски месторождений алмаза по минералам спутникам. Информационный сборник ВСЕГЕИ. 1958; (5):122-132.

45. Серов И.В., Граханов О.С., Кошкарёв Д. А. Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе: Методическое пособие. 2020:155 с.
46. Серов И.В., Никифорова А.Ю., Коршикова Л. Б. Повышение эффективности минералогических методов: районирование поисковых площадей на основе типоморфных особенностей МСА, как основа прогноза на коренную алмазоносность. Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии: Материалы IV Региональной научно-практической конференции. 2014:207-208.
47. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989. 326 С.
48. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, изд-во Наука, 1974. 263с.
49. Специус З.В. Кадастр кимберлитовых тел / З. В. Специус, В. П. Корнилова, Т. А. Антонова // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ - НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, 29 мая – 01 2018 года / Акционерная компания «АЛРОСА» (публичное акционерное общество), Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП). – Мирный: Акционерная компания "АЛРОСА" (публичное акционерное общество), 2018. – С. 395-396. – EDN VPSJYU.
50. Старкова Т.С., Мальцев М.В., Толстов А.В. Сравнительная характеристика минералов-индикаторов кимберлита и новые перспективы Ыгыаттинского алмазоносного района (Западная Якутия). Известия высших учебных заведения. Геология и Разведка. 2019; (2):35-44. (DOI: 10.32454/0016-7762-2019-2-35-44).
51. Старкова Т.С., Муллаярова Л.С., Овчинников И.М., Остапенко Д.В., Толстов А.В. Новые кимберлиты Сюльдюкарского поля (Ыгыаттинский алмазоносный район, Якутия). Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной

65-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН. 2022:354-357. (DOI: 10.52994/9785751332846_2022_73).

52. Тарских О.В. Опыт применения комплексирования программ и технологий при обработке результатов химического анализа для прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов на примере участка Тегюрюк, Алакит-Мархинское кимберлитовое поле, западная Якутия / О. В. Тарских, А. А. Гибшер, А. В. Забелин, И. М. Овчинников // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, Якутск, 05–07 апреля 2021 года. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2021. – С. 332-335. – DOI 10.52994/9785751331399_2021_88. – EDN OCJJGD.
53. Тарских О.В., Шахурдина Н.К. Латеральная неоднородность верхней мантии на территории Якутской алмазоносной провинции (на примере Мирнинского, Накынского и Слюдякарского кимберлитовых полей) // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ-НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)- Мирный, 2018. С. 195-199
54. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. Москва. Издательство «Недра». 1995. 348 С.
55. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов Мира. М.: "Недра", 1998. 555 с.
56. Шахурдина Н.К., Тарских О.В. Методика оконтуривания кимберлитовых полей с применением ГИС-технологий (на примере Якутской алмазоносной провинции). Наука и образование. 2017. №4 (88). С. 29-36
57. Шахурдина Н.К. Применение информационных методов при локальном прогнозе Мирнинского кимберлитового поля // Геологическое обеспечение минерально-

- сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Мирный: М-лы IV Региональной науч.-практ. конф., 2014. – С.245-247.
58. Шахурдина Н.К., Проценко Е.В. Использование программной среды ARCGIS для анализа разломной тектоники кимберлитоперспективных территорий на примере Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия) // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Айхал: Материалы V полевого научно-практического семинара, 2015. - С. 225-227.
59. Юдин Д.С., Томиленко А.А., Травин А.В., Агашев А.М., Похиленко Н.П., Орихаши Ю. Возраст внедрения кимберлитовой трубки Удачная-восточная: U/Pb и $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ - данные // Доклады академии наук, 2014, том 455, №1, с. 91-93.
60. Jing Sun, Chuan-Zhou Lia, Sebastian Tapp. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: Insights from in situ U–Pb and Sr–Nd perovskite isotope analysis // Earth and Planetary Science Letters 404 (2014) 283-295

Фондовая

61. Аммосов А.А. Геологическое строение правобережья р. Ыгыатта в бассейнах верхних течений рр. Аргаа-Кютэрээх, Еркютэй и Холомолоох-Юрэх листы Р-49-12-Б-б,г; Р-50-1-А; Р-50-1-Б-а,в. (Отчет о работе Кютэрской геологосъемочной партии за 1968 год.), 1969. Росгеолфонд № 295623.
62. Антипин И.И., Шахурдина Н.К. Информационный отчет по теме: Экспертно-методологическое обеспечение и сопровождение геологоразведочных работ предприятий группы «АЛРОСА» (объект Экспертный), 2019. Фонды ВГРЭ №....
63. Аржаков Е.Е., Герасимов В.В., Константинов А.К. Отчет о результатах проведения поисковых работ на алмазы в пределах перспективных участков Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны в бассейне среднего течения р. Ыгыатта в 2015-2020 гг. (объект Хампинский-2), 2020. Росгеолфонд №539186.
64. Бондаренко С.В., Максимова А.Н., Покровский М.В. Отчет о проведении высокоточной аэромагнитной съемки в комплексе с наземными детализационными

- геофизическими работами в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны в 2008-2013 гг. (Объект Аэросъемочный), 2013. Росгеолфонд № 508922.
- 65.Брахфогель Ф.Ф. Каталог кимберлитовых и ассоциирующих с ними тел восточной части Сибирской платформы, 1979 г.
66. Горев Н.И. Отчет Прогнозный мониторинг алмазоперспективных территорий и площадей Сибирской платформы с целью обеспечения перспективного и оперативного планирования геологоразведочных работ АК Алроса. Объект Прогнозный-3. Отчет за 2005-2009 гг., 2009. Росгеолфонд №501732.
- 67.Горев, Н.И., Коробков И.Г., Иванов В.М., Веретенников В.А. Отчет о проведении научно-исследовательских работ по теме: «Прогнозный мониторинг геологоразведочной деятельности АК "АЛРОСА" (ЗАО) на Сибирской платформе, на основе составления специализированных на алмазы разномасштабных карт» в 2002–2005 гг. (объект «Прогнозный-2»), 2005. Росгеолфонд № 485957
- 68.Емельянов В.С., Емельянова С.А., Коробков И.Г. Отчет по результатам поисковых работ на алмазы на водоразделе рр. Ыгыатта-Моркока в пределах Вилуйско-Мархинской зоны разломов за 1991-96 гг. (Чагдалинский объект). 1996. Росгеолфонд №471195.
- 69.Ковальский В.В., Никишов К.Н., Брахфогель Ф.Ф. Кимберлитовый магматизм северной части Якутской алмазоносной провинции. Якутск, 1970. Росгеолфонд № 310667
- 70.Ковальский В.В., Алтухова З.А., Брахфогель Ф.Ф. Кимберлитовый магматизм южной части Якутской кимберитовой провинции. Якутск, 1975. Росгеолфонд №350313
- 71.Ковальчук О.Е., Богуш И.Н., Лисковая Л.В. «Исследование алмазов и информативных минералов из кимберлитовых тел и ореолов рассеяния комплексом лабораторно-аналитических методов на поисковых площадях территории деятельности АК "АЛРОСА"», 2012.
- 72.Колесник А.Ю., Храмцов А.А., Тарских О.В., Шахурдина Н.К. Отчет по теме «Разработка и актуализация геолого-геофизических критериев локализации

кимберлитового магматизма с целью совершенствования методики локального прогноза» (объект «Локальный прогноз-2»), 2021.

73. Константинов А.К., Жарницкий А.Я., Герасимов В.В. Отчет о результатах проведения поисковых работ на алмазы в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны в бассейне среднего течения р. Ыгыатта в 2013-2015 гг. (Объект Хампинский-1), 2015. Росгеолфонд № 519902.
74. Константинов А.К., Жарницкий А.Я., Валентинова М.А. Отчёт о результатах проведения поисковых работ на алмазы в пределах Верхнеыгыаттинской площади в 2011-2014 гг. (Объект Правобережный-1). Лицензия ЯКУ 03074 КП., 2014. Росгеолфонд № 512751.
75. Копылов Г.Н., Гоглов Г.Г., Петров А.Н. Отчет по результатам групповой геологической съемки м-ба 1:50 000 (ГГС-50) и общих поисков в северо-восточной части Мало-Ботубинского и юго-восточной части Моркокинского алмазоносных районов на площади листов Р-50-2-В, Г; Р-50-14-А, Б, В, Г; Р-50-26-А, Б, В-б, г, Г по работам Аппычинской партии в 1988-92 гг., 1992. Росгеолфонд № 463680.
76. Коробков И.Г. Отчет по теме «Мониторинг прогнозных ресурсов алмазов Якутской алмазоносной провинции на территории деятельности АК «АЛРОСА» в 2011-2013 гг». (объект Мониторинг ресурсов-2), 2013.
77. Липашова А.Н., Богуш И.Н., Бардухинов Л.Д. «Комплексные исследования пород и алмазов тела «Сюльдюкарское» за 2015-2017 гг.». Дополнение к отчету по договору № 02-НИР/15 от 01.02.2015 г., 2018
78. Морозова Н.Е. Отчет по теме: "Обобщение и анализ результатов аэрогеофизических исследований с целью выявления факторов структурно-тектонического контроля кимберлитового магматизма на севере Якутской алмазоносной провинции" в 2010-2016 гг. (объект Аэрогеофизический-тематический), 2016 г.
79. Помазанский Б.С. Отчет по теме «Мониторинг результатов комплексных исследований алмазов из коренных источников и россыпей Якутской алмазоносной провинции для обеспечения планирования геологоразведочных

работ АК «АЛРОСА» (ПАО)) (объект «Алмазный-7») / Помазанский Б.С., Липашова А.Н., Кедрова Т.В. – Мирный, 2016

80. Храмцов А.А., Егоров Г.С., Бондаренко С.В. Отчет о результатах проведения мелкомасштабных поисковых работ на алмазы в пределах Вилуйско-Мархинской минерагегической зоны на площади междуречья Вилуей-Марха в 2008-2012 гг. Объект Хампинский. Лицензия ЯКУ 03083 КП. 2012. Росгеолфонд №505780.
81. Шаталов В.И., Яныгин Ю.Т., Дукарт Ю.А. Отчет по теме: «Структурно-тектоническое и геолого-минералогическое районирование Вилуйско-Мархинской зоны в междуречье Ыгыатта-Марха-Тюнг в целях локализации площадей, перспективных на выявление месторождений алмазов» за 2001-2005 гг. (объект Ыгыатто-Тюнгский), 2005. Росгеолфонд №487815.
82. Ягнышев Б.С. Атлас кимберлитовых тел Алакит-Мархинского поля Якутской кимберлитовой провинции, 1988 г.
83. Ягнышев Б.С. Атлас кимберлитовых тел Далдынского поля Якутской кимберлитовой провинции, 1992 г.